Ⅱ. 研究活動状況
CURRENT RESEARCH ACTIVITIES

メディア・コンテンツラボ　Media Contents Lab.
相澤・山崎研究室　Aizawa & Yamasaki Laboratory …….. 23
苗村研究室　Naemura Laboratory ……Not submitted……

知能インターフェース　Intelligent Human-Computer Interface Lab.
石塚研究室　Ishizuka Laboratory …….. 29
広瀬（啓）・峯松研究室　Hirose & Minematsu Laboratory …….. 33
杉本研究室　Sugimoto Laboratory …….. 42

ネットワークラボ　Network Lab.
浅見・川原研究室　Asami & Kawahara Laboratory …….. 47
相田研究室　Aida Laboratory …….. 51
江崎研究室　Esaki Laboratory …….. 54
森川研究室　Morikawa Laboratory …….. 57

コンピューティングラボ　Computing Lab.
近山・田浦研究室　Chikayama & Taura Laboratory …….. 63
坂井・五島研究室　Sakai & Goshima Laboratory …….. 69
伊庭研究室　Iba Laboratory …….. 74

システム・エレクトロニクスラボ　System Electronics Lab.
柴田・三田研究室　Shibata & Mita Laboratory …….. 77
浅田・池田・名倉研究室　Asada, Ikeda & Nakura Laboratory …….. 82
藤田研究室　Fujita Laboratory …….. 86
竹内研究室　Takeuchi Laboratory …….. 90

フォトニクス＆ワイヤレスラボ　Photonics and Wireless Lab.
保立・何研究室　Hotate & He Laboratory …….. 95
廣瀬（明）研究室　Hirose Laboratory …….. 102
山下研究室　Yamashita Laboratory …….. 107

量子フォトニクスラボ　Quantum Photonics Lab.
大津・八井研究室　Ohtsu & Yatsui Laboratory …….. 110
菊池・五十嵐研究室　Kikuchi & Igarashi Laboratory …….. 117
中野・種村研究室　Nakano & Tanemura Laboratory …….. 122

ナノ物理・デバイスラボ　Nanophysics and Devices Lab.
高木・竹中研究室　Takagi & Takenaka Laboratory …….. 133
田中・大矢研究室　Tanaka & Ohya Laboratory …….. 141
田畑研究室　Tabata Laboratory …….. 150
染谷・関谷研究室　Someya & Sekitani Laboratory …….. 155
杉山研究室　Sugiyama Laboratory ……Not submitted……
加藤研究室　Kato Laboratory …….. 163

プラズマ・エネルギーフロンティアラボ　Plasma and Energy Frontier Lab.
小田・小野（亮）研究室　Oda & Ono Laboratory …….. 165
日高・熊田・池田（久）研究室　Hidaka, Kumada & Ikeda Laboratory ……..... 170
小野（靖）・井研究室　Ono & Inomoto Laboratory ……Not submitted……

エネルギーシステム・制御ラボ　Energy Systems and Control Lab.
堀研究室　Hori Laboratory …….. 180
横山研究室　Yokoyama Laboratory …….. 185
大崎研究室　Ohsaki Laboratory …….. 191
古関研究室　Koseki Laboratory …….. 197
馬場研究室　Baba Laboratory …….. 203
谷口研究室　Taniguchi Laboratory …….. 206
藤本研究室　Fujimoto Laboratory …….. 211

相澤・山崎研究室
Aizawa Yamasaki Laboratory

(http://www.hal.t.u-tokyo.ac.jp/ja/index.html)

研究現況
Current Research Projects

1. ライフログ： パーソナル＆ソーシャル情報

相澤清晴,山崎俊彦，チャミンダデシルヴァ，丸山悠斗，谷澤幹也，宮崎達也，杉山春樹，李賀

Life Log: Multimedia Processing for Personal and Social Informatics

K.Aizawa, G.C.Chaminda, Y.Maruyama, M.Tanizawa, T.Miyazaki, H.Sugiyama, E.Li

センシングデバイスと情報処理機器の小型化が進み，個人の生活体験を長期間記録することが可能になった．携帯電話や iPhone などの普及により，写真・映像，コメント，GPS による位置情報などで自分の行動を記録・公開するユーザも増え，ライフロギングは始まっている．先々には，膨大なデータの処理，複合的なログの集約と連携，直感的なユーザインタフェースへの可視化とインタラクティブな検索等が技術的な課題になる．汎用的なライフログから，特定応用に向けたライフログを集約的に処理，利用する形態を模索している．そのため，食事ログの応用にも取り組み，FoodLog というマルチメディア食事記録システムを公開し，アップロードされる画像処理に対しての取り組みを進めている．

We are pioneering a new area that is called the life log. PCs and storage media are improving in their size and capacity. In not a too distant future, we will have the computing power and storage capacity to cheaply record a person's lifetimes worth of details. Life logging is already beginning to happen: photographs, locations, blogs, health records and more are bring recorded digitally online. We think our life log will be a composite of various application-oriented logs. We are investigating the processing of specific logs such as food. We made public system FoodLog which records personal food intake by photos and investigate image processing of the data uploaded to the system.

2. 3 次元映像処理

相澤清晴，山崎俊彦，韓昇龍，趙志鎬 羅衛蘭，池畑諭，ビウェイ，多田和広

3D Video Processing

K. Aizawa, T. Yamasaki, S. R. Han, J.H.Cho, L. Weilan, S. Ikahata, B. Wei, K.Tada

実世界を動的な３次元グラフィックオブジェクトとして取込む技術（３次元ビデオ）が進展しており，３次元ビデオでは，自由に視点を変えて視聴することができる．その一方，３次元ビデオは，幾何情報，テクスチャとも時間的に変化し，情報量は膨大で，将来３次元ビデオの利活用が進むためには技術的な課題は多く，３次元ビデオの取得と利用技術についての課題は多い．3 次元映像をより身近なものとする為に，手持ちのケータイカメラからの 3 次元映像の生成，3 次元映像からの人体動作の抽出などについて検討を進めている．

We are investigating new technologies for capture and archival of three dimensional video. Three dimensional video is dynamic mesh model with dynamic texture: a moving three dimensional object such as a person is captured and modeled . We are investigating new techniques required for archiving a number of three dimensional videos. These techniques include compression, segmentation, content-based retrieval, composition, extraction of structural data, motion tracking to name a few. We are currently looking at the problems such as marker free human motion capture by using multiple cameras. In addition, in order to make 3D video widely available, we investigate generation of 3D video using small number of handheld cameras..

3. CGM(Consumer Generated Media)処理

相澤清晴，山崎俊彦，入江豪，ヘネ テイシェイラ，呉志鵬，フーチェン，松本尚也，蔵野達也，松村成明，渡部善雄，ニマバイダル

Processing of Consumer Generated Media

K.Aizawa, T.Yamasaki, G.Irie, Rene Teixeira, F. Chen, N.Matsumoto, K.Kurano, N.Matsumura, Y.Watanabe, N.Baidar

近年，Youtube やニコニコ動画など，ユーザ主導のマルチメディアデータ（ＣＧＭ）が多数生成・閲覧されるようになった．しかし，これらのデータに関する情報は，再生回数やユーザが付与するタグやコメントなどに依存しているため，ビデオの数が急増するにつれて目的のビデオの検索が困難になったり，クオリティーの高い映像なのに誰にも閲覧されなかったりする問題が生じている．そこで，ＣＧＶや多数の映画映像などを対象に，新たな映像処理の可能性を模索している．映像内容に関する主観的な評価実験も進め，人の印象や感情に見合う映像評価手法も検討している．

CGMs such as YouTube are widely used on the Internet. The amount of CGMs is explosively growing. Currently CGMs are managed by their tagged keywords, which also defines the limitation of the management. We are investigating techniques such as new ranking schemes, summarization using of tags and comment descriptions, and affective evaluations..

4. 漫画・デジタルミュージアム

相澤清晴，山崎俊彦，大谷智子，オゥグ オストルク，
河治寿都，松濤智明，松井勇祐，河村聡一郎

Creative Applications, Digital Museum

K.Aizawa, T.Yamasaki, T.Ohtani, O.Ozturk, ,
H.Kawaji, T.Matsunami, Y.Matsui, S.Kawamura

漫画に関しては，広く世界に受け入れられている日本の文化であるもの，画像処理の対象となることが少なかった．電子書籍の広がりで，メディア処理を活用した新しい利用技術展開を検討している．ミュージアムについては，デジタル技術を導入することで博物館における展示の支援を直接的あるいは間接的に支援するデジタルミュージアムプロジェクトを進めている．鑑賞者の取得した画像をもとに，その位置，移動経路を推定する手法の研究を進めるとともに，インタラクティブな博物館ガイドの構築を進めている．

Manga, one of Japanese culture which is worldwide familiar, has been rarely a target of image processing. For the recent spread of electronic books, we are investigating image processing techniques for novel utilization of digital manga.
We also wok on digital museum project which develops technology directly and indirectly supporting exhibition at museums. We investigate localization of persons and estimate of their paths using photos taken by the persons. We are developing interactive museum guidance based on the location estimation, too.

論文・著書一覧（2010 年度）

研究論文

[1] 山田健太郎，山崎俊彦，相澤清晴: シルエット抽出とモデル生成の相互フィードバックによる Time-Varying Mesh の高精度化 (Time-Varying Mesh Generation Based on Iterative Feedback between Silhouette Extraction and Geometry Modeling) 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J93-D, no, 8, pp.1533-1543, Aug. (2010)

[2] Go Irie, Takashi Satou, Akira Kojima, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Affective Audio-Visual Words and Latent Topic Driving Model for Realizing Movie Affective Scene Classification,, IEEE Trans. Multimedia, Vol.12, No.6, pp.523-535, (2010)

[3] Ren´e M A Teixeira, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Affective Determination of Video Clips by Low Level Audiovisual Features, Multimedia Tools and Applications, Springer, DOI 10.1007/s11042-010-0702-0 (2011)

[4] Ovgu Ozturk, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Real-time tracking of multiple humans and visualization of their future footsteps in public indoor environments, Multimedia Tools and Applications, Special Issue on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services, Springer, DOI 10.1007/s11042-010-0691-z, z82011z (2010)

[5] 松嵜直幸，原澤賢充，繁桝博昭，森田寿哉，伊藤崇之，斎藤隆弘，佐藤隆夫，相澤清晴，北崎充晃: 能動的観察による映像酔いの低減 (Reduction of Visually Induced Sickness by Active Viewing)，日本バーチャルリアリティ学会論文誌, TVRSJ Vol.15, No.1, pp.41-44, （2010 ）

[6] 大谷智子，渡邉淳司，丸谷和史: ブロック立体デザインにおける錯視パターンの使用 －構造とテクスチャの相互作用の再認識－，認知科学，Vo.17, No.3, pp.580-588, (2010)

国際会議論文

[7] Ovgu Ozturk, Tomoaki Matsunami, Yasuhiro Suzuki, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa, Can you SEE your “FUTURE FOOTSTEPS?, Proceedings of International Conference on Virtual Reality, VRIC2010, pp.317-320, (2010)

[8] Rene M A Teixeira, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Comparative analysis of low-level visual features for affective determination of video clips, 5th International Conference on Future Information Technology (FutureTech 2010) Multimedia and Semantic Technologies (MUST 2010), Busan Korea (2010)

[9] Renan Utida Ferreira, S-R. Han, T.Yamasaki, K.Aizawa: Mixed Spatial And SNR Scalability For TVM Geometry Coding, 3DTV Conference (3DTV-CON) Tampere, Finland(2010)

[10] Suguru Nakagawa, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Deformation-based Compression of Time-Varying Meshes For Displaying on Mobile Terminals, 3DTV Conference (3DTV-CON) 2010,

[11] Kiyoharu Aizawa: Life Log : Where are We Now, and Where Can we Go? (keynote), ACM Conference on Image and Video Retrieval CIVR 2010, Xian China(2010)

[12] Chaminda De Silva, Kiyoharu Aizawa: Interacting with Location-based Multimedia Using Sketches, ACM Conference on Image and Video Retrieval CIVR 2010, Pages: 189-196, Xian China (2010)

[13] Chaminda De Silva, Kiyoharu Aizawa: Interacting with Location-based Multimedia Using Sketches, ACM Conference on Image and Video Retrieval CIVR 2010, Pages: 189-196, Xian China (2010)

[14] K.Aizawa, Panel :on Image and Retireval (invited) , ACM Conference on Image and Video Retrieval CIVR Xian China (2010)

[15] Seung-Ryong Han, Toshihiko Yamasaki, and Kiyoharu Aizawa: Approaches to Compression of 3-D Video (invited), SPIE Visual Communication and Image Processing (VCIP2010), Huangshan, China(2010)

[16] Keigo Kitamura, Gamhewage Chaminda De Silva, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Image Processing Based Approach to Food Balance Ana;ysis for Personal Food Logging, IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2010), Singapore(2010)

[17] Ovgu Ozturk, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Detecting Dominant Motion Flows In Unstructured/structured Crowd Scenes, International Conference on Pattern Recognition, ICPR2010, Turkey (2010)

[18] Seung-Ryong Han, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Automatic Preview Video Generation For Mesh Sequences, IEEE Int. Conf. Image Processing (ICIP2010), pp.2945-2948, Hong Kong (2010)

[19] Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Patch-Based Compression For Time-Varying Meshes, IEEE Int. Conf. Image Processing (ICIP2010), pp.2945-2948, Hong Kong (2010)

[20] Chen Fu, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Video2Manga -- A Video Summary using Non-Photorealistic Rendering, ASIAGRAPH in Tokyo, Oct. 14-17, Tokyo

[21] Kiyoharu Aizawa, Gamhewage Chaminda De Silva, Yuto Maruyama, Tatsuya Miyazaki, Haruki Sugiyama, Makoto Ogawa, Yohei Sato: FoodLog (demo), ASIAGRAPH in Tokyo, Oct. 14-17, Tokyo

[22] Kiyoharu Aizawa, Gamhewage C. de Silva, Makoto Ogawa, Yohei Sato: Food Log by Snapping and Processing Images, Int Conf. Virtual Systems and Multimedia (VSMM2010), pp.71-74, Oct.21-23, Seoul, Korea

[23] Yuto Maruyama, Gamhewage C. de Silva, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa, Personalization of Food Image Analysis, Int Conf. Virtual Systems and Multimedia (VSMM2010), pp.75-78, Seoul, Korea (2010)

[24] Hisato Kawaji, Koki Hatada, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: An image-based indoor positioning for digital museum applications, Int Conf. Virtual Systems and Multimedia (VSMM2010), pp.105-111, Seoul Korea (2010)

[25] Toshihiko Yamasaki, Tomoaki Matsunami, and Kiyoharu Aizawa: Detecting Resized JPEG Images by Analyzing High Frequency Elements in DCT Coefficients, The Sixth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP2010), Darmstadt, Germany (2010)

[26] Go Irie, Takashi Satou, Akira Kojima, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Automatic Trailer Generation, ACM Multimedia, pp.839-842, Firenze, Italy (2010)

[27] Hisato Kawaji, Kohki Hatada, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: mage-based Indoor Positioning System: Fast Image Matching using Omnidirectional Panoramic Images, ACM Multimedia Multimodal Pervasive Video Analysis Workshop (MPVA), pp.1-4, Firenze, Italy (2010)

[28] Gamhewage C. de Silva, Kiyoharu Aizawa, Image-based Dietary Information Mining for Community Creation in a Social Network, ACM Multimedia Workshop on Social Media (WSM2010), pp.53-58, Firenze, Italy (2010)

[29] Ovgu OZTURK Toshihiko YAMASAKI Kiyoharu AIZAWA:Estimating Human Body and Head Orientation Change To Detect Visual Attention Direction, International Workshop on Gaze Sensing and Interactions (in conjunction with ACCV2010), Queenstown, New Zealand (2010)

[30] Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa:Bit Allocation of Vertices and Colors for Patch-Based Coding in Time-Varying Meshes, Picture Coding Symposium 2010, pp. 162 - 165, Nagoya, (2010)

[31] Weilan Luo, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa:3D Pose Estimation in High Dimensional Search Spaces with Local Memorization, Picture Coding Symposium 2010, pp. 354-357, Nagoya, (2010)

[32] Mikiya Tanizawa, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa:Estimation of Facility Category from Photos and Location Data, Workshop on Picture Coding and Image Processing , p.147, Nagoya, (2010)

[33] Wei Bi, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa:Recovering Local Geometry for Time-Varying Mesh from Motion, Workshop on Picture Coding and Image Processing , p.148, Nagoya, (2010)

[34] Kiyoharu Aizawa,Toshihiko Yamasaki,Hisato Kawaji, Souchiro Kawamura: Location Identification for Visitor Behavior Log in Museum, VRCAI 2010 Virtual Reality Continum and its Application to Industry, pp.369-372, Seoul, (2010)

[35] Weilan Luo, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa:Articulated Human Motion Capture from Segmented Visual Hulls and Surface Reconstruction, APSIPA Annual Summit and Conference 2010 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association, pp.109-116, Singapore (2010)

[36] K.Aizawa:Foodlog: Image Retrieval for Specific Needs (invited), APSIPA Annual Summit and Conference 2010 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association, Panel SessionTowards Web-Scale Media Content Analysis and Retrieval - What has University Research Contributed to Commercial Systems and Social Network Services, Singapore (2010)

著書

[37] 廣瀬通孝、相澤清晴、苗村健、谷川智洋、飯田誠、鈴木康広、西村邦裕、山崎俊彦、上條桂子: "Digital Public Art Project 空気の港〜テクノロジー×空気で感じる新しい世界〜", 美術出版社 (160 pages) 2010.3.22,

[38] 相澤清晴 分担執筆, 超高精細映像の応用と展開（超臨場感システム 3.5 節), オーム社 映像情報メディア学会編, 原島博監修, 223pages, 2010.5

[39] Tao Mei, Kiyoharu Aizawa, Video Recommendation, Internet Multimedia Search and Mining, Editted by. Xian-Sheng Hua, Marcel Worring, and Tat-Seng Chua, Bentham Science Publishers, 2010

総説・解説論文

[40] 相澤清晴, 荒川佳樹:超高精細映像システム・コンテンツ (System and Content of Ultra High Definition Video), 電子情報通信学会誌, Vol.93, No.5, pp.368-371, (2010)

[41] 相澤清晴, パーソナル写真コレクションと検索, 映像情報メディア学会誌, Vol.64,No.11,pp.1571-1575, (2010)

[42] 相澤清晴, 映像メディアのパーソナル化とソーシャル化（巻頭言）, 三菱電機技報, Mar. 2011

シンポジウム・研究会・大会等発表

[43] 池畑諭, 山崎俊彦, 相澤清晴:手持ちカメラによる 3 次元動的モデル復元のための多数の背景画像を利用したカメラキャリブレーション法の提案, 画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2010), IS3-50, pp.1906-1911 (2010)

[44] Weilan LUO, Toshihiko YAMASAKI, Kiyoharu AIZAWA: Marker-less Human Motion Tracking Using Visual Hulls and Time-Varying Surfaces Reconstruction, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2010), IS3-51, pp.1912-1919 (2010)

[45] 河治寿都, 畑田晃希, 山崎俊彦, 相澤清晴: 全方位カメラの参照画像群を用いた博物館内の位置推定システム ーデジタル・ミュージアムでの観覧者の行動記録に向けてー, 画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2010), IS1-61, pp.463-469, (2010)

[46] 冨樫 政徳, 山崎 俊彦, 相澤 清晴: 手書き入力による時系列標本点の逐次補間とその応用, 画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2010), DS-9, pp.1326-1327 (2010)

[47] Chaminda DE SILVA, Kiyoharu AIZAWA: Mining Image-based Dietary Information for Automatic Community Formation in a Social Network, 画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2010), IS1-64, pp.485-489 (2010)

[48] Ren ´ e M A TEIXEIRA, Toshihiko YAMASAKI ,Kiyoharu AIZAWA: Affective Content Analysis of Video Clips Through the Fusion of Audiovisual Features, 画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2010), IS2-59, pp.1177-1182 (2010)

[49] Kiyoharu Aizawa, Gamhewage C. de Silva, Toshihiko Yamasaki, Yuto Maruyama, Tatsuya Miyazaki: Food Logging by Snapping and Processing Pictures, Proceedings of Global COE Symposium on Secure-Life Electronics, (2010)

[50] Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Patch-based Compression for Time-Varying Meshes, Proceedings of Global COE Symposium on Secure-Life Electronics, (2010)

[51] 相澤清晴: ”食”に関わるライフログ共有技術基盤, CREST[共生社会へ向けた人間調和型情報技術の構築」研究領域 第一回公開シンポジウム 「調和と共生」 ー人と情報環境が創る新しい価値を目指してー, pp.49-58, (2010)

[52] 宮崎 達也, デシルヴァ ガムヘワゲ チャミンダ, 山崎 俊彦, 相澤 清晴: 食事画像の類似性判定に基づくカロリー推定, ＨＣＧシンポジウム, C7-1,(2010)

[53] 杉山 春樹, デシルヴァ ガムヘワゲ チャミンダ, 山崎 俊彦, 相澤 清晴: 小川 誠, 佐藤 陽平, 太田 龍督, TwitterBOT のための食事画像の特定メニュー判定, ＨＣＧシンポジウム, I-12,Dec.15-17 (2010)

[54] 丸山 悠斗, デシルヴァ ガムヘワゲ チャミンダ, 山崎 俊彦, 相澤 清晴: 食事ログシステムの解析の個人適応による食事バランス推定, ＨＣＧシンポジウム, C7-4, Dec.15-17, (2010)

[55] 河治 寿都, 河村 聡一郎, 山崎 俊彦, 相澤 清晴: 時間変化を考慮した画像に基づく鑑賞者の位置推定ー博物館における検討ー, 電子情報通信学会 マルチメディアと仮想環境基礎研究会, 信学技報 Vol.110, No.381, MVE2010-111 pp.291-296, (2011)

[56] Chaminda de Silva, Kiyoharu Aizawa, Yuki Arase, Xing Xie: Pics 'n' Trails: an Open Multimedia Dataset for Lifelog Research, 電子情報通信学会 ライフインテリジェンスとオフィスシステム研究会, Vol.110, No.375, pp.1-6, LIOS2010-44 (2011)

[57] 松濤 智明, 山崎 俊彦, 相澤 清晴: 天井カメラ映像を用いた公共空間の人物属性解析, 電子情報通信学会, パターン認識とメディア理解研究会, 信学技報 Vol.110, No.414, PRMU2010-229 pp.135-140, (2011)

[58] 青木秀一、浜田浩行、青木勝典、相澤清晴: ハイブリッド型放送におけるメディアのトランスポート方式, 情報処理学会　オーディオビジュアル複合情報処理研究会（AVM) (2011)

国内シンポジウム・研究会

[59] 谷澤 幹也, カムヘワゲ チャミンダ デシルヴァ, 山崎 俊彦, 相澤 清晴: 写真による対人ログデータからの親密度推定, 情報科学技術フォーラム、FIT2010, 0-012, Fukuoka (2010)

[60] 丸山 悠斗, 山崎 俊彦, 相澤 清晴: 食事ログシステムの解析の個人への適応と検討, 情報科学技術フォーラム、FIT2010, H-025, Fukuoka (2010)

[61] Chen Fu, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa, Video2Manga: A Comic-like Video Summary, 情報科学技術フォーラム、FIT2010, I-010, Fukuoka (2010)

[62] 松濤智明, 山崎俊彦, 相澤清晴: 公共空間における多人数追跡と属性解析, 情報科学技術フォーラム、FIT2010, H-034, Fukuoka (2010)

[63] 畢 微, 山崎 俊彦, 相澤 清晴: 写実的レンダリングに向けた Time-Varying Mesh の表面属性推定, 情報科学技術フォーラム、FIT2010, H-022, Fukuoka (2010)

[64] Gamhewage de Silva, Kiyoharu Aizawa, Attention-based Clustering for Grouping Photo Collections by Quality of Composition, 情報科学技術フォーラム、FIT2010, I-009, Fukuoka (2010)

[65] 青木秀一, 青木勝典, 浜田浩行, 金次保明, 山本真, 相澤清晴: 放送・通信のハイブリッド配信のためのトランスポート方式の一検討, 映像情報メディア学会年冬季大会　, 10-3 Dec. 2010 Tokyo

[66] 河野一歩, 山崎俊彦, 相澤清晴: 衣服ログ：イベントとの連携によるコーディネート支援を目指して, 電子情報通信学会　総合大会, A-16-8, Setagaya Tokyo (2011)

[67] 谷澤幹也, 山崎俊彦, 相澤清晴: 位置履歴を用いた屋内写真からの施設同定, 電子情報通信学会　総合大会, A-16-9, Mar.14-17, Setagaya, Tokyo (2010)

[68] 河村聡一郎, 河治寿都, 山崎俊彦, 相澤清晴: 博物館来訪者が撮影した写真に基づく経路推定, 電子情報通信学会　総合大会, A-16-10, Mar.14-17, Setagaya Tokyo (2011)

[69] 松井勇佑, 山崎俊彦, 相澤清晴: 二値線画である漫画画像のリターゲティング, 電子情報通信学会　総合大会, D-12-4, Mar.14-17, Setagaya, Tokyo (2010

[70] 河治寿都, 河村聡一郎, 山崎俊彦, 相澤清晴: 履歴を考慮した画像に基づく博物館内の鑑賞者の位置同定, 電子情報通信学会　総合大会, D-12-24, Mar.14-17, Setagaya, Tokyo (2011)

[71] ビ　ウェイ, 山崎俊彦, 相澤清晴: 動き情報を用いた多視点画像から 3D 形状復元手法, 電子情報通信学会　総合大会, D-12-27, Setagaya Tokyo (2011)

[72] 池畑　諭, 山崎俊彦, 相澤清晴: 信頼度に基づいた重み付きバンドル調整によるワイドベースライン画像の高精度デプスマップ推定, 電子情報通信学会総合大会, D-12-28, Mar.14-17, Setagaya, Tokyo (2011)

[73] 丸山悠斗, デシルヴァチャミンダ, 山崎俊彦, 相澤清晴: 食事ログにおける各個人の食事時刻と食傾向を利用した食事バランス推定, 電子情報通信学会総合大会, D-12-54, Setagaya Tokyo (2011)

[74] 杉山春樹, De Silva Gamhewage Chaminda, 山崎俊彦, 相澤清晴: テクスチャ解析による食事画像の領域分割, 電子情報通信学会　総合大会, D-12-55, Mar.14-17, Setagaya, Tokyo (2011)

[75] 松濤智明, 山崎俊彦, 相澤清晴: 天井カメラ映像による公共空間での複数人物追跡と属性解析, 電子情報通信学会　総合大会, D-12-60, Setagaya, Tokyo (2011)

[76] 関口頌一朗, 山崎俊彦, 相澤清晴: 低次特徴量を用いた画像からの人数計測, 電子情報通信学会　総合大会, D-12-62, Mar.14-17, Setagaya, Tokyo (2011)

[77] 宇野友季子, 山崎俊彦, 相澤清晴: 単眼動画像を用いた大きな姿勢変化を伴う運動の種別判定, 電子情報通信学会　総合大会, D-12-82, Setagaya,

Tokyo(2011)

[78] Chen Fu, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa, Video2Manga: Create Manga in My Way, 電子情報通信学会　総合大会, D-11-101, Setagaya, Tokyo (2011)

[79] Weilan Luo, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa: Marker-less Pose Estimation for Fast Human Motion Clips, 電子情報通信学会　総合大会, D-12-77, Setagaya, Tokyo(2011)

その他・展示・報道

[80] 科学未来館　予感研究所３, フードログ：手軽に食事記録をとってみよう, 2010 年年 4 月 30 日～5 月 5 日

[81] ASIAGRAPH 2010 in Tokyo (科学未来館）, FoodLog, Oct. 14-17 2010,

[82] IML オープンハウス, 手書き入力による時系列標本点の逐次補間とその応用

[83] 食事日記を簡単に生成＆共有できる Web サイト「FoodLog」4 月 30 日に正式オープン, プレスリリース, 2010 年 4 月 30 日　インターネットニュースで１０７件掲載,

[84] 携帯から写真送信で食事日記自動で, 日経産業新聞, 2010 年 5 月 7 日 11 面,

[85] 自動食事日記サービス　フードログ, ＦＭ東京　シナプス,　ナレッジ　アンド　モア, 2010 年 5 月 25 日　13:30-13:35,

[86] サイト上で食事日記, 日刊工業新聞, 2010 年 6 月 1 日,

[87] 「入力の手間を最小限に抑えた食事記録」, Health Biz Watch, 2010 年 7 月 27 日

[88] 映像資産を将来に　, 電波新聞, 2010 年 5 月 25 日

[89] So-net とバンプレストの新キャラ「ろっぷん」東京大学発の画像認識技術「FoodLog」を活用した Twitter『ろっぷん bot』を開始 ″, 毎日.jp, 2010 年 10 月 21 日 他　Bot 関係 27 件,

[90] 生活を変えるライフログ, NHK ニュース　おはよう日本, 2010 年 10 月 31 日,

[91] 東京大学発の食事記録 Web サービス「FoodLog」 デザイン・機能を一新しリニューアル日々の食事バランス管理、食事のデータベース化、コミュニケーション機能を強化, プレスリリース, 2010 年 11 月 4 日

[92] 東京大学発のカロリー推定技術を NTT コム他 6 者との共同実証実験へ提供　～食事写真からカロリー値を自動推定、世界初の実用化を目指す～ , プレスリリース, 2010 年 11 月 22 日

[93] 「健康増進アシストサービス(仮称)」の共同実証実験について　～世界初、食事写真からカロリーを自動推定し、運動時の消費カロリーも算出してクラウド上で記録～, プレスリリース, 2010 年 11 月 22 日

[94] 料理撮影 画像でカロリー計算, NHK ニュース　おはよう日本, 2010 年 11 月 29 日

石塚研究室
Ishizuka Laboratory

(http://www.miv.t.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. Webインテリジェンス

石塚　満

Web Intelligence
M. ISHIZUKA

情報・知識の流通と共有の重要なインフラストラクチャになってきている WWW(Web)を，より利用価値の高い親しみやすい情報空間にするための知能機能の研究を行っている．特に Web のテキスト部の情報を重視し，そのテキスト処理手法に基づく知能化を図っている．関連する基礎技術として，キーワード抽出法，重要文抽出法，関係語の抽出法，テキスト要約法，テキストマイニング法，エンティティペア間の類似性計算法，などを研究開発している．これらに基づき，指定した話題に関する所定期間の Web 新規情報を整理して提示するシステム，複数 Web ページの要約，Web からピンポイントで必要な情報を探り当てる質問応答，Web からの人間関係ネットワーク抽出，Web 情報の分類や推薦システム，潜在的関係検索エンジン，などの研究を進めている．

The World Wide Web (WWW or Web) is now an important infrastructure for information/knowledge distribution and sharing. In order to make the Web more valuable and more friendly to us, we have been investigating and exploiting Web intelligence functions. Specifically, we focus on the text parts of the Web, and are aiming at the Web intelligence based on text processing. As its basic technologies, we have developed our methods for keyword extraction, important sentence extraction, synonym extraction, text summarization, text mining, a similarity computation method between two entity pairs, etc. Based on these methods, we have carried out, for example, the fallowing system developments. 1) A system for summarizing new information appeared on the Web associated with a set of given keywords, 2) A summarization system of multiple Web pages, 3) Q&A system for finding pin-pointed information from the Web, 4) An extraction system of human network from the Web, 5) Systems for classification and recommendation of Web information, and 6) A latent relational search engine.

2. 自然言語テキスト意味概念の共通的記述に基づく次世代 Web 基盤

石塚　満

A Next-generation Web Foundation based on a Common Description of the Concept Meaning expressed in Natural Language Texts
M. ISHIZUKA

以前には，高次人工知能機能の利用に向けて，不完全な知識を操作することで有用な枠組みである仮説推論，アブダクション（発想的推論）の高速化推論メカニズムについて研究してきた．ここ数年は，Web 上のテキスト文が表す意味概念と共通的に記述する CDL(Concept Description Language)を中心にして，次世代 Web 基盤構築に向けた研究を行っている．これは日本オリジナルなアプローチであり，米国，欧州を中心に次世代 Web 基盤として研究開発されてきた Semantic Web とは異なっている．他機関とも連携し，日本発の意味計算(Semantic Computing)技術に基づく次世代 Web 基盤の研究と国際標準化を進めている．

Previously, we worked, toward advanced artificial intelligence functions, on hypothetical reasoning or abduction, especially on its fast inference mechanisms. In recent years, we are working toward a next-generation Web foundation based on CDL (Concept Description Language), which allows to describe the concept meaning expressed in natural language texts. This approach is original in Japan and different from the “Semantic Web” which has been pursued primarily in the US and Europe toward a next-generation Web foundation. In cooperation with other organizations, we are pushing our original approach based on the semantic computing of natural-language texts, and making efforts to standardize it internationally.

3. 生命的エージェントとマルチモーダル・メディア

石塚　満・土肥　浩

Life-like Agents and Multimodal Media
M. ISHIZUKA and H. DOHI

顔と姿，音声対話機能，感情，知能を有する生命的エージェントと，これによるマルチモーダル・メディアに関する研究開発を行っている．HTML で誰でもが容易に作成できることにより Web コンテンツが膨大になったように，上記のマルチモーダルコンテンツも誰でもが使用できる記述言語が重要であるのとの考え，MPML(Multimodal Presentation Markup Language)の開発を行ってきている．この MPML は各種の機能を統合するコアの役割も果たしている．MPML は実用的なプレゼンテーション記述，制作ツールとして使用でき，ソフトウェアを公開している．Web コンテンツを対象とするバージョンに加えて，3 次元 VRML 空間，セカンドライフ空間，携帯電話，ヒューマノイドロボットを対象とするバージョンも開発している．エージェントの自律性向上の観点から，テキストからの感情抽出，発話テキストからのジェスチャの自動生成，モノローグテキストからのダイアローグ（対話）の自動生成の研究も行っている．

We are developing life-like agents with face, body, voice communication capability, emotion and intelligence, and multimodal media systems using these life-like agents. Like HTML has allowed many people to produce Web contents

easily and thus expanded Web information space tremendously, we consider that a common and easy-to-use description language is required for the multimodal contents, and have been developing such a description language called MPML (Multimodal Presentation Markup Language). MPML also serves as a core of integrating a variety of functionalities. It is provided as free software, and can be used to describe and produce practical multimodal presentations. In addition to its main version for Web contents, other versions for 3D VRML space, Second-Life space, mobile phones and humanoid robots are developed. For enhancing the autonomy of the agents, we are also studying on the topics of emotion extraction from text, automatic gesture generation from speech text, and automatic dialogue generation from monologue text.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Alena Neviarouskaya, Helmut Prendinger and Mitsuru Ishizuka: User Study on AffectIM, and Avatar-Based Instant Messaging System Employing Rule-Based Affect Sensing from Text, Int'l Journal of Human-Computer Studies, Elsevier, Vol.68, No.7, pp 432-450 (2010.7)

[2] Mostafa Al Masum Shaikh, Helmut Prendinger and Mitsuru Ishizuka: Emotion Sensitive News Agent (ESNA): A system for user centric emotion sensing from the news, Int'l Jour. of Web Intelligence and Agent Systems, Vol.8, No.4, pp.377-396 (2010)

[3] Hugo Hernault, Helmut Prendinger, David A. duVerle and Mitsuru Ishizuka: HILDA: A Discourse Parser Using Support Vector Machine Classification, Dialogue and Discourse, Vol.1, No.3, pp.1-33 (2010)

[4] Alena Neviarouskaya, Helmut Prendinger and Mitsuru Ishizuka: Affect Analysis Model: A novel rule-based approach to affect sensing from text, Journal of Natural Language Engineering (Cambridge University Press), Vol.16, pp.95-135 (2010)

[5] Haibo Li, Yutaka Matsuo and Mitsuru Ishizuka: Graph Based Multi-View Learning for Semantic Relation Extraction, International Journal of Semantic Computing, Vol.4, No.3, pp.285-300 (2010)

[6] グェン トアン ドゥク, ボレガラ ダヌシカ, 石塚満： 高速高精度ウェブ潜在関係検索エンジンの索引作成と関係表現手法, 人工知能学会論文誌, Vol.26, No.2, pp.307-312 (2011.3)

[7] 田中翔平, 岡崎直観, 石塚 満 : Wikipedia を教師データに用いた要約文書収集クエリパターンの学習, 人工知能学会論文誌, Vol.26, No.2, pp.366-375 (2011.3)

Book Chapter

[8] Alena Neviarouskaya, Helmut Prendinger, and Mitsuru Ishizuka: Recognition of Fine-grained Emotions from Text: An Approach Based on the Compositionality Principle, in: "Modeling Machine Emotions for Realizing Intelligence: Foundations and Applications" (T. Nishida, L. Jain, and C. Faucher (eds.)), Springer (Smart Innovation, Systems and Technologies (SIST) series, Vol.1), Chapter 9, pp.179-207 (2010)

[9] Yingzi Jin, Yutaka Matsuo and Mitsuru Ishizuka: Ranking Companies Based on Multiple Social Networks Mined from the Web, in:"E-commerce" (Kyeong Kang (Ed.)), INTECH, Chapter 6, pp.75-98 (2010)

[10] Helmut Prendinger and Mitsuru Ishizuka: Virtual interface agents that adapt to user emotion and interest, In: The Routledge Handbook of Emotions and the Mass

Media (K. Doveling, C. von Scheve, E. Konijn (Eds)), Routledge, Chapter 22, pp 388-405 (2010)

国際会議論文

[11] Yulan Yan, Haibo Li, Yutaka Matsuo, Zhenglu Yang and Mitsuru Ishizuka: Multi-View Clustering with Web and Linguistic Features for Relation Extraction, Proc. 12th Asia-Pacific Web Conference (APWeb 2010), Busan, Korea, pp.140-146 (2010.4)

[12] Dzmitry Tsetserukou, Alena Neviarouskaya, Helmut Prendinger, Mitsuru Ishizuka, Susumu Tachi: iFeel_IM: Innovative Real-time Communication System with Rich Emotional and Haptic Channels, CHI Extended Abstract 2010, Atlanta, Geogia, USA, pp.3031-3036 (2010.4)

[13] Danushka Bollegala, Yutaka Matsuo and Mitsuru Ishizuka: Relational Duality: Unsupervised Extraction of Semantic Relations between Entities on the Web, Proc. 19th Int'l World Wide Web Conf. (WWW 2010), Raleigh, North Carolina, USA, pp.151-160 (2010.4)

[14] Alena Neviarouskaya, Helmut Prendinger and Mitsuru Ishizuka: @AM: Textual Attitude Analysis Model, Proc. NAACL-HLT 2010 Workshop on Computational Approaches to Analysis and Generation of Emotion in Text, ACL, Los Angeles, pp.80-88 (2010.6)

[15] Shohei Tanaka, Naoaki Okazaki and Mitsuru Ishizuka: Learning Web Query Patterns for Imitating Wikipedia Articles (Poster Paper), Proc. 23rd Int'l Conf. on Computational Linguistics (COLING 2010) -- Poster Volume, Beijing, China, pp.1229-1237 (2010.8)

[16] Alena Neviarouskaya, Helmut Prendinger and Mitsuru Ishizuka: Recognition of Affect, Judgment, and Appreciation in Text, Proc. 23rd Int'l Conf. on Computational Linguistics (COLING 2010), Beijing, China, pp.806-814 (2010.8) (COLING 2010 Best Paper Award Finalist)

[17] Tomokazu Goto, Nguyen Tuan Duc, Danushka Bollegala and Mitsuru Ishizuka: Exploiting Symmetry in Relational Similarity for Ranking Search Results (short paper), PRICAI 2010: Trends in Articicial Intelligence (Proc. 11th Pacific Rim Int'l Conf. on AI, Daegu, Korea, (Byoung-Tak Zhang and Mehmet A. Orgun (eds.))), Springer LNAI 6230, pp.595-600 (2010.8) (Best Poster Award)

[18] Mitsuru Ishizuka: Exploiting Macro and Micro Relations toward Web Intelligence (Plenary Talk), PRICAI 2010: Trends in Articicial Intelligence (Proc. 11th Pacific Rim Int'l Conf. on AI, Daegu, Korea, (Byoung-Tak Zhang and Mehmet A. Orgun (eds.))), Springer LNAI 6230, pp.4-7 (2010.8)

[19] Mamdouh Farouk and Mitsuru Ishizuka: Semantic Structure Content for Dynamic Web Pages, Proc. Int'l Workshop on Web-Scale Knowledge Representation, Retrieval, and Reasoning (Web-KR3 2010), in conjunction with IEEE/WIC/ACM Int'l Joint Conf. on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT 2010), Toronto, Canada, pp.253-256 (2010.9)

[20] Haibo Li, Yutaka Matsuo and Mitsuru Ishizuka: Relations Expansion: Extracting Relationship Instances from the Web, Proc. IEEE/WIC/ACM Int'l Conf. on Web Intelligence (WI 2010), Toronto, Canada, pp.184-187 (2010.9)

[21] Nguyen Tuan Duc, Danushka Bollegala and Mitsuru Ishizuka: Using Relational Similarity between Word Pairs for Latent Relational Search on theWeb, Proc. IEEE/WIC/ACM Int'l Conf. on Web Intelligence (WI 2010), Toronto, Canada, pp.196-199 (2010.9)

[22] Francisco Tacoa, Hiroshi Uchida and Mitsuru Ishizuka: A Word Sense Disambiguation Approach for Converting Natural Language Text into a Common Semantic Description, Proc. IEEE 4th Int'l Conf. on Semantic Computing (ICSC-2010), Pittsburgh, USA, pp.478-486 (2010.9)

[23] Hugo Hernault, Danushka Bollegala and Mitsuru Ishizuka: Towards Semi-Supervised Classification of Discourse Relations using Feature Correlations, Proc. SIGDIAL 2010 Conf., Tokyo, Japan, pp.55-58 (2010.9)

[24] Hugo Hernault, Danushka Bollegala and Mitsuru Ishizuka: A Semi-Supervised Approach to Improve Classification of Infrequent Discourse Relations using Feature Vector Extension, Proc. 2010 Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2010), MIT, MA, USA, pp.399-409 (2010.10)

[25] Haibo Li, Yutaka Matsuo and Mitsuru Ishizuka: Semantic Relation Extraction Based on Semi-supervised Learning, Information Retrieval Technology (Proc. 6th Asia Information Retrieval Soc. Conf. (AIRS 2010) (P. J. Cheng, M-Y. Kan, W. Lam and P. Nakov (eds.), Taipei, Taiwan), Springer, LNCS 6458, pp.270-279 (2010.12)

[26] Hugo Hernault, Danushka Bollegala and Mitsuru Ihsizuka: Semi-supervised Discourse Relation Classification with Structual Learning, Computational Linguistics and Intelligent Text Processing (Proc. CICLing 2011, Tokyo, Part I) (A. Gelbulkh (ed.)), Springer, LNCS 6608, pp.340-352 (2011.2)

[27] Haibo Li, Danushka Bollegala, Yutaka Matsuo and Mitsuru Ishizuka: Using Graph Based Method to Improve Bootstrapping Relation Extraction, Computational Linguistics and Intelligent Text Processing (Proc. CICLing 2011, Tokyo, Part II) (A. Gelbulkh (ed.)), Springer, LNCS 6609, pp.127-138 (2011.2)

[28] Danushka Bollegala, Yutaka Matsuo and Mitsuru Ishizuka: From Actors, Ploticians, to CEOs: Domain Adaptation of Relational Extractors Using a Relational Mapping (poster paper), Proc.(companion ver.) 20th Int'l

World Wide Web Conf. (WWW2011), Hyderabad, India, pp.13-14 (2011.3)

シンポジウム・研究会・大会等発表

[29] 高山智史, 石塚 満, 内田裕士: 概念グラフマッチングによる自然言語テキストの意味的検索，電子情報通信学会・信学技報「人工知能と知識処理」，vol.110, no. 172, AI2010-14, pp. 25-29 (2010.8)

[30] Kiyohiro Yamaguchi, Nozomi Nori: Web 上のデータをグラフとして統一的に扱うフレームワーク (Translated title: A Framework to deal with data on the Web as Graph), 43rd Computer Science Young Community, by Programming Symposium Information Processing Society (情報処理学会・43 回情報科学若手の会). (2010.09)

[31] ボレガラ ダヌシカ，石塚 満：Relation Extraction using Relational Duality，人工知能学会全国大会予稿，No.3D2-2 (2010.6)

[32] 高山智史，石塚 満，内田裕士：概念グラフマッチングによる自然言語テキストの意味検索，人工知能学会全国大会予稿，No.3D1-3 (2010.6)

[33] 李 海博, 松尾 豊, 石塚 満: Dually Extract Semantic from the Web，人工知能学会全国大会予稿，No.1A4-4 (2010.6)

[34] グェン トアン ドゥク，ボレガラ ダヌシカ，石塚 満：高速・高精度ウェブ滞在関係検索エンジンの索引作成と関係表現手法（全国大会優秀賞），人工知能学会全国大会予稿，No.1D1-4 (2010.6) [人工知能学会全国大会優秀賞]

[35] Tacoa Francisco, Hiroshi Uchida, Mitsuru Ishizuka: A Word Sense Disambiguation Approach for the Conversion of NL Text to Concept Description, 人工知能学会全国大会予稿，No.2C3-4 (2010.6)

[36] 谷 直紀，ボレガラ ダヌシカ，石塚 満：属性の相互関係を利用した Web からの属性抽出，人工知能学会全国大会予稿，No.2C2-2 (2010.6)

[37] 後藤友和，グェン トアン ドゥク，ボレガラ ダヌシカ，石塚 満：滞在関係検索の対称性および相補語の期待性を用いたスコアに基づくランキング法，人工知能学会全国大会予稿，No.3D1-1 (2010.6)

[38] 井口宜久，石塚 満：概念辞書を利用した日本語テキストのエンティティ間の意味役割分類，第 9 回情報科学技術フォーラム (FIT2010) 予稿集，福岡，No.E-034 (2010.9)

[39] Tuan Duc Nguyen，Bollegala Danushka，石塚 満： 言語横断型の関係類似性を利用する潜在関係検索，情報処理学会全国大会, No.1D-6 (2011.3)

[40] 後藤友和，Nguyen Tuan Duc，Danushka Bollegala，石塚 満: 関係の対称性を用いた Relational Search の精度向上法, 情報処理学会全国大会, No.1N-2 (2011.3)

[41] 谷 直紀，ボレガラ ダヌシカ，石塚 満： 相互関係を利用した属性抽出手法，情報処理学会全国大会, No.6S-4 (2011.3) [谷 直紀:情報処理学会全国大会学生奨励賞受賞]

[42] 井口宜久，石塚 満，内田裕士： 日本語テキスト CDL 化のためのエンティティ間関係の判別，3S-8 (2011.3)

[43] 伊藤直貴，Hugo Hernault，石塚 満： WordNet を用いた機械学習による談話構造解析，情報処理学会全国大会, No.4S-3 (2011.3)

[44] 竹澤友博，松尾 豊，石塚 満： ウェブ上での言及と実体の同一性判定, 情報処理学会全国大会, No.5S-5 (2011.3)

[45] 則のぞみ，ボレガラ ダヌシカ，石塚 満： 複数のドメイン, 複数の関係を含むSocial Media におけるユーザーの興味の予測 (Interest prediction in multi-domain, multi-relational social media), 情報処理学会全国大会, No.6J-2 (2011.3)

[46] 河崎 翔，ドゥク グェントアン，ダヌシカ ボレガラ，石塚 満： Web を利用したエンティティペア集合の代表的関係名抽出，情報処理学会全国大会，No.6S-7 (2011.3)

[47] 稲垣隆史，Danushka Bollegala，石塚 満： Sequential Co-clustering を用いた行列近似手法とその定量的分析，情報処理学会全国大会, No.2D-4 (2011.3)

[48] 岡島周作，土肥 浩，石塚 満： 三次元仮想空間でのアバタコミュニケーションを支援するジェスチャの自動生成, 情報処理学会全国大会, No.3Q-7 (2011.3)

[49] Danushka Bollegala, Yutaka Matsuo and Mitsuru Ishizuka: Relation Adaptation: Domain Adaptation of Relation Extraction System, 言語処理学会第 17 回年次大会，No.C3-4 (2011.3)

その他

[50] 石塚満： Googleの破壊的創造力の内側を垣間見る，Japio Year Book 2010, pp.76-85 (2010.11)

[51] ボッレーガラ ダヌシカ，石塚満：「テキストコーパスにおける２つのエンティティ間の関係抽出方法及び装置」， 特許出願2010-096551, 2010年4月20日

広瀬・峯松研究室
Hirose and Minematsu Laboratory

(http://www.gavo.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 柔軟な音声合成のための韻律制御

広瀬啓吉・峯松信明・汪淼淼・温苗苗・小林俊平・橋本浩称・川口拓也・柏木陽佑・Oraphan Krityakien

Control of Prosody for Flexible Speech Synthesis

K. Hirose, N. Minematsu, M. Wang, M. Wen, S. Kobayashi, H. Hashimoto, T. Kawaguchi, Y. Kashiwagi, and O. Krityakien

種々の発話スタイル・声質が可能な柔軟な音声合成について、主に韻律の観点から研究を進めている。基本周波数パターン生成過程モデルの枠組みでコーパスベース韻律制御手法を開発し、HMM 音声合成と統合したシステムを構築した。このシステムをベースとして、少量の音声コーパスを用いた学習でモデルの指令の大きさを変更することにより、焦点制御、発話スタイル変換を行う手法を開発した。また、同様の手法により韻律変換を行い、GMM による分節的特徴の表現と組み合わせた話者変換手法を開発した。HMM 音声合成で生成される基本周波数パターンをモデルで表現する手法と組み合わせ、種々の発話スタイル・声質の音声合成を行う手法などの開発を進めている。さらに、中国語に関しては、音節の中で安定した基本周波数パターンを有する声調核に着目して韻律制御・変換を行う手法を開発した。関連して、観測される音声の基本周波数パターンから生成過程モデルパラメータを自動抽出する手法の開発を日本語と中国語について行った。また、テキストからの音声合成で特に重要な、アクセント変形の統計的規則化についても研究を進め、従来よりも見通しの良い規則を開発した。

Researches are being conducted to realize “flexible” speech synthesis, where various speaking styles and voice qualities are possible, with a special focus on prosody. A corpus-based method was developed to control F0 contours of speech in the framework of generation process model, and a speech synthesis system has been constructed by combining this method with HMM-based speech synthesis. Using this system, and by modifying the magnitudes/amplitudes of the model commands through a training using a small-sized “additional” corpus, control of prosodic focus and conversion of speaking styles were realized. Speaker conversion was also realized by converting prosodic features in a similar way. GMM-based conversion was adopted for segmental feature conversion. We are now trying to combine the method with a scheme, where F0 contours generated by the HMM-based speech synthesis are represented in the frame work of the generation process model, to develop methods for realizing synthetic speech with various speaking styles and/or voice quality. Furthermore, a method for prosody control and conversion was developed for Mandarin by focusing only on tone nucleus parts (showing stable features) of syllable F0 contours. As a part of these works, methods of automatically extracting model parameters from observed F0 contours were developed for Japanese and Chinese. Rules of word accent sandhi, indispensable for text to speech conversion, were also investigated using a large text corpus with accurate accent labeling, and a CRF-based module for predicting the accent sandhi was developed with increased consistency as compared to former modules.

2. HMM 音声合成における韻律制御の高度化

広瀬啓吉・峯松信明・汪淼淼・温苗苗

Improving Prosodic Control in HMM-Based Speech Synthesis

K. Hirose, N. Minematsu, M. Wang, and M. Wen

柔軟な音声合成として HMM 音声合成の研究が盛んに行われているが、そのフレーム単位での韻律表現には問題がある。これを、生成過程モデルの枠組みで解決することを進めている。まず、HMM 音声合成で生成した基本周波数パターンを生成過程モデルにあてはめ、言語情報に対応しない動きを制御する手法を開発し、その効果を確認した。また、中国語で特に問題となる、学習コーパスの有声/無声の誤りを、生成過程モデルによる補間で解消する手法を開発した。さらに、テキストの自動処理によって得られる高次の言語情報を用いたコーパスベース時間長制御等を開発し、その有効性を確認した。

HMM-based speech synthesis has attracted special concern among researchers for its ability of realizing flexible speech synthesis. However, it has an inherent problem in its frame-based control of prosodic features. Several researches have been conducted to solve this problem using generation process model of F0 contours. A method was developed to suppress local movements in F0 contours, which do not correspond to any linguistic information of the text. The method is to find a model approximation to F0 contours, which are generated by the HMM-based speech synthesis. Errors in voiced/unvoiced decision for the training corpus cause degradation of synthetic speech in HMM-based speech synthesis. A method is developed to cope with this issue by interpolating F0 contours by the model. Research was also conducted for duration control, where higher order linguistic information, automatically extracted by parsers, was used for phone duration prediction.

3. 高頑健性音声情報処理

峯松信明・広瀬啓吉・鈴木雅之・千々岩圭吾・清水信哉・甲斐常信

High-Robustness Speech Information Processing

N. Minematsu, K. Hirose, M. Suzuki, K. Chijiiwa, S. Shimuzu, and T. Kai

音声は話者，年齢，収録時に使われる音響機器によってその音響的特性が異なってくる。更には背景雑音などの影響により SN 比も低くなることが多い。前者，後者の場合に対して異なる手法を提案しており，また，その融合を検討している。前者のような非言語的な音響歪みに対しては，この影響を除いた上で音声を表象する方法を提案しており（音声の構造的表象），これに基づく音声認識を検討している。従来の音響モデルは音色をモデル化していたが，本研究では音色のコントラストをモデル化対象としている。既に，母音のみから構成される擬似単語群に対する単語認識精度では，ミスマッチ問題を完全に解決できることを実験的に示している。現在，子音までを含めた通常の単語認識のタスクにおいて種々の問題解決を図るべく研究を進めている。後者の背景雑音に対する対処法としては，声質変換の方法を応用した SPLICE （ Stereo Piecewise LInear Compensation for Environment）法の高精度化を検討している。この方法では，声質変換技術を用いて雑音音声特徴をクリーン音声特徴に変換した上で音声認識を行なう。未知なる環境においても，この SPLICE が適用できるよう，その頑健性向上を検討している。

Acoustic features in speech are easily and inevitably modified by non-linguistic factors, such as age, gender, microphone etc. Further, background noise is often added to speech signals and SNR can be easily degraded. For these two cases, different approaches are proposed and their integration is being investigated. For the former problem, a novel speech representation was proposed called structural representation of speech, where the modification caused by the differences in age, gender, microphone, etc is effectively removed from speech acoustics. Conventional acoustic modeling of speech focused on speech timbre but our approach focuses only on timbre contrasts. Isolated word recognition experiments, where words were defined artificially as vowel sequences, showed that the proposed method can completely solve this problem. Currently, we're doing some recognition experiments with a phoneme-balanced word set, including consonant sounds. For the latter problem, we propose a method to improve SPLICE-based noise cancelation technique. In SPLICE, noisy speech features are converted to clean speech features, which are used in automatic speech recognition processes. Currently, we are modifying the conventional SPLICE so that it can deal with unknown kind of noisy environments effectively.

4. WFST を用いた大規模連続音声認識

峯松信明・広瀬啓吉・Josef Novak

WFST-based large vocabulary speech recognition

N. Minematsu, K. Hirose, and J. Novak

大語彙連続音声認識は，音響モデル，言語モデル，発音辞書，デコーダーというモジュールを組み合わせるとこで構成することが多い。この場合，個々のモジュールが単体として高い性能を持っていたとしても，システム全体として必ずしも高い性能を示す訳では無い。システム全体としての最適化を行う必要があるが，その場合，個々のモジュールの構築方法（実現方法）が異なると，最適化が部分的にしか行えないという問題が生じる。WFST(Weighted Finite State Transducer)は，状態遷移を通してシーケンスデータの変換を行う非常に柔軟な枠組みであるが，これを用いると上記した各種モデル及び辞書を，共通の枠組みで記述することが可能となる。その結果，システム全体としての最適化が容易になる。本研究では，この WFST による音声認識を基盤として，そのメモリー消費量の削減や，動的な WFST 構成の制御などを検討し，よりコンパクトかつ高精度な WFST に基づく音声認識の実現を目指す。と同時に，音声認識以外の WFST 応用（例えば書記素音素変換）についても検討している。

Large-vocabulary speech recognition systems are composed of several modules such as acoustic model, language model, pronunciation lexicon, and decoder. Even though each module shows a high performance in itself, an integrated system of these modules does not necessarily show a good performance. What is important is to optimize the integrated system as a whole but this is difficult because each module is often built based on a different framework. WFST (Weighted Finite State Transducer) is a transducer of input sequence to another (output) sequence through state transition and it has a very high flexibility of modeling any sequential data. With WFST, the four modules, including the dictionary, can be represented in WFST framework and then, it becomes possible to optimize the integrated system as a whole. In this study, performance improvement of WFST-based speech recognition is aimed at by introducing dynamic control of WFST networks and more efficient use of memory. Further, we are also trying to apply WFST to another task such as grapheme-to-phoneme conversion.

5. ユーザフレンドリな音声対話システム

峯松信明・広瀬啓吉・盧迪

Development of User-friendly Spoken Dialogue Systems

N. Minematsu, K. Hirose, and D. Lu

音声認識，音声合成などの技術を応用し，ユーザフレンドリな音声対話システムを構築している。従来の対話システムの場合, ユーザー発話の音声認識結果を待って，対話モジュールが駆動するシステム構成が多いが，本研究では，ユーザー発話の途中であっても適切な応答を返すことができるシステム構築を目指している。発話途中で応答する場合，ユーザー発話に対して不適切な応答を返す可能性もある。即ち，応答の適切さと応答の迅速さとはトレードオフの関係にある。これをユーザーとシステムの間において強化学習プロセスを走らせることにより，両者のインタラクションを通して，適切さと迅速さ

の最適な統合について検討している。

Development of spoken dialogue systems has been conducted by applying speech recognition, speech synthesis and dialogue management technologies. The dialogue module in conventional systems often waits until the automatic recognition process is completed and starts analyzing the recognition result to generate adequate responses. Currently, we're developing a system that can generate responses without waiting for the completion of the recognition process. In this case, however, the responses are not always adequate because promptness and adequacy of responses have a trade-off relation. To have a machine learn a good relation between promptness and adequacy of the machine's responses, we introduce a framework of enforced learning and through interactions between a user and the machine, a good balance between the two factors is achieved.

6. 外国語・方言を対象とした音声応用システム

峯松信明・広瀬啓吉・鈴木雅之・Greg Short・趙童僕・加藤集平・王程碩

Development of Language Learning CAI Systems Using Speech Technologies

N. Minematsu, K. Hirose, M. Suzuki, G. Short, T. Zhao, S. Kato, and T. Ou.

音声分析，認識，合成技術を利用し，外国語学習者の「なまった」発音を自動的に検出して発音矯正のための指示を与える高度な計算機支援による語学学習システムの開発を進めている。例えば (1)シャドーイング音声の自動評定とそれに基づく TOEIC スコアの予測，(2)学習者の発音の状態の移り変わりをカルテとして保存，記録する技術，(3)学習者が指定したモデル話者と比較し，発音のどの部位から矯正するのかを特定する技術，(4)学習者の年齢や性別に依存しない形で学習者を分類する技術，(5)学習者の動機付けを高めるユーザーインタフェース，(6)留学生の日本語音声から単語アクセント型を同定する技術，(7)教師音声の韻律的特徴を学習者音声にコピーすることで，学習者自身の音声で教示音声を提示する技術，の構築について検討している。また，これらシステム開発に必要な大規模音声データベースの作成も行ない，コーパスに基づく日本人英語音声の分析なども行なっている。また，発音分類の応用として，方言性に基づく中国語話者分類も検討している。

Advanced computer aided language learning systems have been developed, in which accented pronunciation in foreign language learners is automatically detected with instructions for its correction using speech analysis, recognition and synthesis techniques. Several systems and modules were already developed, including: (1) automatic assessment of a leaner's shadowed utterances and its use for automatic prediction of TOEIC score of that learner (2) logging a history of pronunciation development of individual learners, i.e. pronunciation portfolio (3) automatic clarification of which part of pronunciation should be corrected at first for individual learners based on comparison between each learner and a model speaker (4) automatic classification of learners' pronunciations irrespective of gender and age (5) creation of very motivating user-interfaces for CAI systems, (6) automatic identification of accent types in foreign students' pronunciation of Japanese words, (7) automatic generation of corrected utterances of a learner by copying prosodic features of a teacher's utterance into those of that learner's. To build CAI systems, a large speech database of non-native speech is required. A project of collecting non-native speech is also carried out. Using this database, error analysis of non-native speakers' pronunciation, Japanese-English is conducted. Recently, dialect-based Chinese speaker clustering has been conducted, where speakers are automatically classified according to their dialects irrespective of their gender and age.

7. 音声に内在する音響的不変構造とその拡張

峯松信明・広瀬啓吉・鈴木雅之・清水信哉・趙童牧

The Acoustic Universal Structure in Speech and its Extension

N. Minematsu, K. Hirose, M. Suzuki, S. Shimizu, and T. Zhao

音声工学は音響音声学を基盤として構築されている。音声表象としてスペクトルが用いられるが，スペクトルには，言語・パラ言語・非言語情報全てが混入する。音声認識のように音声の言語情報のみを対象とする場合には不都合な表象となる。本研究では，音声に内在する非言語情報を表現する次元を消失する形で定義される音声の物理表象を提案している（音声の音響的不変構造）。これは，構造音韻論と呼ばれる言語学の一分野を物理学として捉え直し，その上に技術構築を行なう試みである。音響事象を確率論的に分布として捉え，分布間の距離を情報論的に計算し，最終的に分布群を構造論的に捉える。距離尺度として f-div. を用いると，可逆変換で対応付けされた二つの空間において f-div. は不変であるため，音声を写像不変量のみで表象することになる。年齢や性別による音声の変化は，音響的には空間写像で表現でき，その結果，これらの要因に一切不変な表象となる。この不変構造の抽出を，言語獲得プロセスの一側面と捉えたり，言語進化プロセスの一側面ととらえた理論研究も行なっている。逆に不変構造の抽出に困難を抱えることが，言語発達を遅らせると考え，自閉症者の情報処理モデルも検討している。

Speech engineering is built based on acoustic phonetics, where speech is often represented by spectrogram. Spectrogram shows every aspect of speech: linguistic, para-linguistic, and non-linguistic. It means that spectrogram is noisy representation of speech recognition because the non-linguistic information is completely irrelevant for it. In this study, a new representation of speech is proposed, where

the non-linguistic aspects of speech are well removed from speech acoustics. This new representation is called acoustic invariant structure of speech. In a sense, speech is represented on the framework of structural phonology and, based on it, new speech technologies are being developed. Speech events are captured as distributions and distance between each event pair is calculated as f-divergence and a set of events is treated as distance matrix, i.e. geometrical shape or structure. f-div. is proved to be invariant with any convertible and differentiable transform. Since non-linguistic difference can be modeled as feature space transformation, the structural representation of speech is invariant w.r.t. any non-linguistic change. In this study, this invariant speech structure and its extraction process are associated with different research fields such as developmental psychology, developmental disorder, and language evolution and theoretical works are being run.

8. 手の動きからの音声合成

峯松信明・広瀬啓吉・國越晶

Conversion of hand motions to speech motions

N. Minematsu, K. Hirose, and K. Kunikoshi

構音障害者支援を目的として，調音器官以外の運動器官を使った音声合成を検討している。通常，咽頭／喉頭／舌などの調音器官の運動によって，口腔の形状変化が起こり，それが音色を変化させることになる。即ち，身体運動によって音色が変わる訳である。例えば，手の動きに対して，それが音色空間の各点に対応するような写像を準備しておけば，任意の手の動きに対応した音色の動き（即ち音声）が生成されることになる。この技術は，異メディア間の空間写像を実装すれば実現されるが，これを，ガウス混合分布を用いて実装し，データグローブの動きに応じて動きを伴った共鳴音が生成される音声合成器（一種の楽器）を構築した。従来のテキスト音声変換技術を異なり，身体運動というアナログ量を入力する点が大きく異なる。

To support the handicapped, especially for individuals with articulation disorders, a special device for speech synthesis is being developed. Normal speakers can generate speech (dynamic change of timbre) by controlling articulatory organs, such as tongue, larynx, pharynx, etc. This fact indicates that physical motions are converted into timbre motions. We're developing a device that can convert hand motions into timbre motions. This device can be realized by mapping a space of hand motions and that of timbre motions. In our study, GMM-based space mapping is used for that. Currently, we've made a tentative device that converts the motions of a data-glove into speech. This is considered as a kind of musical instrument. Unlike conventional speech synthesizers, the developed synthesizer takes analogue motion signals as input and generates speech motions as output.

9. 声の話者性に関する変換モデルの構築

峯松信明・広瀬啓吉・Teeraphon Pongkittiphan

Mathematical analysis of speech acoustics to extract speaker's individuality

N. Minematsu, K. Hirose, and T. Pongkittiphan

音声の持つ話者性に着眼し，この側面だけを変形する技術を話者変換技術と呼ぶ。言語メッセージは換えずに，話者性だけを制御する。元話者 A の音響空間と目的話者 B の音響空間を写像で結びつけ，A の声を B 化することになる。通常，特定の個人の声に変換することが多いが，ここでは，同一人物のある声色 A からある声色 B への空間写像を別話者 C に応用し，話者 C'の声を作ることを考える。例えば，女声と子供の声を出せる声優の声の間で写像を考え，それを任意の成人話者に応用することで，その成人が出す子供声を作りだす訳である。従来の声質変換は，特定の話者への変換であったが，ここでは，変換先の声色を特定せず，同一話者内での声色変化の様子を，元話者非依存にモデル化し，他話者へと応用する。

Speaker conversion is a technique that can change an utterance into another utterance with speaker identity changed and spoken content unchanged. Here, voice space of speaker A and voice space of speaker B are mapped using a transform function and any utterance of speaker A is transformed into that of speaker B. In this study, by recording utterances of two characters spoken by a single speaker, a transform function is estimated between the two characters and applied to another speaker C. For example, voices of a female woman and those of a girl are recorded from a voice actress and the obtained function is applied to another speaker, who may be male, to generate the voices of a boy. This approach is different from the conventional speaker conversion research in that the target of learning is not a conversion function into a specific speaker but the target conversion function should be independent of any specific speaker.

10. 高調波位相関係に着目した信号の振幅低減

広瀬啓吉・峯松信明・砂田宜宏

Reduction of dynamic ranges of signals through controlling phase relations between harmonics

K. Hirose, N. Minematsu, and N. Sunada

信号のハーモニクスの位相関係を制御することにより、音質を保ったまま、最大振幅を低減する手法の開発を進めている。知覚実験により、音質に影響を与えにくい、位相関係を明らかにし、それを効率的に探索するための手法を開発した。Automatic Gain Control との組み合わせなどを検討している。この他、データ適応型の信号解析手法である Empirical Mode Decomposition (EMD) を用いた信号処理の研究も進めており、マイクロフォンの数が音源の数より少ない劣条件下での音源の特徴に関する事前知識の無いブラインド音源分離手法の開発、ピッチの高精度抽出、有声/無声の判定の高度化、医療信号の

解析、等を進めている。

A method has been developed for reducing dynamic ranges of waveforms keeping their sound/voice quality unchanged. The method is based on changing relation of phrases of harmonics of the signal. Relation of phases, which is less affective to sound/voice quality, was clarified through a perceptual experiment, and a method was developed to search the relation effectively. Ways for combining the method with conventional methods, such as automatic gain control, are investigated. Also, we are focusing on a data-adaptive technique for signal analysis, called empirical mode decomposition (EMD). It can analyze signals without any bases. It leads to a benefit of data adaptability, but in turn causes a problem know as mode mixing. Ensemble EMD, which adds noises before analysis and suppresses them after analysis, can solve the problem. By using pair of white noises with inverse phases, we realized a facilitated process of Ensemble EMD. We are applying EMD for; Source separation in severe conditions (when number of sources is larger than their mixtures, and when no priori information is available on the sources), high-precision pitch extraction, robust v/u detection, and medical applications.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Y. Qiao, N. Minematsu, "A study on invariance of f-divergence and its application to speech recognition,"IEEE Trans. on Signal Processing, vol.58, no.7, pp.3884-3890 (2010-7)

[2] N. Sunada, T. Matsuda, K. Hirose, and N. Minematsu, "Use of paired white noises with inverse phases in ensemble empirical mode decomposition," Journal of Signal Processing, vol.14, no.4, pp.277-280 (2010-7)

[3] T. Matsuda, K. Hirose, and N. Minematsu, "HMM-based synthesis of fundamental frequency contours using the generation process model," Journal of Signal Processing, vol.14, no.4, pp.281-284 (2010-7)

[4] N. Minematsu, Y. Qiao, S. Asakawa, M. Suzuki, "Speech structure and its application to robust speech processing," Journal of New Generation Computing, vol.28, no.3, pp.299-319 (2010-8)

[5] Md. K. Molla and K. Hirose, "Hilbert spectrum in time-frequency representation of audio signals considering disjoint orthogonality," Advances in Adaptive Data Analysis, World Scientific, Vol.2, No.3, pp.313 -336 (2010-8).

[6] Y. Kosugi and K. Hirose, "A system for detecting extraordinary sounds from transformers in electric power facility surveillance," Journal of Signal Processing, Vol.14, No.5, pp.387-396 (2010-9).

[7] J. Dang, A. Li, D. Erickson, A. Suemitsu, M. Akagi, K. Sakuraba, N. Minematsu, K. Hirose, "Comparison of emotion perceptions among different cultures," Journal of Acoustic Science and Technology, vol.31, no.6, pp.394-402 (2010-11)

[8] S. Das, M. Hamid, K. Hirose, Md. K. Molla, "Single-channel speech enhancement by NWNS and EMD," Signal Processing: An International Journal (SPIJ), Vol.4, No.5, pp.279-291 (2010-12).

[9] 峯松信明, 櫻庭京子, 西村多寿子, 喬宇, 朝川智, 鈴木雅之, 齋藤大輔, ″音声に含まれる言語的情報を非言語的情報から音響的に分離して抽出する手法の提案　～人間らしい音声情報処理の実現に向けた一検討～″, 電子情報通信学会論文誌, vol. J94-D, no. 1, pp. 12-26 (2011-1, 招待論文)

[10] D. Luo, Y. Qiao, N. Minematsu, and K. Hirose, "Regularized maximum likelihood linear regression adaptation for computer-assisted language learning systems," IEICE Trans. Inf. & Syst. vol.E94-D, no.2, pp.308-316 (2011-2)

[11] 峯松信明, ″グローバル時代における英語発音とその科学的な分析方法″, 大学英語教育学会関東支部学会誌, No.7, pp.5-14 (2011-3)

国際会議論文

[12] N. Minematsu, "A modulation-demodulation model of speech communication," Proc. Int. Conf. Speech Prosody, CD-ROM (2010-5)

[13] K. Ochi, K. Hirose, and N. Minematsu, "Realization of prosodic focuses in corpus-based generation of fundamental frequency contours of Japanaese based on the generation process model," Proc. Int. Conf. Speech Prosody, CD-ROM (2010-5)

[14] M. Wang, K. Hirose, and N. Minematsu, "Generation of fundamental frequency contours of Mandarin in HMM-based speech synthesis using generation process model," Proc. Int. Conf. Speech Prosody, CD-ROM (2010-5)

[15] M. Shaikh, A. Rebordao and K. Hirose, "Improving TTS synthesis for emotional expressivity by a prosodic parameterization of affect based on linguistic analysis," Proc. Int. Conf. Speech Prosody, CD-ROM, 4 pages in CD-ROM Proceedings (2010-5).

[16] S. Roy, Md. K. Molla, K. Hirose, and Md. K. Hasan, "Pitch estimation of noisy speech signals using EMD-Fourier based hybrid algorithm," Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2010), pp.2658-2261 (2010-6).

[17] Md. R. Islam, S. Ahmad, K. Hirose, and Md. K. Molla, "Data adaptive analysis of ECG signals for cardiovascular disease diagnosis," Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2010), pp.2243-2246 (2010-6).

[18] K. Hirose, K. Ochi, M. Wang, T. Matsuda, M. Wen, and N. Minematsu, "Using F0 contour generation process model for improved and flexible control of prosodic features in HMM-based speech synthesis," Proc. Int. Conf. on Electronic Speech Signal Processing, pp.84-93 (2010-9)

[19] N. Minematsu, "Human speech model based on information separation -- collection or separation, that is the question. --," Proc. Int. Conf. on Electronic Speech Signal Processing, pp.273-280 (2010-9)

[20] G. Short, K. Hirose, and N. Minematsu, "Pitch pattern recognition of isolated words for the development of a Japanese language CALL system," Proc. Int. Conf. on Electronic Speech Signal Processing, pp.304-311 (2010-9)

[21] D. Luo, Y. Yamauchi, and N. Minematsu, "Speech analysis for automatic evaluation of shadowing," Proc. Int. Workshop on Second Language Studies, CD-ROM (2010-9)

[22] M. Suzuki, Y. Qiao, N. Minematsu, and K. Hirose, "Pronunciation proficiency estimation based on multilayer regression analysis using speaker-independent strucural features," Proc. Int. Workshop on Second Language Studies, CD-ROM (2010-9)

[23] D. Luo, Y. Yamauchi, and N. Minematsu, "Development of an automatic evaluation system of ESL/EFL learners' skills of shadowing," Proc. Int. Workshop on Second Language Studies, Demonstration session (2010-9)

[24] X. Ma and N. Minematsu, "Dialect (regional accent)-based speaker classification of Chinese," Proc. Int. Workshop on Second Language Studies, Demonstration session (2010-9)

[25] M. Suzuki and N. Minematsu, "Pronunciation assessment system using structural features," Proc. Int. Workshop on Second Language Studies, Demonstration session (2010-9)

[26] H. Mixdorff, R. Hayashi, Y. Yamada-Bochynek, K. Hirose, and H. Fujisaki, "German learners of Japanese - Perceptual and prosodic analysis of utterances from a meditative setting," Proc. Int. Workshop on Second Language Studies, 4pages in CD-ROM Proceedings (2010-9)

[27] Michiko Watanabe, Youichi Tokioka, and Keikichi Hirose, "Development of a system to assist simultaneous interpretation and shadowing," Proc. Int. Workshop on Second Language Studies, 4pages in CD-ROM Proceedings (2010-9)

[28] M. Wang, M. Wen, D. Saito, N. Minematsu, and K. Hirose, "Improved generation of prosodic features in HMM-based Mandarin speech synthesis," Proc. ISCA Speech Synthesis Workshop, pp.359-364 (2010-9)

[29] M. Wang, M. Wen, K. Hirose, and N. Minematsu, "Improved generation of fundamental frequency in HMM-based speech synthesis using generation process model," Proc. INTERSPEECH, pp.2166-2169 (2010-9)

[30] M. Wen, M. Wang, K. Hirose, and N. Minematsu, "Improving Mandarin segmental duration prediction with automatically extracted syntactic information," Proc. INTERSPEECH, pp.2178-2181 (2010-9)

[31] M. Suzuki, Y. Qiao, N. Minematsu, and K. Hirose, "Integration of multilayer regression with structure-based pronunciation assessment," Proc. INTERSPEECH, pp.586-589 (2010-9)

[32] D. Luo, Y. Qiao, N. Minematsu, Y. Yamauchi, and K. Hirose, "Regularized-MLLR speaker adaptation for computer-aided language learning system," Proc. INTERSPEECH, pp.594-597 (2010-9)

[33] D. Saito, S. Watanabe, A. Nakamura, and N. Minematsu, "Probabilistic unification of joint density model and speaker model for voice conversion," Proc. INTERSPEECH, pp.1728-1731 (2010-9)

[34] M. Shaikh, A. Rebordão, and K. Hirose, "Affective story teller: A TTS system for emotional expressivity," Proc. INTERSPEECH, pp.518-521 (2010-9).

[35] S. Das Mandal, A. Saha, T. Basu, H. Fujisaki, and K. Hirose, " Modeling of intra-sentence pauses in Bangla readout speech: Occurrences and duration," Proc. INTERSPEECH , pp.1764-1767 (2010-9).

[36] T. Matsuda, K. Hirose, and N. Minematsu, "Control of fundamental frequency contours using the generation process model in HMM-based speech synthesis," Proc. Int. Conf. on Signal Processing, pp.617-620 (2010-10)

[37] N. Minematsu, D. Saito, and K. Hirose, "Improved generation of speech from its abstract and structural representation," Proc. Int. Conf. on Signal Processing, pp.597-600 (2010-10)

[38] M. Wang, M. Wen, K. Hirose, and N. Minematsu, "A new method for F0 tracking errors fix and generation in HMM-based Mandarin speech synthesis using generation process model," Proc. Int. Conf. on Signal Processing, pp.609-612 (2010-10)

[39] M. Wen, M. Wang, K. Hirose, and N. Minematsu, "Improved Mandarin segmental duration prediction with automatically estimated grammatical features," Proc. Int. Conf. on Signal Processing, pp.621-624 (2010-10)

[40] K. Hirose, K. Ochi, and N. Minematsu, "Control of prosodic focus in corpus-based generation of fundamental frequency contours based on the generation process model," Proc. Int. Conf. on Signal Processing, pp.629-632 (2010-10)

[41] N. Minematsu, "Speech structure: truly speaker-independent acoustic modeling of speech," Proc. China-Japan Symposium on Natural Language Processing (2010-11)

[42] S. Greg, K. Hirose, T. Yamada, N. Minematsu, N. Kitawakai, and S. Makino, "Mora pitch level recognition for the development of a Japanese pitch accent acquisition system," Proc. Oriental COCOSDA 6 pages in CD-ROM proceedings (2010-11)

[43] S. Das Mandal, A. Warsi, T. Basu, K. Hirose, H. Fujisaki, "Analysis and Synthesis of F0 Contours for Bangla Readout Speech," Proc. Oriental COCOSDA, 6 pages in CD-ROM proceedings (2010-11).

[44] M. Wang, M. Wen, K. Hirose, and N. Minematsu, "A method for modeling and generating Mandarin tone contour with phrase intonation based on the generation process model," Proc. Int. Symposium on Chinese Spoken Language Processing, pp.153-158 (2010-12)

[45] N. Minematsu, "Human speech model based on information separation and its application to speech processing," Proc. Int. Symposium on Chinese Spoken Language Processing, pp.477-482 (2010-12)

[46] X. Ma, R. Xu, N. Minematsu, Y. Qiao, K. Hirose, and A. Li, "Dialect-based speaker classification using speaker-invariant dialect features," Proc. Int. Symposium on Chinese Spoken Language Processing, pp.171-176 (2010-12)

[47] M. Wang, K. Hirose, N. Minematsu, "Improvement of prosody in HMM-based speech synthesis using generation process model," Proc. Int. Workshop on Nonlinear Circuits, Communication and Signal Processing (NCSP'2011), pp.388-391 (2011-3)

[48] T. Matsuda, K. Hirose, and N. Minematsu, "Quality improvement by SIFT in HMM-based F0 contour synthesis using generation process model," Proc. Int. Workshop on Nonlinear Circuits, Communication and Signal Processing (NCSP'2011), pp.396-399 (2011-3)

著書

[49] Name N. Minematsu, "Development of ERJ (English Read by Japanese) database for CALL research", in Computer processing of Asian spoken languages, edited by S. Itahashi and C. Tseng, pp.151-154, Consideration Books (2010-5)

[50] Keikichi Hirose, “Prosodic corpora based on F_0 contour generation model and automatic extraction of model parameters,” in Computer Processing of Asian Spoken languages, Edited by S. Itahashi and C.u Tseng, Consideration Books, pp.180-183 (2010-3).

シンポジウム・研究会・大会等発表

[51] 清水信哉，鈴木雅之，齋藤大輔，峯松信明，廣瀬啓吉，″用法の違いを考慮した類似単語の置換による学習データ生成とそれを用いた主題の違いに頑健な言語モデルの構築″，情報処理学会音声言語情報処理研究会，SLP81-9，pp. 1-6（2010-5）

[52] 峯松信明，″音色の変復調を通して考える音声コミュニケーション″，電子情報通信学会思考と言語研究会資料，TL2010-9，pp. 45-50（2010-5）

[53] 松田徹也，広瀬敬吉，峯松信明，″生成過程モデルを用いたHMMに基づく基本周波数パターン生成″，
電子情報通信学会音声研究会資料，SP2010-34，pp. 73-78（2010-6）

[54] 清水信哉，齋藤大輔，鈴木雅之，峯松信明，広瀬敬吉，″用法の違いを考慮した類似単語の置換とそれを用いた言語モデル学習データ自動生成″，人工知能学会全国大会講演集，2G1-OS3-4，pp. 1-4（2010-6）

[55] 峯松信明，″音声コミュニケーションの変復調モデル″，人工知能学会全国大会講演集，3I1-OS14a-3，pp. 1-4（2010-6）

[56] 西村多寿子，峯松信明，″音響的普遍構造の臨床応用の可能性(1) ～地域保健の立場から～″，日本赤ちゃん学会第10回学術集会，P38（2010-6）

[57] 峯松信明，西村多寿子，″音響的普遍構造の臨床応用の可能性(2) ～赤ちゃんは親の声の何を真似るのか？～″，日本赤ちゃん学会第10回学術集会，P39（2010-6）

[58] 鈴木雅之，中村綾乃，喬宇，峯松信明，広瀬敬吉，″構造的特徴量に対する多段階の重回帰分析による発音評価″，電子情報通信学会音声研究会資料，SP2010-37，pp. 13-18（2010-7）

[59] 峯松信明，″英語発音の物理現象を眺めていて気づくこと″，外国語教育メディア学会全国研究大会発表要項，pp. 26-27（2010-8）

[60] 山内豊，峯松信明，羅徳安，川村明美，″シャドーイングの評価手法：再生率と音響モデルによる評価法は韻律面をどれだけ反映できるのか？″外国語教育メディア学会全国研究大会発表要項，pp. 178-179（2010-8）

[61] X, Ma, N. Minematsu, R. Xu, A. Li, and K. Hirose, "Speaker-invariance verification of dialect pronunciation structure applied in dialect-based speaker classification, "Proc. Autumn Meeting of Acoust. Soc. Japan, 1-1-1, pp.201-204 (2010-9)

[62] Wen Miaomiao**,** Wang Miaomiao, K. Hirose, and N. Minematsu, "Analytical study on prosodic features in realizing emotional Mandarin speech," Proc. Autumn Meeting of Acoust. Soc. Japan, 3-P-17, pp.369-370 (2010-9)

[63] Wang Miaomiao**,** Wen Miaomiao, K. Hirose, and N. Minematsu, "An improved approach of V/U error fix to F0 generation in HMM-based Mandarin speech synthesis using generation process model," Proc. Autumn Meeting of Acoust. Soc. Japan, 1-Q-3, pp.117-118 (2010-9)

[64] 羅徳安，喬宇，峯松信明，広瀬啓吉，″CALLにおける発音評価のための制約付きMLLR話者適応手法″，日本音響学会秋季講演論文集，3-P-25，pp. 389-390（2010-9）

[65] 松田徹也，広瀬啓吉，峯松信明，″HMM音声合成における生成過程モデルを用いたF0パターン生成法″，日本音響学会秋季講演論文集，2-1-5，pp. 233-236（2010-9）

[66] 鈴木雅之，峯松信明，広瀬啓吉，″構造的特徴量を用いたCALLシステムの開発″，日本音響学会秋季講演論文集，3-P-27，pp. 393-394（2010-9）

[67] 越智景子，広瀬啓吉，峯松信明，″生成過程モデルを用いた焦点音声の韻律の生成における休止の制御″，日本音響学会秋季講演論文集，3-P-11，pp. 353-354（2010-9）

[68] J. Novak, N. Minematsu, and K. Hirose, "Approaches to parameter tuning for ASR systems: LVCSR and expert grammars," Proc. Autumn Meeting of Acoust. Soc. Japan, 1-Q-25, pp.179-180 (2010-9)

[69] 齋藤大輔，渡部晋治，中村篤，峯松信明，″変換モデルと話者モデルの確率的統合に基づく声質変換法の検討″，日本音響学会秋季講演論文集，3-P-4，pp. 335-338（2010-9）

[70] ヤーッコラ伊勢井 敏子,広瀬 啓吉，“日本人EL2の英語短母音における問題―フォルマントと長さの制御,”日本音響学会全国大会講演論文集，3-P-9，pp. 349-350（2010-9）.

[71] S. Dasmandal, A. Warsi, T. Basu, 広瀬啓吉, 藤崎博也，“ベンガル語朗読音声の基本周波数パターンの分析と合成,”日本音響学会全国大会講演論文集, 3-P-14, pp.361-362 (2010-9).

[72] S. Dasmandal, A. Saha, T. Basu, 広瀬啓吉, 藤崎博也, “ベンガル語朗読音声における発話内休止の生起および休止の長さの分析とモデル化,”日本音響学会全国大会講演論文集, 3-P-15, pp.363-364 (2010-9).

[73] 平野宏子，越智景子，広瀬啓吉，“日本語学習における音声指導のためのピッチトレーニングソフトの開発,” 日本音響学会全国大会講演論文集，3-P-24，pp. 387-388（2010-9）.

[74] 峯松信明，″言語的情報と非言語的情報の音響的分離と音声コミュニケーション″，電子情報通信学会音声研究会資料，SP2010-78，pp. 53-58（2010-11）

[75] 加藤集平，ショート・グレッグ，峯松信明，広瀬啓吉，″母語干渉が外国語発声の韻律的自然性に与える影響に関する知覚的検討″，電子情報通信学会音声研究会資料，SP2010-118，pp. 19-24（2011-3）

[76] J. Novak, N. Minematsu, K. Hirose, "Evaluations of an open source WFST-based phoneticizer," IEICE Technical Repport, SP2010-121, pp.37-42 (2011-3)

[77] G. Short, K. Hirose, N. Minematsu, "An analysis on the perception of pitch level changes for Japanese words," IEICE Technical Repport, SP2010-128, pp.79-84 (2011-3)

[78] 國越晶，齋藤大輔，喬宇，峯松信明，広瀬啓吉，″手から声のメディア変換も出ると手のジェスチャーモデルの確率的統合に基づく異メディア空間の対応付けの検討″，電子情報通信学会音声研究会資料，SP2010-127，pp. 73-78（2011-3）

[79] 橋本浩弥，齋藤大輔，峯松信明，広瀬啓吉，″基本周波数パターン生成過程モデルを用いた声質変換の高精度化に関する検討″，日本音響学会春季講演論文集，1-Q-54(c)，pp. 413-416（2011-3）

[80] 甲斐常伸，鈴木雅之，齋藤大輔，峯松信明，広瀬啓吉，″孤立音を対象にした構造的表象の理論的考察と実験的検討″，日本音響学会春季講演論文集，2-P-2(b)，pp. 139-142（2011-3）

[81] 高野克弥，清水信哉，峯松信明，広瀬啓吉，″複合名詞内アクセント句境界を用いたアクセント結合予測の高精度化に関する実験的検討″，日本音響学会春季講演論文集，1-Q-12(d)，pp. 363-364（2011-3）

[82] 青木史朗，峯松信明，広瀬啓吉，″音声の構造的表象を用いた感情・発話スタイルの推定″，日本音響学会春季講演論文集，2-P-27(a)，pp. 443-446（2011-3）

[83] J. Novak, D. Yang, N. Minematsu, K. Hirose, "Initial evaluations of an open source WFST-based phoneticizer," Proc. Spring Meeting of Acoust. Soc. Japan, 2-P-46(b), pp.221-222 (2011-3)

[84] 鈴木雅之，吉岡拓也，渡部晋治，峯松信明，″雑音特徴量を用いた劣化音声特徴量変換に関する検討″，日本音響学会春季講演論文集，1-Q-15(f)，pp. 795-798（2011-3）

[85] 國越晶，齋藤大輔，喬宇，峯松信明，広瀬啓吉，″手から声のメディア変換モデルと手のジェスチャーモデルの確率的統合に基づく異メディア空間の対応付け″，日本音響学会春季講演論文集，1-Q-18(c)，pp. 371-374（2011-3）

[86] 見原隆介，越智景子，広瀬啓吉，峯松信明，″基本周波数パターン生成過程モデルに基づくコーパスベース韻律生成における発話スタイル制御″，日本音響学会春季講演論文集，1-Q-24(d)，pp. 379-382（2011-3）

[87] 松田徹也，広瀬啓吉，峯松信明，″HMM に基づく生成過程モデルを用いた F0 パターン生成における品質改善″，日本音響学会春季講演論文集，3-7-5，pp. 309-310（2011-3）

[88] G. Short, K. Hirose, N. Minematsu, "A Preliminary Study on Pitch Level Fall Perception for Japanese", Proc. Spring Meeting of Acoust. Soc. Japan, 2-P-60(b), pp.475-478 (2011-3)

[89] 峯松信明，″情報の分離と音響モデリング　～人間らしい音響モデリング～″，日本音響学会春季講演論文集，1-13-4，pp. 1731-1734（2011-3）

[90] 峯松信明，″米語母語話者を対象とした日本人英語の聞き取り調査　～日本人と話したことが無い米国人に，貴方の電話越しの英語はどのくらい通じるのか～″，日本英語教育学会 41 回年次研究集会（2011-3）

招待講演・依頼講演

[91] 峯松信明，″グローバル時代の英語発音とその科学的な分析方法　～音声の構造表象に基づく発音分析～″，早稲田大学大学院言語学専攻科ゼミ（2010-4）

[92] 峯松信明，″グローバル時代の英語発音とその科学的な分析方法″，JACET 関東支部大会基調講演（2010-6）

[93] 峯松信明，″英語発音の物理現象を眺めていて気づくこと″，外国語教育メディア学会 50 周年記念全国研究大会特別講演（2010-8）

[94] 峯松信明，茂木健一郎，″脳科学者と音声工学者が考える言葉との出会いとその演出″，外国語教育メディア学会 50 周年記念全国研究大会特別対談（2010-8）

[95] N. Minematsu, "Speech structure and its application to robust speech processing," Invited talk at Shenzhen Institutes of Advanced Technology (2010-10)

[96] N. Minematsu, "Acoustic modeling of foreign language pronunciation and its application to automatic assessment," Invited talk at Beijing Normal University (2010-10)

[97] 峯松信明，西村多寿子，櫻庭京子，″声の物理的多様性とその認知的不変性　～音声認識技術と自閉症の類似性～″，「コミュニケーションとリハビリテーションの現象学」研究会（2010-10）

[98] N. Minematsu, "Acoustic modeling of foreign language pronunciation and its application to automatic assessment," Invited talk at National Taiwan Normal University (2010-12)

[99] 峯松信明，″情報の分離と音響モデリング　～人間らしい音響モデリング～″，日本音響学会春季講演論文集，1-13-4，pp. 1731-1734（2011-3）

杉本研究室
Sugimoto Laboratory
(http://www.itl.t.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. モバイルプロジェクタカメラシステム

杉本 雅則, ダオ ヴィン ニン,
Siriborvornratanakul Thitirat, 関 栄二

Mobile Projector-Camera System

**M. SUGIMOTO, V.N.DAO,
T.SIRIBORVORNRATANAKUL, E.SEKI**

プロジェクタの小型化が進み，プロジェクタを搭載した携帯電話も市場に出始めている.本プロジェクトでは，携帯プロジェクタシステムによって実現される新しいインタラクション技術の開拓するために，以下の２つのシステムを構築した．１つ目は構造光を用いた 3 次元形状認識システムである．チェッカーボードパターンとエピポーラ幾何を用いることで，モバイル環境でも安定的な性能を示すことを実験を通して確認した．2 つ目はモバイル拡張現実感システムである．周囲の環境の物体を認識して映像を重ね合わせるため，DLP プロジェクタの特性を生かした”nonintrusive projection”と呼ばれる手法を構築し，その有用性を示した.

Due to the miniaturization of projections, a projector built-in mobile phone has begun to appear in the market. The main purpose of this research project is to explore possibilities of new systems or techniques using a mobile projector-camera system. The following two systems have been developed and investigated. The first system is to capture 3D shapes of physical object by using structured light patterns. In order to correctly identify feature points and edges which is used to create a 3D model of a captured object, a checkerboard pattern and Epipolar geometry are used. Through experiments, the proposed system showed stable performance in dynamic settings. The second system is for mobile augmented realty. In order to identify physical objects in environments and appropriately overlay information onto them, a non-intrusive projection method by utilizing a feature of a DLP projector is investigated and evaluated.

2. モバイル・ユビキタスコンピューティング

杉本 雅則, 佐藤 智彦, 中村 成希,
寺林 光太郎, 橋爪 宏達

Mobile and Ubiquitous Computing

**M. SUGIMOTO, T.SATO, S.NAKAMURA,
K.TERABAYASHI, H.HASHIZUME**

いつでもどこでも適切なサービスを受けるために，ユビキタスコンピューティングの研究において，ユーザの位置情報を正確に知るための技術が重要になっている．我々はこれまでの研究で，安価な超音波センサのみを用いることで，端末間の相対位置，方向認識を行うための技術の構築してきている．この手法を発展させ，1 対の送信機，受信機のみで，ユーザの 3 次元位置を知ることができるようにした．さらに，移動するユーザの速度を 0.1mm/s の精度で測定できるという性能を確認した．さらに，高速化のため信号処理演算を FPGA に実装することにより，世界初の実用的な超音波モーションキャプチャシステムを実現した.

In order to realize a ubiquitous computing society which servers us contextualized services anytime and anywhere, we have to investigate localization technologies to identify users' position in the real world. So far we have been developing an innovative technology for detecting relative positions and orientations among multiple devices by using ultrasonic communication. The experiment proved that the proposed technique called "phase accordance method" could show remarkable performance: less than 0.032 mm errors in three meter distance measurements and less than 0.1 degree errors in the zero, ten, twenty, and thirty degree measurements. The remarkable feature of this technology is that a 3D position of a node is identified only one pair of a transmitter and a receiver, Therefore, it is cost effective and scalable, which means easy deployment for implementation. We have also applied this technology to a robot tracking system and extended it for precise velocity detection by compensating the Doppler effect. The experiment proved that we can estimate the velocity of a moving node within the error of 0.1 mm/s. Moreover, we implemented an FPGA board for rapidly detecting the distance and velocity of a moving target and developed an ultrasonic motion capture system. To the best of our knowledge, this is the first ultrasonic motion-capture system that achieves sufficient accuracy and update rates to be useful for several applications.

3. テーブルトップインタフェース

杉本 雅則, 米 海鵬, 藤田 智樹

Tabletop Interface

M. SUGIMOTO, H.MI, T.FUJITA

テーブルトップコンピューティングの研究が，世界的に注目を浴びている．本研究では，構築される RoboTable と呼ばれるテーブルトップ環境では，物理的なロボットおよび仮想的なオブジェクトの指による操作が可能である．さらに，ロボットを直接掴んで行うタンジブルな操作により，その動きを記録，再生することができる．RoboTable では，Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)と呼ばれる手法と DI とを統合することで，安定したマルチタッチ認識とロボットトラッキングを実現している．我々は，RoboTable を拡張し，プログラミングやロボットの知識に乏しいユーザでも簡単にロボットプログラミングを行うことができる手法や，ロボットを入力としてだけでなく出力として利用できるよう形状を変化させるロボットを実装した.

Tabletop computing is one of the hottest researches in human computer interaction communities. We have developed a tangible tabletop platform called RoboTable, which supports both multi-touch and physical robot tracking. RoboTable integrates two tracking techniques (FTIR and DI) so that we leverage the strong points of each and improve their tracking performance. We have extended the RoboTable system so that a user with less knowledge or experiences on robots or programming can easily conduct robot programming. We also proposed a novel concept called Actuated Tangible User Interface, where robots can be used not only for input but also for output by changing their shape to convey appropriate information.

1. 高速高画質超音波イメージング

杉本 雅則，Laokulrat Natsuda，
水谷 享平， 古居 敬大，橋爪 宏達

Ultrasonic Imaging

M. SUGIMOTO, N.LAOKULRAT, K.MIZUTANI, K.FURUI, H.HASHIZUME

超音波イメージングにおいて，高速かつ高画質のイメージング技術を確立すれば，ロボットビジョン，海底資源探査，医療など，広い分野での応用が期待される．本プロジェクトでは，マルチキャリアの超音波信号および合成送信開口の手法を用いることで，実時間でのイメージングを行う．ノイズ低減のための送信信号のパラメータを最適化することで，取得される画質の改善と高速化を目指す．また，相関特性の良い送信波の理論的な考察と実験による評価を試みた．

Techniques for rapid and high quality ultrasonic imaging have been investigated because they have huge impacts on many research areas such as robotics, underwater resource exploration, medical purposes, and so on. In this project, we use the synthetic transmit aperture technique with multi-carrier ultrasonic signals for realtime and high-quality ultrasonic imaging. In order to improve the quality of captured images, and increase the capture rate, a method for optimizing of multi-carrier signal parameters is investigated. We also studied the design of transmit waves which has high autocorrelation and low cross correlation from a theoretical point of view and evaluated them through experiments.

2. コンピュータアニメーション

杉本 雅則，Natapong Pantuwong，

Computer Animation

M. SUGIMOTO, N.PANTUWONG

コンピュータアニメーションの作成は，プロのデザイナでも非常に時間がかかるタスクである．本研究では，コンピュータアニメーションの知識や経験の少ないユーザでも簡単にコンピュータアニメーションを作成できるシステムを構築することである．現在までに，voxel 表現された3次元モデルからほぼ自動的にskeletonを抽出する手法の実装と評価を行っている．

Creating computer animation is a laborious and time-consuming task even for professional designer. The target of this project is to allow a novice user who doesn't have sufficient skills and knowledge on computer animation to create computer animation artworks in an easy and intuitive manner. Until now, we have implemented and evaluated a novel technique for semi-automatic skeletonization using a voxelized 3D model of a character.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Sugimoto, M.: A Mobile Mixed Reality Environment for Children's Storytelling using a Handheld Projector and a Robot, *IEEE Transactions on Learning Technologies* (accepted).

[2] Mi, H., Krzywinski, A., Fujita, T., Sugimoto, M: RoboTable: An Infrastructure for Intuitive Interaction with Mobile Robots in a Mixed Reality Environment, *Journal of Advances in Human-Computer Interaction* (accepted).

[3] Siriborvornratanakul, T., Sugimoto, M.: ipProjector: A Vision-Based Framework for Unsupervised Ubiquitous Object Augmentation Using a Portable Projector-Camera System, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* (accepted).

[4] Dao, V.N., Sugimoto, M.: A Dynamic Geometry Reconstruction Technique for Mobile Devices Using Adaptive Checkerboard Recognition and Epipolar Geometry, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol.E94-D, No.2, pp.336-348, 2011.

[5] Siriborvornratanakul, T., Sugimoto, M.: Augmenting Physical Objects by a Ubiquitous Spatial Projection Display Operating in the Visible Light Spectrum, *International Journal of Information Processing and Management*, Vol.2, No.1 pp.65-81, 2011.

[6] Sato, T., Nakamura, S., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Extended Phase Accordance Method: A Real-time and Accurate Technique for Estimating Position and Velocity of Moving Objects using Ultrasonic Communication, *Sensors and Transducer Journal* (special issue, Dec. 2010), Vol.9, pp.56-70, 2010.

[7] 伊藤 俊夫, 杉本 雅則, 橋爪 宏達: 最適化したマルチキャリア信号と合成送信開口による高画質音響イメージング, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J93-A, Vol.5, pp.341-352, 2010.

解説記事

[8] 杉本 雅則：携帯プロジェクタカメラシステムを用いたモバイルヒューマンインタフェースのための幾何学補正手法, 画像ラボ, Vol. 22, 2011 (to appear).

[9] 杉本 雅則：画像認識手法を用いたヒューマンインタフェースの研究動向, 映像情報メディア学会誌, Vol. 64, No. 12, pp.1793-1796, 2010

国際会議論文

[10] Sugimoto, M., Dao, V.N., Seki, E.: An Adaptive Projection Technique for Monochromatic Non-flat Surfaces using a Handheld Projector-Camera System, In *Proceedings of Mobile and Personal Projection 2011*, Vancouver, Canada, 2011 (accepted).

[11] Mizutani, K., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Acoustic Imaging Reconstruction from Adaptive Microphone Array Signals using Back Projection, In *Proceedings of 31st International Acoustical Imaging Symposium (AI-31)*, Warsaw, Poland, 2011 (accepted).

[12] Maeda, Y., Sugimoto, M., Hashizume, H.: MEMS Microphone Array and Signal Pocessor for Realtime Acoustic Object Detection, In *Proceedings of 31st International Acoustical Imaging Symposium (AI-31)*, Warsaw, Poland, 2011 (accepted).

[13] Deguchi, A., Takeda, Y., Kusunoki, F., Tanaka, M., Inagaki, S., Yamaguchi, E., Sugimoto, M.: Development and Evaluation of a Digital Environmental Learning Game for Children, In *Proceedings of ESERA2011*, Lyon, France, 2011 (accepted).

[14] Deguchi, A., Takeda, Y., Kusunoki, F., Tanaka, M., Inagaki, S., Yamaguchi, E., Sugimoto, M.: Improvement and Evaluation of Vegetation Interaction Game, In *Proceedings of IADIS GET 2011*, Rome, Italy, 2011 (accepted).

[15] Deguchi, A., Kusunoki, F., Inagaki, S., Takeda, Y., Yamaguchi, E., Sugimoto, M.: Vegetation Interaction Game: Digital SUGOROKU to Learn Vegetation Succession for Children, In *Proceedings of CSCL 2011*, Hong Kong, China, 2011 (accepted).

[16] Dao, V.N., Sugimoto, M.: A Correspondence Matching Technique of Dense Checkerboard Pattern for One-shot Geometry, In *Proceedings of SIGGRAPH ASIA 2010* (Technical Sketch), Seoul, South Korea, December 2010 [DVD-ROM]

[17] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: Skeleton-Growing: A Vector-Field-Based 3D Curve-Skeleton Extraction Algorithm, In *Proceedings of SIGGRAPH ASIA 2010* (Technical Sketch), Seoul, South Korea, December 2010 [DVD-ROM]

[18] Thitirat, S., Sugimoto, M.: Multiscale Visual Object Detection for Unsupervised Ubiquitous Projection Based on a Portable Projector-Camera System, In *Proceedings of IEEE DICTA 2010*, Sydney, Australia, pp. 623-628, December 2010.

[19] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: 3D Curve-Skeleton Extraction Algorithm Using a Pseudo-Normal Vector Field, In *Proceedings of VMV 2010*, Siegen, Germany, pp. 235-242, November 2010.

[20] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: 3D Curve-Skeleton Extraction Using a Skeleton-Growing Algorithm, In *Proceedings of IEEE Visualization*, Salt Lake City, Utah,

October 2010 [DVD-ROM].

[21] Mizutani, K., Ito, T., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Fast and Accurate Ultrasonic 3D Localization Using the TSaT–MUSIC Algorithm, In *Proceedings of IEEE IPIN 2010*, Zurich, Switzerland, pp.1-5, September, 2010.

[22] Nakamura, S., Sato, T., Sugimoto, M., Hashizume, H.: An Accurate Technique for Simultaneous Measurement of 3D Position and Velocity of a Moving Object Using a Single Ultrasonic Receiver Unit, In *Proceedings of IEEE IPIN 2010*, Zurich, Switzerland, pp.1-7, September, 2010.

[23] Deguchi, A., Inagaki, S., Kusunoki, F., Yamaguchi, E., Takeda, Y., Sugimoto, M. :Vegetation Interaction Game: Digital SUGOROKU of Vegetation Succession for Children, In *Proceedings of ICEC 2010*, Seoul, South Korea, pp. 493-495, September, 2010 .

[24] Dao, V. N., Sugimoto, M.: A Robust Recognition Technique for Dense Checkerboard Patterns, In *Proceedings of ICPR 2010*, Istanbul, Turkey, pp.3081-3084, August 2010.

[25] Krzywinski, A., Mi, H., Chen, W., Sugimoto, M.: Playing with Robots: A Tabletop Framework for Robot and Human Game Playing, In *Proceedings of IADIS GET 2010*, Freiburg, Germany, July 2010

[26] Sato, T., Nakamura, S., Sugimoto, M., Hashizume, H.: A Realtime and Accurate Technique for Estimating Position and Velocity of Moving Node using Ultrasonic Communication, In *Proceedings of ICST 2010*, Lecce, Italy, pp. 428-433, June 2010.

[27] Mi, H., Krzywinski, A., Sugimoto, M., Chen, W.: RoboStory: A Tabletop Mixed Reality Framework for Children's Role Play Storytelling, In *Proceedings of ACM IDC 2010 Workshop on Interactive Storytelling for Children*, Barcelona, Spain, June 2010 .

[28] Yamaguchi, E., Deguchi, A., Inagaki, S., Sugimoto, M., Kusunoki, F., Takeda, Y., Kamiyama, S.: A Curriculum Design Framework For Linking Simulation Use to Practical Work: Toward Understanding Sense of Reality in the Learning about Complex Systems in Nature, In *Proceedings of XIV. IOSTE Symposium*, Bled, Slovenia, June 2010 [CD-ROM].

シンポジウム・研究会・大会等発表

[29] 藤田 智樹, 米 海鵬, 杉本 雅則 : タンジブルなロボットを導入したテーブルトップ環境における 直感的なプログラミング手法の提案, インタラクション 2011（一般講演およびインタラクティブ発表）, 東京, pp. 155-162 (2011).

[30] 佐藤 智彦, 中村 成希, 寺林 光太郎, 杉本 雅則, 橋爪 宏達: 超音波通信を用いた高精度モーションキャプチャの設計, 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム（USE 2010), 東京 pp. 445-446 (2010).

[31] 中村 成希, 佐藤 智彦, 杉本 雅則, 橋爪 宏達: 拡張位相一致法と適応的フィルタリングを統合した高精度な超音波位置速度推定, 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム（USE 2010), 東京 pp. 491-492 (2010).

[32] 水谷 享平, 杉本 雅則, 橋爪 宏達: 時間 Capon 法とフィルタ補正逆投影法による音響イメージング手法に関する基礎検討, 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム（USE 2010), 東京 pp. 487-488 (2010).

[33] Laokulrat, N, Sugimoto, M., Hashizume, H.: Design and Implementation of Real-time Acoustic Imaging System Using Synthetic Transmit Aperture, 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム（USE 2010), Tokyo, pp. 481-482 (2010).

[34] 藤田 智樹, 米 海鵬, 杉本 雅則 : 直感的なロボットプログラミング手法を用いたゲーム構築支援環境とその評価, 第 19 回エンタテインメントコンピューティング研究会, 慶応大学, 神奈川, pp. (2011 年 3 月）.

[35] 関 栄二, ダオ ヴィンニン, 杉本 雅則 : モバイルプロジェクタカメラシステムを用いた任意非平面への実時間適応的投影手法, 第 19 回エンタテインメントコンピューティング研究会, 慶応大学, 神奈川, pp. (2011 年 3 月).

[36] 寺林 光太郎, 佐藤 智彦, 杉本 雅則, 橋爪 宏達 : 超音波を用いた高精度モーションキャプチャシステムの構築, 2011 年電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, 東京, pp. (2011 年 3 月).

[37] Laokulrat. N., Maeda, Y., Sugimoto, M., Hashizume, H.: A Rapid and High-Quality Acoustic Imaging System for Object Tracking, 平成 22 年度第 5 回アコースティックイメージング研究会, 産総研, つくば, pp. 39-44 (2011 年 2 月).

[38] 前田 泰成, 杉本 雅則, 橋爪 宏達: 平面 MEMS センサアレイと高速ビームフォームアルゴリズムによる実時間超音波イメージング装置の実現, 平成 22 年度第 5 回アコースティックイメージング研究会, 産総研, つくば, pp. 45-50 (2011 年 2 月).

[39] 水谷 享平, 杉本 雅則, 橋爪 宏達 : 逆投影を用いた適応マイクロホンアレイ信号からの音響イメージの再構築, 平成 22 年度第 5 回アコースティックイメージング研究会, 産総研, つくば, pp.51-56 (2011 年 2 月).

[40] 古居 敬大, 杉本 雅則, 橋爪 宏達 : PN 変調相補符号を用いた合成送信開口イメージング, 平成 22 年度第 5 回アコースティックイメージング研究会, 産

総研，つくば，pp. 57-61 (2011 年 2 月).

[41] 杉本 雅則, 佐藤 哲也, 伊藤 俊夫, TULATHIMUTTE Kan，佐藤 智彦，中村 成希，橋爪 宏達 : 空間的インタラクションを支援する位置認識技術，エンタテインメントコンピューティング 2010， 京都工業繊維大学，京都, pp. 1-6 (2010 年 10 月).

[42] サンスリヤチョット ナタポル, 趙 璞升, 米 海鵬, 杉本 雅則: サーフェイスインタラクションのための温度局所制御ディスプレイ設計に関する基礎検討, 第 17 回エンタテインメントコンピューティング研究会, 香川大学, 香川, pp. 1-6 (2010 年 8 月）.

[43] 前田 泰成, 杉本 雅則, 橋爪 宏達： マルチキャリア波を用いた超音波イメージングの基礎検討, 日本超音波医学会 基礎技術研究会資料, Vol.2010, No.1, BT2010-6, pp. 34 -39, 東京農工大学, 東京 (2010 年 6 月).

[44] 山口 悦司，武田 義明，出口 明子，楠 房子，稲垣 成哲，杉本 雅則 : 環境学習を支援する植生遷移ゲームの試験的評価 : ユーザインターフェースの観点から，平成 22 年度日本理科教育学会近畿支部大会発表論文集，p.65 (2010 年 11 月).

[45] 出口 明子，武田 義明，稲垣 成哲，山口 悦司，杉本 雅則 : 環境学習を支援する植生遷移ゲームの改良，平成 22 年度日本理科教育学会近畿支部大会発表論文集，p.66 (2010 年 11 月).

[46] 楠 房子，山口 悦司，武田 義明，出口 明子，稲垣 成哲，杉本 雅則: Vegetation game: 環境学習を支援する植生遷移ゲーム，ゲーム学会第 9 回全国大会論文集，pp. 47-48 ，香川大学，香川(2010 年 11 月).

[47] 出口 明子，楠 房子，武田 義明，山口 悦司，稲垣 成哲，杉本 雅則 : 環境学習を支援する植生遷移ゲーム，日本科学教育学会第 34 回年会, 広島大学, 広島 (2010 年 9 月).

[48] Sugimoto, M.: Designing Computational Media for Interacting with the Physical World, *JST Open Café*, Singapore, March, 2011.

[49] Sugimoto, M.: A Localization Technique for Enhancing Physical Interactions, *IEEE ISVRI / JST Joint Workshop*, Singapore, March, 2011.

特許

[50] Time Reference Point Information Transmitting System and Recever, UK Patent Number GB2441662, 2011 年 1 月 12 日，英国 (特許成立).

[51] 時刻基準点情報伝送システム及び受信器，特許第 4621924 号, 2010 年 11 月 12 日 (特許成立).

[52] 速度・距離検出システム，速度・距離検出装置，および速度・距離検出方法，国際特許，出願番号 PCT/JP2011/050551, 2011 年 1 月 14 日，米国およびその他の指定国.

[53] 速度・距離検出システム，速度・距離検出装置，および速度・距離検出方法, 特願 2010-007492, 2010 年 1 月 15 日，国内.

[54] ドップラーレーダーシステム，ドップラーレーダー送信装置及び送信波最適化方法，特願 2010-288791, 2010 年 12 月 24 日，国内.

受賞

[55] 新島 有信，マルチタッチテーブルトップ環境におけるロボットプログラミングのためのジェスチャ設計，情報処理学会第 72 回全国大会優秀卒業論文認定（2010 年 3 月）.

浅見・川原研究室
Asami-Kawahara Laboratory

(http://www.akg.t.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. ユビキタスネットワークとアーキテクチャ

浅見　徹・川原　圭博

Architectural Framework of Ubiquitous Networks

Tohru Asami, Yoshihiro Kawahara

ユビキタスネットワークとアーキテクチャの研究では，新たに出現したサービス形態である，大量かつ多種多様な端末が接続されたユビキタスネットワーク/コンピューティングを実現するため，新しい通信システムアーキテクチャを制御･運用面から検討している．具体的には，携帯電話のデータ保護を目指したユーザ・ベースの分散ストレージ管理，超高速鉄道での 3G 移動体通信におけるパケット通信品質の解析，広域イーサネットを対象にしたプライベート網の自動オーバーレイ技術といった観点から研究開発を進めている．

We are investigating new communication system architectures from the points of controllability and operations to realize new communication services or ubiquitous networking / computing environments. Our recent activities include user-based distributed private storage for mobile terminals, communication quality analysis of 3G mobile for high speed trains, private IP overlay networking technologies for wide area Ethernet.

2. コンテキストアウェアネットワーキングの研究

川原　圭博・浅見　徹

Context-aware Networking

Yoshihiro Kawahara, Tohru Asami

情報通信技術が成熟するにつれ，行動目的，趣味・嗜好，場所，周辺機器の利用条件等，通信サービス利用者の置かれた状況(コンテキスト)を考慮して利用者中心の柔軟なサービスを提供するコンテキストアウェアサービスを構成するための基盤技術に関する重要性が高まりつつある．本研究では，センサ技術を活用しコンピュータによりユーザの活動を解析する技術，分散するリソースをユーザの手により即興的に組み合わせるためのランデブーベースサービス構成機構を研究対象に選んでいる．また，研究ニーズをくみ上げるため，実用的なアプリケーションについても種々検討しており，携帯電話で日常生活の消費カロリーを推定するアプリケーションの開発等を行っている．

Importance of the fundamental technologies about context-awareness increases, as ICT technologies mature. Context-awareness is the idea to provide user-centric and flexible network services based on user's objective, preference, place, and status of peripheral devices. We work on user activity recognition technologies based on sensing technologies, and a rendezvous-based service composition mechanism which allows users to create a mash-up services with distributed resources. To survey the requirements as well as feasibilities of context-aware technologies, we also develop practical applications such as an estimating method of all-day energy expenditure by a cell-phone.

3. 新世代広域ネットワーク管理アーキテクチャ

浅見　徹・川原　圭博

New Generation Wide Area Network Management Architecture

Tohru Asami, Yoshihiro Kawahara

インターネット上のアプリケーションに参加しているノードはいくつかのネットワークをリレーして相互接続しているため，通信リソースの最適な制御が難しい．このため，インターネット規模でネットワーク制御する要求がアプリケーション側から高まっている．本研究では，インターネットスケールでエンド・ツー・エンドのネットワーク制御を目指して新世代ネットワーク制御管理アーキテクチャの検討を進めている．具体的には，プロトコル変換，管理情報の加工，双方向データキャッシュ，アクセス制御，負荷分散機能を持つ Active Proxy と REST をベースとしたアーキテクチャの研究開発を進めている．

All the nodes joining an application on the Internet are connected relaying through several network management domains, which makes it difficult to manage/control the overall network resources optimally. To cope with the demands for internet-scale network management/control from these applications, we are investigating new generation wide area network management architecture to enable end-to-end network management and control in the Internet. Our REST-based architecture is based on nodes, called Active Proxies, which provides protocol conversions for existing network management protocols, conversions/modifications of managed information, bi-directional data caching, accress controls and load balancing.

4. 再生エネルギー利用型センサネットワークの研究

川原　圭博・浅見　徹

Energy Harvesting for Sensor Networks

Yoshihiro Kawahara, Tohru Asami

センサを用いたアプリケーションのボトルネックは，大量に配布されたセンサの電源管理にある．運用コスト削減の面から電池を使うことはできない．本研究では，センサへの電力供給に関して電池以外の手段を検討している．特に，太陽電池，環境電磁界，振動等種々の再生源があるが，環境電磁界をターゲットに選び電力再生と電力制御に関する研究を行っている．環境中に漂う電波からエネルギーを回収するハードウェアの設計と実装を

始め，得たエネルギーを最大限に活用するためのデューティサイクル制御をいかにして行うかについて研究を進めている．

Using a battery is a bottleneck to put sensors into practical use from the operational point of view. We are investigating alternative power supplies for sensors other than batteries. Among these power sources such as solar energy, vibrations, etc., we are focusing on design and implementation of energy harvesting techniques from environmental microwaves and its effective use. Duty cycle control method that makes full use of the harvested energy is also an challenging problem in this topic.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 小島淳一，松本重貴，浅川賢一，浅見徹，”電気的 TDR と FDR を用いた外装光海底ケーブルの障害位置検出，” 信学論 B，通信 93(6)，pp. 803-812，June 2010

国際会議論文

[2] N. Nakashima, H. Nishimoto, Y. Kawahara and T. Asami, “Design of Autonomous Sensing Tag Based on Energy Harvesting,” Proc. PIERS 2011, 3A6, Marrakech, Morocco, March 2011

[3] N. Kawaguchi, N. Ogawa, Y. Iwasaki, K. Kaji, T. Terada, K. Murao, S. Inoue, Y. Kawahara, Y. Sumi, N. Nishio, “HASC Challenge: Gathering Large Scale Human Activity Corpus for the Real-World Activity Understandings,” Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference , Article No.: 27, Tokyo, March 2011

[4] N. Nakashima, H. Nishimoto, Y. Kawahara, and T. Asami, “Human Detection System Based on Sensing through Harvesting Concept,” Proc. IoT 2010, Tokyo, Japan, Dec. 2010 (demo)

[5] H. Nishimoto, Y. Kawahara, and T. Asami, “Prototype Implementation of Ambient RF Energy Harvesting Wireless Sensor Networks,” Proc. IEEE Sensors 2010 Conference, Hawaii, USA, Nov. 2010

[6] K. Yamada, Y. Sakai, T. Suzuki, Y. Kawahara, T. Asami, and H. Aida, “A Communication System with a Fast Handover under a High Speed Mobile Environment,” VTC 2010-Fall, pp.1- 5 , Ottawa, Canada, Sept. 2010

[7] H. Nishimoto, Y. Kawahara, and T. Asami, “Prototype Implementation of Wireless Sensor Network Using TV Broadcast RF Energy Harvesting,” Adjunct Proceedings of the 2010 ACM Conference on Ubiquitous Computing, pp.373-374, Copenhagen, Denmark, Sept. 2010 (demo)

[8] Y. Kawahara, “Integration of Packaging and Sensors and Thin‐Film Batteries,” Electronic Components and Technology Conference, Panel Session, Las Vegas, U.S.A., June 2010

[9] Y. Kawahara, L. Wang, and T. Asami, “A Resilient Suppressor Mechanism against Illegal Content Redistributions on P2P Video Sharing Networks,” Proc. IEEE ICC 2010, pp.1-6, Cape Town, South Africa, May 2010

[10] M. Isomura, N. Imai, K. Yoshihara, Y. Kawahara, and T. Asami, “Extension of Service Migration Method for Video On Demand Service,” Proc. 9th International

Conference on Networks(ICN 2010), pp.350-355, Menuires, France, April 2010

[11] A. Viratanapanu, A.K.A Hamid, Y. Kawahara, and T. Asami, “On Demand Fine Grain Resource Monitoring System for Server Consolidation,” Proceedings of ITU-T Kaleidoscope event, pp.249-255, Pune, India, Dec. 2010(Poster)

総説・解説論文

[12] 川原圭博,”電源コードをなくす-無線電力伝送とエナジーハーベスティング,” 情報処理, Vol.52, No.1, pp.56-57, Jan. 2011

[13] 浅見徹,”省エネルギーと次世代高効率ネットワークデバイス技術開発 プロジェクト - GbE 時代における省エネルギー光デバイスへの取組み -,” 電子 情報通信学会誌, Vol.93, No. 8, pp.659-663, Aug. 2010

[14] 川原圭博,”電磁波エネルギーを利用した環境発電技術,” 電子材料別冊 再生可能エネルギーのすべて 2010 年 07 月号, pp.150-154, 工業調査会, June 2010

[15] 川原圭博,”私の研究開発ツール(第 34 回)「クラウドコンピューティングサービス Amazon EC2 」,” 映像情報メディア学会誌, Vol.64, No.5, pp.738-741, May 2010

シンポジウム・研究会・大会等発表

[16] T. Phuntsho, C. Hirata, A. K. A. Hamid, Y. Kawahara, T. Asami and H.Watanabe, “Design and Implementation of a WiMAX Analyzer,” 信学技報, Vol.110, No.449, IN2010-162, pp.109-114, March 2011

[17] 加藤拓也，楠慶，川原圭博，浅見徹,”通信量削減によるスペクトラム情報可視化システムの性能改善,” 信学技報，Vol.110, No.449, IN2010-158, pp.85-90, March 2011

[18] 清水和人，頼裕仁，山田和弘，川原圭博，浅見徹,”IEEE802.11g を用いた高速移動体通信環境を再現する エミュレータの設計と評価,” 信学技報，Vol.110, No.449, IN2010-161, pp.103-108, March 2011

[19] 佐々木達哉，川原圭博，浅見徹,”Compressed Sensing を用いた屋外スペクトラムセンシングのための計測地点数削減手法の精度評価,”信学技報，Vol.110, No.449, IN2010-160, pp.97-102, March 2011

[20] 佐々木達哉, 川原圭博, 浅見徹,”Compressed Sensing の無線センサネットワークへの適用に関する研究動向,” 信学技報，Vol.110, No.373, pp.103-108, Jan. 2011

[21] A. K. A. Hamid, Y. Kawahara and T. Asami, “On Applicability of Naming and Addressing in Cloud Computing Management,” IEICE Technical Report, IN2010-97(2010-12), pp. 1-6, Dec. 2010

[22] 西本 寛, 川原 圭博, 浅見 徹,”TV 放送電波を電源として利用するセンサノードのための間欠動作周期決定手法 3,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2010), pp.1049-1055, July 2010 (ヤングリサーチャ賞, 優秀論文賞受賞)

[23] 澤上佳希, 宮坂拓也, 川原圭博, 浅見徹,”磁界共振結合式マルチホップ無線電力伝送方式の解析と評価,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2010), pp.1844-1850, July 2010 (優秀プレゼンテーション賞, 優秀論文賞受賞)

[24] 楠慶, 川原圭博, 浅見徹, 山口和彦,”P2P 動画共有システムにおける Multiple Secret Sharing を用いたコンテンツ不正利用の低減手法,”信学技報，Vol.110, No.128, MoMuC2010-23, pp.57-62, July 2010

[25] 宮坂拓也, 川原圭博, 浅見徹,”エナジーハーベスティング WSN における電力管理手法が通信特性に与える影響の検討,” 情処研報，Vol.2010, UBI-27, No.22, pp.1-8, July 2010

[26] 川西直, A. K. A. Hamid, 宮森良昌, 楠田厚史, 川原圭博, 大橋正良, 浅見徹,”全ストラタム仮想化によるオープン移動通信システムの構想,” 信学技報，IA2010-10, ICSS2010-10, pp.55-59, June 2010

[27] A. K. A. Hamid, K. Wada, Y. Kawahara and T. Asami, “A Network Troubleshooting System Using Augmented Reality Technology,” IPSJ 26th Workshop on Ubiquitous Computing, Vol.2010-UBI-26 No. 7, May 2010

[28] 加藤拓也，楠慶，川原圭博，浅見徹,”スペクトラム情報可視化システムの性能改善手法と評価,” 信学総大，B-7-13, March 2011

[29] 中島直哉，西本寛，川原圭博，浅見徹,”Sensing through Harvesting コンセプトに基づく低コスト無線センサノードの実装と評価,”信学総大, B-20-33, March 2011

[30] 宮坂拓也，川原圭博，浅見徹,”直結型磁界共振結合を用いた無線電力伝送の多段化設計と評価,” 信学総大，BS-2-4, March 2011

[31] 清水和人，山田和弘，川原圭博，浅見徹,” IEEE802.11g を用いた高速移動通信システムのシミュレータ要件,” 信学ソ大，B-15-13, Sept. 2010

[32] T. T. Quang, Y. Li, Y. Kawahara, and T. Asami, “A Statistical Analysis of Spectrum Utilization using Long

Term Measurement RF Data,” 信学ソ大, pp.1-2, Sept. 2010

[33] 楠慶，川原圭博，浅見徹，山口和彦,”P2P 動画共有システムにおけるMultiple Secret Sharingを用いたコンテンツ不正利 用の低減手法の評価,” 信学ソ大，B-7-30, Sept. 2010

[34] 宮坂拓也, 川原圭博, 浅見徹,”磁界共振結合による二次元無線電力伝送方式における仮想パス制御方式,” 信学ソ大，B-20-21, Sept. 2010

[35] Y. Li, T. T. Quang, Y. Kawahara, and T. Asami, “Fast White Space Decision for a Tiled Region of a SpectrumMap Based on Spectrum Data Fusion,” 信学ソ大, pp.1-2, Sept. 2010

[36] 加藤拓也, T. T. Quang, 楠慶, 川原圭博, 浅見徹,”スペクトル情報可視化システムの設計と実装 ,” 信学ソ大，B-7-39, Sept. 2010

[37] 中島直哉, 西本寛, 川原圭博, 浅見徹,”センシングとハーベスティングの統合による低コスト無線センシングシステム,” 信学ソ大，B-20-28, Sept. 2010

[38] 佐々木達哉，川原圭博，浅見徹,” Compressed Sensing によるスペクトラムセンシングの計測数低減の検討,” 信学ソ大，B-15-18, Sept. 2010

その他

[39] 川原圭博，”エネルギーハーベスティングが実現する低コスト無線センシング，” NE テクノロジー・シンポジウム 2010 @CEATEC, Oct. 2010

[40] 川原圭博, 西本寛,”学生実験教材としての GNU Radio,” 第 1 回 GNU Radio ワークショップ, No.10, July 2010

[41] Tohru Asami, “NEDO Project on Development of Next-Generation Highly-Efficiency Network Device Technology - Project Status Towards Energy Saving,” The Fifth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2010), Panel:http://www.icmu.org/icmu2010/panel-asami.pdf, Seattle, U.S.A., April, 2010.

[42] 浅見徹,”100/40GbE 標準化に向けた研究開発プロジェクトと省庁間連携～次世代高効率ネットワークデバイス技術開発プロジェクトから～,” 第１９回フォトニックデバイス・応用技術研究会, Nov, 2010.

[43] 浅見徹,” 100/40GbE 標準化関連研究開発と省庁間プロジェクト俯瞰,” **ネットワーク浸透と進化に関する基盤研究 S 総括シンポジウム** , Jan., 2011.

[44] 浅見徹，"ICT パラダイムシフトに向けたイノベーション実証基盤のあり方 - リーディング「エッジ」を目指して-," 第 4 回情報学シンポジウム“VISION, MISSION, PASSION － The Fourth Paradigm in every aspect is coming soon”，日本学術会議, Mar. 2011.

相田研究室
Aida Laboratory

(http://www.aida.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. Web 上の情報の「意味」の流通および活用法

相田 仁・佐伯 嘉康

Distribution and Utilization of Semantics of Information on Web

H. Aida and Y. Saeki

Web 上には非常に多くの情報が存在するが、そのほとんどは意味を表すメタ情報が付加されていないため、機械が解釈することは困難である。そこで本研究では、Web 上の情報の意味を表すメタデータを第 3 者がもとの Web 情報とは別の場所で公開し、他のユーザと共有することで、ユーザ間で Web 上の情報を効率よく参照し合うことのできる枠組みについて検討を行った。

Although huge amount of information exist on Web, it is very hard to interpret its meaning by machines because most of it lacks meta-information. In this research, we propose a framework in which people can publish and share semantic information of other people's Web pages so that people can mutually refer information on Web more effectively.

2. グリッドサービス構成のためのオーケストレーションメカニズム

相田 仁・アウレリオ アキラ メーロ マツイ

Orchestration Mechanism for Grid Service Configuration

H. Aida and A. A. M. Matsui

グリッドサービスを構成する際には、グリッドサービスの提供される環境がいくつもの管理ドメインにまたがっており、それらが常に利用可能であるとは限らないこと、非同期な通信が必要とされることなどから、高度な調整メカニズムが必要となる。本研究ではアスペクト指向プログラミングと呼ばれる手法を用いて、グリッドサービスを容易に構成する手法について検討した。

Creating Grid services need sophisticated orchestration mechanism because their environments are partitioned into disjoint administrative domains, which are not always available, and asynchronous communication among them are required. In this research, we are investigating a method to compose Grid services using Aspect Oriented Programming.

3. 無線センサネットワークにおける通信方式

相田 仁・景 輝

Communication Method in Wireless Sensor Networks

H. Aida and Hui Jing

無線センサノードは、乾電池や太陽電池などを電源として動作するため、消費電力を抑えることが極めて重要である。本研究では、ゲーム理論に基づいて低消費電力の無線センサネットワークを実現する方式について、協調クラスタリング、マルチホップ通信方式の 2 つの手法について検討を行った。

Saving energy in wireless sensor network is extremely important because wireless sensor nodes use batteries or solar cells as their power source. In this research, we investigated power-saving method by applying game theory to wireless sensor networks based on cooperative clustering as well as multi-hop communication approach.

4. 異種ネットワーク間ハンドオーバーのための階層型サーバシステム

相田 仁、アブクデース アマニ

Vertical Handover Support by means of Hierarchical Network Information Servers

H. Aida and Amani Abuqudais

異なる無線技術に基づくネットワーク間でハンドオーバーを行おうとする際に、現在使用中の無線技術以外のネットワークの存在や負荷状況を取得するために、インターネットにおけるドメイン名前システムと同様な階層型のサーバシステムを構築し、その上に各ネットワークの地理的位置や負荷状況に関する情報を載せることで、複数の無線インタフェースを ON にしなくても、効率よいハンドオーバーを行うことのできる方式を提案した。

In order to get information of the networks of the technologies other than currently connected network at handover across different radio access technologies, we proposed hierarchical server system, similar to the domain name system in the Internet, which provide geographical and load information of access networks. It is shown that efficient handover could be done without powering multiple wireless interfaces ON.

5. Web サーバの安全な秘匿による DDoS 回避

相田 仁・モハマド サミル アビデラヒマン エイド

DDoS Avoidance by Securely Hiding Web Servers

H. Aida and Mohamad Samir AbdelRahman Eid

インターネットバンキングのような SSL(Secure Socket Layer)を用いるサービスにおける DDoS(Distributed Denial of Service)攻撃対策として、真のサーバを VPN(Virtual Private Network)の中に安全に秘匿し、公開サーバに対するアクセスを複数用意したアクセスノードの 1 つを経由して真のサーバに転送することで、SSL との互換性を有する DDoS 攻撃対策を提案し、プロトタイプを作成してその有効性を確認した。

As a defense against DDoS attacks for services such as internet banking which use SSL(Secure Socket Layer), we proposed a method in which real server is securely hidden in VPN(Virtual Private Network) and accesses to public server is forwarded to real server through one of several access nodes.

This scheme provides SSL compatibility and its effectiveness is confirmed by the prototype we built.

6. インフォーマルコミュニケーション誘発のための Web ブラウザ上でのアウェアネスの検討

相田 仁・櫻井 元晴

A Study of Awareness on a Web Browser to Stimulate Informal Communication

H. Aida and M. Sakurai

コミュニケーションは，他者の存在を認識できないと開始することができない。この、他者の存在の認識のことをアウェアネスと言うが、現状の Web を介したコミュニケーションではアウェアネス情報が極端に制限されている。そこで本研究では、Web 上でのインフォーマルコミュニケーションに必須となる偶然の出会いを誘発するために，Web ブラウザを用いたアウェアネスについて考察し、Web ブラウザ間の P2P 型直接通信を用いてアウェアネス情報を交換するツールを試作した。

To initiate communication, people should know existence of other people. This recognition, called awareness, is extremely limited in case of Web communication. In this research, we considered awareness using Web browser in order to stimulate accidental encounter required for informal communication, and built a prototype communication tool which exchange awareness information using direct P2P communication.

7. 高速鉄道における無線 LAN 複数経路通信

相田 仁・竹中 誠矢

Multi-path Wireless LAN Communication in High-speed Railways

H. Aida and S. Takenaka

新幹線のような高速鉄道におけるインターネット接続を高速化する手法として、無線 LAN を用いる方法が考えられるが、通信速度がアクセスポイントからの距離に応じて時々刻々変化するという問題がある。そこで本研究では、車両の前後にアンテナを配置し、車両の位置と速度からそれぞれのアンテナにおける時々刻々の通信速度を予測してパケットを適切に分配することにより、効率的な通信を行うことができることを示した。

Although we can use wireless LAN technology to improve bandwidth of internet connection on board high speed train such as Sinkansen, the bandwidth is heavily dependent of the distance from access points. In this research, effective communication is achieved by placing antennas both at head and tail of the train, estimating their bandwidth based on the position and speed of the train, and properly distributing packets between those antennas.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

国際会議論文

[1] Mohamad Samir A. Eid and Hitoshi Aida: “Securely Hiding the Real Servers from DDoS Floods”, Proceedings of the 10th IEEE/IPSJ International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2010), pp.165-168, Seoul, KOREA, July 19-23, 2010.

[2] Mohamad Samir A. Eid and Hitoshi Aida: “DDoS Attacks Avoidance by Securely Hiding Web Servers”, Poster, 2010 Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC), Austin, USA, December 8-10 2010.

[3] Aurelio Akira Mello Matsui and Hitoshi Aida: “Message Domains as an Architectural Solution to Complexity in Distributed Message-oriented Systems”, Proceedings of 2011 International Conference on Future Information Technology (ICFIT 2010), V2-464, Changsha, China, December 14-15, 2010.

[4] Aurelio Akira Mello Matsui and Hitoshi Aida: “A process to Client-service Compatibility Assessment based on Service-side FSMs”, Proceedings of 2011 2nd International Conference on e-Education, e-Business, e-Management and E-Learning (IC4E 2011), Mumbai, India, January 7-9, 2011.

[5] Hui Jing and Hitoshi Aida: “An Analytical Approach to Optimization of Throughput for IEEE 802.15.4 Slotted CSMA/CA Networks”, Proceedings of IEEE Consumer Communications and Networking Conference 2011 (IEEE CCNC 2011), January 9-12, 2011.

[6] Aurelio Akira Mello Matsui and Hitoshi Aida: “Advanced Client-Service Compatibility Assessment via Analysis of References to Service-side FSMs”, Proceedings of 2011 International Conference on Information and Computer Networks (ICICN 2011), Guiyang, China, January 26-28, 2011.

著書

[7] Hui Jing and Hitoshi Aida: “Cooperative Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks”, Smart Wireless Sensor Networks, pp.157-172, INTECH, ISBN 978-953-307-261-6, 2010.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[8] 櫻井 元晴, 相田 仁: “インフォーマルコミュニケーション誘発のための Web ブラウザー上での他者の可視化手法の検討”, 情報処理学会全国大会, 3ZA-6, 2011 年 3 月.

その他

[9] 佐伯 嘉康, 相田 仁: “意味データを解釈するエージェントを用いたデータ活用環境の開発”, 東京大学グローバル COE セキュアライフ・エレクトロニクス平成 22 年度博士課程報告書, pp.80-81, 2011 年 3 月.

[10] Aurelio Akira Mello Matsui and Hitoshi Aida: “A Programming model for global scale services”, 東京大学グローバル COE セキュアライフ・エレクトロニクス平成 22 年度博士課程報告書, pp.82-83, 2011 年 3 月.

[11] 景 輝, 相田 仁: “An Analytical Approach to Optimization of Throughput for IEEE 802.15.4 Slotted CSMA/CA Networks”, 東京大学グローバル COE セキュアライフ・エレクトロニクス平成 22 年度博士課程報告書, pp.84-85, 2011 年 3 月.

[12] Mohamad Samir A.Eid and Hitoshi Aida: “Deployable and Secure DDoS Protection Mechanism”, 東京大学グローバル COE セキュアライフ・エレクトロニクス平成 22 年度博士課程報告書, pp.86-87, 2011 年 3 月.

江崎 研究室
Esaki Laboratory

(http://www.hongo.wide.ad.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 次世代インターネットアーキテクチャ

江崎 浩

Next Generation Internet Architecture

H.ESAKI

21世紀の情報通信システムに資する次世代インターネットアーキテクチャの要求条件を整理し、そのアーキテクチャを検討し提案している。P2P技術、DTN技術、クラウド技術など、新しく必要となる要素技術の研究のみならず統治アーキテクチャを含む研究を推進した。

The existing Internet architecture can not provide sufficient functionalities that the next generation Internet is going to require. The new architecture must have interoperability and migration capability for practical operation. We have proposed new architecture paradigm and framework.

2. グリーン東大工学部プロジェクト

江崎 浩・落合 秀也・川口紘典

Green University of Tokyo Project

Hiroshi ESAKI, Hideya OCHIAI, H.KAWAGUCHI

インターネットアーキテクチャに基づいた次世代オープン ファシリティーネットワークのアーキテクチャならびに実装・評価、国際標準化を推進した。 プロジェクトの推進にあたっては、50以上の組織から構成される産学連携コンソーシアムを創成して研究開発を推進した。

We have established a R&D consortium, with more than 40 organizations from industry and academia, for next generation open facility network system. It includes not only architectural aspect, but also practical implementation using our live building (Engineering Building No.2) or global standardization activities.

3. Peer-to-Peer システムアーキテクチャ

江崎 浩・浅井 大史・土井 裕介

Peer-to-Peer System Architecture

H.ESAKI, H.ASAI, Y.DOI

インターネット通信の信頼性向上と負荷分散、さらに、より高度な通信サービスを提供するために必要となるPeer-to-Peer システムアーキテクチャの研究開発を行っている。ファイル共有を実現するために研究開発されたP2P技術は、近年、インターネットにおける新しいアーキテクチャパラダイムの実現に向けた要素機能を提供し、さらに効率的なデータ配信を実現するアーキテクチャフレームワークとしての利用の可能性が認識されつつある。P2P システムにおけるトラフィックエンジニアリングをInter-ISP で実現するための経路制御技術の提案と評価を行った。

Peer-to-Peer (P2P) technology and architecture is to achieve distributed and effective contents delivery platform , that is sitting on the IP infrastructure, i.e., overlay network on Internet. P2P architecture is message oriented data delivery system, with the introduction of various component technologies, such as network cache, network DMA and network virtual memory. In this research activity, we have proposed and evaluated the inter-domain routing control for P2P system.

4. アドホックネットワークアーキテクチャ

江崎浩・落合 秀也・石田渉・大津恭平

Ad Hoc Network Architecture

H.ESAKI, H.OCHIAI, W.ISHIDA, K.OHTSU

ブロードバンドインターネット環境の整備と進展は、アプリケーションの動作がインターネットへの接続性の存在を前提としており、インターネットへの接続性を喪失した環境では、ほとんどのアプリケーションが事実上動作しない。 本研究では、このような問題を実践的に、あるいは根本的に解決するシステムアーキテクチャの研究開発を推進している。

The success of broadband Internet leads to the system assumption for the major applications, where the computer has been always on the net. Therefore, without internet connectivity, most of useful applications do not work. In this research activity, the practical and fundamental system architecture to solve this issue.

5. 仮想マシンを用いた広域分散基盤

江崎 浩・金海 好彦・杉田毅博・
川上雄也・園田大剛

AAA Architecture for Large Scale Sensor Network

**H.ESAKI, Y.KANAUMI, T.SUGITA,
Y.KAWAKAMI, D.SONODA**

仮想化技術は計算機システムの信頼性向上と省エネ・環境改善に資するシステム技術である。本研究では、グリーン東大工学部プロジェクト等ファシリティーネットワーキングシステム関する基盤研究を行っている。

The facility networks, e.g., factory automation or building automation, tends to introduce the open networking technology based on TCP/IP. In this research, we try to establish the scalable virtual machine platform, which enable eco-system, which achieves continuous innovations while achieving the energy saving and environment protection.

6. Live E! プロジェクト

江崎浩・落合秀也

Live E! Project; Large Scale Sensor Network

H.ESAKI, H.OCHIAI

インターネット上に展開する大量のセンサーノードや

ホストが生成するデジタル情報が、自律的にかつ自由に流通し再利用される基盤を構築するアーキテクチャの研究開発を実証実験を進めている。

Deployment of sensor network generate huge amount of digital information ubiquitously, and we need a new internet architecture to handle these digital information, while preserving the original architecture of Internet.

7. DTN アーキテクチャ

江崎 浩・落合 秀也・Kaveevivitchai Sathita・Lert Leela

DTN(Delay Tolerant Network) Architecture

H.ESAKI, H.OCHIAI, K.SATHITA, L.LEELA

モバイルネット、アドホックネットにおいては、特に大きな遅延に対応可能なシステムアーキテクチャが必要となる。 これまでの UNIX システムにおけるデータ通信モデルは、小さな遅延時間と常時接続を前提としており、ほとんどのアプリケーションは、DTN 環境では良好に動作することが難しい。本研究では、DTN アーキテクチャの検討を行い、プロトタイプシステムの実装を行う。

In the mobile and ad hoc network environment, the computer system must come up with large delay. In other words, the delay tolerant system architecture must be newly introduced. The existing legacy UNIX system could not aooly to such a large delay communication and does need new architecture framework. In this research, a new communication model must be proposed and be implemented.

8. インターネットトラフィックの計測と解析

江崎 浩・浅井 大史・本舘 拓也・石橋尚武

Measurement and Analysis of Internet Traffic

H.ESAKI, Y. HIMURA, T.MOTODATE, H.ISHIBASHI

インターネットのトラフィック特性は、急速に変化しており、それに対応するトラフィック制御フレームワークが確立されなければならない。 本研究では、WIDE プロジェクトおよび商用 ISP のトラフィックの実データを測定・解析し、その特性を把握し、セキュリティー対策など資する制御手法への応用を展開する。また、インターネットの接続トポロジーを測定データから推察する有効な手法の提案・評価も行った。

The Internet traffic has been always changed and is not easy to measure. In this research, we collaborate with WIDE project and commercial ISPes to measure and analyze the real Internet traffic. Based on the real Internet traffic, we have proposed an effective traffic engineering method. Also, the publish of these analyzed traffic data is useful and unique data to research and business community. Also, we proposed and evaluated the topology estimation using the actual traffic and routing information obtained by live networks.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Y.Himura, K.Fukuda, K.Cho, H.Esaki, "Characterization of Host-Level Application Traffic with Multi-Scale Gamma Model", IEICE Trans. on Communications, Vol.E93-B, No.11, pp.3048-3057, November 2010.

[2] Y.Himura, K.Fukuda, K.Cho, H.Esaki, "An Evaluation of Automatic Parameter Tuning of a Statistics-based Anomaly Detection Algorithm," International Journal on Network Management, Special Issue of on Traffic Monitoring and Network Measurements: from Theory to Practice, Wiley InterScience, (wileyonlinelibrary.com), Vol.20, Isuse 5, pp.295-316, August 2010.

[3] G.Dewaele, Y.Himura, P.Borgnat, K.Fukuda, P. Abry, O.Michel, R.Fontugne, K.Cho, H.Esaki, "Unsupervised host behavior classification from connection patterns," International Journal on Network Management, Special Issue on Traffic Monitoring and Network Measurements: from Theory to Practice, (wileyonlinelibrary.com), Vol.20, Isuse 5, pp.317-337, August 2010.

[4] Hiroshi ESAKI, "A Consideration on R&D Direction for Future Internet Architecture"(other link), Special Issue on Next Generation Networks (NGNs), International Journal of Communication Systems (IJCS), Vol.23, Issue 6-7, pp.694-707, April 2010.

[5] 福田、長、江崎、加藤, "国内ブロードバンドトラヒックの動向(An Analysis of Residential Broadband Traffic in Japan)", IEICE Journal, Vol.23, No.4, pp.276-279, April 2010.

国際会議論文

[6] Hideya Ochiai, Hiroki Ishizuka, Yuya Kawakami, Hiroshi Esaki, "A Field Experience on DTN-Based Sensor Data Gathering in Agricultural Scenarios", IEEE Senosors, November 2010.

[7] Hirochika Asai, Kensuke Fukuda, Hiroshi Esaki, "Towards Characterization of Wireless Traffic in Coexisting 802.11a/g and 802.11n Network", ACM CoNEXT 2010, Philadelphia, November 2010.

[8] Kaveevivitchai Sathita, Hiroshi Esaki, "DTNs Message Deletion and Impact of Human Gathering Points", ACM 6th Asian Internet Engineering Conference (AINTEC) 2010, Bangkok(Thailans), November 2010.

[9] Hirochika Asai, Hiroshi Esaki, "Towards Interdomain Transit Traffic Reduction in Peer-assisted Content Delivery Networks", IEEE 14th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposiym (NETWORKS 2010), Warsaw, Poland,

September 2010.

[10] Hirochika Asai, Hiroshi Esaki, "Estimating AS Relationships for Application-Layer Traffic Optimization", 3rd Workshop on Economic Traffic Management (ETM 2010), Amsterdam, Netherland, September 2010.

[11] Lertluck Leela-amornsin, Hiroshi Esaki, "Heuristic Congestion Control for Message Deletion in Delay Tolerant Network", The 10th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Advanced Networking (NEW2AN 2010), St.Petersburg, Russia, August, 2010

[12] Sathita Kaveevivitchai, Hideya Ochiai, Hiroshi Esaki, "Message Deletion and Mobility Patterns for Efficient Message Delivery in DTNs", PerCom 2010 (Eighth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications), Mannheim, Germany, March 29 - April 2, 2010.

森川研究室
Morikawa Laboratory

(http://www.mlab.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. センサネットワーク

森川 博之・猿渡 俊介・鈴木 誠・劉 進志・
黒岩 拓人・ティモティ ラウレンス・
高 超・下城 拓也

Sensor Networks

**H. Morikawa, S. Saruwatari, M. Suzuki, J. Li,
T. Kuroiwa, T. Lawrence, C. Gao, and T. Shimojo**

ユビキタスネットワーク環境を実現するためには，いかにして物理世界の情報をコンピュータネットワークの中に取り込むかが課題となる．これに向けてセンサネットワークグループでは，無線センサネットワーク技術に着目し，無線センサネットワークの通信技術から，OSを含めた無線センサネットワークプラットフォーム，さらにはセンサから取得した情報を利用するアプリケーション技術までを包括的に研究を進めている．具体的には，無線センサノード向けのハードリアルタイムオペレーティングシステム，1 フロア当り数十の無線センサノードで実現される地震モニタリングアプリケーション，NGN/IMS アーキテクチャを利用したユビキタスヘルスモニタリングアプリケーション，収集データに基づき育成管理を行う農場モニタリングアプリケーション，環境から取得したエネルギーで駆動する無線センサノード技術，無線センサネットワークのための省電力マルチコアCPU，モバイル端末上でセンサデータを蓄積する省電力データベース技術の研究開発を行っている．

One of the key challenges in realizing ubiquitous network environments is that of capturing and using physical world information in a computer network. Towards this, our group focuses on wireless sensor networks, and performs comprehensive research on topics such as novel wireless communication protocols, a wireless sensor network platform, and sensor network applications. Specifically, we are researching on hard real-time operating system for wireless sensor nodes, earthquake monitoring, communication protocols for battery-less sensor nodes, greenhouse monitoring application for smart agriculture, energy efficient multicore CPU for wireless sensor networks, and a low power sensor database system on a mobile device.

2. グリーンネットワーク

森川 博之・今泉 英明・鈴木 誠・山本享弘・
石田 繁巳・浅井 光太郎・白 先暻

Green Networks

**H. Morikawa, H. Imaizumi, M. Suzuki,
T. Yamamoto, S. Ishida, K. Asai, and S. Beak**

グリーンネットワークグループでは，インターネットや家電ネットワーク，センサネットワークなどを含む，様々なICT技術における省電力化に取り組んでいる．地球温暖化問題に端を発し，消費電力の急増している ICT 分野においても，省電力化が必須要素となっている．省電力化手法の基本は，品質を落とさずに無駄を省く技術である．特にLANでは平均利用率が1%とされ，人間の行動に深く関連する無駄が存在する．これらの無駄の発見には，人間の行動を予測するコンテキストアウェア技術などとの連携が不可欠である．バックボーンでは，これらの行動の集約となるトラフィックが流れるため，トラフィック量は一日の中で一定のパターンで変化する．本グループでは，これらホーム，オフィス，バックボーンなどの多様なネットワークを対象に，それぞれネットワークに特化した省電力化を検討している．最終的には，これら全てが連携したグリーンネットワークアーキテクチャの確立を目標としている．

Green Network Group aims at reducing the power consumption of various ICT technologies including Internet, home appliance networks, and sensor networks. Due to the global warming, ICT technologies which rapidly increase their power consumption are forced to reduce it. The basic methodology for reducing power consumption is to eliminate various wastes without sacrificing its quality. Especially, in LANs where the average utilization is approximately 1%, the waste deeply bound to human activities exists. In order to detect such waste efficiently, the cooperation with context-aware technologies for predicting human activities is necessary. That is, traffic in backbone networks resulted from such activities has obvious patterns during a day or a week. This group considers different power saving methods specialized for each target network. Our final target is to integrate these methods into green network architecture where the total power consumption is efficiently reduced at network level.

3. 無線通信システム

森川 博之・翁長 久・鈴木 誠・
金 昊俊・長縄 潤一・諸橋 知雄・
岩元 啓・菅沼 久浩・奥井 寛樹

Wireless Communication Systems

**H. Morikawa, H. Onaga, M. Suzuki, H.Kim,
J. Naganawa, T.Morohashi, K. Iwamoto,
H. Suganuma, and H. Okui**

携帯電話や無線 LAN の登場によって加速されたモバイル端末の発展により，無線通信技術は新しい局面を迎えている．ワイヤレスグループでは，無線通信の新しい応用分野の創出を目指すと同時に，電波政策などの俯瞰的な視点からも研究を進めている．具体的には，広範囲・高密度かつ高精度に電波の利用状況を収集する分散スペクトラムセンシング，産業用ロボットなどを同期制御するために往復数ミリ秒以内の高速なデータ送受信を実現

するリアルタイムワイヤレス，単一チャネルでの同時送受信により 2 倍の帯域利用効率を実現する同一チャネル全二重ワイヤレス，遅延や負荷の可視化によりソフトウェア無線機の開発を支援するソフトウェア無線プロファイリング，などの研究を行っている．

Wireless communication technology moves forward to a new phase by the progress of mobile devices, such as cell phones and WiFi PCs. Wireless group is widely studying not only the new application area of wireless communication, but also spectrum management policy. We are currently working on distributed spectrum sensing for collecting accurate spectrum usage information from densely placed sensor nodes, realtime wireless system enabling submilliseconds round trip time for wireless control networks, single channel wireless full-duplex system for doubling frequency usage efficiency, and software defined radio (SDR) profiler for SDR design and development by retrieving information such as load and delay.

4. ストリームデータ

森川 博之・鈴木 誠・加美 伸治・
ギョーム ブロジ・中嶋 毅彰・角田 仁・
田代 諭拡・デイビッド ゴンザレス

Stream Data

H. Morikawa, M. Suzuki, S. Kami, G. Brogi, T. Nakajima, H. Kakuta, Y. Tashiro, and D. Gonzalez

携帯電話に搭載されたセンサや環境中に埋め込まれたセンサから収集された時系列データ「ストリームデータ」を解析することで，多様なアプリケーションが創出される可能性がある．このような観点から，ストリームデータグループでは，ストリームデータを収集・蓄積・共有・マイニングする「ストリームデータプラットフォーム」実現のための研究課題を明らかにすることを最終ゴールとし，実際にアプリケーション開発を行いながら研究開発を進めている．具体的には，ヘルスモニタリング，ソーシャルモニタリング，スマートグリッド，農業 ICT といったアプリケーションを開発しながら研究を進めている．また，アプリケーション開発と並行して，ストリームデータの管理に適した分散 NoSQL データベースアーキテクチャ，プラグインによって多様なアプリケーションに適応するデータベースシステム，位置情報に基づく階層型分散データベースシステム，レイトバインディング型の名前解決アーキテクチャの設計をも進めている．

Our group envisions a world where a wide range of applications is created by processing stream data obtained from sensors embedded in a physical world. Our group aims to identify grand research challenges for designing a “stream data platform” for collecting, distributing, and mining stream data by developing applications such as healthcare, radio spectrum visualization, earthquake monitoring, social modeling, smart grid, and smart agriculture. In parallel to developing a wide variety of applications, we are designing a distributed NoSQL database architecture suitable for stream data management, plugin-based database systems for coping with various applications, location-based distributed database systems, and late bind name resolution architecture.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 猿渡 俊介, 南 正輝: "道具化するセンサネットワーク", 電気設備学会誌, vol. 30, no. 4, pp.273-277, Apr. 2010.

[2] H. Si, S. Saruwatari, M. Minami, and H. Morikawa: " A Ubiquitous Power Management System to Balance Energy Saving and Response Time based on Device-level Usage Prediction, Name of the journal, " IPSJ Journal, vol. 18, pp. 147-163, Apr. 2010.

[3] 猿渡 俊介, 森川 博之: "ユビキタスセンサネットワーク", 日本ロボット学会誌, vol.28, no. 3, pp.284-287, Apr. 2010.

[4] 荒木靖宏，森川博之: "サービス創出基盤としてのNGN", 通信ソサイエティマガジン [夏号] , no.13, pp.22-32, June 2010.

[5] 猿渡 俊介, 森川 博之: "社会創造に資するセンシングプラットフォーム", 情報処理学会誌, vol. 51, no. 9, pp. 7-14, Sep. 2010.

[6] 森川博之: "ユビキタスセンサネットワークが切り開く新たな世界", 応用物理, vol.80, no.3, pp.189-pp.194, Mar. 2011.

国際会議論文

[7] N. Yamada, " Y. Isoda, M. Minami, and H. Morikawa: Incremental Route Refinement for GPS-enabled Cellular Phones," in Proceedings of the Fifth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2010), pp. 87-93, Apr. 2010.

[8] N. P. Le, T. Morohashi, H. Imaizumi, and H. Morikawa: " A Performance Evaluation of Energy Efficient Schemes for Green Office Networks," in Proceedings of the 2nd IEEE Green Technologies Conference, Dallas, USA, pp. 1-9, Apr. 2010.

[9] H. Kakuta, M.Suzuki, S. Saruwatari, and H. Morikawa: " Obtaining speaking time in a meeting room by/with source localization," in Proceedings of the 3rd Asia-Europe Workshop on Ubiquitous Computing 2010 (AEWUC'10), Helsinki, Finland, May. 2010.

[10] T. Nakajima, M. Suzuki, S. Saruwatari, and H. Morikawa: " Design of a light-weight failure detection for earthquake monitoring," in Proceedings of the 3rd Asia-Europe Workshop on Ubiquitous Computing 2010 (AEWUC'10), Helsinki, Finland, May. 2010.

[11] S. Saruwatari: [Invited Talk] " Real-time Wireless," in Proceedings of the 3rd Asia-Europe Workshop on Ubiquitous Computing 2010 (AEWUC'10), Helsinki, Finland, May. 2010.

[12] S. Baek, H. Si, S. Saruwatari, J. Hjelm, T. Oda, and H. Morikawa: " Anomaly Detection from the Operation History of DLNA Devices," in Proceedings of the 2nd International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN2010), 5C-4, June 2010.

[13] S. Ishida, T. Takiguchi, S. Saruwatari, M. Minami, and H. Morikawa: " Evaluation of a Wake-up Wireless Module with Bloom-Filter-Based ID Matching," in Proceedings of 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2010), Kuching, Sarawak, Malaysia, June 2010.

[14] Y. Okamura, H. Imaizumi, K. Hisadome, O. Ishida, Y. Sekiya, and H. Morikawa: " An Evaluation of Effects on Packet Loss Rate by Optical Packet Multiplexing Based on BGP Flow Aggregation," in Proceedings of PS2010 (Photonics in Switching 2010), Monterey, California, USA, PMD4, July 2010.

[15] H. Morikawa: " Future Networked Society is Driven by Stream Data," in Proceedings of OECD Technology Foresight Forum 2010, Smart ICTs and Green Growth, Paris, France, Sep. 2010.

[16] H. Morikawa: " Real World Internet: A Glimpse of Where We Are Going," in Proceedings of 13th German-Japanese Symposium, p.36, Osaka, Japan, Sep. 2010.

[17] T. Yamamoto, S. Saruwatari, and H. Morikawa: " Energy-Efficient Upload Engine for Participatory Sensing," in Proceedings of International Workshop on Ubiquitous Service Platforms (IWUSP 2010), Kyoto, Japan, Oct. 2010.

[18] H. Morikawa: [Plenary Talks] " Ubiquitous Sensor Networks: A Glimpse of Where We are Going," in Proceedings of 2010 International Conference on Advanced Intelligence and Awareness Internet, Beijing, China, Oct. 2010.

[19] T. Yamamoto, S. Saruwatari, and H. Morikawa: "Implementation of Piggyback Sensor Data Transfer on Mobile Phone," in Proceedings of Internet of Things 2010 Conference (IoT 2010), Tokyo, Japan, Dec. 2010.

[20] S. Ishida, T. Takiguchi, S. Saruwatari, M. Minami, and H. Morikawa: " Implementation of Bloom-Filter-Based ID Matching for Wake-up Wireless Communication," in Proceedings of Internet of Things 2010 Conference (IoT 2010), Tokyo, Japan, Dec. 2010.

[21] J. Naganawa, H. Kim, S. Saruwatari, H. Onaga, and H. Morikawa: " Distributed Spectrum Sensing Utilizing Heterogeneous Wireless Devices and Measurement Equipment," in Proceedings of Internet of Things 2010 Conference (IoT 2010), Tokyo, Japan, Dec. 2010.

[22] S. Saruwatari, J. Hjelm, T. Oda, and H. Morikawa: " A

System for Logging Operation Histories of DLNA Devices by Combining ARP Spoofing and SSDP," in Proceedings of the 29th IEEE International Conference on Consumer Electronics (IEEE ICCE'11), January 2011.

[23] H. Morikawa: [Keynote] " Smart Social Infrastructure," in Proceedings of Symposium on Interaction with Smart Artifacts, Tokyo, Japan, Mar. 2011.

著書

[24] H. Imaizumi and H. Morikawa: " Directions towards Future Green Internet," R. Prasad, S. Ohmori, and D. Simunic (Eds) Towards Green ICT, pp.37-53, River Publishers, 2010.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[25] 今泉 英明: [招待講演] "グリーンインターネットに向けた技術動向", 電子情報通信学会技術研究報告, アドホック/ネットワーク研究会, AN2010-9, pp.43-48, May 2010.

[26] 川島 英之, 猿渡 俊介: "ストリーム処理エンジンにおける集約演算の実時間処理に関する一考察", 情報処理学会研究報告, ユビキタスコンピューティングシステム研究会, UBI-26-5, May 2010.

[27] 山田 直治, 礒田 佳徳, 南 正輝, 森川 博之: "GPS 搭載携帯電話を用いた移動経路履歴に基づく訪問地・経由地予測システム", 情報処理学会研究報告, ユビキタスコンピューティングシステム研究会, UBI-27-8, Jul. 2010.

[28] 山本 享弘, 猿渡 俊介, 森川 博之: "Participatory Sensing における低消費電力なセンサデータアップロードエンジン", 情報処理学会研究報告, ユビキタスコンピューティングシステム研究会, UBI-27-20, Jul. 2010.

[29] 森川 博之: "短距離無線通信（SRW）研究会発足にあたって", 電子情報通信学会技術研究報告, 短距離無線通信時限研究会, SRW2010-1, Aug. 2010.

[30] 猿渡 俊介, 森川 博之: 【奨励講演】"無線センサネットワークの未来", 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, MBL-55-6, Sep. 2010.

[31] 角田 仁, 中嶋 毅彰, 石田 繁巳, 猿渡 俊介, 森川 博之: "社会実装に向けたヘルスケア情報共有基盤", 第 5 回人間情報学会, Dec. 2010.

[32] 岡村 悠貴, 鈴木 誠, 今泉 英明, 関谷 勇司, 森川 博之: "光リングネットワークにおける帯域利用効率向上のためのパケットスケジューリング手法", 電子情報通信学会技術研究報告, フォトニックネットワーク研究会, PN2010-57, Feb. 2011.

[33] 瀧口 貴啓, 石田 繁巳, 岸 孝彦, 丹羽 栄二, 見並 一明, 猿渡 俊介, 森川 博之: "ウェイクアップ型無線通信におけるビット不一致許容 ID マッチング", 電子情報通信学会技術研究報告, 情報ネットワーク研究会, IN2010-176, Mar. 2011.

[34] 長縄 潤一, 井上 武, 佐藤 浩史, 山崎 敬広, 猿渡 俊介, 森川 博之: "分散サンプリングストレージを用いた電波利用状況可視化", 電子情報通信学会技術研究報告, 情報ネットワーク研究会, IN2010-183, Mar. 2011.

[35] 加美 伸治, 榎本 敦之, 馬場 輝幸, 吉川 隆士, 森川 博之: "GPS データからの重要位置の高速検出アルゴリズム", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-20-3, Sep. 2010.

[36] 石田 繁巳, 瀧口 貴啓, 猿渡 俊介, 南 正輝, 森川 博之: "ウェイクアップ型無線通信のためのグループ指定可能 ID マッチング機構の実装", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-140, Sep. 2010.

[37] 長縄 潤一, 金 昊俊, 猿渡 俊介, 翁長 久, 森川 博之: "分散スペクトラムセンシングにおける異種電波取得機器の統一操作方法", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-94, Sep. 2010.

[38] 山本 享弘, 猿渡 俊介, 森川 博之: "Participatory Sensing における低消費電力転送エンジンの実現", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-20-29, Sep. 2010.

[39] F. Panjaitan, E. M. Okawa, H. Kakuta, J. Hjelm, T. Oda, S. Saruwatari, and H. Morikawa: " Appliance Recognition Using Power State Segregation at Low Sampling Rate," 電子情報通信学会総合大会, B-20-58, Mar. 2011.

[40] 木下 聡, 喜田 弘司, 鈴木 誠, 角田 仁: "データストリーム処理による混雑度分析の実証実験と評価", 電子情報通信学会総合大会, B-20-48, Mar. 2011.

[41] 鈴木 誠, 森川 博之: "無線センサネットワークにおける時刻同期のための定期的散布プロトコル", 電子情報通信学会総合大会, B-20-19, Mar. 2011.

[42] 金 昊俊, 長 縄潤一, 鈴木 誠, 猿渡 俊介, 翁長 久, 南 正輝, 森川 博之: "低コストスペクトラムセンサを用いた周波数占有率測定", 電子情報通信学会総合大会, B-5-113, Mar. 2011.

[43] 長縄 潤一, 井上 武, 佐藤 浩史, 山崎 敬広, 猿渡 俊介, 森川 博之: "分散サンプリングストレージを用いた電波利用状況可視化の初期的検討", 電子情報通信学会総合大会, B-20-25, Mar. 2011.

[44] 高木 潤一郎, 長縄 潤一, 高 超, 井上 武, 佐藤 浩史, 山崎 敬広, 猿渡 俊介, 森川 博之: "ランダムサンプリングを用いた空き周波数帯域検索手法", 電子情報通信学会総合大会,B-20-24, Mar. 2011.

[45] 山本 享弘, 猿渡 俊介, 森川 博之: "携帯電話端末における低優先度通信のための実行制御方式", 電

子情報通信学会総合大会, B-15-7, Mar. 2011.

[46] 李 睿智, 高木 潤一郎, オオカワ エリック, 鈴木 誠, 今泉 英明, 森川 博之, 鈴木 亮平, 永田 智大: "MapReduce における省電力ハートビートに関する検討", 電子情報通信学会総合大会, B-7-21, Mar. 2011.

[47] 高木 潤一郎, 川島 英之, 猿渡 俊介, 森川 博之: "センサデータベースにおける問合せ処理とデータサイズの効率化に関する検討", 電子情報通信学会総合大会, B-20-49, Mar. 2011.

[48] 石田 繁巳, 瀧口 貴啓, 猿渡 俊介, 森川 博之: "ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型無線通信システムにおける ID 長の影響", 電子情報通信学会総合大会, B-5-146, Mar. 2011.

[49] 瀧口 貴啓, 石田 繁巳, 岸 孝彦, 丹羽 栄二, 見並 一明, 猿渡 俊介, 森川 博之: "車両内ウェイクアップ型無線通信における数個のビット不一致許容 ID マッチング", 電子情報通信学会総合大会, B-5-145, Mar. 2011.

[50] 岡村 悠貴, 鈴木 誠, 石田 繁巳, 今泉 英明, 関谷 勇司, 森川 博之: "非同期光パケットリングにおける高帯域利用効率パケット選択方式", 電子情報通信学会総合大会, B-10-96, Mar. 2011.

[51] 加美 伸治, 吉川 隆士, 馬場 輝幸, 森川 博之: "実空間における情報伝搬ネットワーク構造の検討", 電子情報通信学会総合大会, B-7-60, Mar. 2011.

その他（講演）

[52] 猿渡 俊介, 森川 博之: "ユビキタス社会を切り拓くワイヤレス技術", ワイヤレス・テクノロジー・パーク 2010 (WTP2010), アカデミアプログラム, May 2010.

[53] 森川 博之: "新たな無線技術動向調査の結果について", 総務省新たな電波の 活用ビジョンに関する検討チーム, June 2010.

[54] 森川 博之: "ICT はどこへ行くのか？", Interop Tokyo 2010, June 2010.

[55] 今泉 英明: "高速光伝送の未来と課題 - スピード vs ボトルネック- ",Interop Tokyo 2010, June 2010.

[56] H. Morikawa: "The Challenge of Modernization," Japan-Russia International Conference: The Role of the State in Technical Modernization, Tokyo, Japan, June 2010.

[57] H. Morikawa: "Technical Program Overview," 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT), Kuching, Malaysia, June 2010.

[58] 森川 博之: 【特別講演】"クラウド時代のユビキタスサービス", 日立 uVALUE コンベンション, Jul. 2010.

[59] 菅沼 久浩, 鈴木 誠, 猿渡 俊介, 森川 博之: "ソフトウェア無線プラットフォームの研究動向", 第 1 回 GNU Radio ワークショップ, Jul. 2010.

[60] 長縄 潤一, 猿渡 俊介, 森川 博之: "GNU Radio を用いた電波利用状況の測定", 第 1 回 GNU Radio ワークショップ, Jul. 2010.

[61] 猿渡 俊介: "GNU Radio ワークショップ開催の趣旨", 第 1 回 GNU Radio ワークショップ, July 2010.

[62] 森川 博之: "ICT はどこに行くのか？", 電子情報技術産業協会フレキシブル デバイス技術分科会, Aug. 2010.

[63] 森川 博之: "G 空間サービスを実現するユビキタス情報基盤", G 空間 Expo, Sep. 2010.

[64] 森川 博之: 【基調講演】"スマートフォンの衝撃", YRP 特別セミナー, Oct. 2010.

[65] 猿渡 俊介: "なぜ GNU Radio が注目されているのか", ワークショップ「量子情報処理用マイクロ波測定装置の開発」, Oct. 2010.

[66] 森川 博之: "クラウド時代のユビキタス", 平成22年度第 1 回情報通信シンポジ ウム, Nov. 2010.

[67] 森川 博之, 猿渡 俊介: "Gnu Radio で創る無線送受信機", YRP 情報通信技術研修, Nov. 2010.

[68] 森川 博之: "社会基盤としのて ICT", 河川情報シンポジウム, Dec. 2010.

[69] S. Ishida: "Wake-up Wireless Communication System", Tech Talks and Mix at Google Tokyo, Tokyo, Japan, Dec. 2010.

[70] 森川博之: "新たな世界を切り拓くセンサネットワーク", JS 研究会, Feb. 2011.

[71] 森川博之: "新事業創出戦略", 総務省新事業創出戦略委員会, Feb. 2011.

その他（記事）

[72] T. Kawasaki T. Ikebe, K. Ueda, T. Miyoshi, G. Kimura, M. Yamamoto, J. Akiba, T. Tamura, S. Inoue, N. Imai, H. Suzuki, and H. Morikawa: " Report on 26th IN/NS Research Workshop," IEICE Communications Society – GLOBAL NEWSLETTER, vol. 32, pp.3-4, June 2010.

[73] 猿渡 俊介: "本質を議論する能力", Global COE 2010 —活躍する若手研究者たち, p. 15, Nov. 2010.

その他（報道・取材協力）

[74] 取材協力(森川 博之): "IT 市場 クラウド旋風", 朝日新聞, 2010 年 8 月 16 日朝刊 2 面. Aug. 2010.

[75] 取材協力（森川 博之）: "IT で未来を切り拓くために CTC がなすべきこと", CTC グループ CSR Report 2010, pp.13-16, Sep. 2010.

[76] 取材協力（森川 博之）: "クラウド時代のユビキタスサービス", 日経ビジネス, pp.80-81, 2010 年 9 月

13 日号，Sep. 2010.

[77] 取材協力（森川 博之）："クラウド時代のユビキタスサービス", Uvalere，pp.21-25, vol.19, Oct. 2010.

[78] 報道: "アンビエント社会基盤研究会"，日刊工業新聞, 2010 年 10 月 22 日朝刊, Oct. 2010.

[79] 報道: "「ユビキタス･プラットフォーム技術の研究開発」の実証実験", RBB TODAY, Nov. 2010.

[80] 取材協力（森川 博之）："クラウド時代のユビキタスサービス"，日立評論，日立創業 100 周年記念 講演録，pp.20-30, Nov. 2010.

[81] 取材協力（森川 博之）："情報通信を使って、人が喜ぶことを探したい"，先端研旬報， Dec. 2010.

[82] 取材協力（森川 博之）："NFC は“おサイフ”を超えて"，日経エレクトロニクス， 3 月 21 日号，pp.53-79, Mar. 2011.

その他（受賞）

[83] 猿渡 俊介, 司 化, 西村 亨輔, ヨハン イェルム, 小田 稔周, 森川 博之: 第 52 回 MBL 研究会優秀論文賞, 情報処理学会　モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, Apr. 12, 2010.

[84] 鈴木 誠, 猿渡 俊介, 南 正輝, 森川 博之: 21 年度電子情報通信学会論文賞，社団法人　電子情報通信学会, May. 22, 2010.

[85] 森川 博之: 志田林三郎賞（情報通信月間推進協議会会長表彰），情報通信月間推進協議会, June 1, 2010.

[86] 森川 博之: 功労顕彰状，電子情報通信学会通信ソサイエティ, Sep. 15, 2010.

近山・田浦研究室
Chikayama & Taura Laboratory
(http://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. InTrigger 広域分散テストベッドの構築

田浦健次朗・鴨志田良和・柴田剛志・横山大作・頓南・原健太朗・中島潤・加辺友也・近山隆

Design and implementation of InTrigger Widely Distributed Testbed

K. Taura, Y. Kamoshida, T. Shibata, D. Yokoyama, N. Dun, K. Hara, J. Nakashima, T. Kabe, and T. Chikayama

科研費特定領域研究の一部として, 18 拠点, 2,000 以上の CPU コアからなる広域分散プラットフォームを構築した. システムソフトウェア, データマイニングや自然言語研究者のためのリソースとして, 数十グループに使われている. その目的のため, 全拠点にまたがった統一されたソフトウェアの構成管理, OS カーネルを含めたソフトウェアの自動インストール, OS が起動不能になった際の IPMI による遠隔管理などを行うことができる環境を構築した.

As part of MEXT Grant-in-Aid for Scientific Research on Priority Areas “Cyber Infrastructure for the Information-explosion Era”, we have built a widely distributed platform consisting of eighteen sites and more than 2,000 CPU cores. The platform is used by many groups of researchers in various fields including system software, data mining, and natural language processing. To this end, we have designed and built an environment that maintains software of all sites in an identical state, automatically installs all software including operating systems, and remotely manages broken nodes including those that do not boot.

2. 分散環境の監視と状態推定

鴨志田良和・田浦健次朗・近山隆

Monitoring and automatic state classification of parallel computing environments

Y. Kamoshida, K. Taura, and T. Chikayama

並列処理環境を多数のユーザが共有して使うために, 計算機の状態を可視化して, リアルタイムに状態が把握できるようにするためのシステム VGXP を設計, 実装した. Web 経由で自動インストールを可能とし, 14 拠点 500 以上のホストで常時稼働している. また, 計算機の状態 (CPU やメモリ, 稼働中のプロセスなど)に関する過去の記録をもとに計算機の状態を分類し, それにより異常な挙動をしている計算機を自動的に検出したり, その異常原因を特定する方式に関する研究を行った.

We have designed and implemented VGXP, a tool that visualizes many computers and helps users reason about states of systems shared by many people in real time. It installs automatically through web browsers and now operates on more than 500 hosts in 14 cites. We also proposed an automatic machine states classification system that can automatically detect ill-behaving machines and infers the cause of the behavior.

3. 並列科学技術計算のための高生産・高性能プログラミング処理系

原健太朗・河野瑛・池上克明, 田浦健次朗, 近山隆

A Highly Productive and High Performance Programming Framework for Parallel Scientific Computing

K. Hara, A. Kono, K. Ikegami, K. Taura, and T. Chikayama

次世代の大規模な並列処理環ノード数の増加, ノード内の並列度の増加,アクセラレータの利用などによるヘテロ化などでプログラミングが極めて複雑になるとみられている. そのような環境のプログラミングの複雑さを低減するため, 大域アドレス空間に基づくライブラリ DMI を設計・実装している.

DMI では, プログラマは単に十分な数のスレッドを生成して, 共有メモリモデルに基づく簡単なプログラミングインタフェースのもとで並列計算を記述するだけで良い. すると, DMI の処理系がそれら大量のスレッドをその時点で利用可能な計算資源に動的にマッピングし, 透過的に計算規模を増減してくれる. DMI の要素技術として以下を研究している：

(1) 大域アドレス空間に対する read/write アクセスを高性能化する技術

(2) ノードの動的な参加/脱退を越えて大域アドレス空間のコンシステンシを維持するためのアルゴリズム

(3) ノード間での安全なスレッド移動

(4) 利用可能な計算資源に対して大量のスレッドをスケジューリングするアルゴリズムの最適化

また, 科学シミュレーションの研究者と協力し, 実世界の有限要素法や粒子法を題材にした性能評価と最適化に取り組んでいる.

Programming complexity of parallel computing platforms is only increasing due to increasing number of nodes, increasing number of parallelism inside each node, and heterogeneity of nodes. In order to circumvent the situation, we are working on DMI, a communication library based on global address space.

With DMI, a programmer only has to create a sufficient number of threads and describe a parallel computation using easy programming interface based on a shared memory model. Then the runtime of DMI dynamically schedules and maps these massive threads on available resources and thus transparently expands and shrinks the scale of the computation. Work has been in progress on the following elemental techniques of DMI:

(1) Techniques for improving the performance of read/write accesses to a global address space

(2) Algorithms for maintaining the consistency of the global address space beyond dynamic joining and leaving of nodes

(3) Live thread migration between nodes

(4) Optimization of the scheduling of massive threads on available resources

We have been also working on the performance evaluation and the optimization of DMI using real-world scientific computings such as finite element methods and particle methods, collaborating with scientific simulation experts.

4. 次世代超並列計算機のためのマルチスレッド処理系

中島潤, 田浦健次朗, 近山隆

A Multithread Framework for Next-Generation Massively Parallel Computer

J. Nakashima, K. Taura, and T. Chikayama

今後の並列計算機は,

(1) 各計算ノードに, より多くの CPU コアを搭載する

(2) 1 つの CPU コア内で複数のスレッドを実行し, 通信やメモリアクセスのレイテンシを隠蔽する

(3) 計算ノードの台数を増加させる

(4) 計算ノード間を接続するネットワークを高速化する

の 4 つの方向に発展していくと予想されている. したがって, 次世代超並列計算機のハードウェア性能を引き出すためには, 多くの CPU コアに, そのコア数よりも多くのスレッドを適切に割り当てて並列実行することと, ノード間の協調とレイテンシの隠蔽のために多くのスレッドからの I/O 処理を効率的に行うこと, の 2 つを満たすことがソフトウェアに要求されている.

この状況を踏まえ, 我々は上に挙げた 2 つの要求を満たし, さらに既存のアプリケーションにも容易に適用可能なマルチスレッド処理系, MassiveThreads を提案する. 本研究の目標は, MassiveThreads の実装を通じて, 次世代超並列計算機上で, 高生産言語の処理系や, データ集中型計算, 高並列サーバといったアプリケーションを簡潔, かつ高性能に記述, 実行するための基盤ソフトウェアを構築することである.

Next-generation parallel computer have more CPU cores, multiple threads on one core for hiding network and memory latency, more computational nodes, and faster networks. Thus in designing software, both handling I/O from many threads to cooperate between nodes and hide latency, and executing more threads than the number of CPU cores efficiently, are essential to utilize next-generation massively parallel computer hardware.

With this background, we purpose MassiveThreads: a multithread framework not only meets the two requirements described above, but also can apply to existing software easily. The goal of our research is to construct middleware for writing and executing high-performance application such as high-productivity language runtime, data-intensive computing application, and high-concurrency server through implementation of MassiveThreads.

5. 高性能データ集約的計算のためのワークフロー実行系・ファイルシステム

頓楠, 柴田剛志, 陳婷, 崔升準, 堀内美希, 田浦健次朗, 近山隆

N. Dun, T. Shibata, T. Chen, S. Choi, M. Horiuchi, K. Taura, and T. Chikayama

生物情報学(ゲノム解析), 天文学, 高エネルギー物理学, 環境モニタリング, 情報検索, 情報抽出など様々な分野で, 大量のデータをネットワークで共有し, それらのデータから計算機を用いて新たな知識の発見を目指す, 「データ集約的計算」と呼ばれる方法論が発展している. 本研究ではそのようなデータ集約的計算を大量の計算機でスケーラブルに並列処理できる枠組みおよび実際のシステムの構築を目指している. システムは主にワークフロー記述・実行系および分散・並列ファイルシステムからなっている.

(1) GXP make という make に基づくワークフローシステムを構築し, クラスタ, 各種スーパーコンピュータ(8000 並列)上で, ゲノム断片のアラインメント, 天文画像のモザイキング, 生物医学文献データベースからのたんぱく質相互作用抽出などの実応用への適用及びそれらを用いた評価を行っている. また, 新言語やその高性能ディスパッチャに間する研究が進行中である.

(2) 分散したデータをファイルシステムとして統合し, どのような環境でもワークフローが簡便に実行できるファイルシステム GMount を設計・実装している. また, 大量の並列性に対してスケーラブルな性能を示し, データが広く分散し, ネットワークの遅延が大きくても良好な性能を示すファイルシステムの構築を目指している.

"Data-Intensive Computing" is an emerging computing paradigm that aims at scientific discovery by processing massive amount of data. It is becoming a mandatory methodology in various fields including bioinformatics (genomics), astronomy physics, high energy physics, environmental monitoring, information search, and information extraction. In this work, we aim at establishing a framework and building systems for executing large scale data-intensive computing on massively parallel computers. The system consists of two components---a workflow engine and a distributed and parallel file system.

(1) we designed and built a workflow engine based on the unix 'make', called GXP make. The system has been implemented on various platforms including clusters and several supercomputers (up to 8,000 parallelism). We run several real applications including genome reads alignments, astoronomy image mosaicing, and extraction and classification of protein interaction events from all available PubMed abstracts. Work is in progress on new languages for

data-intensive computing and its high-throughput dispatchers and schedulers.

(2) We designed and implemented a distributed file system that can easily integrate local file systems distributed across many sites and thus enable workflow execution on distributed set of data. Work is in progress on file systems that show robust performance in widely distributed environment that have high latencies.

6. コンピュータゲームプレイヤの研究

吉本晴洋・矢野友貴・浦晃・水野悠・荻野達夫・鈴木洋平・横山大作・田浦健次朗・近山隆

Research on Computer Game Players

H. Yoshimoto, Y. Yano, A. Ura, Y. Mizuno, T. Ogino, Y. Suzuki, D. Yokoyama, and T. Chikayama

計算機によるゲームプレイヤの研究は，人工知能を含むコンピュータサイエンス の多くの分野に応用できる実用的な題材として多くの成果を挙げてきた．我々はその中で，大量の棋譜からの知識獲得や並列化による，より効率的な探索手法に ついて研究を行っている．その応用例として，将棋プレイヤ「激指」および囲碁 プレイヤを設計・実装した．激指は世界でも屈指の強い将棋プレイヤとして高い評価を得ている．

Research on game-playing programs has yielded practical results in many areas of computer science, including artificial intelligence. We are investigating methods for searching game-trees more efficiently by parallelization and utilizing knowledge acquired from game records, and so on. Applying these methods, we have developed a computer shogi player "Gekisashi" and a computer Go player. Gekisashi is drawing much attention in the community as one of the strongest shogi player programs.

7. 分散共有メモリ上の UCT の並列化

吉本晴洋・田浦健次朗

Parallelization of UCT on distributed shared memory

H. Yoshimoto and K. Taura

将棋，チェス，オセロなどのゲームは精度の高い評価関数によるαβ探索が成功を収めている．その一方，囲碁は精度の高い評価関数が作りにくいゲームであるため，上記の手法はうまくいかない. そこで近年 UCT というモンテカルロ法を利用した木探索手法が囲碁に導入され，目覚ましい成果を収めている．本研究では分散共有メモリシステム上で UCT を並列化し，性能向上を目指す.

The αβ game tree search combined with a precise evaluation function is a successful method in games such as shogi, chess, and othello. However constructing precise evaluation function is difficult in game of Go. Therefore game tree search algorithm using the Monte Carlo method called UCT is applied to game of Go and made a remarkable success. We will try to speedup UCT algorithm by parallelizing it on distributed shared memory system.

8. ゲーム構成要素を組み合わせた特徴の最適化

矢野友貴・近山隆

Optimizing Conjunctive Features of Game Components

Y. Yano and T. Chikayama

近年の機械学習の発展により，ゲーム構成要素による組み合わせ特徴が局面の評価に広く用いられるようになった．組み合わせ特徴はゲームの知識に依らず，非常に汎用性が高いという利点を持つ一方で，組み合わせ爆発や表現の冗長性に伴い計算コスト・空間コストが容易に大きくなる欠点を持つ．このような欠点に対し，我々は棋譜の統計情報から得られるゲーム構成要素間の関係性に着目することによって，組み合わせ特徴をより効率的に計算する手法について研究を行っている．

Recently, for the sake of the development of machine learning, conjunctive features become widely used to evaluate game positions. While conjunctive features are knowledge-independent and high utility, they have crucial defect that computational and spacial costs easily increase because of the explosion of combinations and redundant expression. To address this defect, we study the method to compute conjunctive features more efficiently by utilizing the statistical information about relations of game components.

9. 投機を用いたゲーム木探索の大規模並列化

浦晃・近山隆

A Large-Scale Parallelization of Game Tree Search using Speculative Execution

A. Ura and T. Chikayama

大規模環境を用いてゲーム木探索を並列化することは、強いコンピュータゲームプレイヤをつくるための有力な手段である。しかし、逐次処理と同じような枝刈りを行おうとすると、先に探索する部分木の結果を待たなくてはならず、タスクがプロセッサ数に対して少なくなり並列度が出ない。そこで本研究では、プロセッサがアイドル状態ならばその時点では探索しなければいけないかどうかがわかっていないタスクを投機的に実行し、この投機的実行を行うタスクの順序を制御することで大規模並列化の性能向上を目指している。

It is a promising approach to parallelize game tree search with large-scale distributed environments. However, pruning as the sequential manner makes processors wait for results of the preceding search. Because of this, the number of tasks becomes small compared to the number of the processors. This makes the parallelization inefficient. We propose speculative execution to resolve this problem. When processors are idle, processors execute tasks even if processors don't know that the tasks must be searched into at the time. We aim for the efficient parallelization by controlling the ordering of the speculative tasks.

10. 人間の動作の二層ベイジアンネットによる生成

スフバータル　サインバヤル・田浦健次朗・近山隆

Generation of Dynamical Patterns in Human Motion by Deep Belief Nets

S. Sukhbaatar, K. Taura, and T. Chikayama

人間の動作のモデルとして二層のベイジアンネットを検討した。下層のネットは数値的な空間的動きをコンパクトな隠れ状態にエンコードし、上層のネットはこの隠れ状態の間の時間的推移についての制約を制御する。この空間・時間両モデルの分離により、歩行のような安定した周期的動作や、動作の分岐、両足の同期といった動作の学習が可能になり、またトップダウンの制御も容易にできた。

A two-layer belief network model for robust generation of human motion is inspected. The lower-level network encodes real-valued spatial patterns into compact hidden states, and the upper-level network controls temporal constraints on transitions between those hidden states. This separation of spatial and temporal model enables learning of many attractive dynamical behaviors such as walking by a stable limit cycle, gait transition by bifurcation, synchronization of limbs by phase-locking, and easy top-down control.

11. 対話行為推定を用いた非タスク指向型対話エージェントの構築

福田雄貴・田浦健次朗・近山隆

Non Task-Oriented Dialogue Agent using Role Inference

Y. Fukuda, K. Taura, and T. Chikayama

人間との自然な対話を目標とする対話エージェントに関する研究を行った。発話候補生成並びに対話行為推定を用いた発話選択に着目した。人間の発話を大量に集めたものをコーパスとして N-gram モデルを学習し、これを用いてオリジナルの発話候補を生成する手法を採用した。自然で、しかも人間の丸写しではない発話候補を生成するために、形態素解析器に代えてフレーズ解析器を実装した。また、対話の局面を考慮しそれに応じた適切な発話を選択するために、隠れマルコフモデルによる対話局面のモデル化および最大エントロピーモデルを用いた発話候補に対する対話行為ラベリングを行い、エージェントに人間により近い対話を行わせることを試みた。エージェントは公開のソーシャルネットワーク上の擬人として公開された。利用者に対して行ったアンケートの結果から、これらの手法がより人間に近い対話を実現するために有効であることがわかった。

The aim of the work was building a dialogue agent that can perform natural conversation with humans. We focus on generating candidate sentences and selecting the best candidate based on role inference. We first construct a N-gram model from a large corpus of dialogue and generate candidates from the model. In order to generate natural yet a new sentences not found in corpus, regular text segmentations are found inadequate, and we thus implement a phrase analyzer. In addition, we tried to generate a natural response considering the context of the conversation. To this end we model a flow of conversation based on a hidden markov model and labeled each candidate with a speech act. The agent is implemented as an avata in open social network and the method is shown to be effective by a subjective evaluation conducted through the social network.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 原健太朗，中島潤，田浦健次朗：アドレス空間の大きさに制限されないスレッド移動を実現する PGAS 処理系，情報処理学会論文誌(プログラミング), vol.4, no.1, pp.27-65 (2011).

[2] 中島潤，田浦健次朗：高効率な I/O と軽量性を両立させるマルチスレッド処理系，情報処理学会論文誌(プログラミング), vol.4, no.1, pp.13-26 (2011).

国際会議論文

[3] Takeshi Shibata, SungJun Choi and Kenjiro Taura: File-Access Characteristics of Data-intensive Workflow Applications, 10th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid 2010), Melbourne, pp.522-525, May 2010.

[4] Nan Dun, Kenjiro Taura and Akinori Yonezawa: Fine-Grained Profiling for Data-Intensive Workflows, 10th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid 2010), Melbourne, pp.571-572, May 2010. (poster)

[5] Takeshi Shibata, SungJun Choi and Kenjiro Taura: File-Access Patterns of Data-Intensive Workflow Applications and their Implications to Distributed Filesystems, 3rd International Workshop on Data Intensive Distributed Computing (DIDC 2010), Chicago, pp.746-755, June 2010.

[6] Kentaro Hara, Kenjiro Taura: A Global Address Space Framework for Irregular Applications, 2010 International ACM Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC 2010). pp.296-299, June 2010. (poster)

[7] Nan Dun, Kenjiro Taura and Akinori Yonezawa: ParaTrac: A Fine-Grained Profiler for Data-Intensive Workflows, 19th ACM International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC 2010), Chicago, pp.37-48, June 2010.

[8] Nan Dun, Kenjiro Taura and Akinori Yonezawa: Easy and Instantaneous Processing for Data-Intensive Workflows, 3rd IEEE Workshop on Many-Task Computing on Grids and Supercomputers (MTAGS 2010), New Orleans, pp.1-10, Nov. 2010.

[9] Kenjiro Taura, Takuya Matsuzaki, Makoto Miwa, Yoshikazu Kamoshida, Daisaku Yokoyama, Nan Dun, Takeshi Shibata, Choi Sung Jun, and Jun'ichi Tsujii: Design and Implementation of GXP Make -- a Workflow System Based on Make, IEEE e-Science 2010 Conference (eScience 2010), Brisbane, pp.214-221, Dec. 2010.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[10] 鴨志田良和，田浦健次朗: 並列処理に対して非侵入的な細粒度監視システムのためのプロセス一覧方式，先進的計算基盤システムシンポジウム (SACSIS2010), pp.225-232, May 2010.

[11] 柴田剛志，田浦健次朗: 広域分散ワークフローのための耐遅延性の高い分散ファイルシステム，並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ (SWoPP2010), Aug. 2010.

[12] 原健太朗，中島潤，田浦健次朗：アドレス空間の大きさに制限されないスレッド移動を実現する PGAS 処理系，並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2010), Aug. 2010.

[13] 中島潤，田浦健次朗：高効率な I/O と軽量性を両立するマルチスレッド処理系，並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2010), Aug. 2010.

[14] 鴨志田良和，田浦健次朗：並列アプリケーションのトレースログの効率的なオンライン圧縮，並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ (SWoPP2010), Aug. 2010.

[15] 加辺友也，田浦健次朗：XQuery による柔軟な問い合わせが可能な大規模分散環境モニタリングフレームワーク，並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2010), Aug. 2010.

[16] 崔升準，柴田剛志，田浦健次朗: データ集約的ワークフローの高精度なシミュレーター，並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ (SWoPP2010), Aug. 2010.

[17] 吉本晴洋，田浦健次朗：分散共有メモリ環境における UCT の並列実行，並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2010), Aug. 2010.

[18] 古宇田フミ子，近山隆：利用者で行う処理の追加設定を支援する表現属性の相互作用に基づく処理理解モデル，SES2010, pp 21--24，ソフトウェアエンジニアリング最前線，近代科学社，Aug. 2010.

[19] 浦晃，横山大作，近山隆：投機を用いた並列ゲーム木探索の効率化，第 15 回ゲームプログラミングワークショップ，pp134-141, Nov. 2010.

[20] 矢野友貴，三輪誠，横山大作，近山隆：ゲーム構成要素を組み合わせた特徴の最適化，第 15 回ゲームプログラミングワークショップ，pp15-22，Nov. 2010.

[21] Kenjiro Taura, Yoshikazu Kamoshida, Daisaku Yokoyama, Nan Dun, Sungjun Choi, Takeshi Shibata, Makoto Miwa, Takuya Matsuzaki, Jun'ichi Tsujii: Protein Life Event Recognition from Life Science Paper Database, Supercomputing News, Information

Technology Center, The University of Tokyo, Nov. 2010.

坂井・五島研究室
Sakai & Goshima Laboratory
(http://www.mtl.t.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. 故障耐性を持つ VLSI

坂井 修一・五島 正裕・岡田 崇志・
有馬 慧・吉田 宗史

Fault-Tolerant VLSI

S. SAKAI, M. GOSHIMA, T. OKADA, S. ARIMA, and S. YOSHIDA

半導体の微細化に伴い、素子ごとのランダムなバラつきの影響が大きくなっている。素子性能がバラつくと、歩留まりが低下するほか、従来のワースト・ケースに基づいた設計では遅延の見積もりが悲観的になりすぎる。
そこで現在では、実際に近い遅延に基づいて設計を行うため、**統計的静的タイミング解析**の導入が進められている。また、出荷時に、実際の遅延を計測してスキューを調整することなども試みられている。
そして、動作時にタイミング故障を検出し回復する**動的な**手法が提案されている。この手法では、Process に加え、Aging、Voltage、Temperature、更に、Input の実際の状態に応じて、最高周波数、最低電圧での動作が可能になる。
我々は､以下の 2 つのレベルにおいて研究を進めている。

回路技術

二層ラッチと動的タイミング故障検出を組み合わせ、**動的タイム・ボローイング**を可能とするクロッキング方式を開発した。従来手法では、1 回でも時間の「赤字」が発生すると、タイミング故障として検出し、回復処理を行わなければならない。提案手法では、時間の「借金」が許される。理論的には、動作周波数を最大 2 倍にすることができる。

アーキテクチャ技術

Out-of-order スーパスカラ・プロセッサ向けに、データ系のみならず、制御系も考慮した回復機構を提案した。タイミング故障の発生の情報をパイプラインに沿って伝播し、故障に基づく結果によってはマシン・ステートを更新しないようにする。その上で､故障発生後にマシン・ステートを残してリセットを行う。このことによって、チップ上のいかなる場所にタイミング故障が発生しても、正しく回復を行うことができる。
本年度は、本手法を適用したスーパスカラ・プロセッサを FPGA 上に実装し、正しく回復できることを確認した。

As the feature size of LSI becomes smaller, random variation of each element becomes more influential. The variation of elements decreases the yield, and makes conventional design based on worst-case estimation too pessimistic.

Recently, *statistical static timing analysis* is introduced to design based on actual delays. It is also tried to adjust the skew based on the actual delays measured when testing the chips.

And in the end, some *dynamic* techniques are proposed. They detect timing faults and recover from faulty state. These techniques enable operation at the highest frequency and the lowest voltage, because it operates based on the most actual delays according to variations not only of Process, but also of Aging, Voltage, Temperature, and Input.

We proceed with our research on the following two levels, i.e., circuit and architecture.

Circuit Technology

We proposed a technique that enables **dynamic time borrowing** combining two-phase latch system with dynamic timing-fault detection. Existing scheme must detect only one dynamic timing fault and start recovery process from it. On the other hand, the proposed scheme allows dynamic time borrowing. Theoretically, the scheme can double the clock frequency.

Architectural Technology

We proposed a recovering method aware of faults on the control paths for out-of-order superscalar processors. This method makes fault information propagated along the pipeline and prevents the machine state updated by faulty results. And the chip is reset on fault remaining the machine state. This makes it possible to recover from any timing faults occurred in any part on the chip.

This year, we implemented a superscalar processor employing this method on an FPGA, and verified that the processor can recover correctly.

2. 注入攻撃の検出

坂井 修一・五島 正裕・都井 紘

Injection Attack Detection

S. SAKAI, M. GOSHIMA, and H. TOI

注入攻撃（injection attack）とは、コンピュータシステムの脆弱性を利用して、外部から注入（inject）した攻撃コード・コマンドなどを実行させることをいう。最近では、クロスサイト・スクリプティングや SQL インジェクションなど、サーバ上のスクリプトに対する攻撃が深刻になっている。

動的情報フロー追跡（DIFT）は、Perl の taint mode をプロセッサに応用したものと考えてよく、スクリプトへの攻撃に対しても効果がある。プロセッサで攻撃が検出できれば、個別の言語ごとに対策を行うより、包括的な対策となる。しかし既存の DIFT は、その伝播精度が十分ではなく、誤検出や検出漏れが生じていた。
本研究室では、「プログラマの制御の下でのユーザの選択」が実現されている場合には、文字列から文字列への直接的な変換が行われないことを見出した。そこで、命令ごとではなく、文字列操作を認識して文字列ごとに

taint bit を伝播させる **SWIFT** (String-Wise Information Flow Tracking) を提案した。SWIFT 上で脆弱性のあるサーバプログラムを動作させ、誤検出も検出漏れも発生しないことを確認した。
また本年度は、SWIFT の PHP への実装を開始した。

Now attacks by exploiting security vulnerabilities such as SQL injection and cross-site scripting are becoming seriously.

Dynamic Information Flow Tracking (*DIFT*) has been proposed as a promising platform for detecting a wide range of injection attacks. Nevertheless, current DIFT systems do not have high accuracy and will produce a mass of false positives and false negatives.

We proposed **SWIFT**, a string-wise tracking method. We verified that SWIFT cause neither positive nor negative false when executing server programs with known vulnerabilities.

This year, we started to implement SWIFT on PHP.

3. 情報漏洩防止プラットフォーム

坂井 修一・五島 正裕・早川 薫・小西 洋太郎

Platform against Information Leakage

S. SAKAI, M. GOSHIMA, K. HAYAKAWA, and Y. KONISHI

情報技術が浸透するに伴い、情報漏洩や著作権侵害などの事件も多発するようになっている。情報漏洩の原因は多岐に渡るため、個々のアプリケーションの信頼性に依拠しない包括的な手法が求められる。
その答えの一つとして DIFT があるが、条件分岐に由来する情報フローを追跡することは困難であった。
そこで本研究では、条件分岐に由来する情報漏洩も防止できるプラットフォームとして、コンテクスト・スイッチとページ・プロテクションを拡張する手法を提案した。また、プラットフォームが所望の性質を満たしていることを遠隔から認証する方法を提案した。

With penetration of information technologies, serious accidents and incidents —such as information leakage and copyright infringement — are increasing. Since information can leak through various applications, a *comprehensive* technique is expected, which is independent of dependability of individual applications .

DIFT gives a solution to it, but it is hard to track information flow through conditional branches.

We proposed a new platform to prevent information leakage even through conditional branches, based on context switching and page protection .

We also proposed a scheme of remote attestation which attests that the platform has desired features from a remote site.

4. 高効率タグ・アーキテクチャ

坂井 修一・五島 正裕・塩谷 亮太

Efficient Tagged Architecture

S. SAKAI, M. GOSHIMA, and R. SHIOYA

タグ・アーキテクチャは、メモリの各ワードに対してタグを付加するアーキテクチャで、近年では、DIFT の基盤として使われている。これらの技術では、典型的には、入力データに依存するデータに taint タグを付ける。
従来のタグ・アーキテクチャではレジスタからメモリまでタグとデータを一緒に格納し、タグの伝搬もデータの演算と同時に行っていた。そのため、メモリの必要量が多く、レジスタやメモリのアクセス・レイテンシが増加する。
そこで我々は、その格納の伝搬の各フェーズにおいて、タグとデータの分離する高効率アーキテクチャを提案した。

Tagged architecture is the one that each memory data has extra tag for its property, and used as a base of DIFT in recent years. In these technologies, the data that depend on the input from the outside is put the taint tags.

Conventional tagged architecture stores data and its tag together in from the memory to the register. Thus an amount of additional memory is required, and the access latencies of the register and the caches increase.

We proposed an efficient architecture in which data and its tag are separated both in storing and in propagating them.

5. 高効率スーパスカラ・アーキテクチャ

五島 正裕・坂井 修一・塩谷 亮太・
ジョーリ アビシェク・伊達 三雄

Highly-Efficient Superscalar Architecture

M. GOSHIMA, S. SAKAI, R. SHIOYA, J. ABHISHEK, and M. DATE

プログラムには並列化不能な部分が不可避的に含まれる。アムダールの法則が示唆するように、メニーコアの時代においても、そのような逐次部分を実行するシングル・コアの性能は重要であり続ける。最近のスーパスカラ・プロセッサ・コアにおいては、消費エネルギーとその結果として生ずる熱がクロック速度を制約しており、効率、すなわち、回路面積あたり、消費電力あたりの性能が、最も重要な指標となる。

スーパスカラ・プロセッサ・コアは、言わば、マルチポート RAM のかたまりであり、性能を落とすことなくこれらのポート数を削減することが、効率の向上に直結する。このことを踏まえ、我々は、(1) ディスパッチ・イメージ・キャッシュ、(2) 非レイテンシ指向レジスタ・キャッシュ・システム、(3) マトリクス・スケジューラ、(4) ツインテール・アーキテクチャ など、数々の技術を提案してきた。現在、これらの技術を組み込んだプロセッサ・コアを設計中であり、それらの有効性を実証していく予定である。

Programs essentially contain fragments that cannot be parallelized. As Amdahl's law suggests, speed-up of a single core which executes sequential portion of programs will remain to be important even in the era of many-core processors. Since energy consumption and resulting heat are ones of the most serious factors that limit the clock frequency, efficiency, i.e., performance per circuit area, or energy is the most important measure of recent processor cores.

A superscalar processor core is composed of a bulk of multi-port RAMs. Therefore, reducing the number of these ports while maintaining the performance leads to high efficiency. We have proposed such techniques as (1) Dispatched image cache, (2) Non-latency-oriented register cache system, (3) Matrix scheduler, and (4) Twin-tail architecture. We are now designing a processor core with these techniques, and will prove their effectiveness.

6. Switch-on-Future-Event マルチスレッディング

五島 正裕・坂井 修一・塩谷 亮太・
倉田 成己

Switch-on-Future-Event Multithreading
M. GOSHIMA, S. SAKAI, R. SHIOYA, and N. KURATA

データ並列性とは、異なるデータに対してほぼ同様の処理を行う際に生じる並列性である。データ並列性の高い処理としては画像処理などのメディア処理が挙げられる。近年、これらの処理ではループ内に分岐を含むなど、そのアルゴリズムが複雑化する傾向にあり、従来の SIMD などでは対応が困難となっている。

Switch-on-Future-Event マルチスレッディング（SoF MT）は、このデータ並列性の高い処理をターゲットとした方式である。SoF MT は主にループ・イタレーションに対してスレッドを生成し、キャッシュ・ミスや分岐予測ミスが起こる前にスレッドを切り替える。これにより、SoF MT では複雑なアルゴリズムを処理できる柔軟性と高いピーク性能を両立することが可能になると考えられる。

Data parallelism is derived from almost the same operations to different data streams. Media processing such as image processing is an example with high data parallelism. Recently, the algorithms of these applications tend to become more complex, and conventional architecture such as *SIMD* processors cannot deal with these applications efficiently.

Switch-on-Future-Event Multithreading (**SoF MT**) aims to process these applications with high data parallelism. SoF MT creates threads mainly for loop iterations, and switches them before they cause branch prediction misses or cache misses. This enables SoF-MT processors have both high peak performance and high programmability.

7. プロセッサ・シミュレータ「鬼斬弐」の開発

五島 正裕・坂井 修一・塩谷 亮太・
倉田 成己

Processor Simulator “Onikiri 2”
M. GOSHIMA, S. SAKAI, R. SHIOYA, and N. KURATA

スーパスカラ・プロセッサの研究においては、プロセッサの 1 サイクルごとの挙動を正確に再現する cycle-accurate なシミュレータが必要となる。

本研究室で開発した「鬼斬」では、特に以下のような点を重視している：

・拡張性： 様々なアーキテクチャの構成への対応
・ 再現性： 正確なプロセッサの挙動の再現
・ デバッガビリティ： 性能バグの発見の容易さ

現在、鬼斬弐は Web 上で公開されている。

In research of superscalar processors, cycle-accurate simulators, which precisely reproduce cycle-by-cycle behavior of processors, are required.

Onikiri, which we are developing in our lab, has the following important aspects:

・ Extensibility: to simulate various architectures
・ Reproducibility: to precisely reproduce the behaviors
・ Debuggability: to easily find performance bugs

Now, Onikiri 2 is available on the WWW.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

雑誌論文

[1] Ryota Shioya, Daewung Kim, Kazuo Horio, Masahiro Goshima, and Shuichi Sakai: Low-overhead architecture for security tag, IEICE Trans. on Information and Sys-tems, Vol. E94-D, No. 1, pp. 69–78 (2011). DOI: 10.1587/transinf.E94.D.69

国際会議論文

[2] Ryota Shioya, Kazuo Horio, Masahiro Goshima, and Shuichi Sakai: Register Cache System not for Latency Reduction Purpose, *IEEE Int'l Symp. on Microarchitecture (MICRO-43)*, pp. 301–312 (2010). DOI: 10.1109/MICRO.2010.4.

[3] Hiroshi Toi, Ryota Shioya, Masahiro Goshima, and Shuichi Sakai: Yet Another Taint Mode for PHP, *IEEE Int'l Symp. on Pacific Rim Dependable Computing (PRDC)* (2010). (poster).

国際会議論文（査読付き）

[4] 塩谷 亮太, 倉田 成己, 中島 潤, 五島 正裕, 坂井 修一: Switch-on-Future-Event マルチスレッディング, 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2010, pp. 157‐165 (2010).

[5] 堀尾 一生, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: 面積効率を指向するプロセッサの設計, 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2010, pp. 339‐346 (2010).

[6] 喜多 貴信, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: タイミング制約を緩和するクロッキング方式, 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2010, pp. 347‐354 (2010).

総説・解説論文

[7] 坂井 修一, 西田 豊明, 丸山 宏: 記念大会が示した情報処理の未来 ―全国大会の革新と展望―, 情報処理, Vol. 51, No. 10, pp. 1353‐1357 (2010).

[8] 坂井 修一, 胡 振江: 情報処理学会推薦 卒業論文・修士論文速報 編集にあたって, 情報処理, Vol. 52, No. 2, p. 191 (2011).

招待講演

[9] Shuichi Sakai: Ultra Dependable VLSI Processor Architecture, VDEC D2T Symposium 2010, invited talk (2010).

[10] 五島 正裕:「データ並列プロセッサの現状と今後」, ISS スクエア第 3 回システム分科会, 招待講演 (2010).

[11] 塩谷 亮太:「トップ・カンファレンス採録までの道のりと, これからの攻略に向けて」, 情報処理学会第 186 回計算機アーキテクチャ研究発表会, 招待講演 (2011).

パネルディスカッション

[12] Shuichi Sakai, et al.: Dependable VLSI Systems, VDEC D2T Symposium 2010, panel discussion (2010).

[13] 五島 正裕 他:「ARC を元気にするために論文査読で私達が出来ること」, 情報処理学会 第 183 回計算機アーキテクチャ研究発表会, パネルディスカッション (2010).

口頭発表

[14] 有馬 慧, 岡田 崇志, 喜多 貴信, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: Out-of-Order スーパスカラ・プロセッサの耐過渡故障方式の改良, 電子情報通信学会研究報告 CPSY2010-5, pp. 21‐26 (2010).

[15] 岡田 崇志, 喜多 貴信, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: 耐永久故障 FPGA アーキテクチャ, 電子情報通信学会研究報告 CPSY2010-7, pp. 33‐37 (2010).

[16] 堀部 悠平, 三輪 忍, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 中條 拓伯: 選択的キャッシュ・アロケーション：マルチスレッド環境におけるキャッシュ利用効率の向上手法, *情報処理学会研究報告 2010–ARC–190*, No. 1, pp. 1–8 (2010).

[17] 伊藤 悠二, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: 最適なロールバック・ポイントを選択するトランザクショナル・メモリ, 情報処理学会研究報告 2010‐ARC‐190, No. 9 (2010).

[18] 有馬 慧, 岡田 崇志, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: 過渡故障耐性を持つ Out-of-Order スーパスカラ・プロセッサのコミット方式, *情報処理学会研究報告 2010–ARC–190*, No. 10 (2010).

[19] 倉田 成己, 塩谷 亮太, 中島 潤, 五島 正裕, 坂井 修一: Switch-on-Future-Event マルチスレッディングの改良, 情報処理学会研究報告 2010‐ARC‐190, No. 27 (2010).

[20] 都井 紘, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: 文字列ごとの情報フロー追跡手法のＰＨＰへの実装と評価, 情報処理学会研究報告 2010‐OS‐115, No. 4 (2010).

[21] 岡田 崇志, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: 耐永久故障 FPGA アーキテクチャの評価, 情報処理学会第 73 回全国大会, pp. 1-51‐1-52 (2011).

[22] 伊達 三雄, 倉田 成己, 伊藤 悠二, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: ディスパッチト・イメージ・キャッシュ, 情報処理学会 第 73 回全国大会, pp. 1-67‐1-68 (2011).

[23] 伊藤 悠二, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: 最適なチェックポイントを選択するトランザクショナル・メモリ, 情報処理学会 第 73 回全国大会, pp. 1-69‐1-70 (2011).

[24] 吉田 宗史, 有馬 慧, 岡田 崇志, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: 動的タイムボローイングを可能にするクロッキング方式, 情報処理学会 第 73 回全国大会, pp. 1-91‐ 1-92 (2011).
[25] 早川 薫, 都井 紘, 塩谷 亮太, 五島 正裕, 坂井 修一: プラットフォーム遠隔認証, 情報処理学会 第 73 回全国大会, pp. 3-559‐ 3-560 (2011).

受賞

[26] 倉田 成己: ループをターゲットとするマルチスレッド・プロセッサ, 情報処理学会創立 50 周年記念第 72 回全国大会, 情報処理学会推奨卒業論文認定 (2010).
[27] 有馬 慧: Out-of-Order スーパスカラ・プロセッサの耐過渡故障方式の改良, 情報処理学会創立 50 周年記念第 72 回全国大会, 情報処理学会推奨卒業論文認定 (2010).
[28] 都井 紘: 文字列ごとの情報フロー追跡手法の PHP への実装, 情報処理学会創立 50 周年記念第 72 回全国大会, 情報処理学会推奨卒業論文認定 (2010).
[29] 喜多 貴信: タイミング制約を緩和するクロッキング方式, 情報処理学会創立 50 周年記念第 72 回全国大会, 情報処理学会推奨修士論文認定 (2010).
[30] 塩谷 亮太: 面積効率を指向するプロセッサの研究, 博士論文, 東京大学 大学院 情報理工学系研究科 研究科長賞 (2011).
[31] 伊藤 悠二: 最適なチェックポイントを選択するトランザクショナル・メモリ, *情報処理学会 第73回全国大会*, 情報処理学会学生奨励賞 (2011).
[32] 吉田 宗史: 動的タイムボローイングを可能にするクロッキング方式, *情報処理学会 第73回全国大会*, 情報処理学会学生奨励賞 (2011).
[33] 岡田 匡志: 耐永久故障 FPGA アーキテクチャ, *2010 年度ISS スクエアシンポジウム*, ISS スクエア賞 (2011).

伊庭研究室
Iba Laboratory

(http://www.iba.t.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. 進化型計算と遺伝的プログラミングの研究

伊庭斉志

Evolutionary Computation and Genetic Programming

H. IBA

本研究では、進化型計算手法の１つとして主に遺伝的プログラミングの理論的解析と実際的応用を試みている。遺伝的プログラミングは個体の遺伝子としてプログラムを扱い、生殖や選択によって望ましいプログラムを進化させる。これにより、従来は人手でプログラムを書くことが困難であったような領域（例えば動的な環境でのロボットの制御）での大規模なプログラム合成が可能になった。我々は遺伝的プログラミングを用いたマルチエージェント学習、システム同程問題の解法、金融データの予測、ロボットプログラム、及び並列実装などを研究している。

The theoretical and practical aspects of Genetic Programming (GP) have been studied for the purpose of establishing genetic-based evolutionary learning. The goal of GP is to enable the automatic generation of computer programs. It combines biological metaphors of evolution with computer science approaches, such as machine learning or artificial intelligence. Our experiments show the promising results for various applications, such as multi-agent learning, system identification tasks, financial data prediction, robot programming, and parallel processing.

2. 進化するハードウェアに関する研究

伊庭斉志

Evolvable Hardware

H. IBA

本研究では、進化型計算手法を用いてハードウェア進化(Evolvable Hardware, EHW)の実験とその応用を試みている。EHW の基本的なアイディアは、プログラム論理素子（ソフトウェアの書き換えで内容が可変な素子）を用いてハードウェア構成を適応的に変化させていこうというものである。従来のハードウェアは設計後の変更ができないため動的な環境にはうまく適応できない。しかしながら、設計者が予期しない新たな環境にも適応できる点が EHW の大きな特長である。我々は、遺伝的アルゴリズムを用いた EHW の実現、PAC 学習法などによる探索能力の解析、およびパターン認識への応用を研究している。

Evolvable Hardware (EHW) is a hardware, which modifies its own hardware structure according to the environmental changes. EHW is implemented on a programmable logic device (PLD), whose architecture can be altered by downloading a binary bit string, i.e., architecture bits. These bits are adaptively acquired by genetic algorithms (GAs). We study the fundamental principle of the gate-level. The effectiveness of our approach is shown by comparative experiments and successful applications.

3. ゲノム情報処理と合成生物学

伊庭斉志

Genome-informatics and Synthetic biology

H. IBA

21 世紀は遺伝子（ゲノム）の世紀と言われている。ヒトゲノム計画はあと数年で終了するが、遺伝子に関する情報処理にはまだ多くの未解決問題が残っている。当研究室では、ゲノム解析グループとの共同研究などを通して、遺伝子・蛋白質系のダイナミクス、蛋白質ネットワークモデルの進化論的手法による解析などを目指している。

The 21st century is said to be that of Genome and Biology. Human Genome Project has been finished successfully, i.e., most of the DNA arrangements have been analyzed and identified. However, many problems remain to be solved. Among them is the understanding and control of the dynamical behavior of gene regulatory networks. We are currently working on the simulation and inference of these dynamics by means of several methods. More precisely, our target tasks include inferring of gene networks by using DNA microarray data, simulating inter- and intra-cellular signaling loops of the mRNA products, and analyzing the metabolic pathways.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 柳瀬利彦,長谷川禎彦, 伊庭斉志:"確率モデル GP のための二分岐化プロトタイプ木",人工知能学会論文誌, vol.25, no.2, pp.340-350,2010.

[2] 丹治信, 伊庭斉志:"木構造のランダムサンプリングによる GP の個体生成手法の提案と評価",電気学会論文誌 C, vol.130, no.5, pp.775-781,2010.

[3] 伊庭斉志:" GP の過去，現在，未来 ", 進化計算学会論文誌, vol.1, no.1, pp.340 － 350, 2010.

[4] Kabir,M., Noman,N., Iba,H.: “ Reverse engineering gene regulatory network from microarray data using liner time-variant model”, BMC Bioinformatics, vol.11, (Suppl.1):S56, doi:10.1186/1471-2105-11-S1-S56, 2010.

国際会議論文

[5] Tanji, M., Iba, H..:"ConBreO: A Music Performance Rendering System using Hybrid Approach of IEC and Automated Evolution", Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference(GECCO2010), pp.1275-1282, 2010.

[6] Noman, A., Iba, H..:" ε Constrained Differential Evolution for Economic Dispatch with Valve-pointEffect", Proc. of the14th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems(IES2010), Miyajima, Hiroshima, pp.139-148, 2010.

[7] Fukunaga, A., Hiruma, H., Komiya, K., Iba, H..:"Evolving a Goal Selection Strategy for a Robot Tour Guide", Proc. of the14th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems(IES2010), Miyajima, Hiroshima, pp.172-180, 2010.

[8] Noman, N., Iba, H..: “Celllular Differential Evolution Algorithm”, Proc. of Australasian Conference on Artificial Intelligence 2010 (AI2010), LNAI, vol.6464, Ishiwata, H., Noman, N., Iba, H..:"Emergence of Cooperation in a Bio-inspired Multi-agent System", Proc. of Australasian Conference on Artificial Intelligence 2010(AI2010), LNAI, vol.6464, pp.364-374, Springer, 2010.

[9] Noman, N., Vatanutanon, J., Iba, H..:"Tuning Selection Pressure in Differential Evolution using Local Selection", Proc. of the Second World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing(NaBIC2010), Kitakyushu International Conference Center, Kitakyushu, pp.61-71, Springer, 2010.

[10] Hettiarachchi, D., Iba, H..:"Evolution of a Yoga Performing Humanoid", Proc. of the Seond World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing(NaBIC2010), Kitakyushu International Conference Center, Kitakyushu, pp.78-83, Springer, 2010.

[11] Liu, S., Iba, H..:"Study on the Computational Efficiency of Baldwinian Evolution", Proc. of the Second World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC2010), Kitakyushu International Conference Center, Kitakyushu, pp.474-479, Springer, 2010.

[12] Vatanutanon, J., Noman, N., Iba, H..:"Polynomial Selection: A New Way to Tune Selective Pressure", Proc. of the Second World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing(NaBIC2010), Kitakyushu International Conference Center, Kitakyushu, pp.604- 609, Springer, 2010.

シンポジウム・研究会・大会発表等

[13] 渡辺晃生, 伊庭斉志:"対話型アプローチを用いた人間らしい歌声の生成", 第 3 回進化計算フロンティア研究会, 2010/03/05-06, 2010 .

[14] [148] 丹治信, 伊庭斉志:"GP の木構造ランダムサンプリングによる個体生成手法 ", 第 3回進化計算フロンティア研究会, 2010/03/05-06, 2010.

[15] 石渡裕之伊庭斉志 :"軍隊アリのシミュレーションによる協調行動の創発 ", 第 22 回分散システムシンポジウム SY0002/10/0000-0121, 2010.

[16] 福井啓, 伊庭斉志 :"進化的アンサンブル手法の時系列への応用 ", 第３回フレッシュマンのための人工知能研究交流会予稿集人工知能学会, 2010.

[17] 坪井祐樹, 伊庭斉志 :"遺伝的アルゴリズムによるトレンドフォローシステムの最適化 ", 第３回フレッシュマンのための人工知能研究交流会予稿集人工知能学会, 2010.

[18] 小宮一樹, 伊庭斉志 :"聴衆の状態を考慮したロボットプレゼンテーション ", 第３回フレッシュマンのための人工知能研究交流会予稿集人工知能学会, 2010.

[19] バダルチ・ツェレンチメデ, 伊庭斉志 :"遺伝的アルゴリズムによるリアルタイム取引ルールの最適化 ", 第３回フレッシュマンのための人工知能研究交流会予稿集人工知能学会, 2010.

[20] 今川哲矢, 伊庭斉志 :"外国取引為替における MVGPC の有効性 ", 第３回フレッシュマンのための人工知能研究交流会予稿集人工知能学会, 2010.

[21] 丹治信, 伊庭斉志 :"部分グラフを用いた確率モデル遺伝的プログラミングの比較 ", 進化計算シンポジウム 2010, 進化計算研究会，レイクサイドホテル久山， 2010.

[22] Jiradej, V., Iba, H..:"多項選択 : 新しい選択圧調整方法 ", 進化計算シンポジウム 2010, 進化計算研究会, レイクサイドホテル久山, 2010.

[23] Liu, S., Iba, H..:"Study on Computational Efficiency in Baldwinian Evolution", 進化計算シンポジウム 2010, 進化計算研究会, レイクサイドホテル久山, 2010.

[24] Hettiarachchi, D.S., Iba, H..:"Evolution of a Yoga Performing Humanoid", 進化計算シンポジウム 2010, 進化計算研究会, レイクサイドホテル久山, 2010.

[25] 渡辺晃生, 伊庭斉志 :"対話型差分進化における絶対評価値の推定と利用 ", 進化計算シンポジウム 2010, 進化計算研究会, レイクサイドホテル久山, 2010.

[26] Liu, S., Iba, H..:"Baldwin 効果を用いた外国為替取引最適化", 第 4 回進化計算フロンティア研究会 (SIG-ECF), 2010/06/04-05, 2010.

[27] バダルチ・ツェレンチメデ, 伊庭斉志 :"遺伝的アルゴリズムによる一分足データに対する取引ルールの最適化", 第 4 回進化計算フロンティア研究会 (SIG -ECF), 2010/06/04-05, 2010.

[28] Jiradej, V., Iba, H..:"One Dimensional Representation of Von-Neumann Neighborhood in Cellular GA", 第 4 回進化計算フロンティア研究会 (SIG -ECF), 2010/06/04-05, 2010.

[29] Aranha, C., Iba, H..:"Using a Topological Framework to improve the Memetic Tree Algorithm for Portfolio Optimization", 第 4 回進化計算フロンティア研究会 (SIG -ECF), 2010/06/04-05, 2010.

[30] 渡辺晃生, 伊庭斉志 :"対話型差分進化における絶対評価値の推定 ", 第 5回進化計算フロンティア研究会 (SIG -ECF), 2010/10/07-08, 2010.

[31] 今川哲矢, 伊庭斉志 :"Differential Evolution に基づく外国為替取引システム ", 第 5回進化計算フロンティア研究会 (SIG -ECF), 2010/10/07-08, 2010.

[32] 小宮一樹, 比留間英, 福永アレックス, 伊庭斉志 :" 遺伝的プログラミングによる展示物案内ロボットの経路最適化 ", 第 5回進化計算フロンティア研究会 (SIG -ECF), 2010/10/07-08, 2010.

[33] 今川哲矢, 伊庭斉志:"Differential Evolution を用いた外国為替取引システム", 第 5 回ファイナンスにおける人工知能応用研究会 (SIG-FIN), 2010.

[34] 比留間英, 小宮一樹, 福永アレックス, ボレガラ・ダヌシカ, 伊庭斉志:"遺伝的プログラミングを用いたロボット案内の最適化 ", 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 2010.

[35] Suresh, H.D., Iba, H..:"GA-based symmetric Motion Generation for Humanoids", 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 2010.

柴田・三田研究室
intelligent Semiconductor Microsystems Laboratory (iSML)

(http://www.if.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 右脳型ソフトコンピューティングVLSI: 連想プロセッサ・システム

柴田直・馬 奕濤,・張任遠・夏文軍,
和泉亮介・王哲也

Right-Brain-Computing Integrated Circuits: Associative Processing Systems

T. Shibata, Y. Ma, R. ZHANG, B. Ka, R. Izumi, Z. WANG

現在のコンピュータは四則演算の超高速処理に特化したマシンであり、人間のように「ものを見て柔軟に判断・理解し、即座に適切な行動をとる」といった情報処理は非常に不得手である。入力情報に対し、過去の膨大な記憶の中から最も近しい事例を瞬時に想起しこれによって次の行動を決定する。こんなアーキテクチャを持つコンピュータの基本ハードウェアを、シリコン超ＬＳＩ技術で実現する研究を進めている。論理演算を得意とする現在のマイクロプロセッサに対し、直感・連想・推論といった処理を得意としたＬＳＩチップを設計・試作してシステムを構成する。単体で脳細胞ニューロンと類似の機能を持つ高機能トランジスタ（ニューロンＭＯＳ、neuMOS)を導入、膨大な template 群の中から最短距離ベクトルを完全並列探索するアナログ連想プロセッサ、0.18 ミクロンＣＭＯＳ技術を用いた超高速ディジタル連想プロセッサ等を、これまで開発した。今後連想を階層的に連鎖させヒトのように思考できるシステムをこれらのチップ用いて構築して行く。そのために我々の思考過程を柔軟に記述できる APROL (Association Programming Language)の開発も行う。四則演算に代わり連想を“computing primitive”とする実時間事象認識知能システム実現を目指す研究である。現在、画像認識・音声認識をテーマに研究を進めている。ここで開発した VLSI 回路技術は、実用的な応用として、CDMA マッチトフィルタへの応用技術等も開発している。

Digital computers are dedicated machines for vary fast execution of numerical calculations. However, their performance is extremely poor in such tasks like seeing, recognizing, and taking immediate actions, which are effortless tasks in our daily life. This research aims at building intelligent VLSI systems based on the psycho-logical model of a brain. In our system past experience is stored as template vectors in non-volatile vast memories and the maximum-likelihood event to the current event is recalled in real time by a fully parallel processing. The key ingredient of the system is a new functional device called “Neuron MOS Transistor” (neuMOS or vMOS) which mimics the action of a nerve cell neuron at a single transistor level. Based on such architecture that "association" is the very computing primitive, we are pursuing human-like intelligence system implementation directly in silicon integrated circuits. Currently research is in progress for robust image recognition and voice recognition processing. The sate-of-the-art silicon technology has been utilized to implement such associative processors in both analog and digital CMOS VLSI chips. As a practical application of the circuit technology developed for the associative processor chips, CDMA matched filter chips have also been developed..

2. 画像の特徴ベクトル抽出VLSI及びそのパターン認識への応用

柴田直・ロバート グロー・森川重毅・韓丹丹,
金炫秀・山下直也・孫理天・押山元・
福田和巳・和田真

A Robust Feature-Vector Generation VLSI's and their Application to Human-Like Image Recognition

T. Shibata, R. Grou, S. Morikawa, D. Han, H.-S. Kim, N. Yamashita, L. Sun, G. Oshiyama, K. Fukuda, M. Wada

我々の連想プロセッサアーキテクチャを画像認識に用いるには、２次元の画像情報を特徴ベクトル、即ち一次元の数値列で表現しなければならない。我々はこの目的で、主方向線分投影法（PPED: Pro-jected Principal-Edge Distribution）と呼ぶ新たな特徴ベクトル表現法を開発した。２次元画像に対し、縦・横・斜め２方向、計４方向の線分を抽出してフィーチャーマップを作成、そのビットフラッグを線分検出方向に垂直な主軸上にそれぞれ投影加算して４組の一次元数値列を形成する。これらをつなぎ合わせて６４次元ベクトルとし、６４×６４ピクセルの画像を表現する。これは、元画像の特徴を実にうまく表現しており、手書きによるパターンの変形、歪みに対しほとんど影響を受けない。従って、単純なテンプレートマッチングの手法で手書き文字やパターンの認識が大変ロバストに実行できる。特にこれまで認知の問題として困難だった重なりパターンの分離認識もできることがわかった。さらにこの手法を矯正歯科診療におけるセファロX線写真解析に応用、歯学部学生にとっても高度な訓練を必要とする解剖学的特徴点抽出の困難な作業が、専門医と同様にできることがわかった。今後、連想プロセッサと統合し、一般的な知的画像認識システム構築へと発展させていく。このベクトル抽出はソフトウェアでは非常に時間のかかる処理であり、neuMOS を用いたアナログ CMOS 回路技術、および最先端のディジタル CMOS 回路技術の両方を用いて、独自のアーキテクチャを持つ特徴ベクトル生成 VLSI チップの開発を行っている。

Since image data are massive in quantity, an effective dimensionality reduction technique is quite essential in

recognition problems. The maximum-likelihood search VLSI chips we are developing accept image data in the form of a vector. Therefore we need to generate a feature vector, well representing the characteristic features of the original image. In the representation, human perception of similarity among images must be preserved in the vector space. A robust image representation technique for recognition has been developed based on a hardware intensive algorithm. An input image either in a binary or grayscale format is subjected to adaptive spatial filtering to generate feature maps, which are reduced to a 64-dimension vector by "Projected Principal-Edge Distribution (PPED)" algorithm. The representation has been applied to handwriting pattern recognition and the cephalometric landmark identification (the clinical practice in orthodontics in dentistry), to investigate the performance. Interestingly, in hand written pattern recognition, it is shown the separation of handwritten overlapping patterns has been successfully carried out based on the representation, although it is a difficult problem in artificial intelligence. Using a simple template matching technique, identification of Sella (pituritary grand), Nasion, and Orbitale has been successfully carried out. Since the vector formation processing is computationally very expensive, dedicated VLSI chips have been developed both in digital CMOS technology and analog CMOS technology.

3. 実時間動画像処理プロセッサ

柴田直・趙普社・小森健正・土屋和哉・李賀

Real-Time Moving Image Processing VLSI Systems

T. Shibata, P. Zhao, T. Komori, K. Tsuchiya, H. Li

リアルワールド画像の実時間情報処理を目標に、視野中の運動物体を着目・連続追尾する Saliency Catcher、及びキャッチした物体の 3 次元計測を瞬時に行える VLSI プロセッサの研究を行っている。Saliency Catcher については、擬似二次元処理と呼ぶ新たな手法を導入、すべての処理回路をフォトダイオードアレイの周辺部に配置する構成がとれるため、各画素部では大きなフィルファクタが実現できた。フィルファクタとは、各ピクセルプロセッサ内でフォトダイオードが占める面積の割合で、これが大きいほど多くの画像情報が処理に取り込める。このチップは、複雑な背景の中から複数の動いている物体を、動きの大きさとともに検出できる。さらにカメラ自身がブレて背景が動いていても検出できるという特徴をもつ。実際にチップで基本性能を確認した。さらに運動物体の３次元計測をリアルタイムで行うチップも開発した。これはキャパシタ間での電荷の再配置のみを演算に使う回路であり、究極の低消費電力システム実現の可能性を秘めている。

Aiming at real time processing of moving images, a saliency catcher chip that detects objects in motion in nonstationary complicated background sceneries has been developed. Due to the new quasi-two dimensional processing algorithm we have developed, the chip contains the processing circuit only at the peripheries of the photo sensor array. As a result, a very large fill factor has been obtained in each pixel processor. Furthermore, a VLSI system that extracts three-dimensional information from the object of interest has also been developed. Since charge redistribution among multiple capacitors are utilized for computation, it enables us to build very low-power systems. In these two VLSI systems, neuron MOS technology has been utilized in realizing flexible hardware processing.

4. 動画像認識システム

柴田直・西山未央・包蕊寒

Moving Image Recognition System

T. Shibata, M. Nishiyama, R. Bao

方向性エッジ情報が、静止画の認識に重要な働きをすることを我々はこれまで様々な事例で実証してきた。本研究テーマは、動画像シーケンスから動きの情報を取り出し、これによって動作の理解を行う研究であり、これもエッジ情報を用いて行っている。人間の脳は、まず第一視覚野で様々な方向性エッジ情報が抽出し、これを用いて形状認識と動き認識を、それぞれ別々の pass way で実行している。我々もこれに習った。エッジ情報によって物体の形状を認識し、その形状を順次追いかけて行く手法でオブジェクトトラッキングシステムを開発した。追跡物体が複雑な背景の中に入っても、途中で形状や動作速度を変えても、また照明条件が変化しても正確に追跡していける。環境の中で人が移動すると環境の視覚画像もそれに応じて変化するが、その変化から自分の動きを理解するいわゆる ego motion perception も、方向性エッジ情報を用いて実現した。照明条件の変化や、明確なテクスチャの少ない環境、あるいは視野内に別の動きをする物体が存在する場合にも、ロバストな ego motion 検出ができる。さらに、画面の中で動作する人物のジェスチャーを認識するシステムも開発中である。各時刻におけるオプティカル・フローをベクトル表現し、ベクトルの時間シーケンスを隠れマルコフモデル（HMM）を用いて理解するシステムである。この目的のため、相対評価ではなく絶対評価可能な、新たな隠れマルコフモデルを考案し、その有効性を実証した。

So far we have shown directional edge information plays an essential role in a variety of still image recognition applications. In this project, we are developing moving image recognition systems also utilizing directional edge information. In the human brain, it is known that edges of various orientations are firstly extracted from retinal images and then being processed through separate pass ways for motion recognition and object shape recognition. We have followed such a biological principle. As an example, we have developed an object tracking system utilizing the edge information to represent the object appearance. Our system

shows a very robust tracking performance for an object moving under variety of disturbing conditions such as changing illumination, con-fusing busy background, object shape transformation, changing speed, partial occlusion etc. A robust ego-motion perception algorithm has also been developed based on the edge information. In order to understand the gesture of a person form motion pictures, a vector representation of an instantaneous motion has been developed. A temporal sequence of such vectors is analyzed by Hidden Markov Models (HMMs). For this purpose, a new HMM has been developed which we call Self-Evaluating HMM. With this new model, it is possible for a single Self-Evaluating HMM to judge if an input sequence matches to the model without referring to other models. Preliminary experiments of simple gesture recognition have confirmed the effectiveness of this approach.

5. サブミクロン開口の深掘りエッチングを応用したMEMS-LSI融合デバイス

三田吉郎・澤村智紀・山本広隆・森功・フレデリック マーティー(仏電子技術高等学院)

LSI-MEMS integrated device by deep reactive ion etching technology

Y. Mita, T. Sawamura, H. Yamamoto, I. Mori, F. Marty (ESIEE, France)

東京大学武田先端知ビルスーパークリーンルームの VDEC 所有 EB 装置を利用してリソグラフィを行ない、DRIE 装置でエッチングを行なって、深掘りナノサイズ構造すなわち、電子デバイスサイズ（１ミクロン以下）のパターン幅でかつマイクロマシンサイズ（40 ミクロン以上）の深さを持つ垂直深掘り構造を作製し、機械的な深掘り構造に起因した物理効果によって量的・質的な向上がもたらされる新世代の電気機械デバイスを研究している。深掘り加工技術としては最小サイズ 170 ナノメートル、深さ 15 ミクロンのトレンチ構造を作製することができるようになった。MEMS 用サブミクロンサイズの深掘り構造は、これまでせいぜいアスペクト比 1:10 程度であったが、本研究ではそれより一桁優れた結果を出している。このエッチング技術を基礎に、シリコンの垂直面の表面から不純物拡散を行って PN 接合とした「垂直フォトダイオード」を作製、既存の平面型ダイオードに比較して 25%～80%の効率向上ならびにクロストーク軽減ができることを示した研究を進めているが、開口幅を光の波長よりも狭くした細長いスリット構造を並べることで、直線偏光に対して感度のある電子デバイスが作製できることが示されたので、その原理ならびに応用 LSI システムについて研究を進めている。

Silicon deep nano-fabrication technology of structures having both electron-device-scale (10μm down to less than 1μm) lateral resolution and MEMS-scale (more than 40 μm) depth, and application to electron devices are developed. VDEC's EB writer performs lithography and Deep RIE at Takeda Building performs etching. Our recent performance provides trenches of 170nm-width and or 15μm-depth. The feature scale is ten times smaller in lateral direction while keeping DRIE-standard depth as compared to Deep-RIE standard. Based on the technology, several new-concept devices are appearing such as: (1) a "vertical photodiode" that is made by thermal diffusion on the vertical wall of Si Deep Reactive Ion Etching (DRIE) and showed from 25% to 80% of photocurrent increase and crosstalk suppression as compared to conventional planar photodiode, (2) "Polarization-sensitive photo-detector" that shows photocurrent dependence on polarization angle of incident light due to the submicron deep-silicon grating photodiode structure. Studies on the physical understanding and system application are underway.

6. マイクロ構造の自由な断面形状制御法とそれを活用する電気機械システム

三田吉郎・澤村智紀・チャンナムビン・木原泰樹, 馬少駿（東大杉山研）・久保田雅則（杉山研）・ジャン=ベルナール プーシエル(仏計測自動制御技術研究所）・増沢隆久（東大名誉教授）

LSI-MEMS integrated device by submicron-wide opening deep reactive ion etching technology

Y. Mita, T. Sawamura, T.-N. Binh, T. Kihara, S. Ma, M. Kubota, J.-B. Pourciel, T. Masuzawa

シリコン深掘り微細加工技術は絶え間ない進歩をつづけており、それに伴い微小電気機械(MEMS)に関する新しい応用分野が広がりを見せている。現在主流となっている微細加工技術によって実現可能なマイクロ構造は、平面方向に矩形パターンを組み合わせてそのまま深さ方向に転写する作製プロセスで決定される直方体構造である。しかしながら、例えばレンズの形状を考えるとわかるように、直方体が形状として最適でない機械素子は多数存在するので、理想的なマイクロ加工技術というものは本来、電子機械素子の性能からトップダウン要請される任意曲面を自在に実現できなくてはならない。本研究はこのような、「任意形状の曲面を実現するマイクロ加工技術」に関する総合的知見を得るための試みであり、(1)具体的なトップダウンアプリケーション、(2)最先端技術とアイディアによる作製テクノロジ、さらに(3)マイクロ三次元構造の非破壊評価技術という三正面からのアプローチを行っている。具体的なトップダウンアプリケーションとして、(1-1) 集積回路チップの垂直方向に埋め込んだインダクタや、(1-2)発電機能付きシリコン偏光薄膜素子、(1-3)非破壊神経系の動作電位分布を測定するためのやわらかい電極アレイを、加工技術としては(2-1) 深掘りエッチングの特性を生かしたえぐれ構造作製法ならびに(2-2)部分的に薄層化することで曲率の制御を可能とした曲面生成法、測定技術としては(3)断面に対して直交して探針を当てられる新型スイング式垂直表面プロファイリングシステムの研究を行っている。

Narrow and deep structures such as microholes and trenches are playing key roles in modern electro and mechanical systems. In standard micro fabrication technology, patterns are composed of rectangles and vertically transferred to the depth direction, yielding long-cubic structures. However, just by thinking of lens shape, one can realize that cubic shape is not necessarily the optimum shape for all kinds of applications. Hence it can be said that the ideal micro fabrication technology must be capable of realizing surfaces having arbitral curvatures that are top-down requested by applications. The team aims at acquiring comprehensive study on such “arbitral curvature providing micro fabrication technologies” from three aspects: (1) Top-down concrete applications, (2) Enabling micro fabrication methods by cutting-edge technologies and ideas, and (3) non-destructive profiling method of such surfaces. Top-down applications include (1-1) vertically-buried microinductor, (1-2) Silicon photovoltaic polarizer for energy harvesting, and (1-3) A Curvature Controlled Flexible Silicon Micro Electrode Array to Wrap Neurons for Signal Analysis. As fabrication methods, (2-1) Micro entrant shape etching method by isotropic and anisotropic etching combination and (2-2) Digital thickness variation induced out-of-plane curvature control method are developed. To evaluate above-mentioned structures without breaking, (3) a swing-probing surface profiler that can tap vertical surface perpendicularly is under development.

7. 集積化水上走行ロボットを通じたエネルギー自立型分散マイクロシステム

三田吉郎・森下賢志・イファン リ（英エジンバラ大）・アントニー ウォルトン（英エジンバラ大）

Study on LSI-MEMS integrated pond-skating robot for energy-autonomous distributed Microsystems

Y. Mita, S. Morishita, Y. Li, A. J. Walton

新しい応用分野を拓くものと近年期待が高まっている集積化 MEMS（微小電気機械システム）のトップダウンアプリケーションとして、環境からエネルギーを取得して自立移動できる、完全自走型のマイクロシステムの研究を行っている。「Engineered Nature」すなわち、動物の実装をデッドコピーするのではなく動物に見られる機能を抽出してそれを工学的に最適な形で実現することを通じて工学の発展に寄与することを指導原理としている。大きさ 1cm 以下のマイクロロボットを多数環境に放出し、個々のロボットは近傍のロボットと通信を行いながら、協調的に環境測定などの高度な機能を実現するという自律分散システムを目指している。1cm 角サイズという小型なマイクロロボットとして知られているものは、安宅（東大）らによるマイクロ繊毛（1992）、Ebefords（KTH）らによるマイクロ尺取虫、三木（東大）らによるマイクロヘリコプターなどがあるが、電源供給用に電線が必要であるとか、ミリワット級のエネルギーを投入しなくてはならないとかいった問題のため完全自立というには程遠かった。

既存研究の最大の課題である電力消費を抑えて自立移動するための動力原理として、筆者らはエレクトロウェッティング(EWOD)現象に注目している。むきだしの絶縁電極に電荷を注入して表面エネルギーを変調することで、表面の濡れ性を制御する、19 世紀半ばから知られている原理で、2000 年代になってマイクロ化学システムの液滴移動原理として再発見されたものである。濡れ性制御に必要なエネルギーが 1μm/cm2 と非常に小さいため、世界初の自立移動マイクロロボットの駆動原理として好都合であると考えている。現在までに、磁気誘導によって電力を伝送して自走（一掻き）するロボットのデモンストレーションに成功している。

As one example of integrated MEMS that is expected to open new research and industrial application fields, the authors are trying to show a top-down application of energy-autonomous distributed microrobots. The research belongs to the “top-down” research category and through the research the team looks forward to provide the “Engineered Nature”; the team does not intend to just copy how nature works in implementation level, but to realize with cutting-edge technologies what nature is aiming at in highly-functional level. Recent top-down activities include autonomous distributed mobile robot: “Pond Skater”, which to date had not been realized by any other microsystems group. The availability of a leading low voltage technology at the Scottish Microelectronic Centre (SMC) the University of Edinburgh that could electrically change surfaces from hydro-phobic to hydrophilic proved to be crucial to achieving this goal as was the previous involvement of SMC staff in wireless technology. The major challenge is propulsion, and it is clear that directly mimicking the pond skating insect’s propulsion mechanism would be problematic. The idea that was developed was to propel the device using Electro-Wetting Of Dielectric (EWOD) to move air bubbles, which had the significant advantage that there we no moving mechanical parts, which simplified the construction and helped to minimize the weight which was important if the pondskating device was to float using surface tension. Based on the world’s first wireless pond-skating propulsion, the team is developing VLSI control circuit and integration technology for continuous skating.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Jun Chen and Tadashi Shibata, "A Neuron-MOS-based VLSI Implementation of Pulse-Coupled Neural Networks for Image Feature Generation," IEEE Transactions on Circuits and Systems—I: Regular Papers, Vol. 57, No.6, pp.1143 -1153, June, 2010.

[2] Kyunghee Kang and Tadashi Shibata, "An on-Chip-Trainable Gaussian-Kernel Analog Support Vector Machine," IEEE Transactions on Circuits and Systems—I: Regular Papers, Vol. 57, No.7, pp.1513 -1524, July, 2010.

[3] Yitao Ma and Tadashi Shibata, "A Binary-Tree Hierarchical Multiple-Chip Architecture for Real-Time Large-Scale Learning Processor Systems", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.49, 04DE08, 2010.

[4] Norihiro Takahashi and Tadashi Shibata, "A Current-Mode Multiple-Resolution Edge-Filtering Complementary Metal Oxide Semiconductor Image Sensor Employing Self-Similitude Processing in Non-Subtraction Configuration," Japanese Journal of Applied Physics, 04DE07, Vol. 49, 2010.

国際会議論文

[5] [Invited] Tadashi Shibata, "A Brain-Inspired VLSI Architecture for Nano Devices and Circuits," ECS Transactions, Volume 28, (2)19-38(2010), 217th ECS Meeting, April 25-30, 2010, Vancouver, Canada, "Dielectrics for Nanosystems 4:Materials Science, Processing, Reliability, and Manufacturing" Editor(s): D. Misra, D. Bauza, Z. Chen, T. Chikyow, H. Iwai, Y. Obeng, pp. 19-38.

[6] Zhouli Sun, Kyunghee Kang, and Tadashi Shibata, "A self-learning multiple-class classifier using multi-dimensional quasi-Gaussian analog circuits", Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2010), pp. 2330-2333, Paris, France, May 30-June 2, 2010.

[7] Norihiro Takahashi and Tadashi Shibata, "A row-parallel cyclic-line-access edge detection CMOS image sensor employing global thresholding operation", Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2010), pp. 625-628, Paris, France, May 30-June 2, 2010.

[8] Hongbo Zhu, Pushe Zhao, and Tadashi Shibata, "Directional-edge-based object tracking employing on-line learning and regeneration of multiple candidate locations", Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2010), pp. 2630-2633, Paris, France, May 30-June 2, 2010.

[9] [Invited (Keynote)] Tadashi Shibata, “A New Paradigm in VLSI Computing Architecture for Human-Like Intelligent Systems,” in Proceedings of The First Solid-State Systems Symposium (4S-2010), pp. 17-25.

[10] Hyun-Soo Kim and Tadashi Shibata, "Directional-Edge-Space Processing for Multiple-Resolution Image Perception," 7th International Forum on Multimedia and Image Processing (IFMIP 2010), Kobe, Japan, Sep. 19-22, 2010.

[11] Takashi Miyoshi and Tadashi Shibata, "A Hardware-Friendly Object Detection Algorithm Based on Variable-Block-Size Directional-Edge Histograms," 7th International Forum on Multimedia and Image Processing (IFMIP 2010), Kobe, Japan, Sep. 19-22, 2010.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[12] 柴田直, 「ニューラルネットワーク最新事情(４): こころの情報処理に学ぶ新たな VLSI プロセッサ」, 知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）Vol. 22, No.6, pp.767‐774（2010）

浅田・池田・名倉研究室
Asada, Ikeda & Nakura Laboratory

(http://www.mos.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 時間領域制御を利用した設計・プロセスモニター

浅田邦博・名倉徹・飯塚哲也,
程在鉉・中里輝希・児玉和俊

Design and Process Monitor using Time-Domain Control

K. Asada, T. Nakura, T. Iizuka, J.H. Jeong, T. Nakazato and K. Kodama

近年の微細・低電圧プロセスでは,時間方向の情報を用いた TDC 等の回路が注目を浴びている.本研究では,時間領域の情報を使用した新規な PLL 回路を提案し,またパルス幅による制御を行うことでデジタル制御発振器の周波数解像度を向上させる回路について新たに提案を行った.一方で,極微細プロセスにおいては,ばらつきや経年劣化が回路の特性に及ぼす影響が著しく大きくなっている.本研究では,リング型のバッファチェインを使用してトランジスタの特性ばらつきをモニタする回路を提案し,同リング型回路を応用した経年劣化モニタを提案した.さらに,経年劣化効果による回路中の DFF の誤動作を避けるため,新規な回路構造を持つ DFF の提案を行った.

In the recent high-speed and low-voltage technologies, a time-domain processing becomes more and more attractive due to the limited voltage-domain resolution. By utilizing the time-domain processing, a low-power and low-jitter phase locked loop (PLL) with small occupation area has been proposed in this study. We also proposed a time-domain controlled oscillator using a pulse width modulated signaling to improve the frequency resolution of a conventional digitally controlled oscillator. On the other hand of a steady performance improvement of the VLSI, a smaller feature sizes degrade the tolerance to the PVT variabilities and the aging effects. In this study, we proposed a buffer-ring-based all-digital process variability and aging effect monitors. These techniques allow us to collect the data easily in wafer or package form due to its all-digital nature. We also proposed a novel DFF structure to avoid a timing error due to the aging effects.

2. ミリ波イメージング向けパルス送信回路

浅田邦博・名倉 徹・飯塚哲也
佐々木昌浩・Nguyen Ngoc MAI KHANH

Pulse Transmitter for mm-wave Imaging

K. Asada, T. Nakura, T. Iizuka, M. Sasaki and N.N. M. Khanh

本研究では、117-130GHz 帯域を持つ 8 ダイポールアンテナのフェーズドアレーアンテナを試作した。ミリ波イメージングに使用するために、時間分割アレイアンテナを用いたパルスビーム形成を行うことで制御を容易にしている。オンチップのジッタ測定回路および遅延測定回路を内蔵することで、プログラム制御可能なパルスビーム形成が可能となる。HSPICE シミュレーションによる検証では、1.66V, 9.13ps 幅のソックウェーブ波形が得られた。送信ビームの形成では、デジタルコードによる遅延調整機能と内蔵のジッタ測定回路を利用することで65nm CMOS を用いて 1ps 精度での制御を可能とした。ダイポールアンテナアレーを集積化したミリ波送信回路の測定では、ショックレーダイオードを用いた90G-140GHz 帯域のホーンアンテナを用いて放射パターンを測定し、良好な結果を得た。

We proposed and implemented an on-chip antenna array with 8-dipole elements operating with 117 – 130- GHz frequency bandwidth, utilizing timed array to achieve pulse beam-formability and controllability for the mm-wave imaging. We integrated programmable delay monitoring and controlling system with on-chip jitter measuring circuit, with a new on-chip dipole antenna whose special geometry is a meandering one working in a wide-band mm-wave regime. According to HSPICE simulation, a peak-to-peak shock wave voltage is 1.66-V with 9.13-ps shock wave duration. Transmitting beam forming is carried out by delay adjustments by digital codes and realizes less-than- 1ps programmable delay with an integrated jitter measuring circuits in 65 nm CMOS. Measurement for fully integrated mm-wave transmitter with the meandering dipole antenna array was performed by using a 90 – 140-GHz standard gain horn antenna, an mm-wave Schottky diode, and the customized set-up for automatically measuring mm-wave radiation patterns. Our measurement results prove that the 65-nm CMOS proposed antenna array can be employed for beam- formability of mm-wave active imaging transmitter.

3. SoC 設計

浅田邦博・名倉徹・飯塚哲哉・門馬太平

SoC Design

K. Asada, T. Nakura, T. Iizuka, T. Monma

近年,様々なマイクロプロセッサが電子機器で使用されている.特に低消費電力の組み込み向けマイクロプロセッサは,自動車,家電,モバイル機器といった SoC プラットフォームの鍵となっている.また,小型情報端末の普及により,組み込み向けプロセッサに対する性能要求が急速に高まりつつある.本研究室では, プロセッサの演算器のデータレベル並列性とスレッドレベル並列性を動的に変更させることにより,実行するアプリケーションに応じて最適な構成を選択し,組み込み向けプロセッサの消費電力・エネルギーあたりの性能を向上させるためのマイクロプロセッサシステムを提案している.

Variery of microprocessors are widely used in electronics devices. Especially, low power build-in microprocessors are the key element for SoC platform such as automobile, home electronics, mobile devices, and so on. Also, wide spread of small sized information terminals urges high performance for the build-in microprocessors. This research dynamically change the data-level parallelism and thread-level parallelism on the processor arithmetic logic unit, and proposes an low power and high performance per power architecture by selecting the optimum parallelism for the build-in microprocessors.

4. 電源雑音測定・低減手法

浅田邦博・池田誠・名倉徹・飯塚哲哉
金 鎮明・玉置裕基・王 楠

Power Supply Noise Measurement and Reduction

K. Asada, M. Ikeda, T. Nakura, T. Iizuka, J. Kim, Y. Tamaki and N. Wang

電源雑音は LSI において回路遅延増加,雑音余裕低下,ゲート劣化などを引き起こし,LSI の性能を低下させる重大な原因の一つである.LSI の信頼性と安定性を保証するために,チップ内部の電源雑音を観測及び分析,さらに低減する必要がある.本研究では,電 源モニタをチップ内の各ロケーションに配置し,電源電圧の最大値と最小値を同時に検出・保持する電源モニタシステムを提案した.また,発生した電源雑音を既存のデカップリングコンデンサではなく回路のスリープブロックに寄生する容量を用いて低減する手法 を提案した.回路技術を用いて能動的に電源雑音を低減するため,小面積かつ効率的に電源雑音低減可能である.

Power supply noise causes timing violation, reduced noise margin, and oxide breakdown in LSI systems, and it is one of the significant problems degrading LSI circuit performance. To guarantee the signal integrity and reliability of nano scale LSIs, on-chip power supply noise monitoring/analysis and suppressing are required. In this study, we proposed a power supply monitoring system that several on chip power supply monitors are implemented on a chip to detect the max/min peak values of power supply and memorize them simultaneously. On the other hand, a noise canceller utilizing parasitic capacitance of sleep blocks is proposed to replace the conventional large decoupling capacitor. This method can reduce supply noise effectively and save the chip area by circuit techniques.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] S. Mandai, T. Momma, M. Ikeda, K. Asada, “Variable Length Coded Address Compression for High-Speed 3-D Range-Finder Using Light-Section Method,” IEICE Trans. on Electronics, Vol. E94-C, No.1, pp. 124-127, Jan. 2011

[2] S. Ergun, U. Guler, K. Asada, “A High Speed IC Truly Random Number Generator Based on Chaotic Sampling of Regular Waveform,” IEICE Trans. on Fundamentals, Vol.E94-A No.1 pp.180- 190, Jan. 2011.

[3] T. Iizuka and K. Asada, “All-Digital Ramp Waveform Generator for Two-Step Single-Slope ADC,” IEICE Electronics Express, vol. 8, no.1, pp. 20- 25, Jan. 2011.

[4] B. Devlin, T. Nakura, M. Ikeda, K. Asada, “A Low Power and High Throughput Self Synchronous FPGA Using 65 nm CMOS with Throughput Optimization by Pipeline Alignment,” IEICE Trans. on Electronics, Vol. E93-A, pp. 1319-1328, Jul.,2010.

国際会議論文

[5] T. Iizuka, T. Nakura, and K. Asada, “Buffer-Ring-Based All-Digital On-Chip Monitor for PMOS and NMOS Process Variability and Aging Effects," in Proceedings of IEEE International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS),pp.167- 172, Apr. 2010.

[6] S. Mandai, T. Nakura, M. Ikeda, and K. Asada, “A 8bit two stage time-to-digital converter using 16x cascaded time difference amplifier in 0.18um CMOS,” 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON 2010), pp. 280– 285, Apr. 2010.

[7] N. N. Mai Khanh, M. Sasaki, and K. Asada, “A CMOS Pulse Beamforming Transmitter Design with On-chip Antenna Array for Millimeter-wave Imaging Applications,” International Conference on Future Information Technology (ICFIT),pp. 1- 6, May 2010.

[8] J. Kim, T. Nakura, H. Takata, K. Ishibashi, M. Ikeda, and K. Asada, “Resonant Supply Noise Canceller Utilizing Parasitic Capacitance of Sleep Blocks,” IEEE/JSAP Symposium on VLSI Circuit,pp. 119- 120, Jun. 2010.

[9] N.N. Mai Khanh, M. Sasaki, K. Asada, and T. Monma, “A 0.18-μm CMOS Millimeter Wave Pulse Generator with Onchip Antenna and Digitally Programmable Timed Delay Circuit,” IEEE Asia Symposium on Quality Electronic Design (ASQED),pp. 1- 4, Aug.

2010.

[10] Y. Tamaki, T. Nakura, M. Ikeda, and K. Asada, “A Toggle-Type Peak Hold Circuit for Local Power Supply Noise Detection,” IEEE Asia Symposium on Quality Electronic Design (ASQED),pp. 29- 32, Aug. 2010.

[11] T. Iizuka, J. Jeong, T. Nakura, M. Ikeda, and K. Asada, “All-Digital On-Chip Monitor for PMOS and NMOS Process Variability Measurement Utilizing Buffer Ring with Pulse Counter,” IEEE European Solid-State Circuits Conference (ESSCIRC),pp. 182- 185, Sep. 2010.

[12] S. Mandai, T. Iizuka, T. Nakura, M. Ikeda, K. Asada, “Time-to-digital converter based on time difference amplifier with non-linearity calibration,” IEEE European Solid-State Circuits Conference (ESSCIRC),pp. 266–269, Sep. 2010.

[13] N.N. Mai Khanh, M. Sasaki, and K. Asada, “A 0.25-μm SiGe Millimeter-wave Damping Pulse Transmitter Chip with On-chip Loop Antenna Array,” International Conference on Infrared, Millimeter, and Teraher tz Waves (IRMMW-THz), Sep. 2010.

[14] K. Asada, M. Ikeda, B. Devlin, and T. Sogabe, “[Keynote] Self-Synchrounous Circuits with Completion/Error Detection as a Candidate of Future LSI Resilient for PVT Variations and Aging,” IEEE 25th International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems (DFT),2010, p.3, Oct. 2010.

[15] B. Devlin, M. Ikeda, and K. Asada, “Evaluation on the Reliable Operation of a Gate-Level Pipelined Self Synchronous System Against PVT and Aging,” International Integrated Reliability Workshop (IIRW) 2010, Oct. 2010.

[16] T. Nakura, “Resonant Supply Noise Canceller Utilizing Parasitic Capacitance of Sleep Block,” 10th Taiwan-Japan Microelectronics Symposium, Oct. 2010.

[17] B. Devlin, M. Ikeda, and K. Asada, “A 65 nm 2.97GHz Self Synchronous FPGA with 42% Power Bounce Tolerance,” IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC),pp. 8- 10 Nov. 2010.

[18] M. Sasaki, N.N. Mai Khanh, and K. Asada, “A Circuit for On-chip Skew Adjustment with Jitter and Setup Time Measurement,” IEEE Asian Solid- State Circuits Conference (A-SSCC),pp. 217- 220, Nov. 2010.

[19] T. Iizuka, J. Jeong, T. Nakura, M. Ikeda, and K. Asada, “Buf fer-Ring-Based All-Digital On-Chip Monitor for PMOS and NMOS Process Variability Measurement,” IEEE/ACM Workshop on Variability Modeling and Characterization (VMC), Nov. 2010.

[20] J. Jeong, T. Iizuka, T. Nakura, M. Ikeda, and K. Asada, “A Robust Pulse Delay Circuit Utilizing a Differential Buffer Ring,” International SoC Design Conference (ISOCC 2010),pp. 272- 275, Nov. 2010.

[21] N.N. Mai Khanh, M. Sasaki, and K. Asada, “Integrated Wideband Dipole Antenna for Pulse Beam-Fomability by Using 0.18μm CMOS Technology,” Asia-Pacific Microwave Conference (APMC),pp. 1561- 1564, Dec. 2010.

[22] B. Devlin, M. Ikeda, and K. Asada, “A Gate-level Pipelined 2.97GHz Self Synchronous FPGA in 65 nm CMOS,” Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2011),pp. 25- 28, Jan. 2011.

[23] J. Jeong, T. Iizuka, T. Nakura, M. Ikeda, and K. Asada, “All-Digital PMOS and NMOS Process Variability Monitor Utilizing Buffer Ring with Pulse Counter,” Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC),pp. 79- 80, Jan.2011.

[24] N.N. Mai Khanh, M. Sasaki, and K. Asada, “A Fully Integrated Shock Wave Trasmitter with an On-chip Dipole Antenna for Pulse Beam- Formability in 0.18-μm CMOS,” Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP- DAC),pp. 107- 108, Jan. 2011.

[25] B. Devlin, M. Ikeda, and K. Asada, IEEE International Solid-State Circuit Conference (ISSCC) Student Research Preview, Feb. 2011.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[26] 宋, 佐々木, 金, 池田, 浅田, “スキューを用い た高精度の光位置センサー,” 映像情報メディア 学会, 情報センシング研 究 会 ,IST2010-23, pp. 5-8, May 2010.

[27] 飯塚,名 倉 ,浅 田 ,“PMOS/NMOS のプロセス ばらつきを独立に検出するためのリング型バッ ファチェインを用いたオンチップモニタ,”電子 情報通信学会技術研究報告,vol. 110, no. 140, pp. 15- 20, Jul. 2010.

[28] 金,名倉,高田,石橋,池田,浅田,“複数 IP コ ア回路におけるスリープブロックの寄生容量を 用いたチップ内電源共振雑音低減手法,”電子情 報通信学会集積回路研究会,ICD-110, No. 182, pp. 1-4, Aug.,2010

[29] 服部,浅田,池田,“リアルタイム三次元メッシュ 生成ハードウェア,” 映像情報メディア学 会 , 情 報センシング研究会,IST2010-62, pp. 57-60, Oct. 2010.

[30] 名倉,“[招待講演] 時間差増幅回路の発想から発表まで,”電子情報通信学会研究報告集積回路研 究会,ICD2010-117, pp.107-111, Dec. 2010.

[31] 程,飯塚,名倉,池田,浅田,“小面積ディジタルプロセスばらつきモニタの特性評価,”電子情 報通信学会ソサイエティ大会論文集,C-12-23, p. 84, Sep. 2010.

その他

[32] B. Devlin, M. Ikeda, and K. Asada, “A 65 nm 2.97GHz Self Synchronous FPGA with 42% Power Bounce Tolerance,” IEEE SSCS Kansai Chapter Technical Seminar. Dec. 2010.

[33] J. Kim, T. Nakura, H. Takata, K. Ishibashi, M.Ikeda, and K. Asada, “Resonant Supply Noise Canceller Utilizing Parasitic Capacitance of Sleep Blocks,” IEEE SSCS Kansai Chapter, Jun. 2010.

藤田研究室
Fujita Laboratory

(http://www.cad.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 設計の形式的検証に関する研究

藤田 昌宏・松本 剛史・田川 貴聡

Formal Verification of Designs

M. FUJITA, T. MATSUMOTO, T. TAGAWA

ハードウェア高位設計や非同期式回路の等価性を形式的に検証する手法を提案した。前者では、設計がループを含む場合、その展開回数によって検証時間が長期化するという問題があった。そこで、検証する 2 つのループにおける繰返し回数を表す変数間の対応を取ることにより、ループ展開を行わずに等価性を検証する手法を提案し、評価を行った。後者では、高位合成前後の束データ方式の非同期式回路に対する初めての等価性検証手法を提案した。提案手法では、回路が満たすべきタイミング制約とデータフローを別々に検証することにより、高速に検証が可能となっている。

Equivalence checking for high-level hardware designs and asynchronous circuits is researched. In the former, we proposed an equivalence checking method for loops. By introducing the correspondence between iterators of the two loops under verification, our method does not unroll loops, which enables fast verification even if the number of iterations is very large. On the other hand, in the latter, the proposed method is the first formal equivalence checking method for bundled-data implementations before and after high-level synthesis. In this method, timing condition and data flow are checked separately, which enables the fast verification speed.

2. オンチップインターコネクト設計支援

藤田 昌宏・吉田 浩章・松本 剛史・張 嘉懿・谷田 英生・中井 勇気

Design Support for On-chip Interconnect

M. FUJITA, H. YOSHIDA, T. MATSUMOTO, J. ZHANG, H. TANIDA,Y. NAKAI

SoC の機能ブロック間を接続するオンチップインターコネクトの設計支援手法を 2 つ提案した。1 つ目の提案手法は、互換性のないプロトコル同士の変換器自動合成手法である。変換対象プロトコルの通信路ビット幅や動作周波数が違う場合に対応可能な手法を提案・評価した。提案手法は我々のプロトコル変換器自動合成ツールへ実装中である。2 つ目の提案手法は、通信要求に応じて NoC(ネットワークオンチップ)トポロジ・経路を最適に生成する NoC のアーキテクチャ自動合成である。通信路のレイテンシと一ホップあたりのリンク長に関する要求を整数線形計画法問題として定式化し、評価を行った。

We have proposed two design methods to facilitate the design of on-chip interconnect. The first method is automatic interface synthesis. We have proposed methods to realize communication among components with different width of data channel and clock frequency. Currently, we are implementing the proposed methods in our automatic protocol transducer synthesis tool. The second method is automatic synthesis of Network-on-Chip (NoC) architectures. We are studying automated floor-planning of function blocks and NoC topology/route generation based on application requirements. Our method is capable of handling additional constraints on one-hop link length, which enables generation of NoC architecture with lower bound of operating frequency guaranteed.

3. 設計デバッグ支援

藤田 昌宏・松本 剛史・李 蓮福・原田 裕基・清水 修一

Design Debugging Support

M. FUJITA, T. MATSUMOTO, Y. LEE, H. HARADA, S. SHIMIZU

本研究では、3 つのデバッグ支援手法を提案した。1 つ目は、SMT ソルバーを用いて上位設計記述中のバグの位置と修正方法を求める手法である。この手法では、反例の実行トレースからデータフローグラフを求め、グラフの各エッジに対して、反例トレース中の値と異なる値を選択できるような定式化をすることにより、与えられた反例を正しい実行にするために修正すべき箇所と修正方法を得ることができる。2 つ目は、データパスと制御 FSM で構成されたハードウェア回路において、ある実行中のある信号値に依存を与えている全ての信号値およびそのタイミングを抽出する手法である。この手法では、データパス回路中の各信号に 1 ビットの追加信号を導入することによって依存関係を計算している。

We proposed two approaches for supporting design debugging using high-level design. The first work is a method that extracts bug candidates from a high-level design description. First, we obtain a data flow graph of the target high-level design for a given input pattern, and then we insert a multiplexer on each edge to select the original signal or an extra primary input. Then, we check whether or not the circuit can generate a correct output by using the extra input. The second work is dynamic slicing for hardware circuits consisting of a datapath and a controller.

4. 高位合成および高位設計最適化

藤田 昌宏・吉田 浩章・ラトナ クリシュナムルティ・李 在浩・小野 翔平・福井 啓

High-level Synthesis and Optimization

M. FUJITA, H. YOSHIDA, R. KRISHNAMOORTHY, J. LEE,

S. ONO, A. FUKUI

SoC の開発コスト増大と開発期間短縮に伴い、仕様変更や設計誤りによる製造後修正を可能とする技術が重要となっている。近年、制御部分をプログラマブルにすることにより製造後修正を可能とするプログラマブルアクセラレータが注目されているが、制御回路をメモリで実現しているため結線論理によるアクセラレータに比べて電力効率が非常に低い。本研究では小規模の機能修正を対象に、制御回路の大部分を結線論理で実現した上で部分的にパッチを当てることで制御を修正するプログラマブルアクセラレータを提案した。また、修正前後の設計記述からパッチをコンパイルする手法を提案した。例題を用いた評価を通じて提案方式が電力効率の面で従来方式よりも優位であることを示した。

Recently, programmable accelerators have attracted more attention as an enabling solution for post-silicon engineering change. However, programmable accelerators suffer from low energy efficiency mainly due to their extensive use of memories. In this research, we propose energy-efficient programmable accelerators which enable post-silicon engineering change. The proposed accelerators achieve high efficiency by implementing the controllers mostly by hard-wired logic and providing a control patching mechanism. We also propose a patch compilation technique from a given set of an original design and a modified design. Experimental results demonstrate that the proposed accelerators can achieve higher energy efficiency than the existing programmable accelerators.

5. 動的ウェブアプリケーションの検証

藤田 昌宏・谷田 英生

Verification of Dynamic Web Applications

M. FUJITA and H. TANIDA

動的ウェブアプリケーションの画面間遷移に対する網羅的検証手法を提案した。提案手法は、ブラウザ内での表示内容とそのユーザ入力に伴う遷移関係を表す画面間遷移モデル自動抽出手法と、画面間遷移モデルに基づくモデル検査手法から構成される。さらに、小規模な解説書上の例題および実運用に供されている大規模な動的ウェブアプリケーションに適用して評価を行い、提案手法がウェブアプリケーションの不具合発見に有効であること、及び大規模なアプリケーションにも適用可能であることを示した。

We proposed a verification technique for inter-screen transitions of dynamic web applications. The proposal is a two-phase approach. The first phase is automatic extraction of inter-screen transition models which contain behavior of dynamic HTML contents shown on web browsers. The second phase is model checking on the extracted model. We confirmed the method was effective for detecting malfunction in applications and applicable to large-scale applications.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] B. Alizadeh, M. Mirzaei, and M. Fujita, “Coverage Driven High Level Test Generation using a Polynomial Model of Sequential Circuits,” IEEE Transactions on Computer-Aided-Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 29, No. 5, pp. 737-748, May 2010.

[2] B. Alizadeh and M. Fujita, “Modular Data-path Optimization and Verification Based on Modular-HED,” IEEE Transactions on Computer-Aided-Design of Integrated Circuits and Systems , Vol. 29, No. 9, pp. 1422-1435, Sep. 2010.

[3] H. Yoshida and M. Fujita, “Performance-Constrained Transistor Sizing for Different Cell Count Minimization,” IPSJ Journal of Information Processing, Vol. 18, pp. 252-262, Dec. 2010.

[4] H. Yoshida and M. Fujita, “Exact Minimum Factoring of Incompletely Specified Logic Functions via Quantified Boolean Satisfiability,” IPSJ Transactions on System LSI Design Methodology, Vol. 4, pp. 70-79, Feb. 2011.

国際会議論文

[5] A.M. Gharehbaghi, M. Fujita, “Extracting Global Transaction orders from Local Ordering Information in Network-on-Chips,” E-Digest of 4th Workshop on Diagnostic Services in Network-on-Chips (DSNOC’10), pp. 249-262, Anaheim, California, USA, June 2010.

[6] Y. Lee, T. Matsumoto, and M. Fujita, “Generation of I/O Sequences for a High-level Design from Those in Post-silicon for Efficient Post-silicon Debugging,” Proc. of 28th IEEE International Conference on Computer Design, pp. 402-408, Oct. 2010.

[7] S. Yamashita, H. Yoshida and M. Fujita, “Increasing Yield Using Partially-Programmable Circuits,” Proc. of Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information technologies, pp. 237-242, Oct. 2010.

[8] R. Krishnamoorthy, K. Varadarajan, G. Garga, M. Alle, R. Narayan, S.K. Nandy, and M. Fujita, “Towards Minimizing Reconfiguration Overhead in Dynamically Reconfigurable Processors: REDEFINE as a case study”, Proc. Of the 2010 International Conference on Compilers, Architectures and Synthesis for Embedded Systems (CASES ’10), pp.77-86, Oct. 2010.

[9] F. Haedicke, B. Alizadeh, G. Fey, M. Fujita, and R. Drechsler, “A Polynomial Datapath Optimization using Constraint Solving and Formal Modeling,” Proc. of the 2010 International Conference on Computer-Aided

Design, pp. 756-761, Nov. 2010.

[10] B. Alizadeh and M. Fujita, “A Debugging Method for Repairing Post-Silicon Bugs of High Performance Processors in the Fields,” Proc. of the 2010 International Conference on Field-Programmable Technology, pp. 328-331, Dec. 2010.

[11] M. Fujita, B. Alizadeh, H. Yoshida and T. Matsumoto, “Post-silicon debugging with high level design descriptions and programmable controllers,” International Workshop on Microprocessor Test and Verification, Dec. 2010.

[12] M. Fujita, H. Yoshida and J.-H. Lee, “Low Power Programmable Controllers for Reliable and Flexible Computing,” IEEE International Workshop on Reliability Aware System Design and Test, pp. 19-24, Jan. 2011.

[13] S. Ono, H. Yoshida and M. Fujita, “A Scalable Heuristic for Incremental High-Level Synthesis and Its Application to Reliable Computing,” IEEE International Workshop on Reliability Aware System Design and Test, pp. 54-59, Jan. 2011.

[14] M. Fujita, “Utilizing high level design information to speed up post-silicon debugging,” Proc. of Asia and South Pacific Design Automation Conference, pp. 301-305, Jan. 2011.

[15] Y. Lee, T. Matsumoto, and M. Fujita, “On-chip Dynamic Signal Sequence Slicing for Efficient Post-Silicon Debugging,” Proc. of Asia and South Pacific Design Automation Conference, pp. 719-724, Jan. 2011.

[16] A.M. Gharehbaghi, M. Fujita, “Global Transaction Ordering in Network-on-Chips for Post-Silicon Validation”, International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED’11), pp. 284-289, Santa Clara, California, USA, Mar. 2011.

[17] B. Alizadeh, and M. Fujita, “Debugging and Optimizing High Performance Superscalar Out-of-Order Processors Using Formal Verification Techniques”, International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED), 2011, pp. 297-302.

[18] R. Krishnamoorthy, K. Varadarajan, M. Fujita, S.K. Nandy, M. Alle, and R. Narayan, “Dataflow Graph Partitioning for Optimal Spatio-Temporal Computation on a Coarse Grained Reconfigurable Architecture,” Proc. 7th International Symposium on Applied Reconfigurable Computing (ARC 2011), pp. 125-132, March 2011.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[19] 原田裕基, 西原佑, 松本剛史, 藤田昌宏, “充足可能性判定に基づくシステムレベルデバッグ支援手法におけるバグモデルの導入による効率化,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-SLDM-145, No. 10, pp. 1-6, 2010 年 5 月.

[20] Y. Lee, T. Matsumoto, and M. Fujita, “An I/O Sequence Slicing Method for Post-silicon Debugging,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 106, pp. 31-36, 2010 年 6 月.

[21] 吉田浩章, 藤田昌宏, “製造後機能修正可能な高電力効率アクセラレータの高位設計手法,” 情報処理学会 DA シンポジウム 2010 論文集, pp. 45-50, 2010 年 9 月.

[22] Jiayi Zhang, Masahiro Fujita, “Automatic Interface Synthesis Between Incompatible Protocols with Advanced Features,” DA シンポジウム 2010 論文集, pp.27-32, 2010 年 9 月.

[23] 松本剛史, 瀬戸謙修, 藤田昌宏, “ループ最適化に対する形式的等価性検証手法,” DA シンポジウム 2010 論文集, pp.105-110, 2010 年 9 月.

[24] 李 在浩, 吉田浩章, 藤田昌宏, “プログラマブルアクセラレータ向け制御回路方式の検討,” DA シンポジウム 2010 論文集, pp.183-188, 2010 年 9 月.

[25] 吉田浩章, 藤田昌宏, “動的パッチ読み出し機構を備えた製造後機能修正可能アクセラレータ,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-SLDM-146, No. 6, pp. 31-36, 2010 年 10 月.

[26] 吉田浩章, 藤田昌宏, “仮想マルチプロセッサモデルに基づく高速 SoC プロトタイピング手法,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 316, pp. 7-12, 2010 年 11 月.

[27] 小野翔平, 吉田浩章, 藤田昌宏, “発見的解法に基づくスケーラブルなインクリメンタル高位合成手法,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 316, pp. 13-18, 2010 年 11 月.

[28] 谷田英生, 吉田浩章, 藤田昌宏, "高性能 SoC プロトタイプの FPGA 実装方式の検討", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 316, pp. 79-84, 2010 年 11 月.

[29] G. Di Guglielmo, M. Fujita, F. Fummi, G. Pravadelli, S. Soffia, “EFSM-based weight-oriented concolic testing for embedded software,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-SLDM-147, No. 4, pp. 1-6, 2010 年 11 月.

[30] 松本剛史, 藤田昌宏, “上位設計記述の解析を利用した製造後機能テストの効率化,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-SLDM-147, No. 10, pp. 1 -6, 2010 年 11 月.

[31] 吉田浩章, 藤田昌宏, “インクリメンタル高位合成に向けた設計記述間差分の計算手法,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-SLDM-149, No. 21, pp. 1-6, 2011 年 3 月.

その他

[32] 谷田英生, "動的ウェブアプリケーションの操作に対する画面間遷移の網羅的検証", 情報処理学会推薦卒業論文・修士論文速報, 情報処理学会誌「情報処理」, Vol. 52, No. 2, p. 205, 2011 年 2 月.

竹内研究室
Takeuchi Laboratory

(http://www.lsi.t.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. Fe-NAND フラッシュメモリの研究

竹内健・畑中輝義・戸井田明俊

Fe(Ferroelectric)-NAND Flash Memory

Ken Takeuchi, Teruyoshi Hatanaka, Akitoshi Toita

メモリカードや携帯電話に使われているフラッシュメモリを更に大容量化・低消費電力化する可能性を持った Fe-NAND フラッシュメモリを世界で最初に提案した。基本的な動作を実証し、NVSMW(Non-volatile Semiconductor Memory Workshop)で発表した。Fe-NAND はメモリトランジスタのゲート絶縁膜が強誘電体膜 SrBiTaO と絶縁膜 HfAlO の積層で構成され、従来の LSI では使われていない強誘電性物質を採用していることを特徴とする。従来の NAND フラッシュメモリに比べて電圧を 20V から 5V に低電圧化、書き換え回数を一万回から一億回に増加させることに成功した。また 10 年間のデータ保持が可能なことを実証した。Fe-NAND では、電界によって強誘電体の結晶格子内のイオンを移動させて情報を記憶するため、数ナノメーター（格子サイズ）の極限まで微細化することができると考えられる。

We succeeded in developing a Fe-NAND flash memory and presented a paper at NVSMW. The research objective is to realize a Tera-bit capacity non-volatile memory in 2015. Fe-NAND is composed of ferroelectric field-effect transistors (FeFET) whose gate dielectric consists of a ferroelectric layer, SrBiTaO and a high-K dielectric layer, HfAlO.

It is difficult to scale down the conventional floating-gate (FG) NAND flash memories below 30nm due to the serious interference with neighboring cells. The charge-trap memories like MONOS have short data retention problems. Current-driven resistive switching memories such as MRAM, PRAM and RRAM are unscalable below 20nm because of the significant IR drop of the bit-line.

We succeeded in demonstrating that Fe-NAND is in principle scalable below 10nm to the crystal unit-cell size because the data is stored with an electric polarization in a ferroelectric gate insulator. Due to the voltage-driven, low-voltage operation and scalable properties, Fe-NAND is a promising candidate for the future sub-10nm Tera-bit capacity NAND flash memories.

2. 3 次元 LSI 回路設計の研究

竹内健・畑中輝義

3D-LSI Circuit Design

Ken Takeuchi, Teruyoshi Hatanaka

LSI を小型化・高機能化・低電力化する技術として、マイクロプロセッサ・イメージセンサ・アナログ回路・DRAM・フラッシュメモリなど複数の LSI を 1 個のパッケージ内に積み重ね、1 個の LSI として機能させる 3 次元 LSI の研究を行った（生産技術研究所桜井・高宮研究室と共同）。従来の研究では各種 LSI は独立して最適化されていた。当研究室では異種 LSI 間のレイヤーを超えて、領域を横断して最適化することで、低電力・高機能な LSI を実現することを目指した。3 次元 LSI の中でも特に、フラッシュメモリ・DRAM・フラッシュメモリコントローラーを 1 個のパッケージ内に 3 次元に集積化（SiP: System in Package）した SSD(Solid-State Drive)の向けアダプティブ制御のブーストコンバータを用いた電源回路を開発し、3 次元 SSD の消費電力を 70%削減できることを、実際にチップを設計・試作・評価することで実証した。研究成果は半導体のオリンピックと言われる ISSCC (International Solid-State Circuit Conference)で発表した。

Takeuchi Lab. is developing circuit technologies of three dimensional LSIs where multiple LSIs such as micro processors, image sensors, analog circuits, DRAMs and flash memories are stacked in one package. With an intelligent mix and match, various circuits such as analog, digital and memory are best optimized. As a result, an ultra small form factor, multi-functional, high-speed and low power consumption solution is realized. As a demonstration of 3D-LSI, we successfully developed a 3D-SSD, Solid-State Drive, which contains flash memories, DRAMs and a flash memory controller with SiP. At ISSCC 2009, we presented a boost converter-based adaptive voltage generator for a 3D-SSD. Through the circuit design, chip fabrication and chip evaluation, we experimentally demonstrated that the power consumption of the NAND flash memory decreases by 70% by dynamically controlling the frequency and the duty cycle. We are working on this project with Sakurai and Takamiya laboratory at University of Tokyo.

3. SSD(Solid-State Drive)システムの研究

竹内健・田中丸周平・洪慶麟・樋口和英

SSD (Solid-State Drive) System

Ken Takeuchi, Shuhei Tanakamaru

, Ching-Lin Hung

システム分野では、パソコンの記憶媒体として注目されている、Solid-State Drive の研究を行った。フラッシュメモリと、それを制御するコントローラーチップのアーキテクチャーの革新により、消費電力を半減することに成功し Symposium on VLSI Circuits で発表を行った。現在、インターネット上で扱われるデータの量が爆発的に増加

した結果、サーバーのハードディスクの発熱の増大が問題になっている。グーグルやアマゾンドットコムなどの大規模なサーバーでは、冷却のために一社で年間１兆円以上の電気代がかかっている。メモリシステムの電力を劇的に削減することで、地球環境の改善に貢献することを目指している。

We are developing a low-power high-speed SSD, Solid-State Drive and presented at Symposium on VLSI Circuits. As the capacity of NAND flash memories drastically increases, SSD that uses NAND as a mass storage of PC is attracting much attention. SSD is composed of as many as 64 NAND flash memories, RAM and NAND controllers. By co-designing NAND flash memory and NAND controller circuits, we succeeded in best optimize both NAND and NAND controllers. As a result, at sub-30nm generation, the SSD speed would be improved by 150% without a cost penalty or circuit noise.

4. 超低消費電力ランダムアクセスメモリの研究

竹内健・田中丸周平

Ultra Low Power Random Access Memory

Ken Takeuchi, Shuhei Tanakamaru

パソコンやサーバーの CPU に混載されるランダムメモリの電源電圧を従来の 1V から 0.5V に低減する、メモリ駆動回路を開発した。従来のランダムアクセスメモリはメモリ駆動回路内のトランジスタのしきい値電圧による電圧降下により、0.5V の低電圧では速度が約３倍遅くなるという問題があった。また、メモリの低電圧化が困難なため、CPU も低電圧化できなかった。今回しきい値電圧による電圧降下によるロスを補償する回路を付加した新しいメモリ駆動回路を発明することで上記の問題を克服し、従来と同じ面積（コスト）で、メモリの速度を約３倍高速化することに成功した。提案技術により、メモリが混載される CPU の電源電圧を 1V から 0.5V に低減することが可能になり、CPU の電力が約 1/4 に削減される。

A low power high-speed word-line booster is proposed for 0.5V operation embedded/discrete DRAMs. The rising time is 25% and the power consumption is 48% of the conventional circuits with the same area. The proposed active kicker generates VPP within 3 clock cycles which is shorter than the entire DRAM access time. As a result, a sequential row access is secured. With a fast and low power advantage, the proposed scheme is a promising candidate for the word-line booster of the future 0.5V operation DRAMs.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Teruyoshi Hatanaka, Ryoji Yajima, Mitsue Takahashi, Shigeki Sakai and Ken Takeuchi, “A Negative Word-line Voltage Negatively-Incremental Erase Pulse Scheme with ΔVTH=1/6 ΔVERASE for Enterprise Solid-State Drive (SSD) Application Ferroelectric (Fe)-NAND Flash Memories,” vol. 49, no.4, pp. 04DD08-04DD13, Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), April 2010.

[2] Shinji Noda, Teruyoshi Hatanaka, Kousuke Miyaji, Ryoji Yajima, Mitsue Takahashi, Shigeki Sakai and Ken Takeuchi, “A 1.2V Power Supply, 2.43 Times Power Efficient, Adaptive Charge Pump Circuit with Optimized VTH at Each Pump Stage for Ferroelectric (Fe)-NAND Flash Memories,” vol. 49, no.4, pp. 04DD10-04DD15, Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), April 2010.

[3] Teruyoshi Hatanaka, Ryoji Yajima, Takeshi Horiuchi, Shouyu Wang, Xizhen Zhang, Mitsue Takahashi, Shigeki Sakai and Ken Takeuchi, “Ferroelectric (Fe)-NAND Flash Memory with Batch Write Algorithm and Smart Data Store to the Non-volatile Page Buffer for Data Center Application High Speed and Highly Reliable Enterprise Solid-State Drives (SSD),” IEEE J. of Solid-State Circuits, vol. 45, no. 10, pp. 2156-2164, October 2010.

[4] Shuhei Tanakamaru, Teruyoshi Hatanaka, Ryoji Yajima, Mitsue Takahashi, Shigeki Sakai and Ken Takeuchi, “A 0.5-V 6-Transistor Static Random Access Memory with Ferroelectric-Gate Field Effect Transistors,” vol. 49, no. 12, pp. 121501-121509, Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), December 2010.

国際会議論文

[5] Kosuke Miyaji, Teruyoshi Hatanaka, Shuhei Tanakamaru, Ryoji Yajima, Shinji Noda, Mitsue Takahashi and Shigeki Sakai and Ken Takeuchi, “A Ferroelectric NAND Flash Memory for Low-Power and Highly Reliable Enterprise SSDs and a Ferroelectric 6T-SRAM for 0.5V Low-Power CPU and SoC,” Materials Research Society (MRS) Spring Meeting, April 2010. 【招待講演】

[6] Kosuke Miyaji and Ken Takeuchi, “Advanced NAND Flash Memory Devices and Solid-State Drives,” Materials Research Society (MRS) Spring Meeting, Tutorial Session G, April 2010. 【招待講演】

[7] Ken Takeuchi, “Low Power 3D-integrated Solid-State Drive (SSD) with Adaptive Voltage Generator,” IEEE International Memory Workshop, pp.13-16, May 2010.

【招待講演】

[8] Shuhei Tanakamaru, Atsushi Esumi, Mitsuyoshi Ito, Kai Li and Ken Takeuchi, “Post-manufacturing, 17-times Acceptable Raw Bit Error Rate Enhancement, Dynamic Codeword Transition ECC Scheme for Highly Reliable Solid-State Drives, SSDs,” IEEE International Memory Workshop, pp88-91, May 2010.

[9] Kousuke Miyaji, Shinji Noda, Teruyoshi Hatanaka, Mitsue Takahashi, Shigeki Sakai and Ken Takeuchi, “A 1.0V Power Supply, 9.5GByte/sec Write Speed, Single-Cell Self-Boost Program Scheme for Ferroelectric NAND Flash SSD,” IEEE International Memory Workshop, pp.42-45, May 2010.

[10] Kousuke Miyaji, Shuhei Tanakamaru, Kentaro Honda, Shinji Miyano and Ken Takeuchi, “70% Read Margin Enhancement by VTH Mismatch Self-Repair in 6T-SRAM with Asymmetric Pass Gate Transistor by Zero Additional Cost, Post-Process, Local Electron Injection,” IEEE Symp. on VLSI Circuits, pp.41-42, June 2010.

[11] Teruyoshi Hatanaka, Koichi Ishida, Tadashi Yasufuku, Shinji Miyamoto, Hiroto Nakai, Makoto Takamiya, Takayasu Sakurai and Ken Takeuchi, “A 60% Higher Write Speed, 4.2Gbps, 24-Channel 3D-Solid State Drive (SSD) with NAND Flash Channel Number Detector and Intelligent Program-Voltage Booster,” IEEE Symp. on VLSI Circuits, pp.233-234, June 2010.

[12] Kentaro Honda, Kousuke Miyaji, Shuhei Tanakamaru, Shinji Miyano and Ken Takeuchi, “Elimination of Half Select Disturb in 8T-SRAM by Local Injected Electron Asymmetric Pass Gate Transistor,” IEEE Custom Integrated Circuits Conference, September 2010.

[13] Ken Takeuchi, “Current Status and Future Challenge of Fe-NAND/SRAM Cell Technology,” International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), pp.1086-1087, September 2010. 【招待講演】

[14] Mayumi Fukuda, Kazuhide Higuchi, Shuhei Tanakamaru and Ken Takeuchi, “3.6-Times Higher Acceptable Raw Bit Error Rate, 97% Lower-Power, NV-RAM & NAND-Integrated Solid-State Drives (SSDs) with Adaptive Codeword ECC,” International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), pp.1166-1167, September 2010.

[15] Ken Takeuchi, “Storage Class Memory,” 8th International Workshop on Future Information Processing Technologies (IWFIPT), October 2010.【招待講演】

[16] Shuhei Tanakamaru, Chinglin Hung, Atsushi Esumi, Mitsuyoshi Ito, Kai Li and Ken Takeuchi, “95% Lower Bit Error Rate, 35% Lower Power Intelligent Solid-State Drives (SSDs) with Asymmetric Coding and Stripe Pattern Elimination Algorithm,” IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), pp. 204-205, February 2011.

[17] Ken Takeuchi, “Future Nonvolatile Memory Technology,” Star Visitor Seminar, Data Storage Institute, Singapore, March 2010.【招待講演】

[18] Ken Takeuchi, “Future SSD Technology,” Star Visitor Seminar, Data Storage Institute, Singapore, March 2010. 【招待講演】

著書

[19] Ken Takeuchi, “Inside NAND Flash Memories”, Chapter 18, 2010, Springer.

総説・解説論文

[20] 竹内健, “ソリッド・ステート・ドライブ(SSD)の高信頼性化技術(High Reliability Technologies of Solid-State Drives (SSD))”, 信頼性, vol. 32, no.3, pp. 156-161, 2010.

[21] 竹内健, “手軽に情報を運ぶ フラッシュメモリ”, ニュートン, 2010 年 8 月.

[22] 矢野和男, 広瀬佳生, 竹内健, 野村恭彦, “２１世紀の科学技術とグランドチャレンジを描く「サービスと科学の融合」から「ムーアの法則」を超える指導原理が生まれる”, 日経エレクトロニクス, 2010 年 8 月 9 日号.

[23] 竹内健, “フラッシュメモリーの現状と今後の展望”, 応用物理, vol.79, no.12, pp.1065-1070, 2010 年 12 月.

[24] 竹内健, “ストレージ・クラス・メモリ 機器のボトルネック解消を狙う”, 日経エレクトロニクス, pp.77-89, 2011 年 2 月 7 日.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[25] 畑中輝義, 矢島亮児, 堀内健史, Shouyu Wang, Xizhen Zhang, 高橋光恵, 酒井滋樹, 竹内健, “データセンター用 SSD 向け Ferroelectric(Fe)-NAND フラッシュメモリと不揮発性ページバッファ”, 電子情報通信学会 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 9, ICD2010-11, pp. 59-64, 2010 年 4 月 23 日（招待講演).

[26] 田中丸周平, 畑中輝義, 矢島亮児, 高橋光恵, 酒井滋樹, 竹内健, “しきい値電圧自己調整機能による 60%スタティック・ノイズ・マージン(SNM)増加, 32%アクティブ電力削減, 42%リーク電流削減の強誘電体 FET を使用した 6T-SRAM”, 電子情報通信学会 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 9, ICD2010-5, pp.23 -28, 2010 年 4 月 22 日.

[27] 竹内健, “フラッシュメモリ/SSD の技術動向”, Electronic Journal 第 491 回 Technical Seminar, フラ

ッシュメモリ/SSD 技術・市場・業界動向, 2010 年 4 月. (招待講演)

[28] 竹内健, “ソリッド・ステート・ドライブ(SSD)の高信頼性化技術 (High Reliability Technologies of Solid-State Drives (SSD))”, 信頼性, vol. 32, no.3, pp. 156-161 , 2010 年 5 月号.

[29] 竹内健, “ナノスケールメモリ LSI : 材料・デバイス・回路・システムを総動員し微細化を極限まで延命する”, VDEC デザイナーフォーラム, 2010 年 6 月. (招待講演)

[30] 宮地幸祐, 田中丸周平, 本田健太郎, 宮野信治, 竹内健, “作製後における電子局在注入による非対称パスゲートトランジスタを有する 6 トランジスタ型 SRAM とその読み出し時安定性の向上”, 電子情報学会 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 90, SDM2010-44, pp. 61-65, 2010 年 6 月 22 日.

[31] 竹内健, “グリーン IT を目指した極低電力 NAND フラッシュメモリ・SRAM”, 電気化学会 第 74 回半導体・集積回路技術シンポジウム, 2010 年 7 月 9 日. (招待講演)

[32] 竹内健, “デジタル LSI の技術動向 - メモリ技術”, 電子情報通信学会 集積回路研究会 サマースクール, 2010 年 8 月. (招待講演)

[33] 宮地幸祐, 野田晋司, 畑中輝義, 高橋光恵, 酒井滋樹, 竹内健, “単一セル自己昇圧法による 10V 動作, 書き込み速度 9.5GB/se c 強誘電体 NAND フラッシュ SSD”, 信学技報, vol. 110, no. 183, ICD2010-54, pp. 83-88, 2010 年 8 月 27 日.

[34] 宮地幸祐, 田中丸周平, 本田健太郎, 宮野信治, 竹内健, “プロセス工程後の局所的電子注入による非対称パスゲートトランジスタを有する 6 トランジスタ型 SRAM とその読み出し時安定性の向上”, 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 183, ICD2010-60, pp. 115-120, 2010 年 8 月 27 日.

[35] 畑中輝義, 石田光一, 安福正, 宮本晋示, 中井弘人, 高宮真, 桜井貴康, 竹内健, “NAND チャネル数検出回路・インテリジェント書き込み電圧発生回路を備えた、60%高速・4.2Gbps・24 チャネル、3 次元ソリッド・ステート・ドライブ（SSD）”, 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 183, ICD2010-55, pp. 89-94, 2010 年 8 月 27 日.

[36] 田中丸周平, 江角淳, 伊東充吉, 李凱, 竹内健, “高信頼性 SSD 向け ECC 符号長の動的最適化手法”, 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 183, ICD2010-53, pp. 77-82, 2010 年 8 月 27 日.

[37] 本田健太郎, 宮地幸祐, 田中丸周, 宮野信治, 竹内健, “ウエハ作製後の 6T-SRAM における電子の局所注入による非対称アクセストランジスタを用いた読み出し安定性の改善”, 応用物理学会, 17a-ZE-8, 2010 年 9 月 17 日.

[38] 中川隆, 関谷毅, 横田知之, 竹内健, Zshieschang Ute, Klauk Hagen, 染谷隆夫, “自己組織化単分子膜を用いた有機浮遊ゲート型メモリトランジスタの絶縁膜構造とメモリ性能”, 応用物理学会, 15p-H-11, 2010 年 9 月 15 日.

[39] 竹内健, 宮地幸祐, 田中丸周平, 本田健太郎, 宮野信治, “極低電圧動作チャージトラップ SRAM・強誘電体 SRAM 技術”, 応用物理学会 シンポジウム : ナノエレクトロニクス時代に向けた SRAM 研究開発の最前線, 15p-ZE-8, 2010 年 9 月 15 日. (招待講演)

[40] 竹内健, “SSD の使いこなし方”, 日経エレクトロニクス セミナー, 2010 年 9 月. (招待講演)

[41] 竹内健, “半導体産業における新ビジネス創造”, グローバル COE シンポジウム エネルギー・環境技術を支えるセキュアライフエレクトロニクス, 2010 年 11 月 17 日.

[42] 竹内健, “SSD の技術動向と拡大する SSD 市場－SSD がもたらすメモリシステムイノベーション”, 外国系半導体商社協会(DAFS) 市場･業界及び技術動向セミナー, 2010 年 11 月 25 日. (招待講演)

[43] 竹内健, “フラッシュメモリーの現状と今後の展望”, 応用物理, vol.79, no.12, pp.1065-1070, 2010 年 12 月 10 日.

[44] 樋口和英, 福田真由美, 田中丸周平, 竹内健, “不揮発性 RAM 及び NAND フラッシュを用いた SSD 向け高エラー率補償アーキテクチャとエラー訂正符号”, 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 344, ICD2010-99, pp. 25-30, 2010 年 12 月 16 日.

[45] 畑中輝義, 矢島亮児, 野田晋司, 高橋光恵, 酒井滋樹, 竹内健, “エンタープライズ SSD 向け低消費電力･高信頼性強誘電体 NAND フラッシュメモリー”, 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 344, ICD2010-118, pp. 113-118, 2010 年 12 月 17 日.

[46] 田中丸周平, 江角淳, 伊東充吉, 李凱, 竹内健, “SSD 向けエラー訂正手法の比較と符号長の動的最適化手法”, 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 344, ICD2010-124, pp. 147-152, 2010 年 12 月 17 日.

[47] 本田健太郎, 宮地幸祐, 田中丸周平, 宮野信治, 竹内健, “電子の局所注入による非対称パスゲートアクセストランジスタを用いた 8T-SRAM におけるハーフセレクト問題の除去”, 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 344, ICD2010-95, pp. 1-6, 2010 年 12 月 16 日.

[48] 竹内健, “強誘電体 FET を用いた低電力 NAND フラッシュメモリ・SRAM 技術”, 「ゲートスタック研究会 材料・プロセス・評価の物理」（第 16 回研究会）, 2011 年 1 月 22 日. (招待講演)

[49] 竹内健, “3 次元積層ソリッド・ステート・ドライブ（SSD）”, 集積回路研究会, , 信学技報, vol. 110, no. 380, ICD2010-132, pp. 31-36, 2011 年 1 月 20 日.（招

待講演）

[50] 福田真由美, 樋口和英, 田中丸周平, 竹内健, “コードワード可変 ECC を用いた不揮発 RAM と NAND 型フラッシュメモリ統合ソリッドステートドライブ ～3.6 倍ビットエラーレート許容、かつ 97%消費電力削減可能なソリッドステートドライブの提案～”, 集積回路研究会, 信学技報, vol. 110, no. 380, ICD2010-139, pp. 75-80, 2011 年 1 月 21 日.

[51] 竹内健, “不揮発性メモリを使いこなす～SSD からストレージ・クラス・メモリまで～”, 日経エレクトロニクス セミナー, 2010 年 3 月. (招待講演)

[52] 田中丸周平, 洪慶麟, 竹内健, “95%-lower-BER 43%-lower-power intelligent Solid-State Drive (SSD) with Asymmetric Coding and Stripe Pattern Elimination Algorithm”, ISSCC2011 報告会, 2010 年 3 月 18 日.（招待講演）

[53] 洪慶麟, 田中丸周平, 竹内健, “NAND フラッシュメモリの信頼性測定”, 応用物理学会, 2010 年 3 月.

[54] 田中丸周平, 洪慶麟, 竹内健, “高信頼、低消費電力 SSD のための符号化手法”, 応用物理学会, 2010 年 3 月.

[55] 宮地幸祐, 野田晋司, 畑中輝義, 高橋光恵, 酒井滋樹, 竹内健,“単一セル自己昇圧法による 1.0V 動作, 書き込み速度 9.3GB/sec 強誘電体 NAND フラッシュ SSD”, 信学技報, 応用物理学会, 2010 年 3 月.

[56] 宮地幸祐, 本田健太郎, 田中丸周平, 宮野信治, 竹内健, “局所電子注入非対称パスゲートトランジスタを用いた 8T-SRAM におけるハーフセレクトディスターブの抑制”, 応用物理学会, 2010 年 3 月.

[57] 上口光, 畑中輝義, 石田光一, 安福正, 高宮真, 桜井貴康, 竹内健, “20 V 昇圧回路を用いた 3 次元積層 SSD のための TSV の検討”, 応用物理学会, 2010 年 3 月.

[58] 竹内健, “集積化 MEMS と VLSI”, 応用物理学会, 2011 年 3 月 25 日.（招待講演）

[59] 竹内健, “SSD の信頼性と高信頼性化技術”, 超長期保管メモリ時限研究専門委員会, 2011 年 3 月 30 日.（招待講演）

保立・何研究室（2010 年度）
Hotate and He Laboratory
(http://www.sagnac.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. ブリルアン散乱に基づいた分布型光ファイバセンシングシステム

保立和夫・何 祖源・岸 眞人・山下健二ホドリーゴ・沼澤正和・芦田哲郎・シティポン マノタム

Distributed Fiber Optic Sensing Systems Based on Brillouin Scattering

K. HOTATE, Z. HE, M. KISHI, R. K. YAMASHITA, M. NUMASAWA, T. ASHIDA, S. MANOTHAM

光ファイバに沿う歪分布を測定する手法として，ポンプ光・プローブ光の相関を制御することにより，誘導ブリルアン散乱を光ファイバに沿って局在発生させる光相関領域解析技術（BOCDA）の機能向上と応用に関する研究を進めている．

偏波維持光ファイバ（PMF）の片方の偏波モードで誘導散乱を発生させつつ，直交偏波モードで複屈折を測定するブリルアンダイナミックグレーティング（BDG）技術を提案・実証し，ブリルアン散乱周波数シフトと複屈折を両方測定することから温度と歪を同時・分離・分布測定できる技術を提案してきた．本年度には，BDG に基づいた歪・温度分離分布測定の距離レンジの拡大に努めた．テンポラルゲーティング手法の導入により距離レンジを前年度の 8mk から 500m に大幅に拡大した．さらに，二つの異なる周波数変調を同時に光源に印加する二重周波数変調法も適用し，17cm の空間分解能を実現した．

また，半導体レーザの注入電流を変調し，周波数の違う光を時間軸において交互に発生させる「時分割発生法」を用いて，温度と歪の分離測定を行うシステムの簡素化と低コスト化の研究を進めた．新たなレーザ周波数変調波形補償法を提案することより，レーザの特性によらず，波形補償の精度を向上させることに成功した．

さらに測定の高速化にも適していたポンプ・プローブ時分割発生方式 BOCDA において，測定点を任意に選ぶ機能であるランダムアクセス機能の高速化を達成し，従来の BOCDA での 38Hz を上回る 200Hz のランダムアクセス機能を実証した．

また，高空間分解能 BOCDA を用いて，平面光導波路内の歪分布の測定に関する試みも行った．

ブリルアン光相関領域リフレクトメトリ(BOCDR)の性能向上も努めた．BOCDR におけるブリルアン利得スペクトル（BGS）測定に存在する背景雑音を低減させるために，新たな強度変調手法を提案し，シミュレーションと実験両面からその有効性を実証した．これにより，歪分布測定の性能向上に成功した．

The research on the improvement and the application of fiber-optic distributed sensing system based on Brillouin optical correlation domain analysis (BOCDA) has been advanced.

By using BOCDA technique, we have proposed and demonstrated that the distributions of strain and temperature can be fully discriminated by measuring stimulated Brillouin scattering (SBS) and the birefringence in a polarization-maintaining fiber (PMF) based on the Brillouin dynamic grating (BDG) scheme. In this year, we worked on the distance-range enlargement in the distributed temperature and strain discrimination based on BDG. By introducing a temporal gating scheme, the distance range is enlarged greatly from last year's 8 m to 500 m. Meanwhile, a spatial resolution of 17 cm is realized by utilizing a dual-frequency modulation method, in which two frequency-modulations with different frequencies were added to the light source.

Aiming at cost-reduction and simplification of the distributed temperature and strain discrimination system, a time-division pump-probe generation scheme has been developed through direct optical frequency modulation of the laser source. To generate ideal frequency modulation, a new method independent to the laser source for compensating the frequency modulation waveform is proposed, and the accuracy of waveform compensation is improved.

In the time-division pump-probe generation suitable for high-speed measurement, the speed of random-access operation that allows arbitrary selection of the measurement location is enhanced. 200 Hz random-access is demonstrated compared with 38 Hz in conventional BOCDA.

In this year, we newly challenged to use high spatial-resolution BOCDA to measure the strain distribution inside planar lightwave circuits.

We also continued studying on the improvement of the Brillouin optical correlation-domain reflectometry (BOCDR). To suppress the background noise existing in the measured Brillouin gain spectrum (BGS) in BOCDR, a new intensity modulation scheme is proposed, and confirmed by simulation and experiment. With the method, the performance of distributed strain measurement is successfully improved.

2. 分布型・多点型光ファイバブラッググレーティングセンシングシステム

保立和夫・何 祖源・岸 眞人・梶原康嗣・鷲山和希

Distributed/Multiplexed Fiber Bragg Grating Sensing Systems

K. HOTATE, Z. HE, M. KISHI, K. KAJIWARA, K. WASHIYAMA

光波コヒーレンス関数の合成法（SOCF）による分布型・多点型光ファイバグレーティング(FBG)センサの研究を進めた．本年度は，まず，分布型長尺 FBG の多点化システムにおける測定レンジの拡大に努めた．反射波長スペクトラム測定のために，光源の中心周波数を高速

掃引し，参照光と信号光の間の遅延により，ヘテロダイン検波におけるビート周波数が位置ごとに異なる．この特徴を精緻に利用し，ビート信号の周波数領域で，一つのピークのみを選択して分布測定することができる．これにより，従来の測定レンジの制限を超えた領域における分布測定を実現することに成功した．

また，本研究では光強度変調を利用したアポダイゼーションにおいて，従来の変調波形の半分を切り捨てた波形による変調を施すことで，ノイズフロアを抑制する手法を提案した．提案するアポダイゼーション手法を導入することにより，クロストークが抑制され，分布型長尺 FBG センサの多点化数をさらに増加させることも可能となる．さらに，本年度は，長尺 FBG センサ多点化システムにおけるコヒーレンス長外への測定レンジ延伸に関する研究も行った．

光周波数コム（OFC）光源を用いた多点型 FBG センサにおいては，高い測定精度と高速な測定を可能とするために，周波数間隔可変光コム光源を導入し，出力光に多重位相変調を施すことにより、空間分解能の更なる向上を図った．三重位相変調を用いることにより空間分解能を向上し，コム間隔を変化させることでコヒーレンスピークを掃引し，5 つの FBG の位置分解を行った．また，各 FBG に歪みを加えた際のブラッグ波長シフトを，反射スペクトルを測定することにより確認した．

The research on distributed/multiplexed fiber Bragg grating (FBG) sensors by synthesis of optical coherence function (SOCF) has been carried on. In this year, we worked on the enlargement of the measurement distance range of the distributed sensing system with long-FBGs. In this system, the heterodyne beat frequency changes according to position due to the high-speed scanning of the light source’s central frequency for measuring the reflective spectra of FBGs. By using this property smartly, we can select only one coherence peak in the beat frequency domain for distributed sensing. In this way, the distance limit in previous systems has been overcome, and a larger measurement range realized.

In the research of apodization by intensity modulation to mitigate the crosstalk in the distributed sensing system with long-FBGs, a scheme to suppress the noise floor is proposed by modifying the intensity modulation waveform to a half-wave of the conventional modulation waveform. With the newly proposed apodization method, the crosstalk is suppressed, and thus the multiplexable number of long-FBGs in increased. Furthermore, the research on enlarging the distance range of the distributed sensing system with long-FBGs over the coherence length of the light source was performed this year.

On the research of multiplexed FBG sensing system using an optical frequency comb light source, a comb-interval adjustable frequency comb source was newly developed with triple phase-modulation this year to realize high-accuracy and high-speed sensing. By adjusting the comb interval, the coherence peak is scanned, and five FBG sensors are demultiplexed successfully in the experiment. The Bragg wavelength shifts due to strain of the demultiplexed FBGs are determined by measuring the reflective spectra.

3. 高性能光リフレクトメトリおよび光コヒーレンストモグラフィ

何 祖源・保立和夫・岸 眞人・風間拓志・
橋本章太郎・森健太郎・李　琳

High Performance Optical Reflectometry and Optical Coherence Tomography

Z. HE, K. HOTATE, M. KISHI, T. KAZAMA, S. HASHIMOTO, K. MORI, L. LI

光ファイバ加入者系（FTTH）ネットワークの診断のための高速・高精度光リフレクトメトリの研究を進めている．本年度は，周波数変調連続波（FMCW）光リフレクトメトリの性能向上についての研究を進めた．反射率測定精度を向上するために，光周波数コム（OFC）光源を利用するとともに，参照光路に可変光遅延を施す新たな波長平均法を提案した．従来技術に必要とする狭帯域可変光フィルタをなくし，OFC の輝線数に合わせて複数回可変光遅延を加えることで，波長平均の効果を得て，フェイディングノイズ低減されることに成功した．

光周波数コム光源を用いた光コヒーレンス領域リフレクトメトリ（OCDR）において，光コム発生器内の位相変調器に 5 重変調を施すことで光コムの形状を制御し，リフレクトメトリの空間分解能とダイナミックレンジの向上に取り組んだ．また，テンポラルゲーティングの導入により，測定レンジの延伸を努めている．

また，光 SSB 変調器により発生させた光周波数コムを用いた光コヒーレンストモグラフィ（OFC-OCT）の研究を推進した．光周波数コム発生装置のリング中の偏波状態を調節することにより，コムの形とスパンを変え，平坦なコムスパンを 10nm 程度まで広げて，トモグラフィの空間分解能の向上に成功した．

一方，光波コヒーレンス関数の合成法において，位相変調によるコヒーレンスピークの掃引技術について研究を進めた．光源の周波数を正弦波状に変調することに加え，それに相似な位相変調を施すことで，制御が容易かつダイナミックレンジに優れる零次ピーク掃引で測定が行えることを示した．

The research on the high-speed high-accuracy optical reflectometry for diagnoses of fiber optic subscriber access networks (FTTH) has been put forward. In this year, studies on the improvement of frequency-modulated continuous wave (FMCW) optical reflectometry have been advanced. To enhance the reflectivity accuracy, a new scheme of wavelength-domain averaging by using an optical frequency comb (OFC) light source combining with a tunable optical delay line in the reference path was proposed. In this new scheme, the wavelength-domain averaging effect is obtained and thus the fading noise is suppressed by applying the same

number of tunable optical delays as the number of spectral lines of the OFC source, removing the necessity of narrow band tunable filter required in previous method.

In the coherence domain reflectometry (OCDR) using optical frequency comb light source, 5-times phase modulations was applied to the comb generator to increase the number of the comb sidebands and control the shape of the comb spectrum, so that the spatial resolution and the dynamic range are improved. The enlargement of the distance range by introducing a temporal gating scheme is under study.

The study on optical coherence tomography by use of optical frequency comb with SSB modulator has been advanced. By controlling the polarization state in the ring of the comb generator, the comb is modified in its span and shape, and the flat comb span was widened to 10 nm, and the spatial resolution of the tomography improved successfully.

On the other hand, in the research of the synthesis of optical coherence function, a novel scheme of shifting the coherence peak by phase modulation is proposed. It is shown that the 0-order coherence peak can be scanned by adopting a phase modulation similar to the light source's frequency modulation. The new scheme is expected easier to control and can provide better dynamic range.

4. 地殻変動計測用ナノストレイン分解能光ファイバ歪センサ

何 祖源・保立和夫・劉　慶文

Nano-Strain-Resolution Fiber Optic Strain Sensors for Crustal Deformation Measurement

Z. HE, K. HOTATE, Q. LIU

地殻変動計測に応えるナノストレインという従来技術より三桁も高い歪分解能を提供できる光ファイバセンサの研究を進めている．今年度は，まず，前年度に確立したクロス相関アルゴリズムによる超高歪分解能 FBG センサをフィールドテストに投入し，世界で初めて光ファイバセンサを用いて海洋潮汐と地震による地殻変動の計測に成功した． また，複合位相・強度変調復調手法を新たに提案し，ナノストレイン以下の歪分解能をリアルタイムで実現できることを実証している．

In responding to the request from crustal deformation measurement, the research on nano-strain-resolution fiber optic strain sensors, which is 3 figures more sensitive than conventional systems, has been put forward. In this year, the ultra-high-resolution FBG sensors with cross-correlation algorithm developed last year are put into field test, in which the measurement on the crustal deformation induced by oceanic tide and by earthquake succeeded for the first time in the world. A complex phase-intensity modulation and demodulation scheme is newly proposed and demonstrated to realize a strain resolution below nano-strain in real time.

5. 共振器型光ファイバジャイロ

保立和夫・何 祖源・岸 眞人・王 希晶

Resonator Optical Fiber Gyroscope

K. HOTATE, Z. HE, M. KISHI, X. WANG

共振器型光ファイバジャイロ（R-FOG）に関する研究を展開している．本年度は，偏波軸 90 度回転融着を二個所有するファイバリング共振器を用いたデジタル R-FOG における雑音低減に進めた．リング共振器内に偏波依存ロスが存在している状況において，偏波変動誘起雑音を解析し，偏波変動誘起ドリフトを低減するためのシステムスペックを確定した．また，新たに提案した偏波変動誘起ドリフト自動抑制する手法を立ち上げた．

Studies on resonator fiber-optic gyro (R-FOG) have been performed. In this year, we got progress in the noise reduction in digitalized resonator fiber optic gyro with a ring resonator of twin 90º polarization-axis rotated splices. The polarization-fluctuation induced noise in R-FOG is analyzed with the polarization dependent loss (PDL) existing in the ring resonator. The required system specifications are defined to reduce the polarization-fluctuation induced drift, and a scheme to automatically suppress the polarization fluctuation induced drift is developed.

6. フォトニックバンドギャップファイバを用いた光カプラ

何 祖源・保立和夫・菊池 雅

Optical Coupler by Photonic Bandgap Fiber

Z. HE, K. HOTATE, M. KIKUCHI

フォトニックバンドギャップファイバ（PBF）では，光が中空を伝搬することにより低非線形性や温度安定性，低後方散乱などの様々なメリットをもつため，ハイパワー伝送やファイバセンサの安定化に役立つと考えられる．そのため，光カプラを初めとしたPBFシステム構築に不可欠となる基本デバイスの開発は，重要な課題になる．本研究では，PBF を用いた光カプラの開発に向けて，デュアルコアPBFのモード解析を行った．モード伝搬定数の差から結合長を見積もることにより，現実的なコア距離でPBFカプラの作製が可能であることを確認することができた．

Photonic bandgap fibers have the advantages of low nonlinearity, thermal stability, and low backscattering because lightwaves propagate though the air core, so that they are thought suitable for high-power transmission and for fiber optic sensors. Therefore, the development of PBF devices, such as PBF couplers, becomes a key issue for building PBF system. In this research, mode analysis on dual-core PBF is performed for the purpose of PBF coupler development. By estimating the mode-coupling length through the difference between the mode propagation constants, it is confirmed that PBF couplers can be made with practical core distance.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Y. Mizuno, Z. He, and K. Hotate: “Distributed strain measurement using a tellurite glass fiber with Brillouin optical correlation-domain reflectometry,” Optics Communications, no. 238, pp. 2439-2442 (2010).

[2] W. Zou, Z. He, and K. Hotate: “Demonstration of Brillouin distributed discrimination of strain and temperature based on a polarization-maintaining optical fiber,” IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 22, no. 8, pp. 526-528 (2010).

[3] W. Zou, Z. He, and K. Hotate: “Single-End-access correlation-domain distributed fiber-optic sensor based on stimulated Brillouin scattering,” IEEE/OSA Jour. of Lightwave Technol., vol. 28, no. 18, pp. 2736-2742 (2010).

[4] Y. Mizuno, W. Zou, Z. He, and K. Hotate: “Operation of Brillouin optical correlation-domain reflectometry: theoretical analysis and experimental validation” IEEE/OSA Jour. of Lightwave Technol., vol. 28, no. 22, pp. 3300-3306 (2010).

[5] W. Zou, Z. He, and K. Hotate: “One-laser-based generation/detection of Brillouin dynamic grating and its application to distributed discrimination of strain and temperature,” OSA Opt. Exp., vol. 19, no. 3, pp. 2363-2370 (2011).

[6] H. Ma, Z. He and K. Hotate: “Reduction of back-scattering induced noise by carrier suppression in waveguide-type optical ring resonator gyro,” IEEE/OSA Jour. of Lightwave Technol., vol. 29, no. 1, pp. 85-90 (2010).

国際会議論文

[7] W. Zou, Z. He, and K. Hotate: “Brillouin scattering property in highly nonlinear photonic crystal fiber with hybrid-core structure,” CLEO/IQEC2010: Laser Science to Photonic Applications, San Jose, CTuT4, (May 16-21, 2010).

[8] Y. Mizuno, W. Zou, Z. He, and K. Hotate: “Spatial resolution limitation by Rayleigh scattering- induced noise in Brillouin optical correlation-domain reflectometry,” CLEO/IQEC2010: Laser Science to Photonic Applications, San Jose (May 16-21, 2010).

[9] K. Kajiwara and K. Hotate: “Spatial resolution enhancement by external phase modulation in long-length FBG sensing system based on synthesis of optical coherence function,” CLEO/IQEC2010: Laser Science to Photonic Applications, San Jose (May 16-21, 2010).

[10] X. Wang, Z. He, and K. Hotate: “Automated suppression of polarization-fluctuation in resonator fiber optic gyro with twin 90o polarization-axis rotated splices,” CLEO/ IQEC2010: Laser Science to Photonic Applications, San Jose, CFH6 (May 16-21, 2010).

[11] Z. He, H. Takahashi, and K. Hotate: “Optical coherence-domain reflectometry by use of optical frequency comb,” CLEO/IQEC2010: Laser Science to Photonic Applications, San Jose, CFH4 (May 16-21, 2010).

[12] K. Hotate: “Fiber optic nerve systems for smart materials and smart structures,” OSA Topical Meeting -Optical Sensors-, Karlsruhe (June 21-24, 2010) <Invited>.

[13] K. Hotate: “Fiber Optic Nerve Systems for Secure and Safety Society,” APOS’2010, Guangzhou (June 28-30, 2010) < Keynote>.

[14] K. Hotate: “Fiber optic nerve systems for secure life and society,” 15th Optoelectronics and Communications Conference (OECC2010), Sapporo (July 5-9, 2010) <Invited>.

[15] Z. He, Q-N. Ho, W. Zou, K. Kajiwara, H. Takahashi, and K. Hotate: “Optical coherence tomography based on optical frequency comb generator with single-sideband modulator,” 15th Optoelectronics and Communications Conference (OECC2010), Sapporo (July 5-9, 2010).

[16] K. Hotate: “Fiber optic distributed sensing for smart structures and smart materials,” 9th International Conference on Optical Internet 2010 (COIN 2010), JEJU, MoB2-1 (July 11-14, 2010) <Invited>.

[17] X. Wang, Z. He, and K. Hotate: “Automated suppression of polarization-fluctuation in resonator fiber optic gyro by a resonator with twin 90º polarization-axis rotated splices- theoretical analysis,” Fourth European Workshop on Optical Fiber Sensors, vol. 7653, 76533H, Porto (Sept. 08-10, 2010).

[18] Q. Liu, Z. He, T. Tokunaga and K. Hotate: “An ultra-high-resolution FBG static-strain sensor for geophysics application,” Fourth European Workshop on Optical Fiber Sensors, Porto (Sept. 08-10, 2010).

[19] Z. He and K. Hotate: “Brillouin optical correlation domain distributed fiber sensors,” 36th European Conf. and Exhibition on Optical Communication (ECOC2010), WS1-3, Torino (Sept. 19-23, 2010) <Invited>.

[20] H. Takahashi, Z. He, and K. Hotate: “Optical coherence domain reflectometry by use of optical frequency comb with arbitrary-waveform phase modulation,” 36th European Conf. and Exhibition on Optical Communication, Tu.3.F.4, Torino (Sept. 19-23, 2010).

[21] Y. Koshikiya, X. Fan, F. Ito, Z. He and K. Hotate: “Fading-noise suppressed cm-level resolution reflecto-

metry over 10-km range with phase noise and chromatic dispersion compensation,“ 36th European Conference and Exhibition on Optical Communication, Tu.3.F.2, Torino (Sept. 19-23, 2010).

[22] H. Kubota, Z. He and K. Hotate: “Large core “Uni-mode” photonic bandgap fiber compatible with standard single mode fiber,” 36th European Conf. and Exhibition on Optical Communication, P1.11, Torino, Sept. 19-23, 2010.

[23] K. Hotate: “Fiber optic nerve systems for smart materials and smart structures,” 11th Chitose International Forum on Photonics Science and Technology (CIF2010), pp.83-90, Chitose (Oct. 14-15, 2010) <Invited>.

[24] K. Hotate and Z. He: “Fiber optic distributed sensing for smart structures and smart materials,” The 9th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOCN2010), Nanjing, (Oct. 24-26, 2010) <Invited>.

[25] Z. He and K. Hotate: “Advances in optical reflectometry for diagnoses of optical devices and networks,” The 9th International Conference on Optical Communications and Networks, Nanjing (Oct. 24-26, 2010) <Invited>.

[26] K. Kajiwara, Z. He and K. Hotate: “Dynamic Range Enhancement in Reflectometry by Synthesis of Optical Coherence Function with Half-wave Intensity Modulation,” OFC/NFOEC Conference, Los Angeles, OTuL3 (Mar. 8-10, 2011).

著書

[27] Kazuo Hotate: “Fiber Optic Nerve Systems for Smart Materials and Smart Structures, (A Chapter in “Polymer Photonics, and Novel Optical Techniques,” ed. By Y. Kawabe and M. Kawase)” PWC Publishing Photonics World Consortium, pp.83-90 (2011).

総説・解説論文

[28] 保立和夫: “特集「光技術(20年)の変遷と最新の展開」光ファイバジャイロ技術の変遷と最近の展開,” 光アライアンス, vol.21, no.9, pp.6-10 (2010).

[29] 保立和夫: “光ファイバによる分布型歪みセンシング技術,” 電気学会誌, 特集「光ファイバによる計測技術の最前線」, vol.130, no.10, pp.676-679 (2010).

[30] 保立和夫: “安全･安心のためのセンシング技術 －グローバルCOEプログラム「セキュアライフ・エレクトロニクス」での研究動向－,” O plus E, 特集『安全･安心』の計測技術, vol.33, no.6, pp.556-565, (2011).

[31] 保立和夫: “痛みの分かる材料・構造のための光ファイバ神経網技術,” 非破壊検査, vol.60, no.3, pp.142-149 (2011).

シンポジウム・研究会・大会等発表

[32] 鄒 衛文, 何 祖源, 保立和夫: “Brillouin scattering property in highly nonlinear photonic crystal fiber with hybrid-core,” 応用物理学会第 45 回光波センシング技術研究会, 静岡文化芸術大学, LST-45-4, pp.27-32, (Jun. 8-9, 2010)

[33] 王 希晶, 何 祖源, 保立 和夫: “Automated suppression of polarization-fluctuation in resonator fiber optic gyro by a resonator with twin 90o polarization-axis rotated splices- theoretical analysis,” 応用物理学会第 45 回光波センシング技術研究会, 静岡文化芸術大学, LST-45-3, pp.21-26 (Jun. 8-9, 2010).

[34] 保立和夫: “痛みの分かる材料・構造のための光ファイバ神経網技術,” 社団法人日本非破壊検査協会, 第 8 回学術セミナー, 東京大学 山上会館, pp. 1-14, (July 20, 2010) <招待講演>.

[35] 保立和夫: “光ファイバセンサ国際会議 (OFS) の歩みとフォトニックセンシングの進展,” 光ファイバ国際会議 (OFS) 日本委員会「光応用計測の最前線」, 東京工業大学蔵前会館, pp. 3-10 (July 22, 2010) <招待講演>.

[36] 王 希晶, 何 祖源, 保立和夫: “デジタル信号処理を用いた共振型光ファイバジャイロの総合的な雑音除去手法に関する研究,” 光ファイバ国際会議 (OFS) 日本委員会「光応用計測の最前線」, 東京工業大学蔵前会館, P-1, pp. 65-66 (July 22, 2010).

[37] 劉 慶文, 何 祖源, 徳永明祥, 保立和夫: “相互相関処理を用いた FBG 超高分解能静的歪センサ,” 光ファイバ国際会議 (OFS) 日本委員会「光応用計測の最前線」, 東京工業大学蔵前会館, P-2, pp. 67-68, (July 22, 2010).

[38] 梶原康嗣, 何 祖源, 保立和夫: “光波コヒーレンス関数の合成法による長尺 FBG 分布型センサ,” 光ファイバ国際会議 (OFS) 日本委員会「光応用計測の最前線」, 東京工業大学蔵前会館, P-3, pp. 69-70 (July 22, 2010).

[39] 保立和夫: “光ファイバジャイロ : 現状と将来展望,” 第 66 回次世代センサセミナシリーズ －加速度センサから角速度センサへー, 化学会館, pp.47-54 (Aug. 27, 2010).

[40] 梶原康嗣, 何 祖源, 保立和夫: “高速光周波数掃引によるヘテロダインビート周波数差を利用したコヒーレンスピーク間分離測定,” 計測自動制御学会第 27 回センシングフォーラム, 群馬大学, 2B2-3 (Sept. 27･28, 2010).

[41] 久保田寛和, 菊池 雅, 何 祖源, 保立和夫: “大口径フォトニックギャップファイバの伝搬モード,” 電子情報通信学会光通信システム研究会, SEI 生駒セミナハウス（大阪）, OCS2010- 98, (Nov. 18･19, 2010).

[42] 梶原康嗣, 何　祖源, 保立和夫:“光波コヒーレンス関数の合成法における強度変調型アポダイゼーションの最適化,”応用物理学会第 46 回光波センシング技術研究会, 東京理科大学, LST-46-28, pp.181-186 (Dec. 7-8, 2010).

[43] 劉　慶文, 何　祖源, 徳永朋祥, 保立　和夫:“Ultra-high-resolution FBG Static-strain Sensor Using Narrow Linewidth Tunable Laser,”応用物理学会第 46 回光波センシング技術研究会, 東京理科大学, LST-46-27, pp.175-180 (Dec. 7-8, 2010).

[44] 保立和夫: “光ファイバ神経網技術による痛みの分かる材料・構造の実現神経網の機能進化と応用開拓,” 電子情報通信学会集積光デバイスと応用技術研究会, アクトシティ浜松, IPDA10-28, pp.25-30 (Dec. 10, 2010) <招待講演>.

[45] R. K. Yamashita, W. Zou, Z. He and K. Hotate: “Measurement range elongation based on a temporal gating scheme in Brillouin optical correlation domain distributed discrimination system for strain and temperature operated by a single laser,” 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会（OFT）, 長崎県勤労福祉会館, OFT2010-53, pp.31-36 (Jan. 27-28, 2011).

[46] 風間拓志, 樊　昕昱, 何　祖源, 伊藤文彦, 保立和夫: “光周波数コムと可変光遅延線を用いた OFDR におけるフェーディング雑音低減手法,” 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会（OFT）, 長崎県勤労福祉会館, OFT2010-54, pp.37-42 (Jan. 27･28, 2011).

[47] 梶原康嗣, 何　祖源, 保立和夫:“コヒーレンス長を超えた領域における長尺 FBG 内分布型センシング,” 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会 (OFT),機械振興会館, OFT2010-74, pp.59-64 (Mar. 4, 2011).

[48] 梶原康嗣, 何　祖源, 保立和夫: “多点型長尺 FBG 分布センサのための高次コヒーレンスピークの抑制,”2010 年度電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪府立大学, C-3-28, p.149 (Sep. 14-17, 2010).

[49] 梶原康嗣, 何　祖源, 保立和夫: “光波コヒーレンス関数合成法のアポダイゼーションに伴うコヒーレンスピーク間高ノイズフロアの抑制,” 2010 年度電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪府立大学, C-3-29, p.150 (Sep. 14-17, 2010).

[50] 王　希晶, 何　祖源, 保立和夫: “Evaluation of polarization dependent loss induced noise in resonator fiber optic gyro with twin 90o polarization-axis rotated splices,” 2010 年度電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪府立大学, B-13-36, p.343 (Sep. 14-17, 2010).

[51] 高橋　央, 何　祖源, 保立和夫: “光周波数コムを用いた光コヒーレンス領域リフレクトメトリ,” 2010 年度電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪府立大学, C-3-30, p.151 (Sep. 14-17, 2010).

[52] 風間拓志, 何　祖源, 保立和夫, 古敷谷優介, 樊　昕昱, 伊藤文彦: “光周波数コムを用いた高精度光周波数領域分布反射計,” 2010 年度電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪府立大学, C-3-27, p.148 (Sep. 14-17, 2010).

[53] 古敷谷優介, 樊　昕昱, 伊藤文彦, 何 祖源, 保立和夫: “PCN-OFDR を用いた屋外環境に敷設された光ケーブルの反射測定,” 2010 年度電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪府立大学, B-13-44, p.351 (Sep. 14-17, 2010).

[54] Q. Liu, Z. He, T. Tokunaga and K. Hotate: “Analysis on the Resolution of FBG Sensor Using A Narrow Linewidth Tunable Laser,” Optics Photonics Japan 2010, 中央大学, 10pG4 (Nov. 8-10, 20109.

[55] 保立和夫: “セキュアライフ・エレクトロニクス,” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, TK-7-4, p.SSS-36･37 (Mar.14-17, 2011).

[56] 梶原康嗣, 何　祖源, 保立和夫: “コヒーレンス長を超えた領域における長尺 FBG 内分布型センシング” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, C-3-12, p.187 (Mar.14-17, 2011).

[57] 山下健二ホドリーゴ, 鄒　衛文, 何　祖源, 保立和夫：“Measurement of Brillouin dynamic grating spectrum with high spatial resolution and large measurement range by applying both temporal gating and double modulation schemes,” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, C-3-11, p.186, (Mar.14-17, 2011).

[58] 沼澤正和, 岸　眞人, 何　祖源, 保立和夫:“Simplified BOCDA による任意箇所の動的歪測定 Dynamic Strain Measurement at Arbitrarily Selected Points with Simplified BOCDA,” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, C-3-13, p.188 (Mar.14-17, 2011).

[59] S. Manotham, K. Kajiwara, Y. Mizuno, Z. He and K. Hotate: “Background noise suppression in Brillouin optical correlation domain reflectometry by intensity modulation scheme,” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, C-3-20, p.195 (Mar.14-17, 2011).

[60] 芦田哲郎, 岸　眞人, 何　祖源, 保立和夫: “BOCDA 法のためのポンプ・プローブ時分割発生法における波形補償の高精度化,” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, S-3-21, p.196, (Mar.14-17, 2011).

[61] 何 祖源, 高橋 央, 保立和夫, “Optical coherence domain reflectometry by use of optical frequency comb with arbitrary-waveform phase modulation,” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, C-4-1, p. 258 Mar. 14-17, 2011) <依頼講演>.

[62] 風間拓志, 何　祖源, 古敷谷優介, 樊　昕昱, 伊藤文彦, 保立和夫: “光周波数コムと可変光遅延線を用いた OFDR におけるフェーディング雑音低減手法,” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, C-3-19, p.194 (Mar.14-17, 2011).

[63] 菊池　雅, 久保田寛和, 何　祖源, 保立和夫: “フォトニックバンドギャップファイバカプラにおけるコア間隔と結合長の関係,” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, C-3-46, p.226, Mar.14-17, 2011.

[64] 水野洋輔, 岸　眞人, 保立和夫, 石榑崇明, 中村健太郎: “ポンプ・プローブ法を用いたポリマー光ファイバ中の誘導ブリルアン散乱の観測” 2011 年度電子情報通信学会総合大会, 東京都市大学, B-13-31, p.507 (Mar.14-17, 2011).

廣瀬（明）研究室
Hirose Laboratory
(http://www.eis.t.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. 対人プラスチック地雷可視化システム

廣瀬 明・江尻礼聡

Antipersonnel Plastic Landmine Visualization System

A.Hirose and A.Ejiri

現在、地中レーダを利用した埋設地雷の可視化方法の研究が活発に行われている。われわれのグループもこれまでに、複素自己組織化マップ(Complex-valued self-organizing map: CSOM)を利用する新しい地中レーダを利用したシステムを提案している。そのシステムの概要は、空間領域および周波数領域の複素テクスチャに着目してその特徴量を抽出し、これを複素自己組織化マップにより適応区分して、地雷埋設箇所を可視化するものである。これまでに、さまざまな困難な場合での可視化に成功している。しかし、空間テクスチャと周波数テクスチャという 2 つの異なるモードの情報統合のあり方については、それが必ずしも最適化されているわけではなかった。今年度は、取得されたデータから自己組織的に地雷の概念を構築してゆくと同時に、これら 2 つの異なるモードの情報を統合してゆく方法を提案した。概念構築方法として、相互情報量により修飾された自己組織化マップを提案した。

The complex-valued self-organizing map (CSOM) realizes an adaptive distinction between plastic landmines and other objects in landmine visualization systems. Previously we developed our walled linearly tapered slot antenna (walled LTSA) to construct a high-density array. We conducted field experiments to confirm the high ability to visualize plastic landmines buried in laterite soil. This year we proposed a concept generation method using multiple self-organizing maps (SOMs) for a landmine visualization system where we integrate two modal information (space- and frequency-domain texture) by considering their mutual information. Our method makes clusters of landmine information in their space- and frequency-SOMs that interact with each other based on their mutual information.

2. ミリ波・マイクロ波イメージング

廣瀬 明・ラデンアマド ダムリ・小野島 昇吾

Millimeter wave and microwave imaging for antiterrorism screening

A.Hirose, D.Radenamad and S.Onojima

アクティブなミリ波イメージングは、広範な応用が期待されている。しかし、ミリ波回路は一般的に損失が大きく、またアンプは高価になりがちであるって、特にアレイ化に際して問題になる。低損失で安価なミリ波フロントエンドを実現するために、EPD 方式などが提案されている。それは、アンテナで受信した後すぐに検波を行うものでありミリ波アンプを持たず、回路全体として高感度が望まれる。本論文でわれわれは、フィンが厚いバルク直線テーパスロットアンテナ（bulk TSA）を用いる高感度なミリ波イメージング用フロントエンドを提案する。TSA が低インピーダンスであるため、受信パワーを大きくできる。実験により、フィン厚 1mm の TSA を用いる EPD では､従来型フィンによる TSA に比べて 22dB 高い感度が得られた。フロントエンドの特性を数値的に解析する。また、イメージングシステム用にアレイ化する際の構成をシミュレーションにより検討し、スタック型よりも共平面型の方が高いアイソレーションを実現することが確認された。

Millimeter-wave (MMW) active imaging has potentially a variety of applications. However, MMW circuits are often lossy and amplifiers are costly, which is a serious problem in particular in arrays using many front-end circuits in parallel. To overcome this point, there have been some proposals such as the envelope phase detection (EPD) method where MMW is directly detected without amplification just after received at the antenna. To realize a high sensitivity, this paper proposes a MMW imaging front-end using a bulk tapered slot antenna (bulk TSA). Since bulk TSAs possess an intrinsically low impedance characteristic, we can obtain a high detection power. Experiments demonstrate that a front-end using 1mm-thick TSA achieves 22dB-higher sensitivity than a conventional circuit using 0.06$¥mu$m TSA. We analyze the front-end numerically to elucidate its characteristics. We also investigate array configurations to find that a coplanar arrangement exhibits higher isolation than a stacked configuration.

3. 開口合成レーダ

廣瀬 明・夏秋 嶺

Synthetic Aperture Radars

A.Hirose and R.Natsuaki

人工衛星や航空機のような、搭載できるアンテナのサイズに制限がある環境で高分解能を得るための技術として、合成開口レーダ(SAR) が挙げられる。特に干渉合成開口レーダ(InSAR) は、地震や火山による地形変動などを観測する際の重要な技術であり、近年積極的に研究がなされている。InSAR の干渉画像は、同一地域を 2 箇所ないしは時間を置いて 2 回観測して得られた、 master と slave とよばれる2つの複素振幅データを用い、お互いの位相差を取ることによって得られる。この干渉画像の周期性を解消することでデジタル地形図(Digital Elevation Model: DEM) が得られる。標高は本来保存場であるはずだが、実際の干渉画像には位相特異点(Singular Point: SP)と呼ばれる回転成分を持つ地点が多数存在し、正確な DEM の作成における深刻な障害と

なっている。本年は、より正確な干渉画像を作成する手法として干渉像中の SP の数を指標にした新しい位置合わせと、振幅情報を元に崖の位置を推定し、その崖を再現するのに必要な SP を残す方策を提案した。具体的には、位相特異点数を指標とした位置合わせ手法、および Shape-from-Shading を応用した振幅情報からの崖の推定を提案した。提案手法を用いた干渉画像をアンラップした DEM の SN 比には、改善が認められた。

Theoretically, synthetic aperture radar (SAR) interferogram should be a conservative field which mirrors the geologic distribution. However, actual interferograms contain a mass of rotational points named singular points (SPs). They prevent creating accurate digital elevation model (DEM). We think that many singular points indicate the local distortion in the interferogram. To solve this problem, we proposed local coregistration and phase correction by using amplitude information. The signal-to-noise ratio has increased by this method.

4. アダプティブ アンテナ システム

廣瀬 明・小沢章太郎

Adaptive Antenna Systems

A.Hirose and S.Ozawa

移動体通信でアダプティブアンテナを基地局に用いる場合、基地局は受信したアップリンク信号からユーザ端末の方向を推定してアンテナ荷重を決定し、空間分割多重を実現できる。その際、特に時分割二重通信方式では、アップリンク受信信号によって決定した荷重をダウンリンクにも利用できる可能性がある。そのためにはユーザ方向の移動の予測が必要となるが、ダウンリンク時間が長いため、これまで十分な性能を得ることが難しかった。昨年度までにわれわれは、チャープ z 変換(CZT)を利用する、正確な予測が可能で計算量が少ない新たな手法を提案している。その計算量は、ゼロ埋め込み法や自己回帰法、高分解能法などより小さいく優れている。今年度はさらに、周波数領域で時間的な一時推定を行うことにより、予測の性能を向上させることに成功した。この手法は、周波数領域での解析の高い精度と時間領域での効果的な予測との両特長を併せ持つ方式である。本方式によって、複数散乱体が接近して位置している場合でも、高い精度でチャネルを予測できることを示した。

Channel prediction is one of the most important issues for dealing with fading environment. If a future channel response is predicted, adaptive techniques such as pre-equalization and beam forming can be employed before transmission in order to avoid the degradation of communication quality. This year we proposed a highly accurate method to predict time-varying channels by using a linear prediction of Fourier-domain channel parameters. The method combines frequency-domain and time-domain techniques. Simulation assuming a time division duplex (TDD) system demonstrates that the proposed method predicts varying channels very accurately. The paper also presents the dependence of the prediction error on the length of observation window and on the distance between scatterers. It is found that our method reduces the prediction error even when the scatterers are located very closely.

5. 高機能アンテナ

廣瀬 明・北澤清子・ヴェルナー　シュテフェン・馬場貴弘

Highly functional antenna elements

A.Hirose, S.Kitazawa, S.Werner and T.Baba

アレイアンテナを構成する場合、従来の棒状アンテナは相互結合が大きく、さまざまなシステムで特性の大きな劣化を引き起こしている。われわれはこの問題を解決するため、アンテナ素子間に特別に設計された誘電体片を置くことを提案した。これによって従来型よりも 20dB の相互結合低減を図ることができた。この効果は、比帯域で 15%で有効であるという広帯域特性を持つ。これはアンテナ素子の整合特性が改善されることとも関係している。また特徴的なこととして、アレイアンテナとしての放射パターンが影響を受けず、したがって送受信特性に影響を及ぼさずに、相互結合のみを低減させる効果であることが確認され、その有用性を示すことができた。

Conventional rod antenna arrays exhibit considerable mutual coupling, which limits or degrades the performance of many systems. In the scope of this work we propose a dielectric particle that is placed between the antenna elements and lower the mutual coupling by more than 20dB compared to conventional arrays. The designed particle shows a broadband isolation effect that has a fractional bandwidth of more than 15%. Moreover, the particle can provide an enhanced matched environment and a largely maintained radiation pattern as well as gain compared to a conventional array.

6. フラクショナル ブラウン運動の生成と利用

廣瀬 明・ダヌディルジョ ドニー

Generation and application of fractional Brownian motion

A.Hirose and D.Danudirdjo

フラクショナル ブラウン運動(fractional Brownian motion: fBm)は、自然界のさまざまな現象を記述するモデルとして有効であり、その生成についてもさまざまな研究が行われている。今年度は 2 次元あるいはそれ以上の次元の fBm 新たな生成方法として、巡回埋め込みによる生成アルゴリズムを提案した。巡回埋め込みについては、1 次元の fBm の場合にはすでに報告例があるが、これを 2 次元に拡張することはこれまで簡単ではないと考えられてきた。われわれはこれを、最終目標 fBm の 2 次の差分を考えることによりラプラス方程式を周波数領域で解く問題に帰着させ、厳密解を得ることに成功した。2 次元以上の多次元に容易に拡張可能なこととも、この

解法の利点である。数値実験により、理論統計通りの性質を持つfBmが低い計算コストで生成されることを示した。

Fractional Brownian motion (fBm) is a useful model to represent various natural phenomena and its synthesis has been a topic of interest in literature. We presented an algorithm to generate two-dimensional fBm based on circulant embedding method. Although this method has been proven in simulating one-dimensional fBm, its extension into two-dimensional is not straightforward. To solve the problem, we use circulant embedding as an exact method to synthesize the second-order increments of fBm, and recover the desired fBm via integration in frequency domain. The advantage of using second-order increments is its direct extensibility to any dimension. Experimental results show that the proposed method works efficiently fast and offers acceptable results when compared to the theoretical statistics of fBm.

7. ニューラルネットワークのダイナミクスの基礎解析

廣瀬 明・吉田昭太郎・メルチャン ヘマ

Fundamental analysis of neural network dynamics

A.Hirose, S.Yoshida and Gema M.F.Merchan

ニューラルネットワークの最も特徴的で重要な機能の一つは、汎化である。本稿は、複素ニューラルネットワークと実数ニューラルネットワークの汎化特性を比較した。特に、複素ニューラルネットワークが波動的なデータを扱う際の汎化特性が、信号の波動性によってどのように変化するか調査した。複素および倍次元の実数ニューラルネットワークとしてフィードフォワード型層状ニューラルネットワークを取り上げた。簡潔な例として、それらが時間信号に対して関数近似あるいはフィルタ的な動作をするときの汎化特性を調べた。計算機実験の結果、複素ニューラルネットワークは倍次元実数ニューラルネットワークに比べて、その汎化特性が良好であり、特に信号の波動性が高い場合にその差が顕著であることが確認された。

Generalization is one of the most important functions of neural networks. We compared the generalization characteristics in complex-valued and real-valued neural networks. Assuming that a network deals with wave-related data, we paid attention to the generalization variation dependent on the degree of wave nature. We considered feedforward layered neural networks in complex and real domains. To elucidate the operation difference in the domains, we investigated a simple case where the networks function for function approximation or filtering of temporal signals. Computer experiments demonstrated that the generalization ability of the complex-valued neural network is better than that of real-valued one in particular when the signal possesses higher degree of wave nature.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] A.Hirose, "Nature of complex number and comlex-valued neural networks," Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, 6, 1 (2011) 171-180

[2] R.Natsuaki A.Hirose, "SPEC method - A fine co-registration method for SAR interferogram," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing," 49, 1 (2011) 28-37

[3] Y.Nakano A.Hirose, "Adaptive identification of landmine class by evaluating the total degree of conformity of ring-SOM," Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems, 12, 1 (2010) 23-28

[4] D.Radenamad T.Aoyagi A.Hirose, "Low impedance bulk LTSA," Electron. Lett., 46, 13 (2010) 882-883

国際会議論文

[5] S.Werner L.Vietzorreck A.Hirose, "Two-element particle isolator to reduce mutual coupling in rod-antenna arrays," Asia-Pacific Microwave Conference (APMC) 2010 Yokohama, Proc. (Dec. 7-10, 2010, Yokohama) 1581-1584

[6] T.Baba A.Hirose, "Planar wideband adaptive antenna consisting of radially arrayed multiple taper-slot antenna elements having wide fins," Asia-Pacific Microwave Conference (APMC) 2010 Yokohama, Proc. (Dec. 7-10, 2010, Yokohama) 738-741

[7] S.Ozawa S.Tan A.Hirose, "Channel Prediction Experiment Based on Linear Prediction in Frequency Domain," Asia-Pacific Microwave Conference (APMC) 2010 Yokohama, Proc. (Dec. 7-10, 2010, Yokohama) 1280-1283

[8] D.Radenamad A.Hirose, "Optimization of Microstrip-to-slot Transition for Ultra-wideband Bulk LTSA," Int'l Conf. on Antennas and Propagation (ISAP) 2010 Macao, Proc. (Nov., 23-26, 2010, Macao) Paper 122

[9] Y.Nakano A.Hirose, "Adaptive identification of landmine class by evaluating the total degree of conformity of ring-CSOM weights in a ground penetrating radar system," Int'l Conf. on Neural Inform. Processing (ICONIP) 2010 Sydney, Proc. (Nov., 22-25, 2010, Sydney) Th10.30-Rm38

[10] A.Hirose A.Ejiri K.Kitahara, "Ground penetrating radar system with integration of mutimodal information based on mutual information among multiple self-organizing maps," Int'l Conf. on Neural Inform. Processing (ICONIP) 2010 Sydney, Proc. (Nov., 22-25, 2010, Sydney) 415-422

[11] S.Ajisaka S.Nakamura H.Hashimoto K.Takiguchi A.Hirose, "Human Body Position Estimation System using Electric Field," Int'l Conf. on Control, Automation, and Systems (ICCAS) 2010 Goyang, Proc. (Oct. 27-30, 2010, Goyang) TA0-5

[12] S.Nakamura S.Ajisaka H.Hashimoto K.Takiguchi A.Hirose, "Electric-field resonance coupling between human and transmitter for human position estimation system," Int'l Conf. on Control, Automation, and Systems (ICCAS) 2010 Goyang, Proc. (Oct. 27-30, 2010, Goyang) TA0-2

[13] A.B.Suksmono A.Hirose, "Numerical reconstruction of holographic microscopy images based on matching pursuits on a pair of domains," Int'l Conf. on Image Processing (ICIP) 2010 Hong Kong, Proc. (Sept. 26-29, 2010, Hong Kong) WP.L5.8

[14] R.Natsuaki A.Hirose, "Enhancement of filtering performance by local and nonlinear co-registration in InSAR processing," Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC) 2010 Toyama, Proc. (Sept. 22-26, 2010, Toyama) FP-20

[15] S.Ozawa S.Tan A.Hirose, "Errors in Channel Prediction Based on Linear Prediction in Frequency Domain (Young Scientist Award Finalist)," Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC) 2010 Toyama, Proc. (Sept. 22-26, 2010, Toyama) FBC-4

[16] T.Aoyagi D.Radenamad Y.Nakano A.Hirose, "Complex-valued self-organizing map clustering using complex inner product in active mmillimeter-wave imaging," Int'l Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) 2010 Barcelona, Proc. (July 18-23, 2010, Barcelona) 1346-1351 (Runner-up Best Student Paper Award)

[17] Y.Nakano A.Hirose, "Taper-walled LTSA: A low direct-coupling antenna for subsurface imaging," Int'l Conf. on Ground Penetrating Radar (GPR) 2010 Lecce, Proc. (June 21-25, 2010, Lecce) PR_248

[18] A.Hirose, "Recent progress in applications of complex-valued neural networks (invited)," Int'l Conf. on Artificial Intelligence and Sof Computing. (ICAISC) 2010 Zakopane, Proc. (June 13-17, 2010, Zakopane) Invited Talk

[19] A.Hirose, "Merits of complex-valued neural network processing (invited)," Int'l Workshop on Intelligence Science and Intelligent Data Engineering (ISciDE) 2010 Harbin, Proc. (June 3-5, 2010, Harbin) Invited Talk Session 2

解説

[20] 廣瀬明:「複素ニューラルネットワーク(特集解説)」、電気学会論文誌 C、131, 1 (2011) 2-8.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[21] 小沢章太郎　タン・ソフヤン　廣瀬明: 高速フェージング環境におけるチャネルパラメータの線形予測、信学会電磁界理論研究会、EMT10-103 (Nov. 11, 2010, Inawashiro)

[22] 夏秋嶺　廣瀬明 : 位相特異点と振幅を利用した SAR 干渉画像の修正、信学会電磁界理論研究会、EMT10-121 (Nov. 11, 2010, Inawashiro)

[23] 馬場貴弘　廣瀬明 : 幅広フィンによる平面型テーパスロット広帯域指向性アンテナの提案、信学会電磁界理論研究会、EMT10-124 (Nov. 11, 2010, Inawashiro)

[24] ラデンアマド・ダムリ　廣瀬明 : マイクロストリップとスロットをつなぐ 2 つのビアによる広帯域バルク LTSA のためのバランの提案、信学会電磁界理論研究会、EMT10-125 (Nov. 11, 2010, Inawashiro)

[25] 廣瀬明　吉田昭太郎 : 波動的なデータを扱う際の複素ニューラルネットワークの汎化特性、信学会ニューロコンピューティング研究会、NC2010-179 (March 8, 2011, Tokyo)

[26] 江尻礼聡　北原邦紀　廣瀬明 : 相互情報量を利用した複数 SOM による概念形成、FAN シンポジウム、OS16-17 (Sept. 26, 2010, Tokyo)

[27] 小沢章太郎　タン・ソフヤン　廣瀬明 : 周波数領域でのチャネルパラメータ線形予測に基づくチャネル予測の実験的検討、2011 信学総大、B-1-31 (Mar. 14, 2011, Tokyo)

[28] 馬場貴弘　廣瀬明 : 放射状に配置された銀杏型フィンによる平面広帯域指向性アンテナ、2011 信学総大、B-1-216 (Mar. 17, 2011, Tokyo)

[29] 夏秋嶺　廣瀬明 : 振幅情報も用いた SAR 干渉画像の局所的位置合わせによる歪み解消、2011 信学総大、B-2-41 (Mar. 16, 2011, Tokyo)

著書

[30] A.Hirose Y.Nakano, "Applications of complex-valued self-organizing maps to ground penetrating radarimaging systems," Self-organizing maps: New achievements, In-Tech (January 2011) 323-338, ISBN 978-953-307-546-4

その他

[31] A.Hirose, "Neural network systems for intelligent imaging," Japan-Taiwan Cooperation Meeting at National Chiao Tung University (Oct. 27, 2010, Hsinchu)

[32] D.Mandic I.Aizenberg A.Hirose, "Complex-valued neural networks: Theory and applications (Tutorial)," Int'l Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) 2010 Barcelona, Proc. (July 18-23, 2010, Barcelona) Tutorial T-21

[33] 廣瀬　明 :「五感」情報処理・ニューラルネットワーク処理とマイクロエレクトロニクス、第 37 回 STARC アドバンスト講座　システムアーキテクチャセミナー　～ 異分野に学ぶ システムアーキテクチャ技術開発の将来 ～ (July 15, 2010, Yokohama)

[34] A.Hirose, "Neural networks and microelectronics" Japan-Taiwan Cooperation Meeting at NCKU(April 21, 2010, Tainan)

[35] A.Hirose, "Neural networks and microelectronics," Japan-Taiwan Cooperation Meeting at NCTU (April 20, 2010, Hsinchu)

[36] A.Hirose, "Neural network systems for intelligent imaging," Japan-Taiwan Cooperation Meeting at National Chiao Tung University (Oct. 27, 2010, Hsinchu)

特許

[37] 廣瀬明　今野裕也 : 画像処理装置及び画像処理プログラム、特許出願、特願 2010-157514

受賞

[38] T.Aoyagi D.Radenamad Y.Nakano A.Hirose, "Runner-up Best Student Paper Award, for "Complex-valued self-organizing map clustering using complex inner product in active mmillimeter-wave imaging," Int'l Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) 2010 Barcelona (21 July 2010), IEEE Computational Intelligence Society (CIS)

[39] S.Ozawa S.Tan A.Hirose, "Student Paper Competition Finalist for "Errors in Channel Prediction Based on Linear Prediction in Frequency Domain," URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC) 2010 Toyama, (10 September 2010) Union

山下研究室
Yamashita Laboratory
(http://www.sagnac.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. ナノカーボンモード同期レーザ

山下真司・マルチネス アモス・布施数元

Mode-Locked Lasers using Nano-Carbons

S. YAMASHITA, A. MARTINEZ, K. FUSE

カーボンナノチューブ(CNT)およびグラフェンの可飽和吸収性を用いたモード同期レーザの研究を進めている。CNT モード同期光ファイバレーザについては、これまでの短共振器化を更に進め、長さ 0.5cm の Er:Yb 光ファイバモード同期レーザにより繰り返し周波数 20GHz、パルス幅約 1ps の安定なパルス列の生成に成功している。さらに 10GHz 光ファイバモード同期レーザからのパルス列を高非線形光ファイバに入力することにより、300nm 以上の広帯域スーパーコンティニウム(SC)光の発生にも成功している。また、高出力 CNT モード同期光ファイバレーザについての研究を行い、高強度で CNT が光ダメージを受けること、窒素雰囲気中では光ダメージ強度が上がることを見出した。

また、近年注目を集めているグラフェンと CNT との可飽和吸収体としての比較を初めて行った。光照射により CNT およびグラフェンを光ファイバ端面に吸着させて飽和吸収体としてモード同期光ファイバレーザを構成した結果、パルス品質はほぼ同じであるものの、グラフェンのほうがモード同期閾値が高いことを見出した。さらにグラフェンモード同期短共振器光ファイバレーザについても研究を進め、長さ 1cm の Er:Yb 光ファイバモード同期レーザにより繰り返し周波数 10GHz、パルス幅約 1ps のパルス列の生成にも成功した。

We are studying the novel photonic devices using carbon nanotubes (CNT) and graphene. As for the CNT-based fiber lasers, we realized very short-cavity (down to 0.5cm) high-repetition-rate (up to 20GHz) CNT-based mode-locked fiber laser, whose pulse duration is ~1ps. We also demonstrated supercontinuum (SC) generation spanning over 300nm in highly nonlinear fiber using the 10GHz CNT-based mode-locked fiber laser as a seed source. Furthermore, we investigated high-power CNT-based mode-locked fiber lasers, and found that the CNT is optically damaged at high incident power whereas the damage threshold is enhanced by nitrogen sealing.

Graphene is gaining much attention recently as a saturable absorber. We compared the performances of fiber lasers mode-locked by CNT and graphene devices made by the same optical deposition method, and found that the performances are very similar, except for higher mode-locking threshold in graphene. We also realized short-cavity (1cm) high-repetition-rate (10GHz) graphene-based mode-locked fiber laser.

2. ナノカーボン非線形デバイス

山下真司・徐博

Nano-Carbon based Nonlinear Photonic Devices

S. YAMASHITA, B. XU

カーボンナノチューブ（CNT）およびグラフェンは可飽和吸収性のみならず、高い３次光非線形性を持っている。これを用いた全光信号処理のための CNT／グラフェン非線形デバイスの研究を進めている。

CNTについては昨年度までに光ファイバ型／導波路型デバイスでの非線形偏波回転／四光波混合を利用した 10Gb/s NRZ 光信号の波長変換に成功しており、また自己位相変調を利用した 10Gb/s RZ 信号の波形再生にも成功している。今年度はテーパー光ファイバの回りに CNT ポリマーを付着させた光ファイバ型デバイスを試作し、10Gb/s NRZ 光信号の四光波混合波長変換を実現した。さらに、近年注目を集めているグラフェンと CNT との３次光非線形性の比較を初めて行った。光照射により CNT およびグラフェンを光ファイバ端面に吸着させたサンプルで四光波混合を観測し、両者ともほぼ同じレベルの３次光非線形性を得た。

Carbon nanotubes (CNT) and graphene have been known to have high 3rd-order nonlinearity along with saturable absorption. We are studying the photonic functional devices using the nonlinearity.

By the last year, we realized wavelength conversion of 10Gb/s NRZ signal using nonlinear polarization rotation or four-wave mixing (FWM) in fiber-type or waveguide-type CNT devices, along with waveform regeneration of 10Gb/s RZ signal using self-phase modulation (SPM) in fiber-type CNT device. This year, we fabricated a new fiber-type CNT device in which a tapered fiber is surrounded by the CNT-polymer composite, and realized FWM-based wavelength conversion of 10Gb/s NRZ signal. We also compared 3rd-order nonlinearities using FWM in CNT and graphene devices made by the same optical deposition method, and found that 3rd-order nonlinear properties are very similar.

3. 高速・広帯域波長可変光ファイバレーザ

山下真司・田久保勇也

Fast and Widely Tunable Fiber Lasers

S. YAMASHITA, Y. TAKUBO

光コヒーレンストモグラフィ(OCT)への応用を目的として、共振器中の分散を利用することで広帯域かつ高速に波長を掃引できるモード同期ファイバレーザの研究を進めている。本年度は、この高速・広帯域波長可変光ファイバレーザを初めて実際の OCT システムに応用した。分散媒質として分散補償光ファイバ(DCF) 100m を用いた光源を 1kHz の掃引時に評価し、掃引帯域 140nm、分

解能は 16.0m、コヒーレンス長 0.72mm、感度 87dB を得た。さらに、皮膚の OCT 画像の取得にも成功している。高速掃引時のコヒーレンス長の低下(瞬時線幅の拡がり)が今後の検討課題である。

また、更なる高速掃引を目標として、高分散媒質の利用による短共振器化を図った。高分散媒質としては空間型グレーティングペアおよびチャープ光ファイバグレーティング(CFBG)を用いた。空間型グレーティングペアを用いた系で皮膚の OCT 画像の取得にも成功した。また、CFBG を用いた系で 500kHz 以上の高速掃引にも成功している。

We are studying widely and fast wavelength tunable mode-locked fiber lasers using dispersion tuning for optical coherence tomography (OCT). This year, we succeeded in applying the widely and fast wavelength tunable mode-locked fiber lasers to the OCT system. Under the 1kHz scan rate of the laser using a 100m-long dispersion compensating fiber (DCF) as the dispersive media, we made a performance assessment of the laser for OCT. We found that the spatial resolution is 16.0μm, coherence length is ~0.72mm, and sensitivity is 87dB. We could obtain the OCT images of human skin for the first time. Shorter coherence length at higher scan rate is the future issue.

In order to realize faster tuning, we have to reduce the cavity length using more highly dispersive media. We chose a bulk grating pair, and a chirped fiber Bragg grating (CFBG). We succeeded in obtaining OCT images of human skin with a bulk grating pair. We also demonstrated very fast sweep rate more than ~500kHz by using a CFBG.

4. 高非線形光ファイバの応用

山下真司・高橋和也

Application of Highly Nonlinear Fibers

S. YAMASHITA, K. TAKAHASHI

光ファイバパラメトリック増幅(PA)とその応用に取り組んだ。狭帯域 PA を持つビスマスガラス非線形ファイバを用いたスローライトへの応用を検討し、単位長さ当たりの遅延時間として最大の 1ps/m 程度の遅延が見込めることを算出した。さらに、広帯域な波長可変性を有する光ファイバパラメトリック発振器の研究を行った。分散シフト光ファイバ(DSF) を用いた光ファイバパラメトリック発振器を構成し、励起光源の狭帯域な波長掃引により広帯域な発振波長掃引を実現した。

We investigated fiber parametric amplification (PA) and its applications. We studied narrowband PA in Bismuth glass nonlinear fiber for application in slow light, and estimated that the delay per unit length is as high as 1ps/m. We also studied wideband fiber parametric oscillators. We constructed fiber parametric oscillators using dispersion shifted fiber (DCF), and realized wide wavelength tuning by narrowband sweep of the pump wavelength.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] A. Martinez, K. Zhou, I. Bennion, and S. Yamashita, “Passive mode-locked lasing by injecting a carbon nanotube-solution in the core of an optical fiber,” Optics Express, vol.18, no.11, pp.11008-11014, May 2010.

[2] K. K. Chow, S. Yamashita, S. Y. Set, “Four-wave mixing based wavelength conversion using a single-walled carbon-nanotube-deposited planar lightwave circuit waveguide,” Optics Letters, vol. 35, no.12, pp.2070-2072, June 2010.

[3] Y. W. Song, K. H. Fong, S. Y. Set, K. Kikuchi, and S. Yamashita, “Carbon nanotube-incorporated sol-gel glass for high-speed modulation of intracavity absorption of fiber lasers,” Optics Communications, vol. 283, no.19, pp. 3740-3742, Oct. 2010.

[4] A. Martinez, K. Fuse, B. Xu and S. Yamashita, “Optical deposition of graphene and carbon nanotubes in a fiber ferrule for passive mode-locked lasing,” Optics Express, vol.18, no.22, pp.23054-23061, Oct. 2010.

[5] 山下真司, “CNT フォトニクス,” 応用物理, vol.79, no.10, pp. 910-914, Oct. 2010.

[6] 山下真司, “カーボンナノチューブを用いた超短パルスファイバレーザー,” レーザ研究, vol.38, no.11, pp.882-888, Nov. 2010.

[7] 山下真司, “カーボンナノチューブを用いた非線形機能デバイス,” O plus E, vo.32, no.8, pp., Nov. 2010.

[8] A. Martinez, and S. Yamashita, “Multi-Gigahertz repetition rate passively modelocked fiber lasers using carbon nanotubes,” Optics Express, vol.19, no.7, pp.6156-6163, Mar. 2011.

国際会議論文

[9] S. Yamashita, A. Martinez, and K. K. Chow, “Carbon nanotube photonics (Invited),” Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO2010), San Jose, USA, no.CTuII3, May 2010.

[10] A. Martinez, K. Fuse, and S. Yamashita, “10GHz Pulsed Er-Yb fiber laser using an optically deposited carbon-nanotube film in a fiber mirror,” Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO2010), San Jose, USA, no. CTuII5, May 2010.

[11] K. K. Chow and S. Yamashita, “Self-phase modulation based optical regeneration of 10 Gb/s, 1.8ps RZ signal using carbon nanotube device,” Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO2010), San Jose, USA, no.CWI6, May 2010.

[12] O. Kusakari and S. Yamashita, “Optically-driven fast

and widely wavelength-swept fiber laser based on dispersion tuning," Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO2010), San Jose, USA, no. CMW6, May 2010.

[13] S. Yamashita, "Applications of carbon nanotube to photonics (Invited)," 9th International Conference on Optical Internet 2010 (COIN 2010), Jeju, Korea, no.MoB2-2, Jul. 2010.

[14] S. Yamashita, "Carbon nanotube photonics for laser mode locking and signal processing," 2nd Japanese-Russian Young Scientists Conference on Nano-Materials and Nano-Technology, Tokyo, Japan, no. JAPAN26, Sept. 2010.

[15] S. Yamashita, "Ultrafast fiber laser technologies for telecom and sensing applications (Invited)," 10th Japan-Taiwan Microelectronics International Workshop, Hsinchu, Taiwan, Oct. 2010.

[16] K. Fuse, A. Martinez, B. Xu, and S. Yamashita"Optical deposition of graphene in a fiber ferrule for mode-locked lasing"Microoptics Conference (MOC'10), Nov. 2010 (Best Paper Award).

[17] S. Yamashita, "Carbon nanotube fiber and waveguide devices for fiber laser mode locking and signal processing (Invited)," 2010 Annual Meeting of the IEEE Photonics Society, Denvor, USA, no.WO3, Nov. 2010.

[18] S. Yamashita, "Nano carbon photonics for laser mode locking and signal processing (Invited)," Photonics Global Conference 2010, Singapore, no.1-3E-1, Dec. 2010.

[19] C. Chong, K. Totsuka, T. Suzuki, K. Isamoto, Y. Takubo, S. Yamashita, "Filterless swept-source based on dispersion tuning for high-speed optical coherence tomography," SPIE Photonics West, no.7889-62, Jan. 2011.

[20] S. Yamashita, "Carbon-nanotube and graphene photonics (Tutorial)," Optical Fiber Communication Conference (OFC 2011), no.OThL1, Mar. 2011.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[21] 山下真司, "光短パルス発生および光通信用デバイスへの応用（招待講演）," 2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会, シンポジウム「ナノチューブナノエレクトロニクスはどこまで進んだか」, 長崎大学, 長崎, Sept. 2010.

[22] 山下真司, "カーボンナノチューブによる光信号処理（招待講演）," 電子情報通信学会 2010 年ソサエティ大会, シンポジウム「エクサビット時代に向けた革新的光伝送技術とそれを支えるデバイス技術」, 大阪府立大学, 大阪, no. BCI-1-6, Sept. 2009.

[23] 山下真司, アモス マルチネス"カーボンナノチューブ・グラフェンの光非線形性とそのフォトニクス応用（招待講演）," 日本学術振興会光エレクトロニクス第 130 委員会研究会, Dec. 2010.

[24] B. Xu, A. Martinez, K. Fuse, and S. Yamashita, "Generation of Four Wave Mixing in Graphene and Carbon Nanotubes Optically Deposited onto Fiber Ferrules," 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 東京都市大学, 東京, no.B-10-95, Mar. 2011.

[25] 田久保勇也, 山下真司, "分散チューニングを利用した高速・広帯域波長可変ファイバレーザの OCT 応用," 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 東京都市大学, 東京, no. B-13-47, Mar. 2011.

[26] 高橋和也, 山下真司, "広帯域波長掃引光ファイバパラメトリック発振器," 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 東京都市大学, 東京, no. C-3-18, Mar. 2011.

[27] 布施数元, A. Martinez, 山下真司, "窒素封入カーボンナノチューブを用いたモード同期ファイバレーザの安定性向上," 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 東京都市大学, 東京, no. C-4-7, Mar. 2011.

[28] 山下真司, "カーボンナノチューブ・グラフェンの光非線形性を利用した短パルスレーザおよび光機能デバイス（招待講演）," 電気学会光・量子デバイス研究会, no.OQD-11-021, Mar. 2011.

大津・八井研究室
Ohtsu & Yatsui Laboratory

(http://uuu.t.u-tokyo.ac.jp)
(http://www.lux.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. フォノン援用アニールによるシリコンフォトダイオードの赤外感度増強

大津元一・川添忠・ムイドエムエイ

Highly efficient and broadband Si homojunction structured near-infrared light emitting diodes based on the phonon-assisted optical near-field process

M. OHTSU, T. KAWAZOE, and MUEED M. A.

シリコンフォトダイオードのホモ接合界面に発生するドレスト光子を用いた加工によって，シリコンフォトダイオードの広帯域化を実現した．具体的には，シリコンフォトダイオードに順バイアスを印加することでジュール熱を発生させる．このプロセス中に，ドレスト光子を発生させることにより，ドレスト光子によって誘起されるフォノン援用励起を介した誘導放出が発生する．発生した誘導放出の影響により，ドレスト光子が発生する箇所はジュール熱の発生が抑制されるため，ドーパントであるボロンの拡散は抑制される．最終的に，ドレスト光子が最も高効率に発生する構造が自動的に形成される．この手法により作製されたシリコンフォトダイオードの特性を評価したところ，0.73–1.24 eV (波長 1.00–1.70 μm) の範囲で感度が得られた．また，電流注入による，発光特性を評価したところ，11W の電流注入時に，1.1W の発光強度が得られた．

We fabricated a highly efficient, broadband light emitting diode driven by an optical near field generated at the inhomogeneous domain boundary of a dopant in a homojunction bulk Si crystal and evaluated its performance. To fabricate this device, a forward current was made to flow through a Si p–n junction to anneal it. During this process, the device was irradiated with near-infrared light, producing stimulated-emission light using a two-step phonon-assisted process triggered by the optical near field, and the annealing rate was controlled in a self-organized manner. The device emitted light in a wide photon energy region of 0.73–1.24 eV (wavelength 1.00–1.70 μm). The total power of the emitted light with 11 W of electrical input power was as high as 1.1 W. The external power conversion efficiency of the emitted light was 1.3%, the differential external power conversion efficiency was 5.0%, the external quantum efficiency was 15%, and the differential external quantum efficiency was 40%. The dependency of the emitted light power density on the injected current density clearly showed a characteristic reflecting the two-step phonon-assisted transition process.

2. メサ構造 InAs 量子ドットを用いたナノ光論理ゲートの室温動作

大津元一・川添忠

Two-dimensional array of room-temperature nanophotonic logic gates using InAs quantum dots in mesa structures

M. OHTSU and T. KAWAZOE

我々は近接場光による InAs 量子ドット（QD）間のエネルギー移動を用いたナノ光論理ゲートの研究を行っている．今年度は，２層の InAs QD によりこの素子を作製し，室温動作させることに成功した．

近接場光で結合する QD に２つの入力光（P.S.:電源光と Input:入力信号）を与えたときの素子応答は QD の励起子閉じ込め準位の関係に依存し，下層の QD（QD1）の n=1(n は主量子数)と上層の QD（QD2）の n=2 の準位が非共鳴の場合，P.S.のみでは QD 間のエネルギー移動(E.T.)は起こらないが，Input を加えることにより E.T.を誘起できる．その結果，Output は Input の有無に対して反転的に制御（Not-Gate 動作）される．一方，共鳴している場合，素子は Input の有無に対し And-Gate 的動作をする．各素子は 1μm 間隔に配置され 400 素子が配列されている．この内の１素子の出力光のスペクトルは波長 1220nm (Lower)と 1285 nm (Upper)の２つのピークからなり，それぞれ上層の QD および下層の QD からの出力信号に対応する．このような素子に対し，電源光に加え Input に相当する波長 1285nm のパルス光を加えた．素子の出力信号は入力信号によって 15%減少し，信号光のスペクトルから，この素子が反転動作し Not-Gate として機能したことを示しており，E.T.移動型 InAs ナノ光論理ゲートの室温動作がはじめて検証された．また，動作が素子に依存し，Not-および And-Gate 素子が混在していることを示していることが明らかになった．

By growing two layers of InAs quantum dots on a substrate and processing the substrate to form mesa structures, we successfully fabricated for the first time nanophotonic devices that operate at room temperature. We fabricated two types of two-dimensional mesa arrays. The mesa dimensions of the individual arrays were 300 nm×300 nm×85 nm and 200 nm × 200 nm×85 nm, and the areal density was 1×10^{8} cm^{-2}. By adjusting the characteristics of energy transfer via dressed photons between two InAs quantum dots in the upper and lower layers of the mesa structures, we implemented devices that operate as AND gates and NOT gates. We fabricated 133 devices (with mesa dimensions of 300 nm on each side), of which 53 devices operated as AND gates and 50 devices operated as NOT gates.

3. ドレスト光子エッチングによる3次元構造の平坦化

大津元一・八井崇・野村航

Repairing three-dimensional structures using dressed-photon etching

M. OHTSU, T. YATSUI, and W. NOMURA

近年，レーザ関連機器の高性能化などに伴い，基板表面の平坦化が非常に重要な課題となっている．この問題を解決する手法として，ナノ物質特有のフォノン援用励起過程の利用が有効である．ナノ寸法の凹凸を有する基板に対して光を照射すると，突起部にドレスト光子が発生しフォノン援用励起過程による光化学反応が誘起される，この結果，突起部のみがエッチングされ基板が平坦化される．上記原理を用いて，合成石英基板の平均表面荒さをÅレベルまで平坦化することに成功している．本手法を用いて，平面基板以外の 3 次元構造に対して平坦化の検討を行った．

3 次元構造を有する基板には，ナノインプリントにより作製されたソーダライムガラスのナノウォール基板を用いた．ドレスト光子エッチング用光源には Nd:YAG レーザ(λ=532nm)，エッチャントには Cl_2 を用いた，60 分間ドレスト光子エッチングを施した後の原子間力顕微鏡像から，エッチング前に存在していた突起部が選択的にエッチングされ，3 次元構造が平滑化されたことが明らかになった．

Using soda-lime glass with a nano-stripe pattern as a test specimen, we demonstrated self-organized near-field etching with continuum wave (CW) laser (λ = 532 nm) light source. Atomic force microscopy confirmed that near-field etching decreases the flank roughness of the corrugations, as well as the roughness of the flat surface.

4. 光援用ゾル・ゲル法によるZnO QDの寸法制御及び結晶欠陥の改善

大津元一・八井崇・劉 洋

Controlling the sizes and decreasing the defect of ZnO quantum dots using photo-induced sol-gel synthesis

M. OHTSU, T. YATSUI, and Y. Liu

ZnO 量子ドット(QD)によって構成され近接場光エネルギー移動によって動作するナノ寸法の光デバイスが近年研究されているが，高効率な近接場光エネルギー移動のためには，①各 QD 中の励起子準位を正確に共鳴させるためには QD の寸法ばらつきを抑えること，②QD 中の結晶欠陥を抑え高い量子効率こと，が必要である．従来のゾル・ゲル法により合成された ZnO QD では 23%の寸法ばらつきがあり，また作製された QD 中に酸素欠陥が多く存在する．今年度は，上記①および②を同時に実現する手法として，光援用ゾル・ゲル法を開発した．

これまでのゾル・ゲル法では混合溶液を室温中（300K）で静置することで ZnO QD を成長させたが，本手法ではこれに加えて結晶成長中に援用光としてλ=325nm の He-Cd レーザを照射した．援用光によって ZnO QD 内で生成された電子正孔対は酸化還元反応を誘起し，ZnO QD はエッジングされる．そのため成長レートや寸法を光で制御することができ，従来の手法より正確な寸法の QD を得ることができる（①を実現）．また欠陥準位は ZnO のバンド端エネルギーと比べて低いため，欠陥部位が優先的にエッジングされ，欠陥の少ない QD を作製することが可能となる（②を実現）．作製した ZnO QD の寸法ばらつきを評価するために，透過型電子顕微鏡(TEM)像の画像解析を行った．解析結果から，光援用ゾル・ゲル法で作製した ZnO QD（w/ irradiation）は通常（w/o irradiation）と比較して，寸法ばらつきが 23%から 17%へと改善された．次に欠陥準位の改善を確認するために，光励起スペクトル測定を行った．光援用ゾル・ゲル法で作製した ZnO QD（曲線 w/ irradiation）では欠陥からの発光(450~700nm)が完全に消失しており，光援用法ゾル・ゲル法によって欠陥が改善されていることがわかった．

We developed a sol-gel method using photo-induced desorption for size-controlled ZnO quantum dots (QDs). This method successfully controlled the size and size variance of ZnO QDs, and size fluctuations decreased from 23% to 18% depending on the illuminated light intensity. The sol-gel synthesis effectively reduced the number of defect levels that originated from oxygen defects.

5. 近接場光相互作用に基づく長距離光励起輸送の直接観測

大津元一・八井崇・野村航

Direct observation of long-range optical excitation transfer based on the optical near-field interactions

M. OHTSU, T. YATSUI, and W. NOMURA

ナノフォトニック集積回路の入力端子及び配線に最適な光信号伝送路として，我々は半導体量子ドット(QD)間の近接場光相互作用を利用したナノ寸法の 1 方向的光信号伝送路の開発を行っており, 既に 2 次元的に分散させた QD 間の光信号伝送効率を数値計算によって見積り, またその動作を実験により間接的に確認済みである．今回，空間的に離れた箇所への光励起の輸送を，共鳴する QD からの発光を直接観測することで確認した．

実験のための材料として，CdSe/ZnS コアシェル QD を用いた．発光波長 540nm の及び 595 nm の，共鳴励起準位を持つ QD をそれぞれ QD1，QD2 とし，電子ビームリソグラフィとリフトオフ法を用いて SiO2 基板上に直線的に堆積させた． QD1 は幅 200 nm，厚さ 20 nm 程度の領域内にランダムに分散されており，計算から約 8 μm の距離，光信号が伝送可能であると見込まれる．

この試料に対して，光励起の輸送を確認する実験を行った．励起光には波長λ = 325 nm の He-Cd レーザーを用い，対物レンズを用いて基板裏面からビーム径ϕ = 3 μm で QD1 列部分に照射した．測定は，中心波長λ = 590 nm のバンドパスフィルタを用いて QD2 からの発光を切り出し，電子冷却 CCD カメラで光強度の空間分布を評価した．その結果，光励起エネルギーが近接場光相互作用によって，7.6 μm 離れた箇所まで到達すること

が確認された．さらに，共鳴準位を持たない QD 対を用いて同様の実験を行い，発光強度の比較からこの光信号伝送が近接場光相互作用に基づくものである事の確認を行った．

An exciton in one of a set of closely distributed quantum dots (QDs) is transferred to the nearest QD with resonant energy levels via an optical near-field interaction. We have previously confirmed micrometer-scale energy transfer between randomly dispersed QDs based on optical near-field interactions. This year we successfully observed the output emission after long-range energy transfer between resonant QDs and verified that this transfer was based on optical near-field interactions by comparing the result with that obtained from a non-resonant QD pair.

We employed three types of CdSe/ZnS core-shell QDs, designated as QDS, QDM, and QDL, whose emission wavelengths were 538 nm, 545 nm, and 585 nm, respectively. The ground state of the exciton in QDS was resonant with the first excited state in QDL. On the other hand, QDM was not resonant with QDL. As a resonant sample, we dispersed QDSs and QDLs in two orthogonal paths on a SiO_2 substrate by e-beam lithography and a lift-off process. The width of the QDS path was 200 nm. For comparison, we also prepared a non-resonant sample using QDMs and QDLs in the same process.

The output emissions from these two samples were evaluated by using a HeCd-excitation laser and an EMCCD camera with a band-pass filter (λ = 590 ± 5 nm). QDS or QDM was irradiated with a spot of excitation laser light, which was a distance L away from intersection with the QDL path. The resonant sample showed an intensity at the intersection 7.5 times higher than the non-resonant sample. By evaluating the dependency of the output signal on L in the resonant sample, the energy transfer length of the resonant sample was estimated to be 6.2 μm, which agreed well with the calculated results in our previous work.

6. ナノフォトニックドロップレット：フォノン援用過程による量子ドットペアの自律形成

大津元一・八井崇・竪 直也・野村航

Nanophotonic droplet: Autonomous formation of quantum dot pairs using a phonon-assisted optical near-field process

M. OHTSU, T. YATSUI, N. TATE, and W. NOMURA

QD 間に生じる近接場光相互作用に基づいて動作するナノフォトニックデバイスに関する研究においては，論理ゲートや導波路といった様々な機能について微小性，省エネルギー性，高機能性が実証されている．本研究では，フォノン援用過程の利用により特定の QD 同士を選択的かつ自律的に組み合わせ，所望の近接場光学応答を高効率で誘起する方策を提案した．今回，ZnO-QD と CdSe/ZnS-QD とを組み合わせたナノフォトニックドロップレットを紫外線硬化性樹脂を介して試作し，その形成過程および光学応答特性について検証した．

前述の素材を混合後，波長 457 nm の援用光を一定時間照射すると，2 種の QD が十分近接している状況に限り，援用光により誘起された近接場光の分布を介して CdSe/ZnS-QD の励起準位と同程度のエネルギーをもつ準位が ZnO-QD 中で励振される．その結果，同準位を介して ZnO-QD が励起され，それに伴って放射される紫外光により近傍溶剤が局所的に硬化する．このとき，2 種の QD は近接場光相互作用が互いに関与しやすい位置関係で固定されており，両 QD 間で優先的に発生する光エネルギー移動により CdSe/ZnS-QD からの発光が高効率で誘起される．援用光の照射時間に応じた発光スペクトルの変化を，観測したところ，照射時間に応じて CdSe/ZnS-QD からの発光強度が増大していることから，援用光の照射に援用光の照射に伴って CdSe/ZnS-QD の発光に適した ZnO-QD との組み合わせが逐次形成されていることがわかる．

Here we propose a technique for autonomous encapsulation of QD pairs at the sub-mm scale as nanophotonic droplets by utilizing a phonon-assisted optical near-field process via optical near-fields. This technique can efficiently induce optical near-field interactions between selected QDs, as well as the associated optical response. We experimentally formed a nanophotonic droplet containing ZnO and CdSe/ZnS QDs in a cured UV-curable polymer and verified the encapsulation process and the photoresponse characteristics of the nanophotonic droplets.

We used CdSe/ZnS QDs and ZnO QDs. The QDs were mixed with a UV-curable polymer and were encapsulated to form nanophotonic droplets by irradiating them with 457 nm assisting light. These experimental conditions fulfilled specific energy conditions for the autonomous encapsulation process. To verify the photoresponse characteristics of each sample, we measured the emission spectra with 325 nm excitation lights. As shown in Fig. 1(b), depending on the irradiation time of the assisting light, the emission intensity, which was derived from the CdSe/ZnS QDs, was successfully increased. The result indicates that ZnO QDs and CdSe/ZnS QDs in the nanophotonic droplets were closely positioned each other to induce preferable energy transfer between close QDs.

In our approach, several types of nanophotonic droplets realizing various optical functions can be formed by controlling the encapsulation parameters, such as the types and numbers of materials, the intensity and irradiation time of the assisting light, Brownian motion activity, and so on. Variation of these parameters will be directly revealed in the optical input–output relations of the nanophotonic droplets.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Y. Liu, T. Morishima, T. Yatsui, T. Kawazoe, and M. Ohtsu, “Size control of sol-gel-synthesized ZnO quantum dots using photo-induced desorption,” Nanotechnology, Vol. 22, No. 21, , pp. 215605 1-5, (2011)

[2] M. Naruse, H. Hori, K. Kobayashi, T. Kawazoe, and M. Ohtsu, “Optical pulsation mechanism based on optical near-field interactions,” Appl. Phys. B- Lasers and Optics, Vol. 102, No. 4, pp. 717-723, (2011)

[3] J. Lin, A. Mohammadizia, A. Neogi, H. Morkoc, and M. Ohtsu, “Surface plasmon enhanced UV emission in AlGaN/GaN quantum well,” Appl. Phys. Lett., Vol. 97, No. 22, pp. 221104 1-3, (2010)

[4] S. Schmidt, M. Mascheck, M. Silies, T. Yatsui, K. Kitamura, M. Ohtsu, and C. Lienau, “Distinguishing between ultrafast optical harmonic generation and multi-photon-induced luminescence from ZnO thin films by frequency-resolved interferometric autocorrelation microscopy,” Optics Express, Vol. 18, Issue 24, pp. 25016-25028, (2010)

[5] M. Naruse, H. Hori, K. Kobayashi, P. Holmström, L. Thylén, and M. Ohtsu, “Lower bound of energy dissipation in optical excitation transfer via optical near-field interactions,” Opt. Express, Vol. 18, No. S4 , pp. A544-A553, (2010)

[6] M. Naruse, E. Runge, K. Kobayashi, and M. Ohtsu, “Efficient optical excitation transfer in layered quantum dot nanostructures networked via optical near-field interactions,” Phys. Rev. B, Vol. 82, No. 12, pp. 125417 1-8, (2010)

[7] T. Yatsui, K. Hirata, Y. Tabata, W. Nomura, T Kawazoe, M. Naruse, and M. Ohtsu, “*In situ* real-time monitoring of changes in the surface roughness during nonadiabatic optical near-field etching,” Nanotechnology, Vol. 21, No. 35, pp. 355303 1-, (2010)

[8] H. Fujiwara, T. Kawazoe, and M. Ohtsu, “Nonadiabatic nondegenerate excitation by optical near-field and its application to optical pulse-shape measurement, ” Appl. Phys. B- Lasers and Optics, Vol. 100, No. 1, pp. 85-91, (2010)

[9] W. Nomura, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Naruse, and M. Ohtsu, “Structural dependency of optical excitation transfer via optical near-field interactions between semiconductor quantum dots,” Appl. Phys. B- Lasers and Optics, Vol. 100, No. 1, pp. 181-187 , (2010)

[10] K. Kitamura, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Sugiyama, and M. Ohtsu, “Site-selective deposition of gold nanoparticles using non-adiabatic reaction induced by optical near-fields,” Nanotechnology, Vol. 21, No. 28, pp. 285302 1-4, (2010)

[11] S. Yukutake, T. Kawazoe, T. Yatsui, W. Nomura, K. Kitamura, and M. Ohtsu, “Selective photocurrent generation in the transparent wavelength range of a semiconductor photovoltaic device using a phonon-assisted optical near-field process,” Appl. Phys. B- Lasers and Optics, Vol. 99, No. 3, pp. 415-422, (2010)

国際会議論文

[12] N. Tate, M. Naruse, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Hoga, Y. Ohyagi, T. Fukuyama, Y. Sekine, M. Kitamura, and M. Ohtsu, “Nanophotonic Hierarchical Hologram: Hierarchical information processing and nanometric data retrieval based on nanophotonics,” Proceedings of SPIE, Practical Holography XXV: Materials and Applications (Photonics West 2011), SPIE, Bellingham, WA, USA, January 23-26, 2011, San Fransisco, CA, USA, 7957-22, (2011)

[13] T. H. H. Le, K. Mawatari, K. Kitamura, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Ohtsu, and T. Kitamori, “I Investigation of Phonon-assisted Optical Near-field Effect on Nanostructured TiO_2 Thin Film,” Abstract of 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010), American Chemical Society, Washington D. C., USA, December 15-20, 2010, Honolulu, HI, USA, paper number 435, (2011)

[14] K. Mawatari, N. Hasumoto, K. Kitamura, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Ohtsu, and T. Kitamori, “Development of local surface-modification method for fluidic control in extended-nano space using nanopillar and optical near-field,” Abstract of 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010), American Chemical Society, Washington D. C., USA, December 15-20, 2010, Honolulu, HI, USA, paper number 456, (2011)

[15] T. Yatsui and M. Ohtsu, , “Increased Spatial Homogeneity in a Light-Emitting InGaN Thin Film Using a Phonon-Assisted Optical Near-Field Process,” Proceedings of The 17th International Display Workshops (IDW’10), The Institute of Image Information and Television Engineers, Tokyo, Japan, December 1-2, 2010, Fukuoka, Japan, pp. 1619-1622, paper number MEET5-1, (2010)
[Invited presentation]

[16] M. Ohtsu, “Nanophotonics: Dressed photon science and technology,” Book of Abstracts France-Japan Workshop on Nanophotonics, November 4-5, 2010, Paris, France, p. 1, (2010)
[Invited presentation]

[17] T. H. H. Le, K. Mawatari, K. Kitamura, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Ohtsu, T. Kitamori, “Investigation of phonon-assisted optical near-field Excitation on nanostructured TiO2 towards on-chip fuel cell application,” Abstracts, The 14th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μTAS2010), The Chemical and Biological Microsystems Society, San Diego, CA , USA, October 3-7, 2010, Groningen, The Netherlands, paper number W12E, (2010)

[18] M. Ohtsu, “Nanophotonics: Dressed photon science and technology,” Abstracts of 3rd German-Japanese Seminar on Nanophotonics, September 26-29, 2010, Ilmenau, Germany, p. 1, (2010)
[Invited presentation]

[19] K. Akahane, N. Yamamoto, M. Naruse, T. Kawazoe, T. Yatsui, and M. Ohtsu, “Energy Transfer in Multi-Stacked InAs Quantum Dots,” Extended Abstracts of the 2010 International Conference on Solid State Devices and Material s (SSDM 2010), The Japan Society of Applied Physics, Tokyo, Japan, September 22-24, 2010, Tokyo, Japan, pp. 1281-1282, (2010)

[20] D. Leipold, M. Maschek, S. Schmidt, M. Silies, T. Yatsui, K. Kitamura, and M. Ohtsu, “Photon modes and second harmonic generation in ZnO nano-needle arrays,” Abstracts, The International Workshop on Nonlinear Optics and Excitation Kinetics in Semiconductors 10 (NOEKS 10), German Research Foundation, Bonn, Germany, August 16, 2010, Paderborn, Germany, paper number 71, (2010)

[21] M. Naruse, H. Hori, K. Kobayashi, and M. Ohtsu, “Minimum Energy Dissipation in Signal Transfer via Optical Near-Field Interactions in the Subwavelength Regime,” Proceedings of the 36th European Conference on Optical Communication (ECOC), IEEE, NJ, USA, September 19-23, 2010, Torino, Italy, paper number M.1.E.5, (2010)

[22] M. Ohtsu, “Phonon-assisted nanophotonic fabrication and its application,” Book of Abstracts The seventh International Conference on Photo-Excited Processes and Applications (ICPEAP7), August 16-20, 2010, Copenhagen, Denmark, Invited 7, p. 19, (2010)
[Invited presentation]

[23] M. Naruse, N. Tate, and M. Ohtsu, “Information theoretical aspects innanophotonics,” Proceedings, SPIE Optics + Photonics 2010, August 1-5, 2010, San Diego, CA, USA, paper number 7757-75, (2010)
[Invited presentation]

[24] M. Mascheck, S. Schmidt, M. Silies, P. Vasa, D. Leipold, E. Runge, K. Kitamura, T. Yatsui, M. Ohtsu, and C. Lienau, “Localizing Few-Cycle Light Pulses in Space and Time in Random Dielectric Media,” 17th International Conference on Ultrafast Phenomena, July 18-23,2010, San Francisco, CA, USA (TuB6) , (2010)

[25] M. Ohtsu, “Dressed photon technology for innovative optical devices, fabrications, and systems,” Abstract Booklet of the 2010 International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies, The Japan Society of Applied Physics, June 22-25, 2010, Toyama, Japan, p. 26 (B-1) , (2010)
[Invited presentation]

[26] M. Ohtsu, “Nanophotonics: Dressed Photon Technology for innovative devices, fabrications, and systems,” Proceedings of The International Conference of Nanophotonics 2010, May 30-June 3, 2010, Ibaragi, Japan, p. 1, (2010)
[Keynote Lecture]

[27] M. Naruse, T. Kawazoe, and M. Ohtsu, “Efficient and Robust Energy Transfer Network in Quantum Dot Mixtures via Optical Near-Fields Interactions,” Technical Digest, CLEO/QELS 2010, May 16-21, 2010, San Jose, CA, USA (JThE18) , (2010)

[28] W. Nomura, T. Yatsui, Y. Yanase, K. Suzuki, M. Fujita, A. Kamata, M. Naruse, and M. Ohtsu, “Self-organized Nonadiabatic Optical Near-field Assisted Sputtering for Repairing Surface Scratches on Al_2O_3 Ceramic Substrate,” Technical Digest, CLEO/QELS 2010, May 16-21, 2010, San Jose, CA, USA (JTuC4) , (2010)

著書

[29] G.-C. Yi, T. Yatsui, and M. Ohtsu, “ZnO Nanorods and their Heterostructures for Electrical and Optical Nanodevice Applications,” in Comprehensive Nanoscience and Technology Vol. 6, D. Andrews, G. Scholes, and G. Wiederrecht ed., Maryland Heights, 2010, pp. 335-374.

[30] T. Yatsui and M. Ohtsu, “Nanophotonics for Device Operation and Fabrication,” Handbook of Nanophotonics, chapter 35, K. D. Sattler ed., CRC Press (Tailor & Francis Group), Boca Raton, pp. 35-1 - 35-13.

総説・解説論文

[31] 八井崇、大津元一、「ZnO ナノ構造のナノフォトニックデバイスへの応用」、『レーザー研究』、第 39 巻、第 3 号、2011 年 3 月、pp. 184-187

[32] 大津元一、「ついに室温動作したナノフォトニック論理ゲートデバイス」一枚の写真、『O plus E』、第 32 巻、第 12 号、2010 年 12 月、pp. 1393-1394

[33] 八井崇、大津元一、「近接場光を利用した新しい光励起によるナノ材料加工技術」、『日本写真学会誌』、第 72 巻、第 6 号、2010 年 12 月、pp. 297-302

[34] 成瀬誠、川添忠、大津元一、「低消費エネルギーを実現するナノフォトニクス技術」、『光学』、第 39 巻、第 10 号、2010 年 10 月、pp. 476-481

[35] 大津元一、「NEDO 特別講座　－光技術の最先端分野を推進する技術者・研究者育成－」、～光学分野における人材育成～、『光学』、第 39 巻、第 6 号、2010 年 6 月、pp. 277-281.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[36] 野村 航, 川添忠, 八井 崇, 成瀬 誠,　多幡能徳, 平田和也, 原口雅宣, 大津元一, “合成石英表面の光破壊初期過程の観測”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会,神奈川,24-27,（24p-KF-10, (2011)

[37] 野村 航, 川添忠, 八井 崇, 成瀬 誠, 多幡能徳, 平田和也, 原口雅宣, 大津元一, “合成石英表面の光破壊初期過程の観測”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会,神奈川,24-27, 24p-KF-10, (2011)

[38] 八井 崇, 栗原一徳, 関谷 毅, 染谷隆夫, 野村航, 大津元一, “サファイヤ基板の大面積平坦化加工”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 神奈川,24-27,（24a-BC-10), (2011)

[39] 川添 忠, 大津元一, “近接場相互作用で結合した金属ナノ寸法構造体による非対称偏光変換”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会,神奈川,24-27,（26a-BH-2), (2011)

[40] Ma Mueed, 川添 忠, 大津元一, “フォノン援用アニールによるシリコンフォトダイオードの赤外感度増強”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 神奈川,24-27, 26a-BH-3), (2011)

[41] 成瀬 誠, 川添 忠, 八井 崇, 竪 直也, 北村 心, 野村 航, 大津元一, “フォノン援用近接場光過程によるモルフォロジ形成の確率モデル”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会,神奈川,24-27, 26a-BH-4), (2011)

[42] 辻 真大, 劉 洋, 八井 崇, 大津元一, “ファイバプローブとの近接相互作用により誘起された ZnO 量子ドットの電気双極子禁制準位からの発光”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会,神奈川,24-27,（26a-BH-5), (2011)

[43] 竪 直也, 劉 洋, 川添 忠, 成瀬誠, 八井 崇, 大津元一, “ナノフォトニックドロップレット：フォノン援用過程による量子ドットペアの自律形成”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会,神奈川,24-27,（26a-BH-6), (2011)

[44] 野村 航, 八井 崇, 川添 忠, 成瀬誠, 大津元一, “ランダム量子ドット群システムにおける光励起輸送の動的特性”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会,神奈川,24-27,（26a-BH-7), (2011)

[45] 劉洋,森島哲,八井崇,川添忠,大津元一, “光援用ゾル・ゲル法による ZnO QD の寸法制御及び結晶欠陥の改善”,2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 神奈川,24-27,（26a-KL-2), (2011)

[46] 大津元一, “ナノフォトニクスの原理と技術の現状, “フォトニクス技術フォーラム合同研究会, 大阪, 7, (2010) (基調講演)

[47] 竪直也, “ナノフォトニクスに基づく階層型ナノ光情報システム”,フォトニクス技術フォーラム合同研究会, 大阪, 7, (2010) (招待講演)

[48] 大津元一, “近接場光が拡げる省エネルギーの可能性”,NEDO 省エネルギー技術フォーラム 2010 , 東京, 特別講演 1) , (2010)

[49] 野村航, 八井崇, 川添忠, 成瀬誠, 大津元一, “ランダムに分布する量子ドット間の近接場光相互作用に基づく自律的光エネルギー輸送”, 第 6 回　Optics & Photonics Japan 2010 , 東京, 8-10,. (9pG6) , (2010)

[50] 成瀬誠, Erich Runge, 小林潔,大津元一, “近接場光ネットワーク：積層量子ドットにおける光励起輸送の効率向上”, 2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会, 長崎大学文教キャンパス, 長崎, 14-17 (17p-NC-15) , (2010)

[51] 竪直也, 成瀬誠, 八井崇, 川添忠, 法元盛久, 大八木康之, 関根陽子, 藤田浩, 大津元一, “モジュレーショナブル・ナノフォトニクス：近接場光相互作用の変調可能性とそのデバイス応用に関する検討”, 2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会, 長崎大学文教キャンパス, 長崎, (17p-NK-1) , (2010)

[52] 沢渡義規, 吉沢勝美, 赤羽浩一, 山本直克, 川添忠, 大津元一, “MBE で作製した GaAs(001)面上低密度 InAs 量子ドットの室温 PL 特性(5) ”, 2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会, 長崎大学文教キャンパス, 長崎, (15a-ZV-6) , (2010)

[53] 吉沢勝美, 沢渡義規, 麻生三郎, 細田康雄, 赤羽浩一, 山本直克, 川添忠, 大津元一, “メサ構造内の InAs 量子ドットの室温における発光観測２”, 2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会, 長崎大学文教キャンパス, 長崎, (15a-ZV-7) , (2010)

[54] 八井崇, 平田和也, 多幡能徳, 宮宅ゆみ子, 秋田泰志, 吉本護, 野村航, 川添忠, 成瀬誠, 大津元一, “近接場光エッチングによる 3 次元構造の平坦化”, 2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会, 長崎大学文教キャンパス, 長崎, (16a-NK-4) , (2010)

[55] 北村心, 八井崇, 安田秀幸, 川添忠, 大津元一, “フォノン援用可視光応答光触媒”, 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学文教キャンパス, 長崎, (16a-NK-5) , (2010)

[56] 梁瀬佳旗, 鈴木健司, 藤田光広, 野村航, 八井崇, 川添忠, 成瀬誠, 大津元一, “近接場光アシストスパッタリングによるセラミックス表面の平坦化機構−原子ステップを持つサファイア基板による素過程検証”, 2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講

演会， 長崎大学文教キャンパス，長崎，（16a-NK-6），(2010)

[57] 野村航，八井崇，川添忠，成瀬誠，大津元一，“近接場光相互作用に基づく長距離光励起輸送の直接観測”,2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会，長崎大学文教キャンパス，長崎，(16a-NK-7), (2010)

[58] 成瀬誠，堀裕和，小林潔，川添忠，大津元一，“近接場光相互作用による光励起移動を用いた発振現象に関する一考察”,2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会， 長崎大学文教キャンパス，長崎，(16a-NK-8) , (2010)

[59] 大山遼馬，川添忠， 八井崇，成瀬誠，赤羽浩一，山本直克，大津元一，“InGaAs 量子ドットを用いた光ナノファウンテンの動作検証”,2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会， 長崎大学文教キャンパス，長崎，14-17 Sep. 2010, (16a-NK-10), (2010)

[60] 川添忠，大津元一,麻生三郎，沢渡義規，細田康雄，吉沢勝美，赤羽浩一，山本直克，“メサ構造 InAs 量子ドットを用いたナノ光論理ゲートの室温動作”,2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会， 長崎大学文教キャンパス，長崎，(16a-NK-11), (2010)

[61] 成瀬　誠，フェルディナンド ペパー，赤羽浩一，山本直克，川添　忠，竪　直也，大津元一，“光励起移動型デバイスの入力信号タイミング依存性”,2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会， 長崎大学文教キャンパス，長崎，(16p-ZT-8), (2010),

[62] 北村心，八井崇，安田秀幸，川添忠，大津元一，“ナノロッド構造を用いたフォノン援用可視光応答光触媒”，ナノオプティクス研究グループ第 19 回研究討論会， 早稲田大学西早稲田キャンパス，東京，(2010)

[63] 大津元一，“ナノフォトニクスとその産業展開”，第 35 回光学シンポジウム『光学システム・光学素子の設計，製作，評価を中心として』， 東京大学生産技術研究所，東京，（招待講演，(2010)

[64] 八井崇,大津元一，“近接場光を利用した新しい光励起系によるナノ材料加工技術”，第 7 回日本写真学会光機能性材料セミナー「新しい光励起系の科学:次世代デバイスへの期待」，東京工業大学，東京，（招待講演)， (2010)

[65] 北村心，八井崇，安田秀幸，川添忠，大津元一，“酸化亜鉛ナノ構造によるフォノン援用可視光応答光触媒”，第 21 回化学とマイクロ・ナノシステム研究会，東京大学小柴ホール，東京，(2010)

[66] 大津元一，“Dressed Photon Technology for Innovatibe Photonic Devices, Fabrications and Systems, 2010 年東京大学における清華大学ウィーク：セキュアライフ・フォトニクス共同ワークショップ，東京大学，東京，(2010)

[67] 竪直也，“プローブフリー・ナノフォトニック情報システムの構築”,日本学術会議公開シンポジウム「先端フォトニクスの展望」,日本学術会議講堂，東京，(2010)

菊池・五十嵐研究室
Kikuchi & Igarashi Laboratory
(http://www.ginjo.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 超高速光信号処理

菊池和朗・五十嵐浩司・H. M. Nguyen・薄衣雅俊・奥井寛樹・L. Jin

All-optical signal processing technologies

K. Kikuchi, K. Igarashi, H. M. Nguyen, M. Usui, H. Okui, and L. Jin

1.1 光信号処理デバイス

高非線形石英ガラスファイバの四光波混合を用いた，光パラメトリック増幅の研究を行っている。今年度は，増幅器が全光学的リミッタ動作する時の雑音特性を解析した。

また，コヒーレント光受信器と IQ 光変調器の組み合わせにより，全光学的パラメトリックデバイスと同等の機能が得られることを明らかにした。この方式により，位相共役や位相感応型光増幅を実現することができる。現在，実験的検証を計画中である。

We study optical parametric amplifiers based on highly nonlinear silica-glass fibers. In this year, we have analyzed noise characteristics of such amplifiers when they operate in the limiting amplifier mode.

The combination of coherent optical receivers and optical IQ modulators enables the function same as the all-optical parametric device. Based on this idea, we propose novel schemes for optical phase conjugation and phase-sensitive optical amplification. Experimental verification of them is now under way.

1.2 超高速時間多重分離・クロック再生

光受信器には時間多重分離機能とクロック再生機能が必須となる。100 Gbit/s を超えるビットレートでは、従来の様に、電子回路を用いて、これら機能を超高速に実現することは容易ではない。光変調器を介して電気信号で光信号を処理する光電処理法は、100 Gbit/s 程度の光信号処理を実現する現実的な方式である。

我々が提案した $LiNbO_3$ 光変調器ベースの新規方式は、変調器帯域の 4 倍のビットレートの信号を処理することが可能である。したがって、既に商用化されている 40 Gbit/s 用変調器を用いることによって 160 Gbit/s 光信号の処理が可能となる。本方式では、時間多重分離とクロック再生の両機能が同時に実現され、その結果、高安定な動作も可能となる。提案方式を用いて、40 km 光ファイバ伝送後の 160 Gbit/s 光信号を 40 Gbit/s 光信号に多重分離し、エラーフリー動作を確認した。システム実験への応用が可能な安定動作も実現された。

Optical receivers require functions of time division demultiplexing and clock recovery, with which received high bit-rate serial data are converted into parallel data at a lower bit rate. At bit rates higher than 100 Gbit/s, it becomes more and more difficult to realize such functions by using electronic circuits. A promising approach to cope with this difficulty is optoelectronic signal processing, which demultiplexes a high-speed optical signal into optical tributaries with optical modulators.

We have proposed novel optoelectronic signal processing based on $LiNbO_3$ optical modulators. Our proposal scheme requires only a quarter bandwidth of an optical signal; hence, we can perform signal processing of 160-Gbit/s optical signals by using 40-GHz LN modulators. Using our scheme, we have demonstrated demultiplexing of a 160-Gbit/s optical signal transmitted through a 40-km dispersion-shifted fiber. Receiver sensitivities are ranging from -23 to -25 dBm for all 40-Gbit/s tributaries.

1.3 光 FIR フィルタを用いた光等化器

超高速・長距離光ファイバ伝送システムでは、伝送路の分散だけでなく光フィルタや光増幅器による帯域制限による光信号線形歪みが顕著となる。この歪みを補償するには、光信号の位相成分だけでなく振幅成分も補償する光等化器が必要となる。

我々は、光等化を実現するデバイスとして、平面導波路光回路を用いて光有限インパルス応答（FIR）フィルタを作製した。この回路の光遅延部を制御することによって、任意の伝達関数を近似的に実現することが可能となる。30 箇所を超える光遅延部を正確に制御する方式を新規提案し、フィルタ伝達特性の任意制御を実現した。

提案方式を用いて、16 タップ光 FIR フィルタの伝達関数の任意制御を実現した。実際に、振幅制限・位相回転を同時補償する光等化器を実現し、40 Gbit/s 光信号に対する性能を評価した。

Fiber dispersion of the transmission lines and bandwidth limitation of optical filters and amplifiers give rise to a serious linear distortion on optical signals in ultra-fast and long-haul optical fiber transmission systems. One of suppression technique for such linear distortion is based on use of optical equalization, where phase rotation and amplitude limitation of optical signals are compensated.

For realizing optical equalizers, we have demonstrated an optical finite impulse response (FIR) filter based on planer lightwave circuit technique. Tap coefficients of such an FIR filter are tuned by locally heating waveguides, and the desired transfer function is obtained. We have proposed a novel technique for controlling a number of tap coefficients of an optical FIR filter, and demonstrated manipulation of an arbitrary transfer function in the optical domain.

Using our proposed technique, we have demonstrated to control arbitrarily the transfer function of the optical FIR filters. Indeed, we realized a tunable optical equalizer for compensating the phase rotation and the amplitude limitation of optical signals, and the performance for 40-Gbit/s OOK optical signals was evaluated.

1.4 超高速光ファイバ伝送のシステム実験

光ファイバ伝送性能は、シンボルレートだけでなく変調フォーマットにも大きく依存する。更なる伝送システムの大容量化の実現には、シンボルレートを高速化すると共に、高度な変調方式を選択することが重要となる。我々は、100 Gsymbol/s を超える超高速光ファイバ伝送システムを構築し、そこでの伝搬物理を明らかにしている。上述、光信号処理を駆使して 160 Gsymbol/s でも動作する光信号発生器及び光受信器を実現し、OOK, DBPSK, DQPSK といった変調フォーマットを実現できる 160 Gsymbol/s 波長多重伝送システムを構築した。

その第一歩として、40Gsymbol/s における伝送特性を明らかにした。位相変調光信号は、光非線形効果による歪みに対する耐性が強いことが示され、40 Gsymbol/s DQPSK 信号の 1,000km 伝送でもエラーフリー動作が可能であることが示された。更に、10,000km 程度の伝送を実現するために、周回実験を構築中である。

The performance of optical fiber transmission depends strongly on the symbol rate of the optical signals as well as the modulation format such as OOK, BPSK, QPSK, and so on. We have constructed long-haul ultra-fast optical fiber transmission systems in order to investigate a great variety of effects occurring on the transmission. Based on the techniques of the optical signal processing, we realized a 160-Gsymbol/s transmission system over 1,000 km applicable to various kinds of modulation format such as OOK, DBPSK, and DQPSK.

First, we have investigated transmission characteristics of 40-Gsymbol/s optical signals. We showed that phase modulation signals have large tolerance for the waveform distortion due to the nonlinear effects, and demonstrated error-free operation of 80 Gbit/s DQPSK transmission. Next target is investigation of the performance of the 160-Gsymbol/s transmission for OOK, DBPSK, and QPSK formats. In addition, the loop configuration of transmission line is also constructed for realizing 10,000 km transmission.

1.5 時間軸拡張機能を用いた超高速光信号波形の実時間測定

シンボルパターン依存の波形歪みを評価する上で、実時間波形測定は必要不可欠である。一般に、光信号波形の実時間測定には受光素子と実時間オシロスコープが用いられるものの、それらには電子回路による帯域制限が存在する。

我々は、光信号の時間軸を拡張する機能を備えた超高速光信号波形のシングルショット測定法を提案した。光信号波形のあるブロックを、時間軸上に拡張した後、フォトダイオードと実時間オシロスコープで測定する。この提案手法に基づき、15 GHz 帯域の測定装置を用いて、160 Gbit/s 強度変調光信号波形の実時間測定を実現した。

The measurement system should have single-shot measurement capability as well as high temporal resolution, in order to diagnose the inter-symbol interference effect in real time. The real-time waveform measurement of optical signals is usually achieved by a real-time oscilloscope followed by optical detection; however, the temporal resolution of such a scheme is severely limited by bandwidths of electrical components.

We propose a novel method of single-shot waveform measurement, which is applicable to ultrafast optical signals over 100 Gbit/s. We introduce the principle of the time-stretching technique. The time axis of the waveform under test is stretched by dispersing a linearly-chirped pulse, which is intensity-modulated by the waveform of the signal under test in an all-optical manner. Then, the time-stretched waveform is measured by a low-speed real-time oscilloscope. Using our proposed scheme, we demonstrate waveform measurement of 160-Gbit/s return-to-zero on-off-keying optical signals.

2. コヒーレント光通信技術

菊池和朗・加藤一弘・五十嵐浩司・森洋二郎・張超・Faruk Md. Saifuddin・山本卓矢・大崎将行・渋下要・見寺健・田代諭拡

Coherent optical communication technologies

K. Kikuchi, K. Katoh, K. Igarashi, Y. Mori, C. Zhang, Faruk Md. Saifuddin, T. Yamamoto, M. Osaki, K. Shibushita, K. Mitera, and Y. Tashiro

2.1 多値光変復調方式

今後，光周波数利用効率の極限的な改善をはかる場合，変復調方式に関する再検討を行うことが重要である。我々は，デジタルコヒーレント光受信器を提案し，これを用いた多値光変復調方式の研究を進めている。ホモダイン受信信号を高速 AD 変換器でデジタル信号に変換した後，デジタル信号処理を行なってキャリア位相を推定することにより，どのような変調フォーマットにでも対応することが可能になった。 10Gsymbol/s で，２，４，8 相 PSK および 16 相, 32 相 QAM 信号の変復調に成功している。

しかしこれらの多値光伝送特性は，多値度があがるにつれて符号間干渉に弱くなる。現在，光/電気フィルタの帯域制限，WDM チャンネル間クロストーク，光ファイバの分散分布，光ファイバの非線形性を考慮した多値光伝送用シミュレータを作製し，多値信号の長距離伝送特性を解析している。今後，実験的検証を行う予定である。

また，光 OFDM 技術の新たな応用についても検討を進めている。

The efficient use of the optical spectrum is one of the most important issues in the next-generation broadband optical network. We have proposed the digital coherent receiver, and investigated novel modulation formats with such a receiver. We can cope with any kind of modulation format with digital signal processing on the homodyne-detected electrical signal,

which enables carrier phase estimation in the digital domain. We have demonstrated demodulation of 2, 4, 8 phase-shift keying (PSK), and 16, 32 quadrature amplitude modulation (QAM) signals.

However, transmission characteristics of such high-level modulation formats suffer from inter-symbol interference. We have completed a simulation program including optical/electrical bandwidth limitation, crosstalk between WDM channels, dispersion allocation of the link, and fiber nonlinearity, and analyzed transmission characteristics of multi-level modulation formats. Experimental verifications are now under way.

Novel applications of the optical OFDM scheme are also investigated.

2.2 信号等化技術

デジタルコヒーレント光受信器は，光の電界を測定しているため，デジタル領域において受信信号を等化することができる。このような電気段での光ファイバの群速度分散および偏波依存損失，偏波分散の等化技術に関して研究を進めている。

まず，時間領域および周波数領域におけるブラインド等化アルゴリズムに関して，計算量を考慮した比較検討を行っている。さらに等化器のタップ係数から，伝送路の群速度分散，偏波依存損失，偏波分散をモニタするアルゴリズムを開発し，40Gbit/s 偏波多重 QPSK 伝送実験により，その有効性を検証した。

また，光ファイバの非線形性を等化する手法についても検討している。

Since the digital coherent receiver measures the complex amplitude of the optical electric field, any linear impairment can be equalized in the digital domain. We have investigated electrical equalization of fiber chromatic dispersion (CD), polarization-mode dispersion (PMD), and polarization-dependent loss (PDL).

First, we compare blind equalization algorithms in the time domain and the frequency domain, considering their computational complexity. Second, we develop a novel method of monitoring CD, PMD, and PDL from tap coefficients of the equalizer. Using such method, we have demonstrated performance monitoring of the 40-Gbit/s dual-polarization QPSK system.

Equalization of fiber nonlinearity is also our concern. We have proposed a novel equalization algorithm having less computational complexity.

2.3 超高速コヒーレント受信器

デジタルコヒーレント受信器が処理できる信号の最高シンボルレートは AD 変換器の動作速度により制限される。この速度制限を克服するために、これまでに時間多重分離機能を持つデジタルコヒーレント受信器を提案し、時間領域における並列処理により高速信号を処理できることを示した。この受信器は LO 光に光パルス列を用い、光サンプリングを行うことで光信号を時間多重分離する。これまでにシンボルレート 160GSymbol/s において偏波多重 16QAM 信号を用いることにより，単一キャリアを 1.28Tbit/s で変復調することに成功している。

一方、高速信号の並列化は周波数領域でも行うことができる。この受信器は LO 光に複数の光周波数コムを用い、高速光信号をサブバンドに帯域分割して並列処理する。各サブバンドはデジタル領域でフーリエ変換された後、周波数領域で合成される。その後、逆フーリエ変換を行うことで元の信号が得られる。5GHz 帯域の受信器を用いて 10Gsymbol/s QPSK 信号の復調に成功している。

The highest symbol rate of digital coherent receivers is determined from the speed of AD converters. To overcome this speed limit, we have proposed the digital coherent receiver having the time-division demultiplexing function where LO pulse trains sample serial data in parallel. By using such a receiver, demodulation of 160-Gsymbol/s dual-polarization 16QAM signals has been demonstrated, and the transmission capacity has reached 1.28Tbit/s with a single carrier.

On the other hand, parallel signal processing in the frequency domain also enables high-speed operation of the digital coherent receiver. Each subband of the wideband optical signal is homodyne detected by frequency comb of LO. Such subband information is processed in the digital domain, and the original signal is reconstructed. We have demonstrated reconstruction of 10Gsymbol/s QPSK signals with two 5-GHz receivers in parallel.

2.4 コヒーレント光通信用半導体レーザ

コヒーレント光通信では，位相雑音特性の良好な半導体レーザが要求される。デジタルコヒーレント受信器を用いて，半導体レーザのスペクトル線幅，FM 雑音，位相雑音を解析する装置を試作し，コヒーレント光通信用各種半導体レーザの評価を進めている。

また，局発レーザ周波数を送信用半導体レーザの周波数に追尾させる AFC 回路を開発しており, デジタルコヒーレント受信器に組み込む予定である。

Coherent optical communication systems require semiconductor lasers with superior phase-noise characteristics. We have constructed a phase-noise analyzer based on an offline digital coherent receiver, and measured field spectrum, FM noise, and PM noise of various kinds of semiconductor lasers for coherent optical communications..

In addition, we have developed an AFC circuit, which enables the LO frequency to track the signal frequency. We try to introduce such an AFC circuit into the digital coherent receiver.

2.5 ナイキスト波長多重分離技術

光伝送システムにおいて周波数利用効率を向上するアプローチの一つが WDM 周波数間隔を狭くし高密度化する方法である。高密度 WDM を達成するには、隣接チャネルとのクロストークを抑圧することが求められ、光信号スペクトルの狭窄化が必須と成る。波形歪みなく両側

波帯をシンボルレート周波数まで狭帯域可能な理想的な特性はナイキストフィルタによって達成される。特に、矩形状バンドパス特性ナイキストフィルタは、WDM した際の隣接チャネル間クロストークがなく、フィルタリングによる波形歪みも発生しないために最適である。この多重技術は「ナイキスト WDM」と呼ばれ、1 symbol/s/Hz の周波数利用効率が実現可能となる。

我々は、ナイキスト WDM を実現し、そのビット誤り率特性を評価した。電気段デジタル信号処理（DSP）とディジタル・アナログ変換（DAC）、そして光直交振幅変調器（IQM）を用いて、10 GHz 帯域の矩形状光スペクトル波形を有する 40-Gsymbol/s 偏波多重（PM）QPSK 光信号を生成し、それらを 10 GHz 間隔で波長多重することで、周波数利用効率 4 bit/s/Hz のナイキスト WDM を実現した。その BER を測定した結果、WDM クロストークや ISI によるペナルティが充分に抑圧されていることが示された。

For realizing ultra-high capacity optical fiber networks, it is indispensable to improve the spectral efficiency in WDM transmission systems. One approach is tight spectral filtering of optical signals for reducing WDM channel spacing, and it is effective for any modulation format. In order to minimize the penalty due to crosstalk between closely spaced WDM channels, it is required to reshape optical spectra through optimal filtering at the electrical stage or the optical stage.

The Nyquist filter can reduce the double-sided spectral width of the signal to its symbol rate without any inter-symbol interference (ISI). In particular, the Nyquist filter having a rectangular-shaped passband is ideal for WDM transmission systems, because the channel spacing can be set to the symbol rate. When rectangular-shaped spectra are multiplexed in the wavelength domain with no space between WDM channels, This method of multiplexing is now called Nyquist WDM, and we can achieve the spectral efficiency of 1 symbol/s/Hz.

We experimentally evaluated bit-error rate (BER) characteristics of the Nyquist WDM system, where polarization-multiplexed QPSK (PM-QPSK) signals with rectangular-shaped spectra are aligned at frequency interval equal to the symbol rate. We generate a 20-Gsymbol/s QPSK signal having a rectangular-shaped spectrum with a 10-GHz bandwidth, using digital-to-analog conversion (DAC) following digital signal processing (DSP) at the electrical stage and IQ optical modulation. Multiplexing such signals with channel spacing of 10 GHz, we achieve the spectral efficiency of 4 bit/s/Hz. BER measurements in such Nyquist WDM environment show that there are negligible power penalties stemming from either ISI or WDM crosstalk because of precise Nyquist filtering at the electrical stage.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] K. Kikuchi, “Clock recovering characteristics of adaptive finite-impulse-response filters in digital coherent optical receivers,” Optics Express, vol.19, no.6, pp.5611-5619 (March 2011).

[2] Md. S. Faruk, Y. Mori, C. Zhang, K. Igarashi, and K. Kikuchi, “Multi-impairment monitoring from adaptive finite-impulse-response filters in a digital coherent receiver,” Optics Express, vol.18, no.26, pp.26929-26936 (Dec. 2010).

[3] H. C. Lim, A. Yoshizawa, H. Tsuchida, and K. Kikuchi,“Wavelength-multiplexed entanglement distribution,” Optical Fiber Technology, vol.16, no.4, pp. 225-235 (August 2010).

国際会議

[4] K. Igarashi, Y. Mori, K. Katoh, and K. Kikuchi, “Bit-error rate performance of Nyquist wavelength-division multiplexed quadrature phase-shift keying optical signals,” Optical Fiber Communications Conference (OFC 2011), Los Angeles, CA, USA, OMR6 (6-10 March 2011).

[5] K. Kikuchi and K. Igarashi, “Characterization of semiconductor-laser phase noise with digital coherent receivers,” Optical Fiber Communications Conference (OFC 2011), Los Angeles, CA, USA, OML3 (6-10 March 2011).

[6] Md. S. Faruk, Y. Mori, C. Zhang, K. Igarashi, and K. Kikuchi, “Second-order PMD monitoring from adaptive FIR-filter tap coefficients in a digital coherent receiver,” Optical Fiber Communications Conference (OFC 2011), Los Angeles, CA, USA, OWN3 (6-10 March 2011).

[7] K. Kikuchi, “High-speed digital coherent receiver having time-division demultiplexing function," Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP2010), Shanghai, China, ThA1 (9-12 Dec. 2010).

[8] C. Zhang, Y. Mori, K Igarashi, K. Katoh, and K. Kikuchi, “Ultrafast digital coherent receiver based on parallel processing of decomposed frequency subbands,” European Conference on Optical Communication (ECOC 2010), Torino, Italy, Th.10.A.5 (19-23 Sept. 2010).

[9] Md. Faruk, Y. Mori, C. Zhang, and K. Kikuchi, “Multi-impairments monitoring from the equalizer in a digital coherent optical receiver,” European Conference on Optical Communication (ECOC 2010), Torino, Italy, Th.10.A.1 (19-23 Sept. 2010).

[10] H. M. Nguyen, K. Igarashi, K. Katoh, and K. Kikuchi, “Tunable optical equalizer for 40-Gbps intensity-modulated signal using PLC-based finite-impulse-response filter,” European Conference on Optical Communication (ECOC 2010), Torino, Italy, We.8.E.4 (19-23 Sept. 2010).

[11] K. Kikuchi, “Coherent optical modulation and demodulation,” International Conference on Optical Internet (COIN 2010), The Shilla Jeju, Korea, MoC1-1 (11-14 July 2010).

[12] K. Kikuchi, “Coherent optical transmission systems,” Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2010), Sapporo, Japan, 7B1-1 (5-9 July 2010).

[13] Md. S. Faruk, Y. Mori, C. Zhang, and K. Kikuchi, “Proper polarization demultiplexing in coherent optical receiver using constant modulus algorithm with training mode,” Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2010), Sapporo, Japan, 9B3-3 (5-9 July 2010).

[14] M.-T. Liu, H. C. Lim, S. Y. Set, D. Wang, Y.-N. Sun, and K. Kikuchi, “Novel design of optical sampling system using SFG in PPLN with pump-induced-SHG suppression” Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2010), Sapporo, Japan, 8E1-3 (5-9 July 2010).

国内学会

[15] 大崎将行, 菊池和朗, “多値 FSK コヒーレント受信方式を用いた超高感度光受信器, ” 電子情報通信学会総合大会, B-10-43, 東京都市大学世田谷キャンパス, 2011 年 3 月 14 日-17 日.

[16] 菊池和朗, “デジタルコヒーレント光受信器の非同期クロックモード動作,” 電子情報通信学会総合大会, B-10-48, 東京都市大学世田谷キャンパス, 2011 年 3 月 14 日-17 日.

[17] 五十嵐浩司, 森洋二郎, 加藤一弘, 菊池和朗, “ナイキスト波長多重 QPSK 光信号のビット誤り率特性,” 電子情報通信学会総合大会, B-10-35, 東京都市大学世田谷キャンパス, 2011 年 3 月 14 日-17 日.

[18] Md. S. Faruk, Y. Mori, C. Zhang, and K. Kikuchi, “Frequency-domain adaptive equalization for polarization-multiplexed coherent optical transmission systems,” 電子情報通信学会総合大会, B-10-49, 東京都市大学世田谷キャンパス, 2011 年 3 月 14 日-17 日.

[19] 張超, 森洋二郎, 五十嵐浩司, 加藤一弘, 菊池和朗,“帯域分割並列処理によるディジタルコヒーレント受信器の超高速化,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-10-76, 大阪府立大学, 2010 年 9 月 14 日-17 日.

[20] Md. S. Faruk and K. Kikuchi, “Frequency-domain adaptive equalization for coherent optical transmission system,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-10-71, 大阪府立大学, 2010 年 9 月 14 日-17 日.

[21] 奥井寛樹, 五十嵐浩司, 菊池和朗, “40G-symbol/s 差動位相偏移変調光信号の波長多重 1000ｋｍファイバ伝送,”電子情報通信学会光通信システム研究会, OCS2010-107,徳島大学, 2011 年 1 月 27-28 日.

[22] 張超, 森洋二郎, 五十嵐浩司, 加藤一弘, 菊池和朗, “サブバンド分割によるディジタルコヒーレント受信器の超高速化,” 電子情報通信学会光通信システム研究会, OCS2010-69, 門司港レトロ・港ハウス, 2010 年 10 月 28 日-29 日.

[23] 五十嵐浩司, Hoang Manh Nguyen, 加藤一弘, 菊池和朗, “光有限インパルス応答フィルタを用いた超高速光信号等化技術, ”電子情報通信学会光通信システム研究会, OCS2010-70, 門司港レトロ・港ハウス, 2010 年 10 月 28 日-29 日.

[24] 菊池和朗, “超 100Gb/s 化に向けた多値コヒーレント伝送技術の展開,“ 電子情報通信学会第 2 種研究会, 第 4 回超高速光エレクトロニクス研究会, 東京大学先端科学技術研究センター, 2010 年 4 月 5 日.

解説

[25] 菊池和朗, “コヒーレント光通信の過去, 現在, 未来,”日本学術振興会　光ネットワークシステム技術第 171 委員会 第 41 回研究会, 2011 年 3 月 1 日, 東大山上会館

[26] 菊池和朗, “コヒーレント光通信 －過去、現在、そして未来－,”応用物理学会 日本光学会 微小光学研究グループ第 117 回微小光学研究会「蘇るコヒーレント光通信と微小光学」, 東京工業大学蔵前会館, 2010 年 10 月 5 日.

[27] 菊池和朗, “コヒーレント光通信方式発展の歴史と最新研究動向,” 平成22年度フォトニックネットワーク新時代における産業・技術懇談会　第2回公開討論会, 東京大学, 2010年7月28日.

著書

[28] K. Kikuchi, “Coherent optical communications: Historical perspectives and future directions,” in High Spectral Density Optical Communication Technologies,” Edited by M. Nakazawa, K. Kikuchi, and T. Miyazaki (Springer Verlag, 2010 年), Chap.2.

中野・種村研究室
Nakano and Tanemura Laboratory
(http://www.ee.t.u-tokyo.ac.jp/~nakano/lab/)

研究現況
Current Research Projects

1. 半導体モノリシック光集積回路とフォトニックネットワーキング

中野義昭・杉山正和・種村拓夫・肥後昭男・李凌翰・郭命俊・財津優・J. 0. ヒェルマン・大和文彦・崔洙赫・藤本悠・崔成漢・陳超

Monolithically Integrated Semiconductor Photonic Circuits and Photonic Networking

Y. NAKANO, M. SUGIYAMA, T. TANEMURA, A. HIGO, L. H. LI, M. KWACK, M. ZAITSU, J. O. KJELLMAN, F. YAMATO, S. CHOI, Y. FUJIMOTO, S. CHE, and C. CHAO

モノリシック集積された半導体光デバイス／回路は、単体素子では得られない多くの機能や高い性能が実現され得るため、高度な光通信、光情報処理・記録、光計測を行う際の切り札として期待されている。本課題では、新しいモノリシック光集積回路(光 IC)の試作・開発を行うとともに、能動素子／受動素子一括集積技術を研究している。

具体的には、光回路でデジタル信号処理を可能にする全光フリップフロップを開発し、光パケットルータへの適用実験を行っている。これまでに、分布ブラッグ反射（DBR）多モード干渉計（MMI）全光フリップフロップの試作・検証を初めとして、多重量子井戸（MQW）活性層に伸張歪みを導入した偏波無依存化、電流注入による波長可変動作、マッハチェンダー干渉計（MZI）構造を用いた低消費電力・高速動作化など、特性改善を進めてきた。同時に、他光素子との一括集積技術を構築し、全光フリップフロップと半導体増幅器マッハチェンダー干渉計（SOA-MZI）全光スイッチのモノリシック集積に世界で初めて成功した。最近では、光クロックへの同期動作を可能にする新構造を提案し、原理実証に成功した。

一方、光信号の高速ルーティングを可能にするスケーラブルな集積マトリクス光スイッチの研究開発も進めている。フェーズアレイを用いた半導体光スイッチを新たに提案し、InP 基板上に集積した 1×5 光スイッチ、低偏波依存 1×8 スイッチ、1×16 光スイッチを相次いで実現し、広波長帯域性、高速応答性などを実証した。また、開発した光スイッチを用いて、時間分割・波長多重光パケットスイッチング実験や全光バッファ実験を行い、光ルータへの適用性を明らかにした。さらに最近では、世界最大規模となる 1×100 光スイッチの作製に成功し、本手法のスケーラビリティを実証した。

また、これらと並行して、マイクロマシン技術を適用した高機能光デバイスの開発も進めており，シリコン細線光導波路と NEMS/MEMS を融合した光フィルタの開発を行っている.

Monolithically integrated semiconductor optical devices and circuits are the key to advanced optical communication, optical information processing, and optical measurement applications, since they could provide complicated functions that cannot be obtained with discrete devices.

More specifically, we have developed all-optical flip-flops, the essential elements for the photonic digital processing, and demonstrated in various optical packet routing experiments. Starting with the fabrication of the first multi-mode interference (MMI) all-optical flip-flop with distributed Bragg reflectors (DBRs), we have successfully achieved polarization-independent operation by introducing tensile strain into the multi-quantum-well (MQW) active layers, wavelength tuning by current injection, and low-power high-speed operation by employing Mach-Zehnder interferometer (MZI) configuration. At the same time, we have developed the fabrication technique to realize the world-first monolithic integration of an all-optical flip-flop with an all-optical switch based on semiconductor optical amplifier Mach-Zehnder interferometer (SOA-MZI). More recently, we have proposed and demonstrated a novel structure to realize optically clocked flip-flop operation.

In addition, we have also been working on scalable integrated matrix optical switches that enable fast routing of optical signals. We have proposed a novel type of photonic integrated switch based on optical phased array. We have realized the first 1x5 switch, polarization-insensitive 1x8 switch, and 1×16 switch on InP substrates and demonstrated the wide operating optical bandwidth as well as fast switching response. Using these switches, we have also demonstrated optical-time-division and wavelength-division multiplexed packet switching as well as all-optical buffering experiments, showing the potential applicability to optical routers. More recently, we have succeeded in fabricating the world-first monolithically integrated 1×100 switch and demonstrated the scalability of the phased-array scheme.

Concurrently, we have also been working on variable wavelength filter devices based on nano to micro-fabrication integration

2. 高度量子マイクロ構造に基づく全光スイッチと光制御デバイス

中野義昭・杉山正和・種村拓夫・肥後昭男・H. ソダーバンル

All-Optical Switches and Light-Controlling Devices Based on Advanced Quantum Microstructures

Y. NAKANO, M. SUGIYAMA, T. TANEMURA, A. HIGO, and H. SODABANLU

半導体量子井戸／超格子構造のポテンシャル形状を人工的に原子層オーダで制御すると、本来半導体の持っていた光物性を大幅に改変することができる。本研究で

は、そのような人工光物性を利用して、半導体光変調器／光スイッチや光制御デバイスの性能革新を行うことを目的としている。

特に、将来の超高速全光スイッチに向けて、窒化物ヘテロ構造におけるサブバンド間遷移(ISBT)の研究を行っており、有機金属気相エピタキシー(MOVPE)と分子線エピタキシーとのハイブリッド成長により、これまでで最小の光パルスエネルギーによる 1.55μm 帯の全光スイッチングを実現した。また、パルスインジェクション法を用いて AlN/GaN 多重量子井戸を低温 MOCVD 成長することで、世界で初めて、全MOCVDによる1.55μm帯ISBT量子井戸を実現し、過飽和吸収特性の測定に成功した。同時に、ウェット／ドライハイブリッドエッチング技術による AlN リッジ導波路の伝搬損失低減手法を提案し、また、新規光スポットサイズ変換器を開発し、スイッチングパワーの更なる低減化に向けて研究を進めている。

By artificial manipulation of potential profiles in semiconductor quantum well and super lattice structures with accuracy of atomic order, one may significantly alter inherent optical properties of semiconductors. The purpose of this research is to bring about innovation in semiconductor optical modulators/switches and light-controlling devices by making use of such artificial optical properties.

More specifically, our research focuses on intersubband transition (ISBT) in Nitride-based heterostructures for the future ultrafast all-optical switches. All-optical switching at 1.55-μm wavelength has been achieved with the minimum optical pulse energy to date by utilizing hybrid growth of metal-organic vapor phase epitaxy (MOCVD) and molecular beam epitaxy. Moreover, we have recently realized, for the first time in the world, all-MOCVD-grown 1.55-μm ISBT multi-quantum-well (MQW) structures by using the pulse-injection MOCVD technique for low-temperature growth of AlN/GaN MQWs and demonstrated its saturable absorptive characteristic at 1.55-μm wavelength. At the same time, we have also developed a wet/dry hybrid etching technology to reduce the propagation loss of AlN ridge waveguides as well as novel type of spot-size converter to achieve further reduction of switching power.

3. 次世代半導体レーザ・光インターコネクト・光能動機能素子

中野義昭・杉山正和・種村拓夫・肥後昭男・宋学良・王書栄・F.-C. イット・堀口勝正・李凌翰

Next Generation Semiconductor Lasers, Optical Interconnection and Active Optical Devices with Advanced Functions

Y. NAKANO, M. SUGIYAMA, T. TANEMURA, A. HIGO, X.-L. SONG, S.-R. WANG, F.-C. YIT, K. HORIGUCHI, and L. H. LI

次世代光通信・光情報処理を担う小型高性能光源や光インターコネクション技術の開発を目的に研究を行っている。これまで世界に先駆けて行ってきた利得結合(GC)分布帰還型(DFB)半導体レーザ、低密度 WDM（CWDM）用波長多重モノリシック集積レーザアレイを始めとし、各種高機能レーザや光配線技術を開発している。

特に、強磁性金属と半導体光アンプから形成される集積化可能な導波路型光アイソレータの提案と試作実証を進めている。これまで、TE/TM 偏波モード導波路型光アイソレータの開発を始めとして、DFB レーザと TE モード光アイソレータのモノリシック集積化など、顕著な成果を挙げてきた。さらに、リングレーザに光アイソレータを集積することで、外部磁場により発振方向を制御することに世界で初めて成功した。最近では、非対称導波路構造を持つ非相反偏波コンバータを新たに提案し、デバイスの試作・原理検証に成功した。

一方、将来の光インターコネクション技術の確立に向けて、レーザ等の光能動素子をシリコンプラットフォームにヘテロ集積する研究を新たに開始した。シリコン細線導波路上に InP 能動素子を貼り付けた構造を新たに提案し、酸素プラズマ処理による直接接合デバイスの試作を行っている。最近では、シリンコン層からの電流注入によりレーザ発振させることに初めて成功し、シリコンチップ上発光素子としての可能性を明らかにした。さらに、シリコン光インターコネクションのための 3 次元スポットサイズコンバータをマイクロマシン技術を用いて作製し、LSI プロセスとの融合性を実証した.

For the next-generation optical communication and optical information processing applications, we have been developing compact and high-performance light sources as well as optical interconnecting devices. Starting with the gain-coupled (GC) distributed feedback (DFB) semiconductor laser and the wavelength-multiplexed monolithically integrated laser array for coarse WDM applications, we have been working on various types of highly functional lasers and optical interconnection devices.

Proposal and fabrication of an integratable waveguide optical isolator consisting of a ferromagnetic metal and a semiconductor optical amplifier have been carried out in recent years, resulting in significant achievements, such as the monolithic integration of a DFB laser with TE-mode optical isolator, a TM-mode optical isolator with epitaxially grown MnAs or MnSb ferromagnetic layer, and the world-first ring laser with integrated isolator, whose lasing direction could be controlled by an external magnetic field. More recently, we have proposed a novel type of nonreciprocal polarization converter with asymmetric waveguide structure and demonstrated its operation experimentally.

In addition, we have also launched a research on hetero-integration of lasers and active devices on silicon platform for the future optical interconnection. We have proposed a novel structure of bonding InP active devices onto silicon wire waveguides and demonstrated the device fabrication using an oxygen-plasma-assisted direct bonding

technique. More recently, we have achieved lasing by injecting current from the silicon layer, for the first time. These results support the promising potentials of the proposed device as a light source on a silicon chip. Furthermore, we have proposed and developed Si based three dimensional spot size convertor for optical interconnect and LSI integration.

4. 化合物半導体量子構造を用いたポストシリコン超高効率太陽電池

中野義昭・杉山正和・肥後昭男・渡辺健太郎・王云鵬・H. ソダーバンル・Y. ウェン・藤井宏昌

Post-Silicon Highly Efficient Solar Cells with Compound Semiconductor Quantum Structures

Y. NAKANO, M. SUGIYAMA, A. HIGO, K. WATANABE, Y. WANG, H. SODABANLU, R. ONIZUKA, Y. WEN, and H. FUJII

将来の低炭素サステイナブル社会の構築に向けて、40%以上のエネルギー変換効率を持つポストシリコン太陽電池の実現が期待されている。本課題では、従来からの化合物半導体タンデム太陽電池に、多重量子井戸（MQW）構造を導入した新型太陽電池の研究を進めている。MQW 構造を用いることで、格子整合条件を保ちながら歪みを緩和し、効果的に中間層のエネルギーバンドギャップを長波長化することが可能になる。その場歪みモニタリング機能を装備した有機金属気相エピタキシー（MOCVD）装置を用いることで、GaAs 基板との横方向格子整合条件を完璧に満たしながら、最大 100 層の InGaAs/GaAsP MQW 構造の結晶成長に成功し、障壁層の薄層化と界面制御により 3.3mA/cm2 の短絡電流増加を達成した。また、新たに階段型量子井戸を導入することで、吸収端を 1μm まで長波長化することに成功した。

並行して、太陽電池モジュール表面における太陽光の反射を効果的に抑圧する微細加工構造を新たに提案し、実際に GaAs 太陽電池に適用して、7%の変換効率向上を達成した。さらに、超高倍率集光型太陽光発電の実現へ向けて、直列構造モノリシック集積太陽電池の開発を進め、5 素子の直列接続 GaAs 太陽電池の試作を行った。

The post-silicon solar cells with the energy conversion efficiency exceeding 40% are highly desired for the future low-carbon sustainable human society. To this end, we have launched the research on a novel type of multi-junction solar cells based on compound semiconductor. More specifically, strain-balanced multi-quantum-well (MQW) layers were introduced to a conventional tandem solar cell, which allows the effective bandgap narrowing of the middle cell while keeping the lattice matching condition. Using metal-organic vapor phase epitaxy (MOCVD) with *in-situ* strain monitoring, we have successfully grown up to 100 stacks of InGaAs/GaAsP MQW layers with complete lattice matching to the GaAs substrate in the lateral direction. By thinning barrier layers and controlling interface structures, we have achieved short circuit current increase of 3.3mA/cm2. Newly introduced stepped quantum wells have successfully extended absorption edge wavelength up to 1 μm.

At the same time, we have also proposed a novel nano-structure to be introduced at the surface of solar cells, which has actually contributed to improving the conversion efficiency by 7% in a GaAs solar cell. In addition, we have started development of monolithic series-connected photovoltaic (PV) cells for highly concentrated photovoltaic systems. We have successfully fabricated a GaAs-based PV cell with 5-element series connection.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Ryusuke Onitsuka, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano : “High material efficiency MOVPE growth with in situ monitoring,” Journal of Crystal Growth, vol. 312, Issue 8, pp. 1343-1347, April 1 (2010).

[2] Yoshiyuki Kondo, Momoko Deura, Yuki Terada, Takuya Hoshii, Mitsuru Takenaka, Shinichi Takagi, Yoshiaki Nakano, and Masakazu Sugiyama : “Initial growth of InAs on P-terminated Si (111) surfaces to promote uniform lateral growth of InGaAs micro-discs on patterned Si,” Journal of Crystal Growth, vol. 312, Issue 8, pp. 1348-1352, April 1 (2010).

[3] Momoko Deura, Yoshiyuki Kondo, Mitsuru Takenaka, Shinichi Takagi, Yoshiaki Nakano, and Masakazu Sugiyama: “Twin-free InGaAs thin layer on Si by multi-step growth using micro-channel selective-area MOVPE,” Journal of Crystal Growth, vol. 312, Issue 8, pp. 1353-1358, April 1 (2010).

[4] Yuki Terada, Yukihiro Shimogaki, Yoshiaki Nakano, and Masakazu Sugiyama: “In situ anti-oxidation treatment in GaAs MOVPE by as desorption and passivation with AlP,” Journal of Crystal Growth, vol. 312, Issue 8, pp. 1359-1363, April 1 (2010).

[5] Yunpeng Wang, Ryusuke Onitsuka, Momoko Deura, Wen Yu, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: “In situ reflectance monitoring for the MOVPE of strain-balanced InGaAs/GaAsP quantum-wells,” Journal of Crystal Growth, vol. 312, Issue 8, pp. 1364-1369, April 1 (2010).

[6] Masafumi Yokoyama, Tetsuji Yasuda, Hideki Takagi, Noriyuki Miyata, Yuji Urabe, Hiroyuki Ishii, Hisashi Yamada, Noboru Fukuhara, Masahiko Hata, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, Mitsuru Takenaka, and Shinichi Takagi: “III-V-semiconductor-on-insulator n-channel metal-insulator-semiconductor field-effect transistors with buried Al2O3 layers and sulfur passivation: Reduction in carrier scattering at the bottom interface,” Applied Physics Letters, vol. 96, no. 14, pp. 142106-1-3, April 7 (2010).

[7] Yuki Terada, Yukihiro Shimogaki, Yoshiaki Nakano, and Masakazu Sugiyama : “Metalorganic vapor phase epitaxy of GaAs with AlP surface passivation layer for improved metal oxide semiconductor characteristics,” Japanese Journal of Applied Physics, vol. 49, no. 4, pp. 04DF04-1-6, April 20 (2010).

[8] Tomonari Shioda, Masakazu Sugiyama, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano: “Selectivity enhancement by hydrogen addition in selective area metal-organic vapor phase epitaxy of GaN and InGaN,” Physica Status Solidi A, vol. 207, no. 6, pp. 1375-1378, June (2010).

[9] Ibrahim Murat Soganci, Nicola Calabretta, Takuo Tanemura, Wenrui Wang, Oded Raz, Kazuhide Higuchi, Kevin A. Williams, Tjibbe de Vries, Harmen Joseph Sebastian Dorren, and Yoshiaki Nakano: “160-Gb/s optical packet switching subsystem with a monolithic optical phased-array switch,” IEEE Photonics Technology Letters, vol. 22, no. 11, pp. 817-819, June (2010).

[10] Masakazu Sugiyama, Satoshi Yasukochi, Tomonari Shioda, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano: “Examination of intermediate species in GaN metal-organic vapor-phase epitaxy by selective-area growth,” Physica Status Solidi C, vol. 7, no. 7-8, pp. 2085-2087, July (2010).

[11] Koen Huybrechts, Takuo Tanemura, Koji Takeda, Yoshiaki Nakano, Roel Baets, and Geert Morthier: “All-optical 2R regeneration using the hysteresis in a distributed feedback laser diode,” IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 16, no. 5, pp. 1434-1440 (2010).

[12] Tomonari Shioda, Masakazu Sugiyama, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano: “Monolithically integrated InGaN-based multicolor light-emitting diodes fabricated by wide-sripe selective area metal–organic vapor phase epitaxy,” Applied Physics Express, vol. 3, no. 9, pp. 092104-1-3, September (2010).

[13] Tomohiro Amemiya, Kenji Abe, Takuo Tanemura, Tetsuya Mizumoto, and Yoshiaki Nakano: “Nonreciprocal polarization conversion in asymmetric magnetooptic waveguide,” IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 46, no. 11, pp. 1662-1669, November (2010).

[14] Yoshiyuki Kondo, Momoko Deura, Mitsuru Takenaka, Shinichi Takagi, Yoshiaki Nakano, and Masakazu Sugiyama: “Dependences of initial nucleation on growth conditions of InAs on Si by micro-channel selective-area metal–organic vapor phase epitaxy,” Japanese Journal of Applied Physics, vol. 49, no. 12, pp. 125601-1-5, December (2010).

[15] Jung-Seung Yang, Hassanet Sodabanlu, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki: “Intersubband transition at 1.55 μm in AlN/GaN multiple quantum wells by metal organic vapor phase epitaxy using the pulse injection method at 770˚C,” Journal of Crystal Growth, vol. 314, Issue 1, pp. 252-257, January (2011).

[16] Ryusuke Onitsuka, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: “High material-efficiency MOVPE of GaAs

without degradation of photovoltaic performance," Journal of Crystal Growth, vol. 315, issue 1, pp. 53-56, January (2011).

[17] Mitsuru Takenaka, Kiyohito Morii, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Shinichi Takagi : "Gas phase doping of arsenic into (100), (110), and (111) germanium substrates using a metal–organic source," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 50, no. 1, pp. 010105-1-5, January (2011).

[18] Osamu Ichikawa, Noboru Fukuhara, Masahiko Hata, Takayuki Nakano, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki: "Characterization of indium segregation in metalorganic vapor phase epitaxy-grown InGaP by Schottky barrier height measurement," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 50, no. 1, pp. 011201-1-3, January (2011).

[19] Takuo Tanemura, Ibrahim Murat Soganci, Tomofumi Oyama, Takaharu Ohyama, Shinji Mino, Kevin Williams, Nicola Calabretta, Harmen J. S. Dorren, and Yoshiaki Nakano: "Large-capacity compact optical buffer based on InP integrated phased-array switch and coiled fiber delay lines," Journal of Lightwave Technology, vol. 29, no. 4, pp. 396-402, February (2011).

国際会議論文

[20] Hassanet Sodabanlu, Jeong Seung Yang, Masakazu Sugiyama, Yukihiro Shimogaki, Takuo Tanemura, and Yoshiaki Nakano: "Intersubband absorption saturation in AlN-based waveguide with GaN/AlN multiple quantum wells fabricated by metalorganic vapor phase epitaxy," Proceedings of the 15th European Conference on Integrated Optics (ECIO 2010), WeP13, pp. 1-2, Cambridge, UK, April 7 (2010).

[21] Lin-Hang Li, Akio Higo, Ryo Takigawa, Eiji Higurashi, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: "Hetero-integration of high doped silicon micro wire to III-V active layer for electrical pumping light emission by plasma assisted bonding," International Conference on Electronics Packaging (ICEP 2010), FD4-1, Sapporo, Japan, May14 (2010).

[22] Masakazu Sugiyama, Kenichi Sugita, Yunpeng Wang, and Yoshiaki Nakano: "Strain-balanced MOVPE of InGaAs/GaAsP multiple quantum wells using in situ surface reflectance anisotropy and curvature monitoring," the 15th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy (IC-MOVPE XV), p. 13, Incline Village, Nevada, May 24 (2010).

[23] Yoshiyuki Kondo, Momoko Deura, Mitsuru Takenaka, Shinichi Takagi, Yoshiaki Nakano, and Masakazu Sugiyama: "Highly lateral growth of InGaAs on Si (111) with reduced size of selective growth window," the 15th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy (IC-MOVPE XV), p. 12, Incline Village, Nevada, May 24 (2010).

[24] Ryusuke Onitsuka, Takuo Tanemura, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: "High-material-efficiency MOVPE of GaAs without degradation of photovoltaic performances," the 15th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy (IC-MOVPE XV), p. 18, Incline Village, Nevada, May 25 (2010).

[25] Jungseung Yang, Sodabanlu Hassanet, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki: "Intersubband absorption of 1.55 μm in AlN/GaN multi quantum wells grown at 770˚C by metal organic vapor phase epitaxy using pulse injection method," the 15th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy (IC-MOVPE XV), p. 27, Incline Village, Nevada, May 26 (2010).

[26] Yuki Terada, Yukihiro Shimogaki, Mitsuru Takenaka, Shinichi Takagi, Yoshiaki Nakano, and Masakazu Sugiyama: "Improvement of GaAs MIS characteristics with the optimum thickness of AlP in situ passivation layer," the 15th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy (IC-MOVPE XV), p. 33, Incline Village, Nevada, May 27 (2010).

[27] Masakazu Sugiyama, Soohyeck Choi, Wen Yu, Yunpeng Wang, and Yoshiaki Nakano: "Design of offset quantum well solar cell for improved efficiency," Abstract, Internarional Symposium on Compound Semiconductors (ISCS 2010), WeC3-5, p. 256, Takamatsu Japan, June 2 (2010).

[28] Ling-Han Li, Ryo Takigawa, Akio Higo, Eiji Higurashi, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: "Electrical pumping to III-V layer from highly doped silicon micro wire to realize light emission by plasma-assisted bonding technology," Conference Proceedings, 22nd International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '10), ThA1-1, pp. 385-388, Takamatsu, Japan, June 3 (2010).

[29] Michael Breedon, Hassanet Sodabanlu, Kourosh Kalantar-Zadeh, Yoshiaki Nakano, and Masakazu Sugiyama: "Temperature dependent red shift of an intersubband transition in GaN/AlN multiple quantum wells," Abstract, Internarional Symposium on Compound Semiconductors (ISCS 2010), FrP79, p. 437, Takamatsu Japan, June 4 (2010).

[30] Masafumi Yokoyama, Tetsuji Yasuda, Hideki Takagi, Yuji Urabe, Hiroyuki Ishii, Noriyuki Miyata, Hisashi Yamada, Noboru Fukuhara, Masahiko Hata, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, Mitsuru Takenaka, and Shinichi Takagi: "III-V-semiconductor-on-insulator

MISFETs on Si with buried SiO2 and Al2O3 layers by direct wafer bonding," Conference Proceedings, 22nd International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '10), FrB2-3, pp. 500-503, Takamatsu, Japan, June 4 (2010).

[31] Gengo Takahashi1, Tomohiro Amemiya, Koji Takeda, Takuo Tanemura, Akio Higo, and Yoshiaki Nakano: "TM-mode waveguide isolator monolithically integrated with InP active devices," Conference Proceedings, 22nd International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '10), FrA1-5, pp. 461-464, Takamatsu, Japan, June 4 (2010).

[32] Masafumi Yokoyama, Yuji Urabe, Tetsuji Yasuda, Hideki Takagi, Hiroyuki Ishii, Noriyuki Miyata, Hisashi Yamada, Noboru Fukuhara, Masahiko Hata, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, Mitsuru Takenaka, and Shinichi Takagi: "High mobility III-V-on-insulator MOSFETs on Si with ALD-Al2O3 BOX layers," Digest of Technical Papers, 2010 Symposium on VLSI Technology, 22.3, pp. 235-236, Honolulu, Hawaii, June 17 (2010).

[33] Kentaroh Watanabe, Akio Higo, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: "Self-assembled SiO2 particle coating on 2 layer anti-reflection films for efficiency enhancement of GaAs PV cells," Conference Record, the 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC 2010), Area 3, Paper #58, pp. 205-208, Honolulu, Hawaii, June 21 (2010).

[34] Yu Wen, Yunpeng Wang, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: "Strain-compensated multiple stepped quantum wells (SC-MSQWs) cell for enhanced spectral response and carrier transport," Conference Record, the 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC 2010), Area 1, Paper #98, pp. 385-388, Honolulu, Hawaii, June 22 (2010).

[35] Masakazu Sugiyama, Yunpeng Wang, Soohyeck Choi, Yu Wen, and Yoshiaki Nakano: "How shall we put multiple quantum wells in p-i-n structure for efficiency enhancement?," Conference Record, the 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC 2010), Area 1, Paper #96, pp. 376-379, Honolulu, Hawaii, June 22 (2010).

[36] Yunpeng Wang, Yu Wen, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: "InGaAs/GaAsP strain-compensated superlattice solar cell for enhanced spectral response," Conference Record, the 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC 2010), Area 1, Poster #877-C9, pp. 3383-3385, Honolulu, Hawaii, June 24 (2010).

[37] Akio Higo, Francesco Pastorelli, Kentaroh Watanabe, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: "Design and fabrication of broadband anti-reflection sub-wavelength periodic structure for solar cells," Proceedings, Renewable Energy 2010, O-Pv-5-5, pp. 1-4, Yokohama, Japan, June 29 (2010).

[38] Masakazu Sugiyama, Yunpeng Wang, Soohyeck Choi, Yu Wen, and Yoshiaki Nakano: "Do quantum wells really improve conversion efficiency of III-V photovoltaics? -improvement through device design and epitaxial growth," Proceedings, Renewable Energy 2010, OP-13-4, pp. 1-4, Yokohama, Japan, June 29 (2010).

[39] Tomofumi Oyama, Takuo Tanemura, Ibrahim Murat Soganci, Takaharu Ohyama, Shinji Mino, and Yoshiaki Nakano: "Variable optical buffer using integrated 1×8 optical phased-array switch," Conference Proceedings CD, International Conference on Photonics in Switching (PS 2010), PTuC5, pp. 1-3, Monterey, California, July 27 (2010).

[40] Masaru Zaitsu, Koji Takeda, Mitsuru Takenaka, Takuo Tanemura, and Yoshiaki Nakano: "All-optical flip-flop with optical clock signal using Mach-Zehnder interferometer bistable laser diode," Conference Proceedings CD, International Conference on Photonics in Switching (PS 2010), PTuC2, pp. 1-3, Monterey, California, July 27 (2010).

[41] Koen Huybrechts1, Christophe Peucheret, Jorge Seoane, Takuo Tanemura, Koji Takeda, Yoshiaki Nakano, Roel Baets, and Geert Morthier: "Low-power colorless all-optical 2R regeneration of 25 Gb/s NRZ signals using a standard DFB laser," Conference Proceedings CD, International Conference on Photonics in Switching (PS 2010), PWA2, pp. 1-3, Monterey, California, July 28 (2010).

[42] Satoshi Maruyama, Akio Higo, Muneki Nakada, K. Takahashi, T. Takahashi, Makoto Mita, Hiroyuki Fujita, Yoshiaki Nakano, and Hiroshi Toshiyoshi: "A mixed-signal analysis for tilted MEMS torsion mirror devices," Technical Digest, 2010 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, PO-3, pp. 109-110, Sapporo, Japan, August 11 (2010).

[43] Taelim Lee, Akio Higo, Hiroyuki Fujita, Yoshiaki Nakano, and Hiroshi Toshiyoshi: "A study on color-tunable MEMS device based on plasmon photonics," Technical Digest, 2010 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, PO-2, pp. 107-108, Sapporo, Japan, August 11 (2010).

[44] Tatsuki Fujiwara, Yoshiaki Nakano, and Masakazu Sugiyama: "Continuous wavelength modulation from semi-polar InGaN/GaN MQWs with vapor-phase-diffusion-based selective-area pyramidal growth," International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2010), AP1.22, Tampa, Florida,

USA, September 20 (2010).

[45] Ibrahim Murat Soganci, Takuo Tanemura, Koji Takeda, Masaru Zaitsu, Mitsuru Takenaka, and Yoshiaki Nakano: “Monolithic InP 100-port photonic switch,” Proceedings CD, 36th European Conference on Optical Communications (ECOC 2010), PD1.5, pp. 1-3, Torino, Italy, September 23 (2010).

[46] Hassanet Sodabanlu, Jung-Seung Yang, Takuo Tanemura, Msakazu Sugiyama, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano: “Intersubband absorption saturation in metalorganic vapor phase epitaxy grown GaN/AlN multiple quantum wells with low loss Si3N4 waveguide,” International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2010), C3.10, Tampa, Florida, USA, September 23 (2010).

[47] Masafumi Yokoyama, Tetsuji Yasuda, Hideki Takagi, Hisashi Yamada, Yuji Urabe, Noboru Fukuhara, Masahiko Hata, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, Mitsuru Takenaka, and Shinichi Takagi: “High quality thin body III-V-on-insulator channel layer transfer on Si wafer using direct wafer bonding,” ECS Transactions, Semiconductor Wafer Bonding 11: Science, Technology, and Applications, vol. 33, no. 4, pp. 391-401, October 13 (2010).

[48] Masafumi Yokoyama, Tetsuji Yasuda, Hideki Takagi, Hisashi Yamada, Yuji Urabe, Noboru Fukuhara, Masahiko Hata, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, Mitsuru Takenaka, and Shinichi Takagi: “High quality thin body III-V-on-insulator channel layer transfer on Si wafer using direct wafer bonding,” Meeting Abstracts, 218th Meeting of the Electrochemical Society, Symposium E11 (Semiconductor Wafer Bonding 11: Science, Technology, and Application in Honor of Ulrich Gosele), Paper 1737, Las Vegas, Nevada, October 13 (2010).

[49] Masafumi Yokoyama, Ryo Iida, Sang-Hyeon Kim, Noriyuki Taoka, Yuji Urabe, Tetsuji Yasuda, Hideki Takagi, Hisashi Yamada, Noboru Fukuhara, Masahiko Hata, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, Mitsuru Takenaka, and Shinichi Takagi: “Extremely-thin-body InGaAs-on-insulator MOSFETs on Si fabricated by direct wafer bonding,” Technical Digest, IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM 2010), 3.1, pp. 46-49, San Francisco, California, USA, December 6 (2010).

[50] Tomofumi Oyama, Ibrahim Murat Soganci, Takuo Tanemura, and Yoshiaki Nakano: “1x8 InP optical phased-array switch with integrated inline power monitors,” Technical Digest CD, Conference on Optical Fiber Communication (OFC/NFOEC 2011), OThY5, pp. 1-3, Los Angeles, California, March 10 (2011).

著書

[51] ヤリーヴ，イェー（多田邦雄，神谷武志監訳，石川卓哉，板谷太郎，伊藤文彦，岡田至崇，鎌田憲彦，土屋昌弘，中野義昭，中林隆志，林秀樹 共訳）：“光エレクトロニクス 基礎編（原書 6 版），” 丸善株式会社(東京)（2010）.

総説・解説論文

[52] 杉山正和，渡辺健太郎，肥後昭男，中野義昭：“(研究紹介) 高効率量子タンデム太陽電池 (High-efficiency quantum structure tandem solar cells)，” 応用物理，vol. 79，no. 5，pp. 435-439 (2010).

[53] 中野義昭，杉山正和：“(特別講演) 超高効率太陽電池が拓く太陽光エネルギー利用の未来 (Future prospect of solar power generation with ultra-high efficiency solar cells)，” 平成 22 年度 電気学会センサ・マイクロマシン部門 総合研究会プログラム，pp. 19-22，6 月 17 日 (2010).

[54] Takuo Tanemura, Ibrahim Murat Soganci, and Yoshiaki Nakano: “(Invited Paper) Semiconductor photonic integrated switches and buffers for optical packet routing,” Technical Digest CD, 9th International Conferences on Optical Internet (COIN 2010), TuB3-2, pp. 298-300, Jeju, Korea, July 13 (2010).

[55] Takuo Tanemura, Ibrahim Murat Soganci, and Yoshiaki Nakano: “(Invited Paper) Semiconductor photonic integrated switches and buffers for optical packet routing,” Technical Digest CD, 9th International Conferences on Optical Internet (COIN 2010), TuB3-2, pp. 298-300, Jeju, Korea, July 13 (2010).

[56] Yoshiaki Nakano: “(Plenary Talk) Ultra-high efficiency solar cell development activity in “SOLAR QUEST,” the international research center for global energy and environmental technologies, Technical Digest, 2010 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Invited Talk 1, pp. 1-2, Sapporo, Japan, August 9 (2010).

[57] Yoshiaki Nakano: “(Invited Paper) MOVPE and fabrication of 1.5 μm GaN/AlN multiple quantum well intersubband all-optical switch,” Abstracts of 2010 International Nano-Optoelectronics Workshop (iNOW), WeB3-1, pp. 80-81, Beijing and Changchun, China, August 11 (2010).

[58] Masakazu Sugiyama and Yoshiaki Nakano: “(Invited) MOVPE technology of InGaAs/GaAsP strain-balanced quantum wells for improved efficiency of multi-junction solar cells,” Internationa Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment (ENGE 2010), GC01, Jeju, Korea, November 24 (2010).

[59] Masakazu Sugiyama, Kentaroh Watanabe, and Yoshiaki Nakano: "(Invited) Design and growth improvement in quantum wells for high-efficiency tandem solar cells," Workshop on Information, Nano and Photonics Technology, Kobe, Japan, December 3 (2010).

シンポジウム・研究会・大会等発表

[60] Yoshiaki Nakano: "Post-silicon solar cells -ultimate sustainable source of energy," Joint Workshop on Secure-life Photonics, Tsinghua Week at Todai, Session 2, Hongo, Japan, May 13 (2010).

[61] 李泰林, 肥後昭男, 藤田博之, 中野義昭, 年吉洋: "プラズモン光学を応用した MEMS 型可変色デバイスの検討 (A study on color-tunalbe MEMS device based on plasmon photonics)," 電気学会研究会資料(センサ・マイクロマシン部門総合研究会, マイクロマシン・センサシステム研究会), MSS-10-11, pp. 45-49, 東京大学駒場リサーチキャンパス, 6 月 18 日 (2010).

[62] 中野義昭: "光ネットワーキングの集積光デバイス技術," 日本学術振興会 光ネットワークシステム技術第 171 委員会 10 周年記念公開シンポジウム講演資料集, pp. 62-67, 品川インターシティ, 6 月 24 日 (2010).

[63] 竹中充, 横山正史, 杉山正和, 中野義昭, 高木信一: "III-V CMOS photonics プラットフォーム実現に向けた グレーティングカプラの作製 (InGaAsP grating coupler for III-V CMOS photonics platform)," 第 71 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 05-064, 14p-G-17, 長崎大学, 9 月 14 日(2010).

[64] 財津優, 肥後昭男, 種村拓夫, 中野義昭: "光クロック信号に同期した全光フリップ・フロップ動作の数値解析 (Numerical analysis of optically-clocked all-optical flip-flop operations)," 第 71 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 05-053, 14p-G-6, 長崎大学, 9 月 14 日 (2010).

[65] 中野義昭: "(招待講演) 半導体集積光制御デバイスの研究動向と展望 (Trend and prospect of semiconductor integrated photonic devices)," 第 71 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 05-048, 14p-G-1, 長崎大学, 9 月 14 日 (2010).

[66] 藤原達記, 中野義昭, 杉山正和: "ピラミッド上半極性面 InGaN/GaN 多重量子井戸の気相拡散に基づく発光波長変調 (Continuous wavelength modulation of semi-polar InGaN/GaN MQWs with vapor-phase-diffusion-based selective-area pyramidal growth)," 第 71 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 15-201, 15a-C-7, 長崎大学, 9 月 15 日 (2010).

[67] 小山智史, イブラーヒム ムラット ソーアンジ, 大山貴晴, 美野真司, 種村拓夫, 中野義昭: "フェーズアレイ 1x16 集積光スイッチと小型ファイバ遅延線を用いた可変光バッファ (Tunable optical buffer using integrated phased-array 1x16 switch and compact fiber delay lines) ," 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会(大阪府立大学) 講演論文集 2, B-12-11, p. 301, 9 月 15 日 (2010).

[68] 出浦桃子, 近藤佳幸, 竹中充, 高木信一, 中野義昭, 杉山正和:"微小領域選択 MOVPE を用いた Si 上 InAs 成長の基板表面処理条件依存性 (Dependence of InAs growth on treatment condition of Si surface using micro-channel selective-area MOVPE)," 第 71 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 15-090, 16a-ZV-8, 長崎大学, 9 月 16 日 (2010).

[69] 近藤佳幸, 出浦桃子, 竹中充, 高木信一, 中野義昭, 杉山正和: "微小領域選択 MOVPE における Si(111) 選択成長領域の InAs による完全被覆と InGaAs 横方向成長への影響 (Complete coverage of Si(111) growth windows with InAs and its effect of InGaAs lateral growth in micro-channel selective area MOVPE)," 第 71 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 15-089, 16a-ZV-7, 長崎大学, 9 月 16 日 (2010).

[70] 杉山正和, 王云鵬, 中野義昭: "MOVPE で作製した InGaAs/GaAsP 歪み補償超格子におけるヘテロ界面急峻化の検証 (Examination of abruptness of hetero-interfaces in InGaAs/GaAsP strain-balanced superlattice grown by MOVPE)," 第 71 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 15-088, 16a-ZV-6, 長崎大学, 9 月 16 日 (2010).

[71] Yunpeng Wang, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: " Interface modification in strain-balanced superlattice solar cells with MOVPE," 第 71 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 15-087, 16a-ZV-5, 長崎大学, 9 月 16 日 (2010).

[72] 鬼塚隆祐, 杉山正和, 中野義昭:"高原料効率 MOVPE により作製した GaAs 太陽電池における不純物の影響 (Impurity effect on GaAs solar cells grown by high-material-efficiency MOVPE)," 第 71 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 15-086, 16a-ZV-4, 長崎大学, 9 月 16 日 (2010).

[73] 横山正史, 山田永, 安田哲二, 高木秀樹, 卜部友二, 宮田典幸, 福原昇, 秦雅彦, 杉山正和, 中野義昭, 竹中充, 高木信一: "Al203 埋め込み酸化膜と S 処理による III-V-OI MOSFET の電子移動度に対するチャネル膜厚依存性の改善 (Mobility enhancement of III-V-OI MOSFETs by Al203 buried oxide layers and S passivation)," 第 71 回応用物理学会学術講演会

講演予稿集，p. 13-221，16a-ZE-7，長崎大学，9 月 16 日 (2010).

[74] Masakazu Sugiyama and Yoshiaki Nakano: “III-V quantum-well solar cells: improvement through structure design and epitaxial growth,” Proceedings CD of Global COE Symposium on Secure-Life Electronics, paper 4.9, Tokyo, Japan, November 17 (2010).

[75] Takuo Tanemura, Yoshiaki Nakano, Ibrahim Murat Soganci, Tomofumi Oyama, and Masaru Zaitsu : “Semiconductor photonic integrated switches and buffers for optical routers and interconnects,” Proceedings CD of Global COE Symposium on Secure-Life Electronics, paper 2.29, Tokyo, Japan, November 17 (2010).

[76] Yoshiaki Nakano, Masakazu Sugiyama, Takuo Tanemura, Akio Higo, Ling-Han Li, Myung-Joon Kwack, Masaru Zaitsu, Tomofumi Oyama, Soo-Hyeck Choi, and Fumihiko Yamato: “Progress of semiconductor integrated photonics -research toward digital photonics,” Proceedings CD of Global COE Symposium on Secure-Life Electronics, paper 2.8, Tokyo, Japan, November 17 (2010).

[77] 中野義昭: “大規模太陽光発電に向けた超高効率太陽電池の研究開発,” 第 53 回エレクトロニクス実装学会セミナー「新エネルギー・省エネルギー分野における研究開発戦略」資料，pp. 43-69，11 月 17 日 (2010).

[78] 小山智史，イブラーヒム ムラット ソーアンジ，種村拓夫，中野義昭: “インラインパワーモニタを集積した InP 1x8 フェーズアレイ光スイッチ (1x8 InP optical phased-array switch with integrated inline power monitors),” 電子情報通信学会技術研究報告(フォトニックネットワーク研究会)，PN2010--72，pp. 81-84，鹿児島，2 月 28 日 (2011).

[79] Ibrahim Murat Soganci, Takuo Tanemura, Koji Takeda, Masaru Zaitsu, Mitsuru Takenaka, and Yoshiaki Nakano: “Monolithically integrated 1x100 photonic switch based on reconfigurable phased arrays and SOAs (フェーズアレイと SOA を用いたモノリシック集積 1x100 光スイッチ),” 電子情報通信学会技術研究報告(フォトニックネットワーク研究会，OPE，LQE 共催)，PN2010-42，pp. 93-97，大阪大学，1 月 28 日 (2011).

[80] Yunpeng Wang, Momoko Deura, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: “Post and in-situ characterization of strain control and crystal quality in quantum well solar cell structure,” Materials Science Forum, vol. 675-677, pp. 73-76, February 21 (2011).

[81] 浜本寧，渡辺健太郎，杉山正和，肥後昭男，中野義昭: “SiO2 微小粒子の自己配列を利用した 3 次元反射防止誘電体構造 (Three dimensional dielectric anti-reflection structure using self-assembled SiO2 nano particle),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 24p-BU-12, p. 14-259, 神奈川工科大学, 3 月 24 日 (2011).

[82] Yunpeng Wang, Yu Wen, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: “InGaAs/GaAsP strain-compensated superlattice solar cell (InGaAs/GaAsP 歪み補償超格子セル),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 24p-BU-5, p. 14-252, 神奈川工科大学, 3 月 24 日 (2011).

[83] 山田雄吾，渡辺健太郎，肥後昭男，杉山正和，中野義昭: “集光応用を目指した III-V モノリシック集積直列接続太陽電池の試作 (Fabrication of monolithic integrated series-connected III-V solar cells for concentrator application),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 24p-BU-3, p. 14-250, 神奈川工科大学, 3 月 24 日 (2011).

[84] 相原健人，福山敦彦，王云鵬，杉山正和，中野義昭，碇哲雄: “InGaAs/GaAsP 歪補償量子井戸太陽電池吸収層でのキャリア再結合損失評価 (Non-radiative carrier recombination in the InGaAs/GaAsP strain-balanced quantum wells for solar cell application by using a piezoelectric photothermal method),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 24p-BU-2, p. 14-249, 神奈川工科大学, 2011 年 3 月 24 日 (2011).

[85] Yu Wen, Yunpeng Wang, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: “Effect of background doping on the photovoltaic characteristics of p-i-n quantum well solar cells (量子井戸挿入 p-i-n 太陽電池の光電変換特性に対するバックグラウンドドーピングの影響),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 24a-KW-5, p. 14-241, 神奈川工科大学, 3 月 2 日 (2011).

[86] 竹中充，森井清仁，杉山正和，中野義昭，高木信一: “気相ドーピング法を用いた Ge フォトディテクターの暗電流低減 (Dark current reduction of Ge photodetectors using gas phase doping),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集，24p-KB-5，p. 05-083，神奈川工科大学, 3 月 24 日 (2011).

[87] 財津優，肥後昭男，種村拓夫，中野義昭: “結合 DBR レーザを用いた光クロック同期全光フリップ・フロップ (Synchronized all-optical flip-flop operations with optical clock signals using coupled distributed Bragg reflector lasers),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 24p-KA-12, p. 05-059, 神奈川工科大学, 3 月 24 (2011).

[88] 東亮一，平山紀友，種村拓夫，中野義昭: “波長 0.7μm～2.3μm に対応した多成分用レーザ式ガス分析計 (A multicomponent gas analyzer with laser wavelengths from 0.7μm to 2.3μm),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集，24p-KF-7，p. 04-248，

神奈川工科大学, 3 月 24 日 (2011).

[89] Hassanet Sodabanlu, Shaojun Ma, Kentaroh Watanabe, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano : “Simultaneous X-ray diffraction and wafer’s curvature simulations of InGaAs/GaAsP strain-compensated multiple quantum wells for structural evaluation (In situ ウェハ曲率観察と XRD による InGaAs/GaAsP 歪み補償多重量子井戸の構造決定),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 25a-BQ-5, p. 15-078, 神奈川工科大学, 3 月 25 日 (2011).

[90] Shaojun Ma, Hassanet Sodabanlu, Kentaroh Watanabe, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: “In-situ measurement and simulation of wafer curvature in MOVPE of InGaAs/GaAsP strain-compensated multiple quantum wells (InGaAs/GaAsP 歪み補償量子井戸におけるウェハー曲率その場測定とシミュレーション),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 25a-BQ-4, p. 15-077, 神奈川工科大学, 3 月 25 日 (2011).

[91] 渡辺健太郎, ソダーバンル ハッサネット, 馬少駿, 杉山正和, 中野義昭: “InxGa1-xP の MOVPE における in situ 曲率観察による組成決定 (Determination method for composition ratio of MOVPE grown InxGa1-xP with in situ curvature measurement),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 25a-BQ-3, p. 15-076, 神奈川工科大学, 3 月 25 日 (2011).

[92] 中野義昭: “ICT と環境エネルギーデバイス (ICT and devices for energy and environment applications),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 25p-BT-5, 神奈川工科大学, 3 月 25 日 (2011).

[93] 田中肇, ソターバンル ハッサネット, 肥後昭男, 中野義昭, 杉山正和: “ナノ粒子配列を用いた微細加工 Si(111)基板上の GaN MOVPE (MOVPE of GaN on nano-patterned Si (111) substrate using self-assembled nanoparticles),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 26a-BY-10, p. 15-174, 神奈川工科大学, 3 月 26 日 (2011).

[94] 横山正史, 飯田亮, 金相賢, 田岡紀之, 卜部友二, 安田哲二, 高木秀樹, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 杉山正和, 中野義昭, 竹中充, 高木信一: “薄膜 BOX 層を有する膜厚 10nm 以下の極薄膜 InGaAs-OI MOSFET (Sub-10nm extremely-thin body InGaAs-OI MOSFETs with ultrathin buried-oxide layers),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 26a-KD-5, p. 13-241, 神奈川工科大学, 3 月 26 日 (2011).

[95] 一宮佑希, 横山正史, 飯田亮, 杉山正和, 中野義昭, 竹中充, 高木信一: “ALD Al2O3 を用いた III-V CMOS Photonics 用貼り合わせ基板の特性改善 (Improvement of bonded wafer for III-V CMOS photonics using ALD Al2O3 activation),” 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 26p-KB-12, p. 05-126, 神奈川工科大学, 3 月 26 日 (2011).

その他

[96] Ling-Han Li, Ryo Takizawa, Akio Higo, Eiji Higurashi, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: “Electrical pumping TO iii-V LAYER FROM HIGHLY DOPED SILICON MICRO WIRE TO REALIZE LIGHT EMISSION BY PLASMA-ASSISTED BONDING TECHNOLOGY,” 東京大学超微細リソグラフィー・ナノ計測拠点 平成 21 年度研究成果集, pp. 227-230 (2010).

[97] 久保田雅則, 岡田利裕, 三田吉郎, 中野義昭, 杉山正和: “バルクマイクロマシニングによる垂直ナノギャップピラニー真空計 (A bulk micromachined vertical nano-gap Pirani vacuum gauge),”東京大学超微細リソグラフィー・ナノ計測拠点 平成 21 年度研究成果集, p. 226 (2010).

[98] Masanori Kubota, Toshihiro Okada, Yoshio Mita, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano: “A bulk micromachined vertical nano-gap Pirani wide-range pressure test structure for packed MEMS performance monitoring,”東京大学超微細リソグラフィー・ナノ計測拠点 平成 21 年度研究成果集, pp. 222-225 (2010).

[99] 李凌瀚, 肥後昭男, 杉山正和, 中野義昭: “プラズマアシストボンディング技術によるシリコンプラットフォームウ上への III-V 族半導体活性層の集積化 (III-V active layer integration on Si platform by plasma assisted bonding technology),” 東京大学超微細リソグラフィー・ナノ計測拠点 平成 21 年度研究成果集, p. 221 (2010 年).

[100] Masafumi Yokoyama, Tetsuji Yasuda, Hideki Takagi, Hisashi Yamada, Noboru Fukuhara, Masahiko Hata, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, Mitsuru Takenaka, and Shinichi Takagi: “High mobility metal S/D III-V-on-Insulator MOSFETs on a Si substrate using direct wafer bonding,” 東京大学超微細リソグラフィー・ナノ計測拠点 平成 21 年度研究成果集, pp. 32-33 (2010).

[101] 横山正史, 安田哲二, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 杉山正和, 中野義昭, 竹中充, 高木信一: “基板貼り合わせを用いた Si 基板上 III-V-on-Insulator nMOSFET の動作実証,” 東京大学超微細リソグラフィー・ナノ計測拠点 平成 21 年度研究成果集, pp. 30-31 (2010).

[102] 前田武瑠, 市川磨, 秦雅彦, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩: “大型 MOVPE 反応炉での選択成長プロファイルによる GaAs 成長反応機構の考察 (Analysis of GaAs metal organic vapor phase epitaxy by selective area growth technique in large-scale reactor),” 東京大学超微細リソグラフィー・ナノ計測拠点 平成 21 年度研究成果集 pp. 21-29 (2010).

[103] 中野義昭: “研究活動の国際化加速　現地に即し事

業化対応　−東京大学先端科学技術研究センター所長 中野義昭氏に聞く,” 日刊工業新聞 23 面, 5 月 18 日 (2010).

[104]中野義昭: “開会挨拶　東京大学先端科学技術研究センター附属産学連携新エネルギー研究施設シンポジウム「新エネルギーが拓く低炭素社会」,” 7 月 17 日(2010).

[105]“太陽エネルギー実用化への課題,” 毎日新聞(朝刊), 8 面(環境), 8 月 16 日 (2010 年).

[106]中野義昭: “ソーラークエストにおける超高効率太陽電池の研究開発,” 電波新聞「ハイテクノロジー」東大先端研特別寄稿第 1 回, 22-23 面, 9 月 2 日 (2010).

[107]“太陽電池向け新素材，発電効率 45%超も．東大など，多接合型向け「量子井戸」生かす,” 日経産業新聞(朝刊), 13 面, 9 月 29 日 (2010).

[108]杉山正和, 岡田至崇, 中野義昭: “III-V 化合物半導体多接合太陽電池の高効率化に向けた新材料・ナノ構造の開発,” 電波新聞「ハイテクノロジー」ソーラークエスト特別寄稿第 3 回, 20-21 面, 11 月 4 日 (2010).

[109]“太陽光発電所，出力 10 倍規模 共同研究，東大・シャープ 100 万キロワット以上，サウジで実証実験,” 日本経済新聞(朝刊), 5 面, 1 月 3 日 (2010).

[110]中野義昭: “革新型高効率第 3 世代太陽電池を目指す国際研究拠点,” グリーンナノテクノロジー，環境・エネルギー問題に挑戦する人々，物質・材料研究機構監修，ナノテクノロジー・ネットワーク編集委員会編，日刊工業新聞社刊，pp. 90-100, 2 月 25 日 (2011).

高木・竹中研究室
Takagi & Takenaka Laboratory
(http://www.mosfet.k.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. Ge Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) 界面形成技術に関する研究

高木信一・竹中充・Rui Zhang・岩崎敬志

Ge Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) interface properties

S. Takagi, M. Takenaka, Rui Zhang, T. Iwasaki

高性能 Ge MISFET を実現するための最大の課題は、良好な MIS 界面特性の実現である。我々はこれまでに Ge 上の MIS 界面形成方法として、Ge 基板を高温熱酸化することにより形成した GeO_2/Ge 界面が極めて良好な MOS 特性を示すことを明らかにしてきた。しかし、高温熱酸化プロセスでは Ge の酸化速度が速いため、薄い GeO_2 を形成することが極めて困難であった。そこで我々は、原子層堆積法（ALD）を用いて Ge 表面に Al_2O_3 膜を堆積後、ECR プラズマ酸化することで、Al_2O_3 と Ge の界面に薄い GeO_2 膜を形成した。これにより EOT = 1.67 nm で、界面準位 5×10^{10} $cm^{-2}eV^{-1}$ 程度の極めて良好な Ge MOS 界面を実現することに成功した。

One of the most critical issues on realizing high performance Ge MISFETs is the formation of MIS interfaces with high quality interface properties. We have demonstrated that thermally oxidized GeO2/Ge MOS interface exhibited low interface trap density. Recently we have found that high-temperature thermal oxidation of Ge can form high-quality GeO_2/Ge MOS interface. However it is difficult for the high-temperature oxidation to form thin GeO_2 gate dielectric due to the fast oxidation rate. To overcome this problem, we have performed low-temperature post-oxidation process. The ECR plasma oxidation after depositing Al_2O_3 on Ge by the ALD can form thin GeO2 at the interface between Ge and Al2O3, and the minimum D_{it} values and EOT of 5×10^{10} cm^{-2} eV^{-1} and 1.67 nm have been realized for Al_2O_3 /GeOx /Ge MOS structures.

2. Ge Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) FET

高木信一・竹中充・Sanjeewa Dissanayake・Junkyo Suh

Ge Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) FETs

S. Takagi, M. Takenaka, S. Dissanayake, Junkyo Suh

高い Ge 組成を持った圧縮歪薄膜 SiGe-on-Insulator 構造は、将来のテクノロジーノードにおける pMOSFET として期待されている。我々はこれまで酸化濃縮プロセスにより SGOI 構造を作製する研究を進めてきた。しかし、通常の無歪 SOI 基板上における酸化濃縮では、Ge 濃度が 60%を越えたところで歪緩和が起き、SiGe 中の歪が急激に減少してしまうことが問題となっている。この歪緩和は、Si と Ge 間の格子不整合により酸化濃縮中に欠陥が形成されることが原因と考えられる。我々はこの問題を解決する為、歪 SOI 基板上で酸化濃縮を行う研究を進めている。歪 SOI 基板を用いることで、通常の無歪 SOI 基板と較べてより高い Ge 組成まで歪緩和が起きないことを明らかにし、これにより高い歪を有した SGOI 基板を酸化濃縮プロセスで実現し、Si 比 8 倍の移動度を有する高性能 SiGe pMOSFET を実証することに成功した。

The ultrathin body SiGe-On-Insulator (SGOI) structure with high compressive strain and high Ge content is a promising channel material for pMOSFETs under future technology nodes. One of the promising techniques for fabricating the SGOI structures is Ge condensation technique. It is known, however, in Ge condensation using conventional unstrained SOI substrates that strain relaxation occurs when Ge content becomes ~0.6 and strain significantly decreases with an increase in Ge content. This strain relaxation has been attributed to crystal defect generation during Ge condensation, induced by large strain in the SGOI due to the lattice mismatch between Si and Ge. Recently we have demonstrated the high mobility enhancement of SGOI pMOSFETs through the larger compressive strain by employing strained SOI substrates in Ge condensation process. The strain relaxation in sSGOI on sSOI occurs in much higher Ge content region than that on SOI. As a result, the amount of strain on sSOI is higher in Ge content over 0.60 than on SOI. The mobility enhancement of as high as 8 is obtained for SGOI on sSOI.

3. ひずみ Si MOSFET の電気特性に関する研究

高木信一・竹中充・趙毅

Electrical Properties of Strained-Si MOSFETs

S. Takagi, M. Takenaka, Y. Zhao

二軸引っ張りひずみをもつバルク Si MOSFET の MOS 界面特性に与えるひずみの影響とその物理的機構を調べた。ひずみ Si nMOSFET を用いて、反転層から FN 注入を行い、電子注入による界面準位生成特性を調べた結果、二軸引張りひずみ量の増大に伴い、界面準位生成量が低下することが見出された。一方、nMOSFET の基板ホール電流量のひずみ量依存性は小さいことから、ひずみ Si MOS 界面における界面準位生成の抑制現象は、ひずみ Si 表面を酸化することにより形成された MOS 界面のラスネスの低減が原因と結論づけられた。また、この MOS 界面のラフネスを TEM 分析により定量的に決定する手法を確立するため、TEM 試料膜厚との関係を調べ、TEM 試料厚の増加に伴う平均化効果により見かけのラフネスの大きさの減少する影響を適切に考慮する必要があることを明らかにした。

The effects of strain in bi-axial tensile strain MOSFETs on the MOS interface reliability have been investigated. It was found that, when FN electron injection from inversion-layers was carried out for strained-Si nMOSFETs, the density of

interface states generated by the FN injection decreases with an increase in the amount of the strain in the Si channels. On the other hand, the substrate hole current does not change so much with the different strain. It was concluded, as a result, that the reduction in roughness of Si MOS interfaces formed by oxidizing strain-Si surfaces can lead to this decrease in the surface state density. Also, as for the characterization technique of this MOS interface roughness, it was found that apparent roughness values evaluated by TEM observations were dependent on the thickness of the TEM samples, indicating this effect must be appropriately taken into account for accurately determining the amount of the MOS interface roughness.

4. Si 基板上の III-V 族化合物半導体 Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) FET に関する研究

高木信一・竹中充・田岡紀之・横山正史・星井拓也・キムサンヒョン・飯田亮・イソンフン・鈴木麗菜

III-V compound semiconductor Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) FET on Si substrates

S. Takagi, M. Takenaka, N. Taoka, M. Yokoyama, T. Hoshii, S. Kim, R. Suzuki

スケーリング則によらないCMOSの性能向上のため高い電子移動度をもつ III-V 族化合物半導体 n-MOSFET の研究が活発に行われている。我々は III-V MOSFET を既存の CMOS プロセスに導入するために、ダイレクトウェハーボンディングを用いて III-V 層を Si 基板上に集積化した III-V-on-Insulator 基板の研究を進めている。原子層堆積法（ALD）を用いて堆積した Al_2O_3 層を介した良好な基板貼り合わせを実現すると共に、III-V 層膜厚が 3 nm の超薄膜III-V-OI基板を作製することに成功した。この基板を用いた III-V MOSFET の動作にも成功し、ゲート長 10nm 以下のテクノロジーノードに対応可能であることを実証した。また低抵抗 S/D を形成するためのメタル S/D 技術の研究も進めている。これまでに、InGaAs と Ni の合金層を利用した自己整合メタル S/D の形成技術を確立すると共に、良好なトランジスタ動作を得ることに成功している。

Enhancement of carrier transport properties in MOS channels is regarded as mandatory for continuous increase in the current drive under deep sub-100 nm regime. As for n-channel MOSFETs, however, any promising technologies after bi-axial tensile strain, which can provide the mobility enhancement of twice as high as in conventional Si n-MOSFETs, are still lacking. Thus, III-V semiconductor MOSFETs, expected to have higher electron mobility, has recently stirred a strong interest. We have investigated the direct wafer bonding of III-V semiconductors and Si to form the III-V on Insulator structure. We have successfully demonstrated a 3-nm-thick ultrathin body III-V-OI wafer by using the ALD Al_2O_3 assisted direct wafer bonding, and demonstrated high-performance III-V-OI MOSFET which can be introduced into the future technology nodes with < 10 nm gate length. We have also investigated the metal S/D technologies to develop low-resistance S/D for III-V MOSFET. We have established the metal S/D formation process by using the alloy of InGaAs and Ni, and demonstrated the self-align metal S/D InGaAs MOSFET.

5. 光配線 LSI 実現に向けた Ge ナノ光電子集積回路に関する研究

竹中充・黒田浩一・キムヨンヒョン・高木信一

Ge based nano electro-optic integrated circuit forintrachip optical interconnection

M. Takenaka, K. Kuroda, Y. Kim, S. Takagi

シリコンフォトニクスは既存のCMOSプロセスとの整合性から光電子集積回路実現に向けた研究が進められており、Ge PD を Si LSI に集積化した光通信用レシーバーなどが報告されている。一方で、スケーリング則の物理的限界から高移動度材料である Ge をチャネルとした MOSFET の導入が検討されており、スケーリング則破綻後においては Ge PD などの光デバイスと Ge MOSFET を Si 基板上に集積化することが必要となる。我々は酸化濃縮法により Ge-on-Insulator (GOI)基板を作製し、Ge PD と GOI MOSFET を Si 基板上にモノリシック集積する研究を進めている。これまで酸化濃縮で作製したGOI基板では、酸化濃縮中に発生する結晶欠陥に起因した高い正孔密度が問題となっていた。我々は、従来よりも高温で酸化濃縮をすることで結晶欠陥の発生を抑制し、正孔密度を 10^{17} cm^{-3} 以下に低減することに成功した。これにより良好に動作する Ge MOSFET と Ge PD を Si 基板上にモノリシック集積することに成功した。

Silicon-based electro-optic integrated circuits have recently been intensely investigated because of its standard CMOS compatibility. The monolithic integration of optical devices with large scale integrated (LSI) electrical devices will open up many applications of optical interconnections including intra-chip communications. An optical receiver with a Ge photodetector (PD) was demonstrated using 130nm CMOS process. On the other hand, the Si LSIs are faced with the physical limitation of the miniaturization of transistors, and the introduction of high mobility materials such as Ge will be expected in the post-scaling era. Therefore, the monolithic integration of Ge MOSFETs and Ge PD on a Si substrate will be a promising candidate for future high-performance electro-optic integrated circuits. We have investigated monolithic integration of the Ge PD and the Ge MOSFET on a Ge-on-Insulator (GOI) substrate by using the Ge condensation technique. One of the technology issues to form the GOI substrate by the Ge condensation is high residual hole concentration due to the crystal defects induced during the condensation process. Recently we have found that the hole

concentration can be reduced to less than 10^{17} cm^{-3} by the high temperature Ge condensation process. We have successfully integrated high-performance GOI MOSFETs and the Ge PDs on the GOI substrate.

6. III-V CMOS photonics に関する研究

竹中充・一宮佑希・高木信一

III-V CMOS photonics platform technology

M. Takenaka, S. Takagi

InP 系光素子の小型化の限界を打破するため、我々は SOI 基板と同様に強い垂直光閉じ込めが実現できる III-V-on-Insulator (III-V-OI) 基板を用いたフォトニックワイヤー構造を提案・実証してきた。また同じ III-V-OI 基板上に III-V CMOS をモノリシック集積することで、超高性能・超小型光電子集積回路が実現可能な III-V CMOS photonics プラットフォームを提案している。これまでに垂直方向から光を入出力可能なグレーティングカプラを III-V-OI 基板上に作製し、結合損失 5 dB の良好な特性を得ることに成功している。また、ALD で堆積した Al_2O_3 を介して熱酸化 Si 基板と InGaAsP/InP 基板を貼り合わせることで、従来よりも接合強度の強い III-V-OI 基板を実現することに成功して、導波損失を半分程度に低減することに成功した。

We have proposed and demonstrated the InP-based photonic wire waveguide using the III-V semiconductor-on-insulator (III-V-OI) structure on which the strong optical confinement enables the drastic reduction of the device size like silicon-on-insulator (SOI) waveguides. We also proposed the III-V CMOS photonics platform where ultracompact photonics and high-performance III-V CMOS transistors are monolithically integrated. We have successfully demonstrated the grating coupler fabricated on the III-V-OI substrate, enabling the vertical optical input/output. The coupling coefficient of 5 dB is obtained. We have also demonstrated the ALD Al2O3 assisted direct wafer bonding of the thermally oxidized Si wafer and the InGaAsP/InP wafer to form the III-V-OI with better bonding strength. The bonding interface has been improved by this process, resulting in the waveguide loss reduction by half.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] M. Yokoyama, T. Yasuda, H. Takagi, Y. Urabe, H. Ishii, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Sugiyama, Y. Nakano, M. Takenaka and S. Takagi, “III-V-on-insulator structures with a buried Al2O3 layer and S passivation: reduction of carrier scattering at the bottom interface”, Appl. Phys. Lett., vol. 96, 142106 , 2010.

[2] N. Taoka, W. Mizubayashi, Y. Morita, S. Migita, H. Ota and S. Takagi, “Effects of Metal-Insulator-Semiconductor Interfacial Layers on Interface Trap Density near Conduction Band Edge in Ge Metal-Insulator-Semiconductor Structures “, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 49, 04DA09, 2010.

[3] Y. Nakabayashi, T. Ishihara, T. Numata, K. Uchida and S. Takagi, “Experimental Evaluation of Coulomb-Scattering-Limited Inversion-Layer Mobility of n-type Metal–Oxide– Semiconductor Field-Effect Transistors on Si(100), (110), and (111)-Surfaces: Impact of Correlation between Conductivity Mass and Normal Mass”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 49, 04DC21, 2010.

[4] T. Maeda, Y. Morita and S. Takagi, “High mobility Ge n-channel metal-insulator- semiconductor field-effect transistors with gate-last process”, Applied Physics Express, vol. 3, 061301, 2010.

[5] O. Weber, M. Takenaka and S. Takagi, “Experimental Determination of Shear Stress induced Electron Mobility Enhancements in Si and Biaxially Strained-Si Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistors”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 49, 074101, 2010.

[6] Y. Zhao, H. Matsumoto, T. Sato, S. Koyama, M. Takenaka, and S. Takagi, “A Novel Characterization Scheme of Si/SiO2 Interface Roughness for Surface Roughness Scattering-limited Mobilities of Electrons and Holes in Unstrained- and Strained-Si MOSFETs”, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 57, No. 9, pp. 2057-2066 , 2010.

[7] K. Morii, T. Iwasaki, R. Nakane, M. Takenaka and S. Takagi, “High Performance GeO2/Ge nMOSFETs with Source/Drain Junctions Formed by Gas Phase Doping”, IEEE Electron Device Letters, Vol. 31, No. 10, pp. 1092-1094 , 2010.

[8] T. Hoshii, M. Yokoyama, H. Yamada, M. Hata, T. Yasuda, M. Takenaka and S. Takagi, “Impact of InGaAs Surface Nitridation on Interface Properties of InGaAs MOS Capacitors using Electron Cyclotron Resonance Plasma Sputtering SiO2”, Appl. Phys. Lett., vol. 97, 132102, 2010.

[9] N. Taoka, W. Mizubayashi, Y. Morita, S. Migita, H. Ota and S. Takagi, “Physical Origins of Mobility Enhancement of Ge p-channel Metal-Insulator-Semiconductor Field Effect Transistors with Si Passivation Layers”, J. Appl. Phys., vol. 108, 104511, 2010.

[10] Y. Kondo, M. Deura, M. Takenaka, S. Takagi, Y. Nakono, M. Sugiyama, “Dependence of initial nucleation on growth conditions of InAs on Si by micro-channel selective-area Metal–Organic Vapor Phase Epitaxy ”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 49, 125601, 2010.

[11] Y. Urabe, M. Yokoyama, H. Takagi, T. Yasuda, N. Miyata, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Takenaka and S. Takagi, “Front-Gate InGaAs-On-Insulator Metal-Insulator- Semiconductor Field-Effect Transistors”, Appl. Phys. Lett., vol. 97, 253502, 2010.

[12] M. Takenaka, K. Morii, M. Sugiyama, Y. Nakano and S. Takagi, “Metal-organic vapor phase epitaxy based gas phase doping of arsenic into (100), (110), and (111) Ge”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 50, No. 1, 010105, 2011.

[13] T. Mizuno, Y. Moriyama, T. Tezuka, N. Sugiyama and S. Takagi, “Experimental Study of Single Source-Heterojunction MOS Transistors (SHOTs): Optimization of Source-Hetero Structures and Electron Velocity Estimated at Ballistic Regime”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 50, No. 1, 010107, 2011.

[14] Y. Nakakita, R. Nakakne, T. Sasada, M. Takenaka and S. Takagi, “Interface-Controlled Self-Align Source/Drain Ge pMOSFETs Using Thermally-Oxidized GeO2 Interfacial Layers”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 50, No. 1, 010109, 2011.

[15] S. Takagi and M. Takenaka, “Physical Origin of Drive Current Enhancement in Ultra-thin Ge-On-Insulator (GOI) MOSFETs under Full Ballistic Transport”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 50, No. 1, 010110, 2011.

[16] S. H. Kim, M. Yokoyama, N. Taoka, R. Iida, S. Lee, R. Nakane, Y. Urabe, N. Miyata, T. Yasuda, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Takenaka and S. Takagi, “Self-aligned metal Source/Drain InxGa1-xAs n-Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors MOSFETs using Ni-InGaAs alloy”, Appl. Phys. Express, vol. 4, No. 2, 024201, 2011.

[17] S. Dissanayake, Y. Zhao, S. Sugahara, M. Takenaka and S. Takagi, “Channel direction, Effective Field and Temperature Dependencies of Hole Mobility in (110)-oriented Ge-On-Insulator pMOSFETs Fabricated by Ge Condensation Technique”, J. Appl. Phys., vol. 109, No. 3, 033709, 2011.

国際会議論文

[18] T. Maeda, Y. Morita and S. Takagi, “High electron mobility in Ge nMISFETs with high quality S/D”, 2010 MRS spring meeting

[19] Y. Urabe, N. Miyata, T. Yasuda, H. Ishii, T. Itatani, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Yokoyama, M. Takenaka, S. Takagi, “Origins for Electron Mobility Improvement in InGaAs MISFETs with (NH4)2S Treatment”, 2010 MRS spring meeting

[20] S. Takagi, “Nano CMOS”, invited talk, 2010 International Reliability Physics Symposium, Reliability Year-in-Review, May 2-6, 2010, Anaheim, CA

[21] T. Maeda, S. Takagi, T. Yasuda, N. Miyata, H. Takagi, H. Ishii, T. Itatani, Y. Urabe, “Compatible passivation technology for the integration both of III-V and Ge MOSFETs”, The 4th International Workshop on High k Dielectrics on High Mobility Channel Materials (National Tsing Hua University, Hsinchu,Taiwan, May 15-17, 2010), p.21.

[22] M. Yokoyama, T. Yasuda, H. Takagi, Y. Urabe, H. Ishii, N. Miyata, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Sugiyama, Y. Nakano, M. Takenaka and S. Takagi, “III-V-semiconductor-on- insulator MISFETs on Si with buried SiO2 and Al2O3 layers by direct wafer bonding”, IPRM 2010, pp. 500-503

[23] Y. Kondo, M. Deura, M. Takenaka, S. Takagi, Y. Nakono, M. Sugiyama, “Highly lateral growth of InGaAs on Si(111) with reduced size of selective growth window”, 15th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy (ICMOVPE XV), May 23-28, 2010 · Hyatt Regency, Lake Tahoe

[24] S. Takagi and M. Takenaka, “High Mobility CMOS Technologies using Ge-based Channels (invited)”, 5th international SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010,

[25] N. Miyata, H. Ishii, Y. Urabe, T. Itatani, T. Yasuda, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Deura, M. Sugiyama, M. Takenaka and S. Takagi, “Origin of Electron Mobility Enhancement in (111)-Oriented InGaAs channel MISFETs”, European MRS 2010, H: Post-Si CMOS electronic devices: the role of Ge and III-V materials

[26] T. Hoshii, M. Yokoyama, H. Yamada, M. Hata, T. Yasuda, M. Takenaka and S. Takagi, “Impact of InGaAs Surface Nitridation on Interface Properties of InGaAs MOS Capacitors using Electron Cyclotron Resonance Plasma Sputtering SiO2”, European MRS 2010, H: Post-Si CMOS electronic devices: the role of Ge and III-V materials

[27] S. Takagi and M. Takenaka, “High Mobility Ge-based

CMOS Device Technologies", International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE), Tokyo Institute of Technology (Titech), Tokyo, Japan, June 3-5, pp. 3

[28] Y. Zhao, M. Takenaka and S. Takagi, "Evidence of Correlation between Surface Roughness and Interface States Generation in Unstrained and Strained-Si MOSFETs", VLSI symposium (2010), 7.5., pp. 77-78

[29] S. Takagi and M. Takenaka, "III-V/Ge CMOS technologies on Si platform (invited)", VLSI symposium (2010), 14. 1, pp. 147-148

[30] T. Maeda, Y. Morita and S. Takagi, "Impact of Ge nitride interfacial layers on performance of Metal Gate/High-k Ge-nMISFETs", VLSI symposium (2010), 20.3, pp. 213-214

[31] M. Yokoyama, Y. Urabe, T. Yasuda, H. Takagi, H. Ishii, N. Miyata, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Sugiyama, Y. Nakano, M. Takenaka and S. Takagi, "High Mobility III-V-On-Insulator MOSFETs on Si with ALD-Al2O3 BOX layers", VLSI symposium (2010), 22. 3, pp. 235-236

[32] M. Zaitsu, K. Takeda, M. Takenaka, T. Tanemura, and Y. Nakano, "All-optical flip-flop with optical clock signal using Mach-Zehnder interferometer bistable laser diode," Photonics in Switching (PS'10), PTuC2, San Jose, July 2010.

[33] S. Takagi and M. Takenaka, "III-V/Ge CMOS technologies and heterogeneous integrations on Si platform (invited)", 2010 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2010), June 30 - July 2, 2010, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, IEICE Tehcnial Reports, ED2010-78, SDM2010-79, p. 119-124

[34] K. H. Park, K. Hirakawa and S. Takagi, "Remote impurity scattering in Si MOSFETs with thin gate oxides - possible screening effect by mobile charges in the gate electrodes –", 30th International Conference on Physics of Semiconductors (ICPS-30), July 25-30, Seoul, Korea, (2010)

[35] M. Deura, Y. Kondo, M. Takenaka, S. Takagi, Y. Shimogaki, Y. Nakano and M. Sugiyama, "High-temperature phosphorous passivation of Si surface for improved heteroepitaxial growth of InAs as an initial step of III-As MOVPE on Si", SSDM 2010, K-5-6, (2010) p. 1287-1288

[36] R. Zhang, T. Iwasaki, N. Taoka, M. Takenaka and S. Takagi, "Suppression of ALD-Induced Degradation of Ge MOS Interface Properties by Low Power Plasma Nitridation of GeO2", SSDM 2010, B-2-3, (2010) p. 33-34

[37] Y. Urabe, N. Miyata, T. Yasuda, H. Yamada, M. Hata, N. Taoka, T. Hoshii, M. Takenaka and S. Takagi, "Contributions of Interface-Trap and Minority-Carrier Responses to C-V characteristics of Al2O3/InGaAs Capacitors", SSDM 2010, C-1-1, (2010) p. 37-38

[38] S. Lee, R. Iida, S. H. Kim, M. Yokoyama, N. Taoka, Y. Urabe, T. Yasuda, H. Takagi, H. Ishii, N. Miyata, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Takenaka and S. Takagi, "InGaAs and InGaAs-On-Insulator n-Channel MOSFETsFabricated by Self-Align Gate First Process with Ni/Al2O3 Gate Stacks", SSDM 2010, P-3-7, (2010) p. 267-268

[39] N. Taoka, W. Mizubayashi, Y. Morita, S. Migita, H. Ota and S. Takagi, "Nature of Interface Traps in Ge MIS Structures with GeO2 Interfacial Layers", SSDM 2010, B-1-3, (2010) p. 27-28

[40] I. M. Soganci, T. Tanemura, K. Takeda, M. Zaitsu, M. Takenaka, and Y. Nakano, "Monolithic InP 100-Port Photonic Switch," European Conference on Optical Communication (ECOC'10), Turin, September 2010 (Post-deadline paper).

[41] S. Takagi, "Effects of InGaAs Surface Nitridation on InGaAs MOS Interface Properties", International Symposium on Advanced Gate Stack Technology (ISAGST 2010), 9. 29 – 10. 1, 2010, Troy, New York,

[42] S. Takagi, M. Yokoyama, H. Takagi, Y. Urabe, T. Yasuda, H. Yamada and M. Hata and M. Takenaka, "III-V-On-Insulator MOSFETs on Si Substrates fabricated by direct bonding technique (invited)", 218th Electrochemical Society Meeting, Wafer bonding Symposium, Las Vegas, Nevada, USA October 10-15, 2010; ECS Trans. vol.33, no. 4 (2010) p. 359-370

[43] M. Yokoyama, T. Yasuda, H. Takagi, N. Miyata, Y. Urabe, H. Ishii, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Sugiyama, Y. Nakano, M. Takenaka, and S. Takagi, "High quality thin body III-V-on-insulator channel layer transfer on Si using direct wafer bonding", 218th Electrochemical Society Meeting, Wafer bonding Symposium, Las Vegas, Nevada, USA October 10-15, 2010; ECS Trans. vol.33, no. 4 (2010) p. 391-401

[44] S. Takagi, K. Tomiyama, S. Dissanayake and M. Takenaka, "Critical Factors for Enhancement of Compressive Strain in SGOI Layers Fabricated by Ge Condensation Technique", 218th Electrochemical Society Meeting, 2010 SiGe, Ge, and Related Compounds; Processing, and Devices Symposium, Las Vegas, Nevada, USA October 10-15, 2010; ECS Trans. vol.33, no. 6 (2010) p. 501-509

[45] S. Takagi and M. Takenaka, "Advanced Non-Si Channel

CMOS Technologies on Si Platform", 2010 10th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), Shanghai, China, November 4, 2010

[46] S. Takagi, "Prospective and Critical Issues of Ge-based CMOS Devices", The Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2010, Okayama, Japan, November 15, 2010

[47] N. Taoka, M. Yokoyama, S. H. Kim, T. Hoshii, R. Iida, S. Lee, R. Suzuki, Y. Urabe, N. Miyata, T. Yasuda, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Takenaka, and S. Takagi, "ALD Temperature Dependence of Interface Trap Properties at ALD-Al2O3/InP Interfaces", SISC (2010) P. 16

[48] N. Miyata, Y. Urabe, H. Ishii, T. Itatani, T. Maeda, T. Yasuda, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Yokoyama, N. Taoka, M. Takenaka and S. Takagi, "Correlation between channel mobility and arsenic oxide in Al2O3/InGaAs n-MISFETs fabricated on (111)A and (100) surfaces", SISC (2010) 5.2.

[49] R. Zhang, T. Iwasaki, N. Taoka, M. Takenaka and S. Takagi, "Thin EOT and Low Dit Al2O3/GeOx/Ge Gate Stacks Fabricated By Novel Post-Oxidation Method", SISC (2010), 6.3.

[50] M. Yokoyama, R. Iida, S. H. Kim, N. Taoka, Y. Urabe, T. Yasuda, H. Takagi, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Sugiyama, Y. Nakano, M. Takenaka and S. Takagi, "Extremely-thin-body InGaAs-On-Insulator MOSFETs on Si fabricated by direct wafer bonding", IEDM (2010) p. 46-49

[51] S. H. Kim, M.Yokoyama, N.Taoka, R. Iida, S. Lee, R.Nakane, Y. Urabe, N. Miyata, T. Yasuda, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M.Takenaka and S.Takagi, "Self-aligned metal Source/Drain InxGa1-xAs n-MOSFETs using Ni-InGaAs alloy", IEDM (2010) p. 596-599

[52] Y. Urabe, N. Miyata, H. Ishii, T. Itatani, T. Maeda, T. Yasuda, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Yokoyama, N. Taoka, M. Takenaka and S. Takagi, "Correlation between Channel Mobility Improvements and Negative Vth Shifts in III-V MISFETs: Dipole Fluctuation as New Scattering Mechanism", IEDM (2010) p. 142-145

[53] T. Hoshii, R. Suzuki, N. Taoka, M. Yokoyama, H. Yamada, M. Hata, T. Yasuda, M. Takenaka and S. Takagi, "ALD-Al2O3/InGaAs MOS Structures with Interfacial Control Layers Formed by Nitridation of InGaAs Surfaces", 2011 International Workshop on "Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology" (IWDTF-11), Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, January 20-21 (2011) p. 147-148

[54] N. Taoka, M. Yokoyama, S. H. Kim, R. Suzuki, T. Hoshii, R. Iida, S. Lee, Y. Urabe, N. Miyata, T. Yasuda, H. Yamada, N. Fukuhara, M. Hata, M. Takenaka, and S. Takagi, "Impacts of (NH4)2S treatment and ALD temperature on ALD-Al2O3/InP Interface Properties", 2011 International Workshop on "Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology" (IWDTF-11), Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, January 20-21 (2011) p. 149-150

[55] S. Takagi, "Channel/Stress Engineering for Advanced CMOS Devices: Performance Booster", (Tutorial 1) Advanced CMOS Device Technologies (1), 16th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2011), Jan. 25, 2011, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan, p. 49-87

総説・解説論文

[56] 高木信一, 3-3-2 プロセス・モジュール [トランジスタ] MOS トランジスタ技術の将来　Ge と III-V 族半導体を使って性能向上, 半導体技術年鑑 2010 デバイス/プロセス編, p. 151-162, 2010, 日経 BP 社 (ISBN 978-4-8222-0291-1)

[57] 高木信一, 竹中充, "Si プラットフォーム上の新材料チャネル CMOS", 電子情報通信学会誌, vol. 93, No. 11 (2010) pp. 904-908

シンポジウム・研究会・大会等発表

[58] 高木信一, "Si 基板上の Non-Si チャネル CMOS の展望", Selete Symposium 2010, 2010 年 5 月 11 日(火), つくば国際会議場

[59] 高木信一, "CMOS プラットフォーム上の高移動度チャネル MOS トランジスタ技術", TRC 第 7 回半導体デバイス分析セミナー, 東京コンファレンスセンター品川, 2010 年 5 月 21 日（金）

[60] 高木信一, "高性能先端 CMOS デバイス技術の方向性", SFJ(セミフォーラムジャパン）2010, プロセスインテグレーションセミナー(1)－新構造・新材料による CMOS ULSI、プロセスの未来－,グランキューブ大阪, 2010 年 6 月 1 日

[61] 高木信一, "Si プラットフォーム上の高移動度チャネル CMOS 技術", 第 4 回 九州大学稲盛フロンティア研究講演会, 2010 年 6 月 11 日, 九州大学伊都キャンパス稲盛ホール

[62] 安田哲二, 宮田典幸,卜部友二, 石井裕之, 板谷太郎, 前田辰郎, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 大竹晃浩,星井拓也, 横山正史, 竹中充, 高木信一, "High-k/III-V 界面の組成・構造と MIS 特性との関係", シリコン材料・デバイス(SDM)研究会（東京大学生産技術研究所, 2010 年 6 月 22 日） 電子情報通信学会技術研

究報告 110 巻 90 号 p. 49-54.

[63] 高木信一,“Si プラットフォーム上の Non-Si チャネル MOS トランジスタ技術”, 日経エレクトロニクス半導体技術戦略セミナー「独走する半導体メジャー3 社、2 兆円投資を支える技術戦略を語る～Intel, Samsung, TSMC の技術ロードマップから、新材料デバイスまで～」, 2010 年 6 月 29 日（火）, 東京コンファレンスセンター品川, pp. 41-49

[64] 高木信一, 竹中充, “Si プラットフォーム上の III-V/Ge CMOS テクノロジー”, 応用物理学会シリコンテクノロジー分科会第 127 回研究集会「VLSI シンポジウム特集（先端 CMOS デバイス・プロセス技術）」, 2010 年 7 月 22 日(木), 産業技術総合研究所臨海副都心センター別館

[65] 竹中充, 横山正史, 杉山正和, 中野義昭, 高木 信一, “高性能光電子集積回路実現に向けた III-V CMOS プラットフォーム技術”, 電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会 (LQE), 2010 年 8 月 26 日(木)- 8 月 27 日(金), 千歳アルカディアプラザ

[66] 近藤佳幸, 出浦桃子, 竹中充, 高木信一, 中野義昭, 杉山正和, “成長領域狭窄化選択 MOVPE による Si 上 InGaAs の高横/縦比成長”, 化学工学会第 42 回秋季大会, 2010 年 9 月, 京都大学

[67] 出浦桃子, 近藤佳幸, 竹中充, 高木信一, 霜垣幸浩, 中野義昭, 杉山正和, “微小領域選択 MOVPE を用いた Si 上 InGaAs の形状均一化に向けた Si 表面状態と InAs 成長の関係”, 化学工学会第 42 回秋季大会, 2010 年 9 月, 京都大学

[68] 竹中充, 横山正史, 杉山正和, 中野義昭, 高木信一, “III-V CMOS photonics プラットフォーム実現に向けたグレーティングカプラの作製”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[69] 前田辰郎, 森田 行則, 高木信一, “HfO2/Ge-nMISFETs に対する窒化膜界面層の効果”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[70] Sanjeewa Dissanayake, Yi Zhao, Satoshi Sugahara, Mitsuru Takenaka, and Shinichi Takagi, “Channel Direction Dependence of Hole Mobility in (110)-GOI pMOSFETs Fabricated by Ge Condensation Technique”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[71] 李成薫, 飯田亮, 金相賢, 横山正史, 田岡紀之, 安田哲二, 板谷太郎, 卜部友二, 石井裕之, 宮田典幸, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “自己整合プロセス用いた InGaAs MOSFET の電気特性と活性化アニール温度依存性”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[72] 金相賢, 横山正史、田岡紀之, 飯田亮, 李成薫, 中根了昌、卜部友二, 宮田典幸, 石井裕之, 安田哲二, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “メタル S/D 構造を用いた自己整合型 InP MOSFET の作製”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[73] 卜部友二, 宮田典幸, 安田哲二, 石井裕之, 板谷太郎, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “結晶品質を改善した InGaAs エピ層上 MISFET のチャネル移動度特性”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[74] 安田哲二, 卜部友二, 宮田典幸, 山田永, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “ALD-Al2O3/InGaAs 界面形成過程の In-Line AES 評価”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[75] 飯田亮, 李成薫, 金相賢, 横山正史, 田岡紀之, 安田哲二, 高木秀樹, 卜部友二, 石井裕之, 宮田典幸, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “自己整合プロセスを用いたフロントゲート型 InGaAs-On-Insulator MOSFET”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[76] 横山正史, 山田永, 安田哲二, 高木秀樹, 卜部友二, 宮田典幸, 福原昇, 秦雅彦, 杉山正和, 中野義昭, 竹中充, 高木信一, “Al2O3 埋め込み酸化膜と S 処理による III-V-OI MOSFET の電子移動度に対するチャネル膜厚依存性の改善”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[77] Rui Zhang, Takashi Iwasaki, Noriyuki Taoka, Mitsuru Takenaka, Shinichi Takagi, “A Plasma Assisted Top-to-Bottom Assembly of Ge/GeOx/Al2O3 Gate Stack with Superior Electrical Properties”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[78] Rui Zhang, Takashi Iwasaki, Noriyuki Taoka, Mitsuru Takenaka and Shinichi Takagi, “Suppression of ALD-Induced Degradation on ultra thin GeO2 using Low Power Plasma Nitridation”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[79] 高木信一, “イントロダクトリートーク”, シンポジウム「シリコンテクノロジーの未来像を徹底的に考える -Never Ending Silicon Technology-」, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[80] 近藤 佳幸, 出浦桃子, 竹中充, 高木信一, 中野義昭, 杉山正和, “微小領域選択 MOVPE における Si(111) 選択成長領域の InAs による完全被覆 と InGaAs 横方向成長への影響”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[81] 出浦桃子, 近藤佳幸, 竹中充, 高木信一, 中野義昭, 杉山正和, “微小領域選択 MOVPE を用いた Si 上 InAs 成長の基板表面処理条件依存性”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、長崎大学、2010 年 9 月.

[82] 高木信一, 異種材料 (Si/Ge/化合物半導体) 集積化技術, Electronic Journal 第 614 回 Technical Seminar, 2010 年 11 月 18 日、総評会館、東京

[83] 高木信一, Si プラットフォーム上の Non-Si チャネル CMOS デバイス技術, SEMI テクノロジーシンポジウム(STS) 2010 特別セッション 社会インフラを支えるエコロジー・化合物デバイス, 2010 年 12 月 1 日、幕張メッセ国際会議場 2F 201 会議室

[84] 金相賢, 横山正史, 田岡紀之, 飯田亮, 李成薫, 中根了昌, 卜部友二, 宮田典幸, 安田哲二, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “Ni-InGaAs 合金を用いた自己整合型メタルソース・ドレイン InxGa1-xAs MOSFETs”, 応用物理学会シリコンテクノロジー分科会第 131 回研究集会, 電子情報通信学会シリコンデバイス・材料研究会 1 月研究会, 「IEDM 特集(先端 CMOS デバイス・プロセス技術)」, 2011 年 1 月 31 日, 機械振興会館, p. 5-8

[85] 高木信一, “高移動度チャネル CMOS の現状と課題”, 日本学術振興会 薄膜第 131 委員会/半導体界面制御技術第 154 委員会・合同研究会, 2011 年 2 月 2 日, キャンパスイノベーションセンター(CIC)東京, p. 11-19

[86] 田岡紀之, 横山正史,金相賢, 鈴木麗菜, 星井拓也, 飯田亮, 李成薫, 卜部友二, 宮田典幸, 安田哲二, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “ALD-Al2O3/InP 界面における遅い準位特性の ALD 温度依存性”, ゲートスタック研究会 — 材料・プロセス・評価の物理 —(第 16 回研究会), 2011 年 1 月, 東工大, pp. 15

[87] 竹中充, 森井清仁, 杉山正和, 中野義昭, 高木信一, “気相ドーピング法を用いた Ge フォトディテクターの暗電流低減”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[88] 卜部友二, 宮田典幸, 安田哲二, 前田辰郎, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 田岡紀之, 竹中充, 高木信一, “InP MISFET の特性: 面方位と(NH4)2S 処理の効果”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[89] 金相賢, 横山正史, 田岡紀之, 飯田亮, 李成薫, 中根了昌, 卜部友二, 宮田典幸, 安田哲二, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “InGaAs MOSFET におけるメタル S/D 材料としての Ni-InGaAs の評価”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[90] 金相賢, 横山正史, 田岡紀之, 飯田亮, 李成薫, 中根了昌, 卜部友二, 宮田典幸, 安田哲二, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “メタル S/D 構造を用いた自己整合型 InxGa1-xAs MOSFET の作製”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[91] 横山正史, 飯田亮, 金相賢, 田岡紀之, 卜部友二, 安田哲二, 高木秀樹, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 杉山正和, 中野義昭, 竹中充, 高木信一, “薄膜 BOX 層を有するサブ 10nm 極薄膜 InGaAs-OI MOSFET”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[92] Rui Zhang, Takashi Iwasaki, Noriyuki Taoka, Mitsuru Takenaka and Shinichi Takagi, “Impact of GeOx Interfacial Layer Thickness of Al2O3/Ge MOS interface Properties”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[93] 飯田亮, 李成薫, 金相賢, 横山正史, 田岡紀之, 竹中充, 高木信一, “プレーナ型 InGaAs チャネル Tunneling Field Effect Transistor”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[94] ジェバスワン ウィパコーン, 卜部友二, 前田辰郎, 宮田典幸, 安田哲二, 山田永, 秦雅彦, 田岡紀之, 竹中充, 高木信一, “Impact of Al(CH3)3 dosage in initial cycles of Al2O3 ALD on MIS properties of InGaAs”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[95] 李成薫, 飯田亮, 金相賢, 星井拓也, 田岡紀之, 横山正史, ジェバスワン・ウィパコーン, 安田哲二, 山田永, 福原昇, 秦雅彦,竹中充, 高木信一, “窒素プラズマを用いた Al2O3/InGaAs MOS 構造の価電子帯近傍界面特性の改善”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[96] 安田哲二, 卜部友二, 石井裕之, 板谷太郎, 宮田典幸, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “InP/InGaAs 埋め込みチャネル構造による MISFET 移動度改善”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[97] 一宮佑希, 横山正史, 飯田亮, 杉山正和, 中野義昭, 竹中充, 高木信一, “ALD Al2O3 を用いた III-V CMOS Photonics 用貼り合わせ基板の特性改善”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[98] 田岡紀之, 横山正史,金相賢, 鈴木麗菜, 星井拓也, 飯田亮, 李成薫, 卜部友二, 宮田典幸, 安田哲二, 山田永, 福原昇, 秦雅彦, 竹中充, 高木信一, “ALD-Al2O3/InP 界面におけるコンダクタンスカーブの定量解析”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

[99] 黒田浩一, Sanjeewa Dissanayake, Junkyo Suh, Younghyun Kim, 横山正史, 田岡紀之, 竹中充, 高木信一, “Ge フォトディテクタ応用に向けた酸化濃縮 Ge-On-Insulator の特性改善”, 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月.

田中・大矢　研究室
Tanaka and Ohya Laboratory

(http://www.cryst.t.u-tokyo.ac.jp)
(http://www.cryst.t.u-tokyo.ac.jp/index.en.html)

研究現況
Current Research Projects

1. 強磁性金属/半導体ヘテロ構造とスピントランジスタの研究

田中雅明・中根了昌・佐藤彰一・菅原聡

Ferromagnetic Metal / Semiconductor Heterostructures and Spin Transistors

M. TANAKA, R. NAKANE, S. SATO, and S. SUGAHARA

Si や GaAs 半導体基板上に高品質単結晶の強磁性薄膜を成長させることができれば、半導体エレクトロニクスと磁性材料の機能（不揮発性メモリや光学的非相反性など）を融合させた新しい物質科学や応用技術、またはスピン自由度を使ったエレクトロニクスを創造できる可能性がある。我々はこの分野で 90 年代初めから先駆的研究を進めているが、本研究では、六方晶の結晶構造を持つ強磁性金属 MnAs 薄膜を、分子線エピタキシー(MBE)法を用いて半導体(Si, GaAs)基板上にエピタキシャル成長させることに成功した。また、MnAs/III-V (GaAs,AlAs)/MnAs から成る３層の強磁性／半導体多層ヘテロ構造の形成に成功し、良好な品質を保ったエピタキシャルヘテロ構造を得た。磁気センサや固体磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)の基本原理となるスピンバルブ効果による磁気抵抗効果、および最近では大きなトンネル磁気抵抗効果の観測に成功した。さらに、スピン依存伝導を積極的に用いた新しいシリコンベースのスピントランジスタ（Spin MOSFET）を提案し、そのデバイス物理の解析、高密度不揮発性メモリおよび再構成可能な論理回路の設計を行った。シリコンベースのスピンデバイスの実現に向けてデバイスプロセスと Spin MOSFET 作製、Si-MOS チャネルへのスピン注入と伝導、スピン検出の研究も行っている。

It is expected that the feasibility of growing monocrystalline high-quality ferromagnetic thin films on semiconductors leads to a new class of materials which combines the properties both of semiconductors and of ferromagnets, giving rise to new applications. We have successfully grown ferromagnetic MnAs films with hexagonal NiAs-type crystal structure on Si and GaAs substrates by MBE. Furthermore, we have successfully grown MnAs/III-V(GaAs,AlAs)/MnAs trilayer structures having good crystalline quality on Si(111) and GaAs (111) substrates, and have observed the spin-valve effect and tunneling magnetoresistance (TMR), which can lead to the application to magnetic-field sensors and magnetic random access memory (MRAM). Furthermore, we proposed and analyzed a new class of silicon-MOS based spin transistors (Spin MOSFET) and their application to ultrahigh density nonvolatile memory and reconfigurable logic devices. We are investigating device processes for realizing Si-based spin devices including spin MOSFETs, spin injection and transport in Si-MOS channels, and spin detection.

2. III-V 族ベースの強磁性半導体および その超薄膜・量子ヘテロ構造

田中雅明・大矢忍・宗田伊理也・ファムナムハイ

III-V Based Ferromagnetic Semiconductors (GaMn)As, (InGaMn)As, Mn-delta-doped GaAs, and their Ultrathin Quantum Heterostructures

M. TANAKA, S. OHYA, I. MUNETA, and P. N. HAI

我々は 1996 年以降、比較的低温（200－300℃）の強い非平衡成長条件下で MBE 成長を行うことにより、GaAs 中に固溶限界を越えた Mn 原子をドーピングさせ、新しい希薄磁性半導体($Ga_{1-x}Mn_x$)As を作製できることを示してきた。最近は、結晶作製条件の最適化により、最大で x=21%もの高濃度の Mn をドープすることに成功しており、この組成領域において高品質な閃亜鉛鉱型の単結晶が保たれることを明らかにしている。これらの試料に対する磁化および磁気輸送特性などの測定により、170 K 程度に及ぶ高い強磁性転移温度 T_C が得られた。四元混晶磁性半導体(InGaMn)As の作製も行っており、低温（T_C は約 130 K）強磁性が発現すること、In 組成を変えることにより、格子定数、バンドギャップ、磁気異方性を制御できること、光通信用デバイスと整合性の良い InP 基板上に格子整合できることなどを明らかにした。これらの系は、III-V 族化合物半導体と強磁性体の性質を併せ持つ新しい物質であり、スピンとキャリアの相互作用を調べる上で極めて興味深い対象である。これらの材料を用いたヘテロ構造の研究も行っており、強磁性(GaMnAs)/非磁性(AlAs)半導体超格子構造や、GaMnAs 量子井戸二重障壁ヘテロ構造などを作製し、磁気光学効果やスピン依存トンネル伝導特性の測定により、GaMnAs 層中に量子準位が形成されていることを初めて示した。一方、Mn-デルタドーピングと選択ドーピング構造を作製し、III-V 族化合物半導体では最高の強磁性転移温度である T_C=172 K- 250 K を観測した。最近、これらの系におけるプレーナホール効果を用いた磁気異方性の研究を進めており、Mn-delta-doped GaAs / p-AlGaAs ヘテロ構造において巨大プレーナホール効果が観測されることや、(InGaMn)As において面内一軸異方性が支配的であることなどを明らかにしている。

Since 1996, we have successfully grown a new III-V based magnetic semiconductor (GaMn)As by low-temperature molecular beam epitaxy (LT-MBE), in which strong non-equilibrium growth conditions allow a large amount of Mn atoms to be incorporated into the host lattice of GaAs. Recently, heavily Mn doped GaMnAs with the Mn concentration up to 21% has been successfully fabricated by improving the growth condition. It was revealed that these films have a high-qualified zinc-blende-type single-crystal structure. By the magnetization, magneto-optical and magneto-transport studies, it was clarified that high Curie temperature (T_C) values up to 170 K were obtained in these films. We also have tried to fabricate a new quaternary alloy magnetic semiconductor (InGaMn)As, and have found that it is ferromagnetic with T_C ～ 130K. In (InGaMn)As, the lattice constant, the bandgap, and magnetic anisotropy can be changed, and it can be grown on lattice-matched InP substrates, thus having good compatibility with optical communication devices. They are a new class of materials having properties both of III-V semiconductors and of ferromagnetic materials, providing new opportunities to study

the interaction between carriers and local spins. Furthermore, we have grown GaMnAs/ AlAs super lattices (SLs) and GaMnAs/ AlGaAs/ GaMnAs/ AlAs quantum heterostructures, and have shown that the quantum levels are formed in GaMnAs. Also, we have realized high T_C of 172－250 K in Mn-delta-doped GaAs / *p*-AlGaAs heterostructures, which are the highest values ever reported in III-V based materials. More recently, we have developed a technique to investigate the in-plane magnetic anisotropy in the magnetic semiconductor systems by using the planer Hall effect. We have found out a giant planar Hall effect in the Mn-delta-doped GaAs / *p*-AlGaAs heterostructures and clarified their magnetic anisotropy. Also, its technique has been applied to InGaMnAs, and we have clarified that the uniaxial magnetic anisotropy is dominant in InGaMnAs.

3. 強磁性半導体ヘテロ構造を用いた量子効果トンネル接合デバイスとトンネル磁気抵抗効果

田中雅明・大矢忍・宗田伊理也・ファムナムハイ

Magnetic Tunnel Junctions using Ferromagnetic Semiconductor Quantum Heterostructures and Tunneling Magneto-Resistance

M. TANAKA, S. OHYA, I. MUNETA, and P. N. HAI

低温 MBE 成長により GaMnAs/AlAs/GaMnAs から成る強磁性半導体トンネル接合を作製し、半導体ヘテロ構造では初めてトンネル磁気抵抗効果を観測していた(1998年)が、2000 年に構造と磁場の印加方向を最適化することにより大きなトンネル磁気抵抗効果(TMR)が得られることを明らかにした。$Ga_{1-x}Mn_xAs$ (x=4.0%, 50nm) / AlAs (1.3-2.8nm) / $Ga_{1-x}Mn_xAs$ (x=3.3%, 50nm)から成る単一障壁強磁性半導体トンネル接合に、磁場を面内で[100]方向に印加してトンネル抵抗を測定したところ、TMR 比は最大 75%にも達した。また、TMR の AlAs 障壁厚さ依存性の実験結果を、界面に平行方向のキャリア波数ベクトル $\boldsymbol{k}_{//}$が保存するとして強結合近似で求めた理論計算により説明した。最近では、AlMnAs 障壁をトンネル障壁に用いることにより、2.6 K において、同測定温度領域においては半導体系で最も大きな TMR 比 175%を観測した。また、GaMnAs/ AlGaAs/ GaMnAs/ AlAs/ GaAs:Be 量子ヘテロ構造において、スピン依存共鳴トンネル効果により、TMR が増大することを示した。一方、このような系を用いて、GaMnAs 量子井戸に電極を有する 3 端子素子を作製し、量子準位とスピン依存トンネル伝導の制御にも成功している。このようなスピンに依存するトンネル現象は、不揮発性メモリや磁気センサの基本原理であり、半導体ヘテロ接合においてこのような現象が明瞭に観測されたことの意義は大きいと考えている。

We have observed very large tunneling magnetoresistance (TMR) in epitaxially grown GaMnAs/AlAs/GaMnAs ferromagnetic semiconductor tunnel junctions. Large TMR ratios more than 70% were obtained in junctions with a very thin (<1.6 nm) AlAs tunnel barrier when the magnetic field was applied along the [100] axis in the film plane. The TMR was found to rapidly decrease with increasing the barrier thickness, which is explained by calculations assuming that the parallel wave vector $\boldsymbol{k}_{//}$ of carriers is conserved in tunneling. Recently, we have observed the larger TMR values up to 175% at 2.6 K in GaMnAs/AlMnAs/GaMnAs tunnel junctions. This is the highest TMR value ever reported in the semiconductor-based tunnel junctions in the same temperature region, In the GaMnAs/ AlGaAs/ GaMnAs/ AlAs quantum heterostructures, we have found that the TMR is enhanced by the quantum-size effect in the GaMnAs QW. More recently, we have grown a three-terminal devices containing an electrode connected to the GaMnAs QW, and successfully controlled the quantum levels and the spin-dependent tunneling. These findings are very significant steps towards future spintronics, in which one tries to use the spin degree of freedom in semiconductor devices.

4. グラニュラー強磁性金属(MnAs)／半導体(III-V)ハイブリッド構造の形成と磁気光学物性、磁気抵抗効果、スピン起電力、およびデバイス応用

田中雅明・ファムナムハイ・秋山了太・大矢忍

Semiconductor-Based Magneto-Photonic Crystals: Ferromagnet(MnAs)/III-V Semiconductor Hybrid Multilayer Structures: Fabrication, Magneto-optical , Magnet-resistive Properties, and Device Applications

M. TANAKA, P. N. HAI, R. AKIYAMA, and S. OHYA

低温 MBE 成長した混晶半導体(GaMn)As を 500-800℃で熱処理すると、強磁性金属 MnAs のクラスター（微粒子）が析出し、グラニュラー強磁性金属(MnAs)が半導体(GaAs)中に埋め込まれた GaAs:MnAs 複合構造が形成される。MnAs クラスタの大きさは数 nm であり、アニール温度によって変えられ、全体としては超常磁性を示す。このような強磁性体/半導体複合構造の形成技術を確立し、その磁気光学効果を明らかにしつつある。特に最近では、GaAs/AlAs 半導体多層膜から成る分布ブラッグ反射鏡（Distributed Bragg Reflector, DBR）と組み合わせ、DBR/GaAs:MnAs /DBR 構造をエピタキシャル成長によって形成し、光を磁性層に局在させることによって、室温で磁気光学効果が数倍増大することを見出し、III-V 族化合物半導体をベースとしたスピン機能光デバイスの実現へ向けて研究を進めている。一方で、MnAs クラスターを介した非常に興味深い伝導特性も観測され始めている。GaAs:MnAs 複合構造において、室温で 600%にも達する大きな正の磁気抵抗効果を見出し、さらなる評価と解明を進めている。また、GaAs:MnAs 微粒子構造を含む強磁性トンネル接合を作製し、明瞭なスピン依存トンネル現象を観測した。さらに MnAs 微粒子が閃亜鉛鉱型結晶構造である場合には、静磁場による起電力の発生と100,000%にもおよぶ巨大な磁気抵抗効果が得られることを発見した。静磁場による起電力の発生は、1831 年に確立したファラデーの電磁誘導の法則を、このような強磁性ナノ構造においてはより一般化する必要があることを示すものである。

We have fabricated ferromagnet(MnAs)/III-V semiconductor(GaAs) granular structures, hereafter GaAs:MnAs, by annealing (GaMn)As at 500 - 800°C. During the annealing process, MnAs ferromagnetic clusters with diameters of a few nm were formed in a matrix of GaAs (or GaMnAs), exhibiting a superparamagnetic behavior. We have established the fabrication process and have measured magneto-optic properties. Furthermore, we have fabricated

GaAs:MnAs sandwiched by GaAs/AlAs distributed Bragg Reflectors (DBRs), and have showed significant enhancement of magneto-optical effect by using multiple interference and localization of light in the GaAs:MnAs magnetic layer. This structure offers new opportunity for the application to spin-controlled photonic devices based on III-V compound semiconductors. Recently, we have found extremely large positive magnetoresistance of 600 % at room temperature in the GaAs:MnAs granular structures, and further investigations are underway. Furthermore, we found that an emf can be induced by a static magnetic field in magnetic tunnel junctions (MTJs) containing zinc-blende (ZB) MnAs nanoparticles. As a consequence, a huge magnetoresistance effect of up to 100,000% was observed at certain bias voltages. Our results show, for the first time, that Faraday's Law of induction given in 1831 must be generalized to take into account spin effects in magnetic nanostructures [Nature **458**, 489 (2009)].

5. IV 族ベース・スピントロニクス材料とデバイスプロセスの研究

田中雅明・矢田慎介・秋山了太・岡崎亮平・伴芳祐・中根了昌・大矢忍

Group-IV-based Spintronics Materials and Device Processes

M. TANAKA, S. YADA, R. AKIYAMA, R. OKAZAKI, Y. BAN, R. NAKANE, and S. OHYA

Si を中心とする IV 族半導体は大規模集積回路・MOS トランジスタの主材料であり、将来にわたってその重要性は疑う余地が無い。Si や Ge など IV 族ベースの磁性半導体や IV 族半導体と整合性の良いハーフメタルなど高スピン偏極材料の創製とデバイスプロセスの研究を行っている。これまでに GeMn の強磁性の起源の解明と GeM アモルファス強磁性半導体の作製、自己組織化 GeMn ナノコラム構造の作製、新しい強磁性半導体 GeFe の作製と微視的構造および磁気光学効果などの物性評価、SOI (silicon on insulator) 基板上への Fe_xSi の作製とそのスピン MOS デバイスプロセス開発などを進めている。

It is no doubt that Si and group-IV semiconductors will be continuously important in the future, because they are used for MOS transistors and integrated circuits. We study the fabrication of group-IV (Si and Ge) based magnetic semiconductors and ferromagnets with high spin polarization, such as half metals, which are compatible with group-IV semiconductors, and their applications to spin-device processes. We have grown GeMn and clarified the origin of its ferromagnetism, successfully fabricated ferromagnetic amorphous semiconductor GeMn and self-organized GeMn nanocolumns. Also, we have successfully grown a new ferromagnetic semiconductor GeFe and clarified its microscopic structure and magneto-optical properties. Recently, we have successfully fabricated ferromagnetic Fe_3Si on silicon-on-insulator (SOI) substrates, and developed spin MOS devices.

6. 新しい電子誘起 n 型強磁性半導体の研究

田中雅明・ファムナムハイ・レデゥックアイン

A New Electron-Induced Ferromagnetic Semiconductor

M. TANAKA, P-N. HAI, and LE DUC ANH

キャリア誘起強磁性半導体は、ゲート電圧や光照射による強磁性の制御をはじめ他の材料系で得られないユニークな特色を持ち、半導体スピントロニクス研究における中心的な材料である。しかし、これまで最も研究されてきた Mn 系キャリア誘起強磁性半導体 (In,Mn)As や (Ga,Mn)As は常に p-型であるため、実用的なデバイスの材料として使いにくい。Mn 系強磁性半導体では Mn 原子がスピン磁気モーメントを提供すると同時に、アクセプタとして正孔を供給するため p-型になる。また、最近の光および電気伝導による研究により、Mn 系の強磁性半導体においては p 軌道と d 軌道の混在による不純物バンドが形成され、正孔がその不純物バンドを伝導する「不純物バンド伝導モデル」が示された。Mn 系強磁性半導体の性質をよく説明できた「価電子帯伝導モデル」に基いた Zener モデルの適用が難しくなり、強磁性のメカニズムの解明が困難となった。我々は理想的な強磁性半導体は次の特性を満たすべきだと考える。1)スピンとキャリアの分離ができること。つまり、スピン磁気モーメントを提供する原子とキャリアを提供する原子を独立に制御可能であること。これにより、p-型だけではなく、n-型キャリア誘起強磁性半導体も作製できる。2)キャリアが不純物バンドではなく伝導帯あるいは価電子帯を伝導すること。これにより、強磁性の発生メカニズムの解明や量子ヘテロ構造の設計も可能になる。本研究では、以上の条件を満たす可能性がある新規強磁性半導体として、鉄 (Fe)系の n 型電子誘起強磁性半導体(In,Fe)As を提案し、低温 MBE による作製に成功した。

Carrier-induced ferromagnetic semiconductors (FMSs) have been intensively studied for decades as they have novel functionalities that cannot be achieved with conventional metallic materials. These include the ability to control magnetism by electrical gating or light irradiation, while fully inheriting the advantages of semiconductor materials such as band engineering. Prototype FMSs such as (In,Mn)As and (Ga,Mn)As, however, are always p-type, making it difficult to be used in real spin devices. This is because manganese (Mn) atoms in those materials work as local magnetic moments and acceptors that provide holes for carrier-mediated ferromagnetism. We have shown that by introducing iron (Fe) into InAs, it is possible to fabricate a new FMS with the ability to control ferromagnetism by both Fe and independent carrier doping. Despite the general belief that the tetrahedral Fe-As bonding is antiferromagnetic, we demonstrate that (In,Fe)As doped with electrons behaves as an n-type electron-induced FMS, a missing piece of semiconductor spintronics for decades. This achievement opens the way to realize novel spin-devices such as spin light-emitting diodes

or spin field-effect transistors, as well as helps understand the mechanism of carrier-mediated ferromagnetism in FMSs.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Shinobu Ohya, Iriya Muneta, Pham Nam Hai, and Masaaki Tanaka, "Valence-Band Structure of the Ferromagnetic Semiconductor GaMnAs Studied by Spin-Dependent Resonant Tunneling Spectroscopy", Phys. Rev. Lett. **104**, 167204 (2010).; Shinobu Ohya, Iriya Muneta, Pham Nam Hai, and Masaaki Tanaka, "Valence-Band Structure of Ferromagnetic-Semiconductor GaMnAs Studied by Spin-Dependent Resonant Tunneling Spectroscopy", Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology, Volume 21, Issue 18, May 3,2010. http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=VIRT010000210000180000240000001&idtype=cvips&gifs=yes&ref=no

[2] Pham Nam Hai, Shinobu Ohya, and Masaaki Tanaka, "Long spin-relaxation time in a single metal nanoparticle", Nature Nanotechnology **5**, pp.593-596 (2010).

[3] R. Nakane, T. Harada, K. Sugiura, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Magnetoresistance of a Spin Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor with Ferromagnetic MnAs Source and Drain Contacts", Jpn. J. Appl. Phys. **49**, pp.113001/1-3 (2010).

[4] Shinsuke Yada, Ryohei Okazaki, Shinobu Ohya, and Masaaki Tanaka, "Single-Crystalline Ferromagnetic Alloy Semiconductor Ge1-xMnx Grown on Ge (111)", Applied Physics Express **3**, pp.123002/1-3 (2010).

[5] Shinobu Ohya, Kenta Takata, and Masaaki Tanaka, "Nearly non-magnetic valence band of the ferromagnetic semiconductor GaMnAs", Nature Physics, published online on 6 February, 2011. (DOI 10.1038/NPHYS1905).

総説論文、解説論文、編著

[6] Masaaki Tanaka and Shinobu Ohya, "Spintronic Devices Based on Semiconductors", Comprehensive Semiconductor Science and Technology, Vol.6, pp.540-562, Elsevier (Amsterdam), February 2011.

[7] M. Tanaka, S. Ohya, Y. Shuto, S. Yada, and S. Sugahara, "III-V and Group-IV Based Ferromagnetic Semiconductors for Spintronics", Comprehensive Nanoscience and Technology, Vol.4, pp.447-462, Academic Press (Oxford), February 2011.

[8] 白井正文、田中雅明, "半導体におけるスピン関連現象の物理と応用 (PASPS-VI)", 固体物理 Vol.46, No.2, pp.55-58 (2011).（2011 年 2 月発行）.

[9] 田中雅明, (総合報告) "総論 スピントロニクスの現状と展望", 表面科学 Vol.32, No.3, pp.120-127

(2011).（2011 年 3 月 10 日発行）.

[10] 田中雅明 "S2 群 2 編 ナノエレクトロニクス　第 5 章 スピントロニクス" 電子情報通信学会知識ベース　知識の森
http://www.ieice-hbkb.org/portal/doc_516.html
http://www.ieice-hbkb.org/files/S2/S2gun_02hen_05.pdf

国際会議論文

[11] M. Tanaka, P.N. Hai, S. Ohya, S.E. Barnes, and M. Maekawa (invited), "Electromotive force and huge magnetoresistance in magnetic nanostructures", Korean Physical Society Meeting, Daejeon, Korea, April 21-23, 2010.

[12] Masaaki Tanaka, Pham Nam Hai, Shinobu Ohya, "Spintronics Materials and Devices - New Functionalities and Electromagnetism -", Tsinghua University - University of Tokyo Joint Workshop on Secure-Life Photonics, Hongo Campus, University of Tokyo, May 13, 2010.

[13] Masaaki Tanaka (invited), "Electromotive force and huge magnetoresistance in magnetic nanostructures", International Conference on Nano-spintronics Design and Realization (ICNDR-2010), Osaka University, May 30-June 4, 2010.

[14] Pham Nam Hai, S. Ohya, and M. Tanaka (invited), "Spin motive force", 37th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS 2010), Takamatsu, Japan, May 31 - June 4, 2010.

[15] Pham Nam Hai and M. Tanaka (invited), "Emerging semiconductor spintronic devices and materials", Solid-State Systems Symposium 2010 (4S-2010), Vietnam National University, Ho Chi Minh (VNU-HCM), Vietnam, June 17-18, 2010,

[16] S. Ohya, I. Muneta. P. N. Hai, and M. Tanaka, "Fermi Level Position and Valence-Band Structure in GaMnAs Studied by Spin-Dependent Resonant Tunneling Spectroscopy", 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), August 1-4, 2010, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

[17] S. Ohya, K. Takata, M. Tanaka, "Universal Valence-Band Picture of GaMnAs with High Curie Temperature", 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), August 1-4, 2010, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

[18] I. Muneta, S. Ohya, and M. Tanaka, "Spin-dependent transport in GaMnAs-based double-quantum-well resonant-tunneling diodes", 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), August 1-4, 2010, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

[19] P. N. Hai, S. Ohya, and M. Tanaka, "Spin-dependent Transport and Long Spin-Relaxation Time in a Hexagonal MnAs Nanoparticle", 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), August 1-4, 2010, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

[20] S. Yada, R. Okazaki, S. Ohya, and M. Tanaka, "Magnetic and structural properties of Ge1-xMnx films grown on Ge (111) substrates", 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), August 1-4, 2010, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

[21] S. Sato, R. Nakane, S. Kokutani, and M. Tanaka, "Influence of anisotropic magnetoresistance on nonlocal signals in multi-terminal lateral devices with a Si channel and Fe electrodes", 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), August 1-4, 2010, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

[22] A. M. Nazmul, S. Ghosh, S. Ohya, and M. Tanaka, "Control of ferromagnetism by light irradiation in a Mn-delta-doped GaAs/p-AlGaAs heterostructure", 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), August 1-4, 2010, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

[23] Y. Shuto, R. Nakane, W. H. Wang, H. Sukegawa, S. Yamamoto, M. Tanaka, K. Inomata,and S. Sugahara, "A new spin-functional MOSFET based on MTJ technology: Pseudo-spin-MOSFET", 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), August 1-4, 2010, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

[24] Masaaki Tanaka (invited), "Properties and functionalities of MnAs nanoparticles in III-V: spin transport, magnetoresistance, and electromotive force", 2010 Magnetic Nanostructures Gordon Research Conference, Bates College, Lewiston, Maine, USA, August 8-13, 2010.

[25] S. Ohya, K. Takata and M. Tanaka, "Resonant Tunneling in a GaMnAs Surface Quantum Well and Its Valence-Band Picture", 16th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Berlin, August 23-27, 2010.

[26] Masaaki Tanaka (invited), "Properties and functionalities of MnAs-nanoparticle / III-V-semiconductor hybrid structures", Symposium N 'Inhomogeneous and hybrid magnetic semiconductor systems', E-MRS Fall Meeting 2010, Warsaw, Poland, September 13-17, 2010.

[27] Masaaki Tanaka (invited), "III-V based magnetic

heterostructures and nanostructures: Spin dependent tunneling, magnetoresistance, and electromotive force", IBM MRC Workshop on III-V Devices, IBM Zurich Reseatch, Zurich, Switzerland, September 20-21, 2010

[28] Masaaki Tanaka (plenary, invited), "Properties and functionalities of MnAs-nanoparticle / III-V-semiconductor hybrid structures: Spin transport, magnetoresistance, and electromotive force", IEEE 7th International Symposium on Metallic Multilayers (MML2010), Berkeley, USA, September 19-24, 2010.

[29] Shinsuke Yada, Ryohei Okazaki and Masaaki Tanaka, "Large magnetoresistance of Ge1-xMnx single films and heterostructures with magnetic nanocolumns", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2010), University of Tokyo, Tokyo, Japan, September 22-24, 2010.

[30] Pham Nam Hai, S. Ohya, and M. Tanaka, "Spin dependent transport in a single-electron spin transistor", University of Wuerzburg - University of Tokyo joint Workshop on Advances in Nanophotonics and Spintronics, Wuerzburg, Germany, October 4-6, 2010.

[31] Masaaki Tanaka and Shinobu Ohya (invited), "Spin dependent resonant tunneling in III-V-based ferromagnetic-semiconductor heterostructures", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA, November 14-18, 2010.

[32] S. Ohya, K. Takata, and M. Tanaka, "Universal Valence-Band Picture of GaMnAs Studied by Resonant Tunneling Spectroscopy", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA, November 14-18, 2010.

[33] P. N. Hai, S. Ohya and M. Tanaka, "Long spin-relaxation time (10 microsecond) in a single ferromagnetic-metal MnAs nanoparticle", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA, November 14-18, 2010.

[34] S. Yada, R. Okazaki and M. Tanaka, "Large positive magnetoresistance of Ge1-xMnx films with magnetic nanocolumns and its heterostructure", 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2010), Atlanta, USA, November 14-18, 2010.

[35] R. Akiyama, S. Ohya, P.N. Hai, and M. Tanaka, "Magnetoresistance enhancement due to inelastic cotunneling and the temperature dependence of electron transport in GaAs:MnAs granular materials", Third HOPE Meeting, Grand Prince Hotel New Takanawa, Tokyo, Japan, March 7-11, 2011.

[36] M. Tanaka, S. Ohya, I. Muneta, K. Takata, and P. N. Hai (invited), "Bandstructure and Fermi Level Position of GaMnAs Studied by Resonant Tunneling Spectroscopy", International Workshop on Magnetic Materials and Nanostructures, JAEA, Tokai, March 14-17, 2010.

[37] S. Ohya, I. Muneta, P.N. Hai, K. Takata, and M. Tanaka (invited), "Valence-band structure of the ferromagnetic semiconductor GaMnAs investigated by resonant tunneling", American Physical Society 2011 March Meeting, Dallas, USA, March 21-25, 2011

[38] R. Akiyama, S. Ohya, P.N. Hai, and M. Tanaka, "Magnetoresistance due to inelastic spin-flip cotunneling within Coulomb blockade regime in III-V semiconductor / MnAs nanoparticle heterostructures", American Physical Society 2011 March Meeting, Dallas, USA, March 21-25, 2011.

シンポジウム・研究会・国内学会等発表

[39] 田中雅明、大矢忍、ファムナムハイ “III-V 族ベース強磁性半導体およびナノ構造における最近の進展 －スピン依存伝導、磁気抵抗、スピン起電力－" 日本学術振興会「未踏・ナノデバイステクノロジー」第 151 委員会研究会「スピントロニクスの基礎」、東京大学浅野キャンパス工学部 9 号館、2010 年 5 月 19 日.

[40] 田中雅明 "スピントロニクスの新展開 －材料、デバイス、新現象－" 日本学術振興会「将来加工技術」第 136 委員会、東京大学浅野キャンパス工学部 9 号館、2010 年 6 月 18 日.

[41] 大矢忍、宗田伊理也、ファムナムハイ、田中雅明 "強磁性半導体 GaMnAs 量子ヘテロ構造におけるスピン依存トンネル伝導" 平成 22 年度特定領域研究「スピン流の創出と制御」研究会、京都大学宇治キャンパス、2010 年 6 月 23 日－25 日.

[42] ファムナムハイ、大矢忍、田中雅明 "MnAs 微粒子における単電子トンネル現象とスピン緩和時間" 平成 22 年度特定領域研究「スピン流の創出と制御」研究会、京都大学宇治キャンパス、2010 年 6 月 23 日－25 日.

[43] 矢田慎介、岡崎 亮平、大矢忍、田中雅明 "Ge1-xMnx 薄膜における磁性と構造の評価" 平成 22 年度特定領域研究「スピン流の創出と制御」研究会、京都大学宇治キャンパス、2010 年 6 月 23 日－25 日.

[44] 宗田伊理也、大矢忍、田中雅明 "強磁性半導体 GaMnAs を用いた二重量子井戸構造におけるスピン依存共鳴トンネル現象" 平成 22 年度特定領域研究「スピン流の創出と制御」研究会、京都大学宇治キャンパス、2010 年 6 月 23 日－25 日.

[45] 竹田幸治、岡根哲夫、藤森淳、斎藤祐児、山上浩志、大矢忍、ファムナムハイ、田中雅明" 軟Ｘ線磁気円二色性を用いた Ga1-xMnxAs の熱処理によるスピン電子状態変化の研究" 平成 22 年度特定領域研究「ス

ピン流の創出と制御」研究会、京都大学宇治キャンパス、2010 年 6 月 23 日－25 日.

[46] 田中雅明 "スピントロニクス・デバイス" 2010 年度日本物理学会主催・科学セミナー「スピントロニクス －最先端の物理と技術－」東京大学本郷キャンパス、2010 年 8 月 19 日－20 日.

[47] 田中雅明 "まとめと将来展望" 2010 年度日本物理学会主催・科学セミナー「スピントロニクス －最先端の物理と技術－」東京大学本郷キャンパス、2010 年 8 月 19 日－20 日.

[48] ファムナムハイ、田中雅明 "強磁性ナノ微粒子を用いた半導体スピントロニクスに関する研究" 3 大学グローバル COE 合同セミナー道場、奈良、2010 年 9 月 3 日～4 日.

[49] 田中雅明 "半導体スピントロニクス" 国際高等研究所研究プロジェクト「ナノ物質量子相の科学」2010 年度第 2 回研究会、国際高等研究所、2010 年 9 月 10 日-11 日.

[50] 田中雅明 "MnAs ナノ微粒子／III-V 半導体におけるスピン依存物性：磁気抵抗、起電力、スピン緩和時間" 新世代研究所第 2 回スピントロニクス研究会、東京、2010 年 10 月 12 日.

[51] 大矢忍、高田健太、田中雅明 "GaMnAs 表面層における量子準位の形成と価電子帯構造" 2010 年秋季第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎大学、2010 年 9 月 14 日-17 日; S. Ohya, K. Takata, and M. Tanaka "Formation of quantum levels formed in GaMnAs surface layers and valence-band picture of GaMnAs" 2010 Fall Meeting of the Japan Physical Society, Nagasaki University, September 14-17, 2010.

[52] ファムナムハイ、大矢忍、田中雅明 "単一 MnAs 微粒子における長いスピン緩和時間" 2010 年秋季第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎大学、2010 年 9 月 14 日-17 日; Pham Nam Hai, Shinobu Ohya, Masaaki Tanaka "Long spin relaxation time in a single MnAs nanoparticle" 2010 Fall Meeting of the Japan Physical Society, Nagasaki University, September 14-17, 2010.

[53] 矢田慎介，岡崎亮平，田中雅明 "ナノカラム構造を有する Ge1-xMnx 薄膜の磁気抵抗" 2010 年秋季第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎大学、2010 年 9 月 14 日-17 日; Shinsuke Yada, Ryohei Okazaki, Masaaki Tanaka "Magnetoresistance of Ge1-xMnx films with nanocolumns" 2010 Fall Meeting of the Japan Physical Society, Nagasaki University, September 14-17, 2010.

[54] Shinsuke Yada, and Ryohei Okazaki, Shinobu Ohya, and Masaaki Tanaka "Magnetic and structural properties of magnetic semiconductor Ge1-xMnx films grown on Ge (001) and (111) substrates: Nanocolumnar precipitation and homogeneous alloy", 東京大学グローバル COE「セキュアライフ・エレクトロニクス」シンポジウム「エネルギー・環境技術を支えるセキュアライフエレクトロニクス」、東京大学本郷キャンパス弥生講堂、2010 年 11 月 16 日-17 日.

[55] 大矢忍、忻宇飛、髙田健太、田中雅明 "共鳴トンネル分光を用いた III-V 族強磁性半導体における価電子帯構造解析" 第 15 回「半導体スピン工学の基礎と応用 ～半導体スピントロニクスの展開」研究会、筑波大学、2010 年 12 月 20 日-21 日; Shinobu Ohya, Yufei Xin, Kenta Takata, and Masaaki Tanaka "Valence-band structure of III-V-based ferromagnetic semiconductors investigated by resonant tunneling spectroscopy" 15th Workshop on Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-15), Tsukuba University, December 20-21, 2010.

[56] 大矢忍 "磁性半導体" 応用物理学会スピントロニクス研究会主催 第 9 回スピントロニクス入門セミナー、東京大学本郷キャンパス、2010 年 12 月 7 日.

[57] 大矢忍、忻宇飛、髙田健太、田中雅明 "共鳴トンネル分光を用いた III-V 族強磁性半導体における価電子帯構造解析" 第 15 回「半導体スピン工学の基礎と応用 ～半導体スピントロニクスの展開」研究会、筑波大学、2010 年 12 月 20 日-21 日; Shinobu Ohya, Yufei Xin, Kenta Takata, and Masaaki Tanaka "Valence-band structure of III-V-based ferromagnetic semiconductors investigated by resonant tunneling spectroscopy" 15th Workshop on Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-15), Tsukuba University, December 20-21, 2010.

[58] 宗田伊理也、大矢忍、田中雅明 "GaMnAs 及び GaAs 二重量子井戸構造におけるスピン依存伝導現象" 第 15 回「半導体スピン工学の基礎と応用 ～半導体スピントロニクスの展開」研究会、筑波大学、2010 年 12 月 20 日-21 日; Iriya Muneta, Shinobu Ohya, and Masaaki Tanaka "Spin-dependent transport phenomena in double-quantum-well heterostructures including ferromagnetic-semiconductor GaMnAs and GaAs quantum wells" 15th Workshop on Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-15), Tsukuba University, December 20-21, 2010.

[59] Pham Nam Hai, Shinshuke Yada, and Masaaki Tanaka "Phase decomposition diagram of magnetic alloy semiconductor" 15th Workshop on Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-15), Tsukuba University, December 20-21, 2010.

[60] 秋山了太、大矢忍、ファムナムハイ、田中雅明 "クーロンブロッケード領域内スピンフリップコトンネルによる磁気抵抗の増大" 第 15 回「半導体スピ

ン工学の基礎と応用 ～半導体スピントロニクスの展開」研究会、筑波大学、2010 年 12 月 20 日-21 日; Ryota Akiyama, Shinobu Ohya, Pham Nam Hai, Masaaki Tanaka "Magnetoresistance Enhancement due to Inelastic Spin-flip Cotunneling within Coulomb Blockade Regime" 15th Workshop on Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-15), Tsukuba University, December 20-21, 2010.

[61] 田中雅明、 大矢 忍、 ファムナムハイ "スピン半導体ナノエレクトロニクスの展開 －強磁性半導体ヘテロ構造におけるスピン依存伝導とその応用－" 公開シンポジウム「ナノ量子情報エレクトロニクスの進展」、東京大学本郷キャンパス武田ホール、2010 年 12 月 22 日; Masaaki Tanaka, Shinobu Ohya, and Pham Nam Hai "Progress in spin-based semiconductor nanoelectronics - Spin dependent transport in ferromagnetic-semiconductor heterostructures and its applications -" Symposium on Nano-Quantum Information Electronics, University of Tokyo, December 22, 2010.

[62] ファムナムハイ、大矢忍、田中雅明 "単一強磁性 MnAs 微粒子における長いスピン緩和時間" 公開シンポジウム「ナノ量子情報エレクトロニクスの進展」、東京大学本郷キャンパス武田ホール、2010 年 12 月 22 日; Pham Nam Hai, Shinobu Ohya and Masaaki Tanaka "Long spin relaxation time in a single ferromagnetic MnAs nanoparticle" Symposium on Nano-Quantum Information Electronics, University of Tokyo, December 22, 2010.

[63] 矢田慎介、岡崎亮平、大矢忍、田中雅明 "Ge(111) 基板上に成長した Ge1-xMnx 薄膜の磁性および構造の評価" 公開シンポジウム「ナノ量子情報エレクトロニクスの進展」、東京大学本郷キャンパス武田ホール、2010 年 12 月 22 日; Shinsuke Yada, Ryohei Okazaki, Shinobu Ohya, and Masaaki Tanaka "Magnetic and structural properties of epitaxial Ge1-xMnx films grown on Ge (111) substrates" Symposium on Nano-Quantum Information Electronics, University of Tokyo, December 22, 2010.

[64] 伴芳祐、大矢忍、田中雅明 強磁性半導体 Ge1-xFex の磁性とスピン依存伝導に関する研究, 公開シンポジウム「ナノ量子情報エレクトロニクスの進展」、東京大学本郷キャンパス武田ホール、2010 年 12 月 22 日; Yoshisuke Ban1, Shinobu Ohya1, and Masaaki Tanaka "Magnetic properties and spin-dependent transport in the group-IV based ferromagnetic semiconductor Ge1-xFex" Symposium on Nano-Quantum Information Electronics, University of Tokyo, December 22, 2010.

[65] 田中雅明、大矢忍、ファムナムハイ、宗田伊理也、高田健太 "強磁性半導体 GaMnAs 量子ヘテロ構造における共鳴トンネル効果、TMR の増大、フェルミ準位と価電子帯構造" 特定領域「スピン流の創出と制御」平成 22 年度研究成果報告会、東京大学武田ホール、2011 年 1 月 6 日-7 日.

[66] ファムナムハイ、大矢忍、田中雅明 "単一 MnAs 微粒子を含むスピン伝導デバイスとスピン緩和時間" 特定領域「スピン流の創出と制御」平成 22 年度研究成果報告会、東京大学武田ホール、2011 年 1 月 6 日-7 日.

[67] 宗田伊理也、大矢忍、田中雅明 "GaMnAs 及び GaAs 二重量子井戸構造におけるスピン依存伝導" 特定領域「スピン流の創出と制御」平成 22 年度研究成果報告会、東京大学武田ホール、2011 年 1 月 6 日-7 日.

[68] 岡崎亮平、矢田慎介、田中雅明 "ナノカラム構造を有する Ge1-xMnx 薄膜における異常ホール効果" 特定領域「スピン流の創出と制御」平成 22 年度研究成果報告会、東京大学武田ホール、2011 年 1 月 6 日-7 日.

[69] 田中雅明 "半導体スピントロニクス －材料とデバイスの研究－" SORST シンポジウム(5) ＩＴ/ＢＴならびに省エネの支え役「磁性材料」の将来像、東京品川コクヨホール、2011 年 1 月 19 日～20 日.

[70] ファムナムハイ、大矢忍、田中雅明 "単一 MnAs 微粒子におけるスピン蓄積とスピン緩和時間の測定" 固体エレクトロニクス研究会・光エレクトロニクス研究会、東京大学工学部２号館、2011 年 3 月 2 日.

[71] Pham Nam Hai、田中雅明 "単一 MnAs 微粒子におけるスピン緩和時間" 2010 年度東京大学低温センター研究交流会プログラム、東京大学弥生講堂アネックス、2010 年 3 月 3 日.

[72] 忻宇飛、大矢忍、高田健太、田中雅明 "共鳴トンネル分光法を用いた III-V 族強磁性半導体における価電子帯構造解析" 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月 24 日-27 日; Yufei Xin, Shinobu Ohya, Kenta Takata, and Masaaki Tanaka "Valence-band structure of III-V-based ferromagnetic semiconductors investigated by resonant tunneling spectroscopy" 58th Spring Meeting of the Japan Society of Applied Physics, Kanagawa Institute of Technology, March 24-27, 2011.

[73] 宗田伊理也, 大矢忍, 田中雅明 "GaMnAs 及び GaAs 二重量子井戸構造におけるスピン依存伝導" 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月 24 日-27 日; Iriya Muneta, Ohya Shinobu, and Masaaki Tanaka "Spin-dependent transport in GaMnAs and GaAs double-quantum-well structures" 58th Spring Meeting of the Japan Society of Applied Physics, Kanagawa Institute of Technology, March 24-27, 2011.

[74] 岡崎亮平、矢田慎介、田中雅明 "ナノカラム構造を有する Ge1-xMnx 薄膜における異常ホール効果" 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月 24 日-27 日; R. Okazaki, S. Yada, and M. Tanaka "Anomalous Hall effect of Ge1-xMnx films with Mn-rich nanocolumns" 58th Spring Meeting of the Japan Society of Applied Physics, Kanagawa Institute of Technology, March 24-27, 2011.

[75] 佐藤彰一、中根了昌、國谷瞬、田中雅明 "Si チャネル及び Fe 電極を有する多端子横型デバイスにおける非局所信号への異方性磁気抵抗効果の影響" 第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月 24 日-27 日; S. Sato, R. Nakane, S. Kokutani, and M. Tanaka "Influence of anisotropic magneto resistance on non local signals in multi-terminal lateral devices with a silicon channel and Fe electrodes" 58th Spring Meeting of the Japan Society of Applied Physics, Kanagawa Institute of Technology, March 24-27, 2011.

[76] 竹田幸治、岡根哲夫、藤森淳、斎藤祐児、山上浩志、大矢忍、ファムナムハイ、田中雅明 "軟 X 線磁気円二色性による希薄磁性半導体 Ga1-xMnxAs の熱処理前後におけるスピン電子状態変化の研究" 日本物理学会題 66 回年次大会、新潟大学、2011 年 3 月 25 日-28 日.

特許、受賞、報道、記事、その他

[77] 田中・大矢研究室の「金属ナノ微粒子で１０マイクロ秒と世界最長のスピン緩和時間を観測した研究成果」が英国科学誌ネイチャー・ナノテクノロジーに掲載されたほか、さまざまなメディアで報道 金属ナノ微粒子における長いスピン緩和時間を観測 http://www.u-tokyo.ac.jp/public/pdf/220705.pdf（東京大学よりプレスリリース、2010 年 7 月 5 日）

[78] 東大、金属ナノ微粒子で 10 マイクロ秒と世界最長の「スピン緩和時間」観測 日刊工業新聞、2010 年 7 月 12 日掲載 http://www.nikkan.co.jp/news/nkx0720100712eaac.html

[79] 東大、金属ナノ微粒子における長いスピン緩和時間を観測 日経プレスリリース、2010 年 7 月 5 日 http://release.nikkei.co.jp/detail.cfm?relID=255610

[80] 金属ナノ微粒子における長いスピン緩和時間を観測 Nanotech Japan 2010.7.20 https://nanonet.nims.go.jp/modules/news/article.php?a_id=872

[81] 東大、金属ナノ微粒子で 10μs のスピン緩和時間の観測に成功 マイコミジャーナル 2010/07/07 http://journal.mycom.co.jp/news/2010/07/07/002/index.html

[82] 東大、金属ナノ微粒子で１０マイクロ秒と世界最長の「スピン緩和時間」観測 アクティブサイエンスレビュー 2010 年 7 月 15 日 http://sci-review.activeray-sci.com/?eid=1597786

[83] Editors' Choice from APEX and JJAP: “Single-Crystalline Ferromagnetic Alloy Semiconductor Ge1-xMnx Grown on Ge(111)” by Shinsuke Yada, Ryohei Okazaki, Shinobu Ohya, and Masaaki Tanaka, Appl. Phys. Express 3 (2010) 123002. http://apex.jsap.jp/link?APEX/3/123002/ View Figure 2: http://apex.jsap.jp/alert/img-figs/3/APEX-3-123002_Fig2_large.gif

[84] 田中・大矢研究室の「強磁性半導体 GaMnAs においてフェルミ準位の位置とバンド構造を系統的に解明した研究成果」が英国科学誌ネイチャー・フィジックス（2011 年 2 月 6 日電子版） http://www.nature.com/nphys/journal/vaop/ncurrent/full/nphys1905.html に掲載されたほか、さまざまなメディアで報道された。東京大学よりプレスリリース: http://www.u-tokyo.ac.jp/public/public01_230207_j.html http://www.u-tokyo.ac.jp/public/pdf/230207.pdf

[85] 日刊工業新聞 ３月３日付２２面 ガリウム・マンガン・ヒ素半導体 強磁性発現の構造発見

[86] 東京大学新聞 ３月３日付 １面 強磁性半導体基礎構造を解明 http://www.utnp.org/2011/03/post_1975.html

[87] 東大、様々な強磁性半導体 GaMnAs 試料においてフェルミ準位の位置とバンド構造を系統的に解明 日経プレスリリース http://release.nikkei.co.jp/detail.cfm?relID=273021&lindID=4

[88] 東大、強磁性半導体 GaMnAs 試料においてフェルミ準位位置とバンド構造を解明 マイコミジャーナル http://journal.mycom.co.jp/news/2011/02/09/119/

[89] 東大、強磁性半導体 GaMnAs 試料においてフェルミ準位位置とバンド構造を解明 YAHOO!Japan ニュース http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20110209-00000122-mycomj-sci

[90] 東大、強磁性半導体 GaMnAs 試料においてフェルミ準位位置とバンド構造を解明 chem-index http://orient.albert.co.jp/handotai/handotai_003/9454.html

[91] 東大、強磁性半導体 GaMnAs 試料においてフェルミ準位位置とバンド構造を解明 Goo マネー http://money.goo.ne.jp/investment/news/keizai/my20110209-n122-mycom.html

[92] 東京大学電気系学科優秀卒業論文賞 および 東京大学工学部長賞 レ デゥック アイン (Le Duc Anh) 2011 年 3 月 卒業論文「新規強磁性半導体 (In,Fe)As の結晶成長およびその伝導特性と磁気特性の評価」.

田畑研究室
TABATA Laboratory
(http://www.bioxide.t.u-tokyo.ac.jp/index.html)

研究現況
Current Research Projects

1. 自然超格子構造を用いた機能融合材料の創製

関宗俊・岩本藤行・山原弘靖・田畑仁

Fabrication of Multifunctional Materials based on Natural Superlattice structure

M. Seki, F. Iwamoto, Y. Ono, and H. Tabata

遷移金属酸化物は電子スピンが強く相互作用する強相関電子系であり、高温超伝導や室温強磁性あるいは巨大磁気抵抗などの多彩な物性が発現する。われわれは、異なる複数の副格子からなる自然超格子構造を用いて、一つの材料の中で光・磁気・電子物性が融合した新しい機能性酸化物材料の創出を目指し研究を行っている。今年度は、このような自然超格子型の結晶構造を有するスピネル型フェライトの薄膜形成およびその電気・磁気特性について研究を推進した。スピネル型フェライト(AB_2O_4)は室温を超える強磁性転移温度を示すが、その殆どは絶縁性のフェリ磁性体でありスピントロニクス応用に有望とは言えない。例外として、マグネタイト(Fe_3O_4)は比較的高い電気伝導性を持つことが知られており、バンド計算によりキャリアが完全にスピン偏極しているハーフメタル（スピン偏極率 100%）であることが示唆されている。しかしながら、Fe_3O_4はその化学的不安定性によって、ヘテロ接合を形成した際に界面が化学反応を起こして不純物層が形成されるために、スピン散乱が生じてスピン偏極率が減少しまうことが指摘されている。また、その多大なキャリア密度(~10^{22}cm^3)の制御が困難であることも Fe_3O_4 のデバイス応用を図る上で大きな障害となっている。さらに Fe_3O_4 は、低温(～400℃)・還元雰囲気中(真空)でしか結晶成長せず、一般的に高温・酸素雰囲気中で作製される他の酸化物層との組み合わせに不向きでありデバイス化には適さない。本研究では安定な絶縁体スピネル型フェライトに遍歴電子系（4d 電子系）を持つ Ru イオンを導入することによって電気伝導性を付与し、母体材料の多彩な磁気特性を保持したまま、Fe_3O_4 のような高いスピン分極率を発現する新規材料の開発を目指した。第一原理計算に基づく電子状態計算により、フェルミ準位上のスピン偏極率は 82.5%という結果が得られた。フェルミ準位の Ru イオンの DOS の寄与により偏極率が若干下がっているが、一般的な強磁性金属(Fe:40%,Co:35%等)に比べて極めて高い値である。実験ではこのような Ru 置換スピネル型フェライト薄膜をパルスレーザー蒸着法(PLD 法)により作製した。$Co_{0.5}Ru_{0.5}Fe_2O_4$ 薄膜は、$CoFe_2O_4$ 特有の大きな保磁力を有するヒステリシスを室温において示すことが分かった。また、室温における異常ホール効果の曲線と M-H 曲線の形が一致していることから、キャリアの高スピン偏極が示唆されている。このように 4d 電子系の導入は、母体材料（絶縁体）の特徴的な磁気特性（室温フェリ磁性、保磁力、磁気異方性、耐酸化性等）を活かした新しい磁性半導体の創製に極めて有効な手段であると考えられる。

Room-temperature ferromagnetic semiconductors are desired for the construction of spintronics devices. Magnetite (Fe_3O_4) with the spinel-type crystal structure is one of the most promising compounds due to its high Neel temperature (T_N~860K) and half-metallic character. However, Fe_3O_4 thin films can be grown only in an extremely narrow window of the temperature (300~400 °C) and oxygen pressure (10^{-6}~10^{-5} Pa). In addition, it is reported that Fe_3O_4 oxidizes to form Fe_2O_3 (hematite) at the interface of Fe_3O_4-based heterojunctions such as Fe_3O_4/MgO and Fe_3O_4/Al_2O_3. These problems have been a severe barrier to the application of Fe_3O_4 to the spintronics devices. It is well known that divalent cation-doped spinel-type ferrites ($M^{2+}Fe^{3+}{}_2O_4$; M = Mn, Co, Ni, Zn) are thermodynamically stable compared to Fe_3O_4. However, most of them show very high electronic resistivity more than 10^4 Ωcm because all the Fe ions are in +3 vallence (d^5; S = 5/2) and the 3d electron of Fe^{3+} cannot to transfer to nearest B-site Fe^{3+} when the B-site spins align in parallel below T_N. This makes a considerable contrast to Fe_3O_4 with mixed-valent B-site Fe ions ($Fe^{2.5+}$) resulting in the electron hopping in the Fe 3d band. From this viewpoint, we focused on the Ru-substituted $CoFe_2O_4$ sysytem ($Co_{1-x}Ru_xFe_2O_4$; x = 0.2 ~ 1.0). It is reported that Ru^{4+} possesses the preference for the B-site in the spinel structure. When the Co^{2+} ions in the B-site are substituted Ru^{4+}, a part of B-site Fe^{3+} ions are expected to convert to Fe^{2+} due to the charge neutrality causing the Fe^{2+}-Fe^{3+} electrons hopping. The epitaxial thin films of Ru-substituted $CoFe_2O_4$ were fabricated using a pulsed laser deposition and their magnetic and electronic properties were investigated. The magnetic properties of the Ru-substituted films were similar to those of non-substituted films. On the other hand, the electronic conductivity of the films was drastically increased by the substitution of Ru. Spin-polarization of carriers was suggested at room temperature by the examination of anomalous Hall effect constant.

2. 酸化物プラズモンによる近赤外表面センシング機能の開発

田畑仁・松井裕章・バダラワワサンタマーラー

Development of surface sensing in the near-infrared region based on oxide plasmons

H. Tabata, H. Matsui and W. Badalawa

酸化物半導体表面上に出現する低次元プラズモン現象を利用して、近赤外域における高感度センシング機能を提案し、その実証を行った。母体内の電子密度を制御することにより近赤外域に表面プラズモン共鳴を出現させることに成功した。更に、水及びグルコース水溶液を用いて、表面吸収振動分光、及び屈折率応答分光を実施した。その結果、貴金属材料を凌ぐセンシング感度を有することを見出した。

We suggested high-sensitive sensing functionalities in the near-infrared region using low-dimensional plasmon phenomena induced on oxide semiconductor surfaces. Surface plasmon resonance (SPR) was tuned by controlling electron density in a host. Besides, from surface oscillation absorption and refractive spectroscopes, it was found that surface sensing used oxide plasmons showed high-sensitive surface properties beyond noble metal materials such as gold.

3. 金属・半導体ヘテロナノ構造における高効率な光エネルギー輸送

田畑仁・松井裕章

High-efficiency light energy transport on metal/semiconductor nanostructures

H. Tabata and H. Matsui

金属・半導体ナノヘテロ構造は、表面センシング及び光電変換技術の基本要素として注視されている。CdZnO 量子井戸構造と Ag ナノ構造を融合したナノヘテロ構造を形成し、励起子とプラズモン間の光エネルギー結合を実証した。時間分解分光法から、量子井戸内の生成された励起子エネルギーの 53%が、金属表面上に誘起される局在プラズモンに移動していることを見出した。更に、光エネルギー移動に必要な時定数（1.0 ns^{-1}）も抽出した。

Recently, metal/semiconductor nanostructures have been attracted much attention for surface sensing and light-electric conversion as a basic element. We fabricated heterostructures consisting of CdZnO quantum wells (QWs) and Ag nanostructures in nano scale, and demonstrated energy coupling between excitons and plasmons. From time-resolved PL, we found that excitonic energy of 53% generated in the QWs was transferred to local plasmons excited on metal nanostructures. Furthermore, we estimated energy transfer rate (1.0 ns^{-1}) from the QWs to metallic plasmons.

4. 透明酸化物半導体材料から可視光放出：励起子と希土類イオン間のエネルギー結合

田畑仁・松井裕章・バダラワワサンタマーラー

Visible emissions from transparent oxide semiconductor materials: energy coupling between excitons and 4*f* rare-earth ions

H. Tabata, H. Matsui and W. Badalawa

生体や光情報通信への応用展開を目指して透明酸化物半導体材料（ZnO）からの高輝度な可視光放出を実施した。酸化物母体内の高い励起子結合エネルギーを希土類イオン（Eu^{3+}）に上手く伝達させることで、室温下で可視光放出に成功した。Eu^{3+}イオンの高い 4*f* 電子励起準位と励起子エネルギーの共鳴結合が伝達機構として提案した。本成果は、高輝度近赤外光放出への応用に発展させる。

We demonstrated high-brightness visible-emissions from oxide semiconductor materials (ZnO). We observed visible (red) emissions from Eu^{3+} ions with 4*f* electronic levels that were supplied excitonic energy from the host. As a mechanism, we suggested energy transfer from excitonic levels and high 4f energy ones based on resonance coupling at room temperature. This work has a possibility of development for near-infrared light emissions by same energy transfer mechanism.

5. 非極性ZnO歪量子井戸から励起子光の高偏光性

田畑仁・松井裕章

Highly polarized excitonic emissions from anisotropically strained quantum wells based on nonpolar ZnO

H. Matsui and H. Tabata

近年、高偏光性を有する可視光放出は、液晶光学の応用として必要不可欠な性質である。本研究では、量子井戸内に異方的な格子歪を導入し、結晶対称性に基づく電子バンド構造の変調を利用して、高偏光性を発現させた。偏光性の度合いは、格子歪、井戸幅を上手く制御することで最大、78%に達した。非極性な異方的な格子歪は、自発分極・ピエゾ分極に影響を及ぼす。今後、面内分極制御を利用した光電変換への可能性も視野に入れる。

Recently, highly-polarized visible emissions are indispensable for applying of liquid crystal displays. In this work, we introduce anisotropic lattice distortion in a quantum well (QW), and observed excitonic emissions with high polarization by a modification of electronic band structure based on crystal space symmetry in a QW. Degree of polarization achieved as large as 78% at room temperature by tuning lattice distortion and a well width. Anisotropic lattice strains give an influence to self-and piezo-polarizations along surface lateral directions, which may contribute to light-electric conversion in the ultra-violet and blue regions based on a lateral polarization technique in future.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] W. Badalawa, H. Matsui, T. Osone, N. Hasuike, H. Harima, and H. Tabata : "Correlation between structural and luminescent properties of Eu31-doped ZnO epitaxial layers", J. Appl. Phys. 109, 053502 (7 pages) (2011)

[2] M. Seki, T. Konya, K. Inaba, H. Tabata : "Epitaxial Thin Films of InFe2O4 and InFeO3 with Two-Dimensional Triangular Lattice Structures Grown by Pulsed Laser Deposition", Appl. Phys. Express. 3 , 105801 (3 pages) (2010)

[3] M. Seki, F. Iwamoto, Y. Ono, H. Tabata : "Growth of epitaxial TmFeCuO4 thin films by pulsed laser deposition" , J. Cryst. Growth. 312 , 2273-2278 (2010)

[4] H. Matsui, K. Katayama, K. Miyajima, T. Itoh and H. Tabata : "Carrier recombination process and magneto-photoluminescence in Zn1-xCoxO layers Z.Y. Xiao", J. Appl. Phys. 108, 013502 (6 pages) (2010)

[5] M. Kobayashi, Y. Ishida, J. I. Hwang, Y. Osafune, A. Fujimori, Y. Takeda, T. Okane, Y. Saitoh, K. Kobayashi, H. Saeki, T. Kawai, and H. Tabata: "Antiferromagnetic interaction between paramagnetic Co ions in the diluted magnetic semiconductor Zn1－xCoxO" , Phys. Rev. B 81, 075204 (2010)

[6] T. Uno and H. Tabata , "In situ Measurement of Combustion Gas Using Terahertz Time Domain Spectroscopy Setup for Gas Phase Spectroscopy", JJAP49,(2010) 04DL17, DOI:10.1143/JJAP.49.04DL17

[7] S. Tabuchi, Y. Otsuka, M. Kanai, H. Habata, T. Matsumoto, T. Kawai : "Nano-scale resistivity reduction in single-grain of lead phthalocyanine", Organic Electronics 11, 916-924 (2010)

[8] H. Matsui, T. Osone and H. Tabata: "Band alignment and Excitonic localization in $Cd_{0.08}Zn_{0.92}O$/ZnO quantum wells" , J. Appl. Phys. 107, 093523 (7pages) (2010)

[9] M. Kobayashi, M. Seki, H. Tabata, Y. Watababe and I. Yamashita: "Fabrication of Aligned Magnetic Nanoparticles Using Tobamoviruses", Nano Lett., DOI:10.1021/nl902405s (2010)

国際会議論文

[10] H. Tabata: "Spin Electronics and Spin Photonics on Oxide Semiconductors-Surface plasmons and frequency matching in ZnO quantum wells- (Invited)", International Conferece on Core Research and Engineering Science of Advanced Materials,Osaka, Jun.02-03,2010

[11] H. Tabata : "Bio-inspired Electronics based on Spin and Dipole Fluctuated System (Keynote paper)", 2nd Asia Symposium on Quality electronic Design (ASQED 2010)P.10, Penangu, Malaysia, Aug.03-04,2010

[12] H. Matsui, W. Nomura, T. Yatsui, M. Ohtsu, H. Tabata: "Optical dynamics of energy coupling in metal-QWs heterostructures based on ZnO", The 6th International Workshop on Zinc Oxide and Related Materials, Changchun, China, Aug. 5-7, 2010

[13] M. Seki, H. Tabata : "Multi-ferroic Properties on Spin and Charge Frustrated Systems (Invited paper)", The 8th Japan-Korea Conference on Ferroelecterics (JKC-FE08) P.25, Himeji, Japan, Aug.06, 2010

[14] H. Yokota: "Multi ferroic super lattice thin films BaTiO3/BaFeO3, 19th International Symposium on the Applications of Ferroelectrics, 10th European Conference on the Applications of Polar Dielectrics", Edinburgh,England, Aug. 11, 2010

[15] M. Seki, F. Iwamoto, Y. Ono, H. Tabata: "Epitaxial thin films of two-dimensional triangular antiferromagnet RFe2O4, 17th International Workshop on Oxide Electronics(WOE17)", Awaji Island, Japan, Sep. 21, 2010

[16] H. Matsui, M. Ohtsu, W. Nomura, H. Tabata, T. Yatsui: "Suraface plasmon effects on energy resonance in optically quantized oxide system: Metal-QW heterosystem on ZnO", 17th International Workshop on Oxide Electronics(WOE17), Awaji Island, Japan, Sep. 20, 2010 (19-22Sep.)

[17] H. Matsui, H. Tabata: "Interdisciplinary electronics of electron, photon and spin on diluted oxide semiconductor(Invited)", The 11th Asia Pacific Physics Conference (APPC11), Shanghai, China, Nov. 17, 2010

[18] H. Tabata: "Spin Electronics and Spin Photonics on Transparent Conducting Oxides – Surface Plasmons and Frequency Matching in ZnO Quantum Wells", 2010 Materials Research Society Fall Meeting (2010 MRS Fall Meeting), Boston, U.S.A., Dec. 01, 2010

[19] H. Tabata: "Spintronics and plasmonics based on oxide quantum wells (Invited)", The 4th Indo-Japan Seminar "Electronic Structure of Novel Magnetic and Superconducting Materials",University of Tokyo, Tokyo, Feb.01-02, 2011

[20] H. Yokota, N. Zhang, PA. Thomas, AM. Glazer: "Crystal structure determinations of PbZr1-xTixO3 through the morphotropic phase boundary", 2011 Workshop on the Fundamental Physics of Ferroelectrics and Related Materials, National Institute of Standards

and Technology (NIST), Gaithersburg, MD USA, (Jan.30- Feb.2) Feb.02, 2011

著書

[21] H. Matsui and H. Tabata: “Lateral surface nanowires and quantum structures based on nonpolar ZnO Nanowires”, In-Tech publisher, 24pages, (2010)

シンポジウム・研究会・大会等発表

[22] 田畑　仁: “ゆらぎ”がつなぐ電子物性と生命科学”, 第 10 回　東京大学生命科学シンポジウム、東京, May. 01, 2010

[23] 田畑　仁: “ナノサイエンスによるバイオとエレクトロニクスの融合”, 近畿大学生物工学部先進医工学シンポジウム, 近畿大学,和歌山県, May. 08, 2010

[24] H. Tabata: “BIOxide Electronics for Secure Life Science and Technology”, Joint Workshop on Secure-life Photonics, Tsinghua Week at Todai (2010),Tokyo, May.13, 2010

[25] H. Tabata: “Spin Electronics and Spin Photonics on Oxide Semiconductors-Surface plasmons and frequency matching in ZnO quantum wells- (Invited) ”, International Conferece on Core Research and Engineering Science of Advanced Materials,Osaka, Jun.02-03,2010

[26] Y. Yamada, T. Hasebe, T. Uno, H. Tabata: “Terahertz Imaging and Spectroscopy for Secure-Food Technology (Poster) ”, International Conference on Food Applications of Nanoscale Science Japan, 2010(ICOFANS Japan,2010) 日本食品工学会春季講演会／フォーラム 2010,ナノスケール科学の食品応用に関する国際シンポジウム-Japan 2010, Tokyo, Jun. 10-11, 2010

[27] H. Tabata: “Bio-inspired Electronics based on Spin and Dipole Fluctuated System (Keynote) ”, 2nd Asia Symposium on Quality electronic Design (ASQED 2010), Penang, Malaysia, Aug.03, 2010

[28] M. Seki, H. Tabata: “Multi-ferroic Properties on Spin and Charge Frustrated Systems (Invited) ”, The 8th Japan-Korea Conference on Ferroelecterics (JKC-FE08), Himeji, Japan, Aug.06, 2010

[29] ワサンタマーラー・バダラワ、松井　裕章、蓮池　紀幸、播磨　弘、田畑　仁: “近赤外での金属電導酸化物半導体 In-sn-O における光学特性の解析”, 2010 年秋季　第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎大学, 長崎, Sep. 15, 2010

[30] 松井　裕章、ワサンタマーラー・バダラワ、蓮池　紀幸、播磨　弘、田畑　仁: “金属電導性酸化物 ZnO : Gal における工学応答 : “酸化物表面プラズモニクスに向けて”, 2010 年秋季　第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎大学, 長崎, Sep. 17, 2010

[31] H. Matsui, M. Ohtsu, W. Nomura, H. Tabata, T. Yatsui: “Suraface plasmon effects on energy resonance in optically quantized oxide system: Metal-QW heterosystem on ZnO”, 17th International Workshop on Oxide Electronics(WOE17), Awaji Island, Japan, Sep. 20, 2010 (19-22Sep.)

[32] W. Badalawa, H. Matsui, H. Tabata: “Optical characteristics of the metallic conductive oxide semiconductors towards the surface plasmons(SP) in near-infrared(NIR)(Poster) ”, 17th International Workshop on Oxide Electronics(WOE17), Awaji Island, Japan, Sep. 20, 2010

[33] M. Seki, F. Iwamoto, Y. Ono, H. Tabata: “Epitaxial thin films of two-dimensional triangular antiferromagnet RFe2O4, 17th International Workshop on Oxide Electronics(WOE17), Awaji Island, Japan, Sep. 21, 2010

[34] F. Iwamoto, M. Seki, H. Tabata: “Magnetic and Electronic Properties of Ru-substituted Spinel Ferrite Thin Films (Poster) ”, 17th International Workshop on Oxide Electronics(WOE17), Awaji Island, Japan, Sep. 21, 2010

[35] H. Tabata: “Spin Electronics and Spin Photonics on Transparent Conducting Oxides – Surface Plasmons and Frequency Matching in ZnO Quantum Wells”, 2010 Materials Research Society Fall Meeting (2010 MRS Fall Meeting), Boston, U.S.A., Dec. 01, 2010

[36] H. Tabata: “Spintronics and plasmonics based on oxide quantum wells (Invited) ”, The 4th Indo-Japan Seminar "Electronic Structure of Novel Magnetic and Superconducting Materials",University of Tokyo, Tokyo, Feb.01-02, 2011

[37] M. Seki, F. Iwamoto, H. Yamahara, H. Yokota and H. Tabata: “Magnetic and electronic properties of two-dimensional triangular antiferromagnet RFe2O4 thin films grown by pulsed laser deposition(Poster), The 4th Indo-Japan Seminar "Electronic Structure of Novel Magnetic and Superconducting Materials",University of Tokyo, Tokyo, Feb.01-02, 2011

[38] 田畑　仁: “テラヘルツ波技術で迫る水の不思議～食と水の安心安全を支えるテラヘルツ波の目～”, ウォーター研究会（日本機能水学会関東支部平成 22 年度第 3 回講演会）, 東京大学, 東京, Mar. 05, 2011

[39] **田畑　仁**: “**酸化物半導体を用いた省・創エネルギーエレクトロニクス**, 研究企画 WG「省・創エネル

ギーナノマテリアル」, 大阪大学　吹田キャンパス, 大阪, Mar. 16, 2011

[40] 松井 裕章, Wasanthamala Badalawa, 池羽田 昌文, 蓮池 紀幸, 播磨 弘, 田畑 仁: “透明酸化物材料の近赤外プラズモニック機能 : ヘテロ構造界面を活かした表面吸収振動センシング（SPR-ABS）への展開 Near-IR plasmonic functionalities on transparent oxides for surface absorption sensing spectroscopy”,神奈川工科大学, Mar.24-27, 2011

[41] Wasanthamala Badalawa, 松井裕章, 池羽田昌文, 蓮池紀幸, 播磨弘, 田畑　仁: “金属伝導性酸化物表面上の伝搬プラズモンモードの観測と解析”, 2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 神奈川工科大学, Mar.25, 2011

染谷・関谷研究室
Someya & Sekitani Laboratory
(http://www.ntech.t.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. 伸縮自在なエレクトロニクス

染谷隆夫・関谷毅

Flexible organic transistors and circuits with extreme bending stability

T. Someya and T. Sekitani

曲率半径 0.1㎜ まで折り曲げても特性に変化なく動作する集積回路の作製に成功した。この集積回路は、室温で製膜できる自己組織化単分子膜をゲート絶縁膜として用いることで実現している。今回、12μm の極めて薄いプラスティックフィルムの表面を原子レベルで平滑化する独自のプロセスを用いて、2V 駆動ながら高い移動度を有する有機トランジスタの作製を可能とした。更に有機半導体にダメージを与えない有機高分子を使った歪み中間構造を構成することにより、電気回路が実現された。実際に、極薄シート状の有機 CMOS 回路を利用して、細径カテーテルの側面に圧力センサーを集積化することにも成功した。この技術を応用すると、ユニークな機器デザインが可能となり、医療用デバイスなど新用途が拡大するものと期待される。

Flexible electronic circuits are an essential prerequisite for the development of rollable displays conformable sensors, biodegradable electronics, and other applications with unconventional form factors. The smallest radius into which a circuit can be bent is typically several millimeters, limited by strain-induced damage to the active circuit elements. Bending-induced damage can be avoided by placing the circuit elements on rigid islands connected by stretchable wires, but the presence of rigid areas within the substrate plane limits the bending radius when bending occurs along an axis that passes through a rigid island. A more rigorous approach to flexible electronics is the development of devices that can be directly bent into small radii without suffering damage. Here we demonstrate organic transistors and complementary circuits that continue to operate without degradation while being folded into a radius of 100 μm. This enormous flexibility and bending stability is enabled by a very thin plastic substrate (12.5 μm), an atomically smooth planarization coating, and a hybrid encapsulation stack that places the transistors in the neutral strain position. As a potential application for tightly bent organic circuits we demonstrate a catheter with a sheet of transistors and sensors wrapped around it that enables the spatially resolved measurement of physical or chemical properties inside long, narrow tubes.

2. フローティングゲート構造を用いた有機 CMOS インバータの閾値電圧制御

染谷隆夫・関谷毅・横田知之

Control of threshold voltage in low-voltage organic complementary inverter circuits with floating gate structures

T. Someya, and T. Sekitani, and T. Yokota

自己組織化単分子膜(SAM)をゲート絶縁膜に用いたフローティングゲート構造の有機 CMOS インバータを作製した。フローティングゲート構造では、コントロールゲート電極に電圧を印加することで，フローティングゲート電極に電荷を蓄え、閾値電圧を制御する。本研究では、フローティングゲート構造を P 型、N 型の両方に用いることで，閾値電圧を正負の双方向に制御することに成功した。作製した CMOS インバータは 1.5 V の低電圧で駆動し、閾値電圧を 0 V から 1.5 V まで制御することに成功した。

We have fabricated organic CMOS inverter circuits with floating-gate structure using self-assembled monolayer (SAM). In the floating gate structure, control of the threshold voltage is achieved by charging the floating gates of the TFTs by applying a program voltage to the control gate. In this study, we succeed to control the switching voltage of organic CMOS inverter circuits with floating gate structure. The switching voltage of the fabricated inverter whose operation voltage is 1.5 V can be shifted across the entire range of input voltages from 0 to 1.5 V.

3. 医療用殺菌条件に耐える高耐熱性有機トランジスタ

染谷隆夫・関谷毅・栗原一徳・内山直哉

Thermal stability of organic transistors for medical sterilization.

T. Someya, T. Sekitani, K.Kuribara, and N.Uchiyama

有機半導体にヂナフトチエノチオフェン(DNTT)、ゲート絶縁膜に自己組織化単分子膜(SAM)を利用した高移動度・2V 駆動の有機トランジスタを作製し、パリレンによる封止膜により耐熱性を改善した。通常の DNTT トランジスタは 150℃で 30 分間のアニール後、室温での測定で移動度が製作直後の 1.1 cm^2/Vs から 0.1 cm^2/Vs に減少した。一方でパリレンによる封止を行ったトランジスタは同加熱後でも移動度は 0.7 cm^2/Vs を保持し、高い耐熱性を示した。また、我々はこの DNTT トランジスタが医療用カテーテルの殺菌条件である 150℃において 20 秒間の加熱後も非常に安定して動作することを確認した。

We fabricated heat-resistant dinaphtho-thieno-thiophene (DNTT) field-effect transistors (FETs) with self assembled monolayer (SAM) gate dielectric and poly-chrolo-para-xylylene (parylene) encapsulation layer. The DNTT-FETs could operate within 2 V, and exhibited high mobility of 1.1 cm^2/Vs as-grown. We annealed this

encapsulated FETs and bare FETs at 150 dec C for 30 min. After annealing, mobility of normal bare FET degrad to 0.1 cm^2/Vs. On the other hand, encapsulated FETs show high mobility of 0.7 cm^2/Vs even 150-deg-C-annealing. These DNTT-FETs can also stand sterilization condition which is 150 deg C for 20 sec for medical catheter.

4. サブフェムトリッターインクジェットを用いた有機トランジスタの電極焼成プロセス

染谷隆夫・関谷毅・加藤裕・横田知之、栗原一徳

Electrode sintering process of organic transistors with subfemtoliter inkjet

T. Someya, T. Sekitani, Y. Kato, T. Yokota and K. Kuribara

サブフェムトリッターインクジェットを用いてチャネル長数μm の有機トランジスタを作製し、電極焼成時間と移動度の相関を調べた。90℃、窒素フロー中で焼成を行った場合、3.5 時間で移動度がピークに達し、それ以降減少に転じた。これは 3.5 時間の焼成で電極の抵抗値が落ちきったのに対し、半導体は熱により劣化し続けたことが原因であると考えられる。

We have fabricated organic transistors with channel length as short as several micro meters using subfemtoliter inkjet and investigated the relationship between annealing time of the electrodes and the mobility. The highest mobility was obtained by 3.5 hour annealing at 90ºC in nitrogen flow and degradation was observed by longer annealing. This is because the electrode resistance reached to the minimum by 3.5 hour annealing, while the semiconductor was continuously degraded by heat.

5. スタンプ法を用いた低電圧駆動有機トランジスタの閾値電圧の局所制御

染谷隆夫・関谷毅・平田郁恵

Spatial control of the threshold voltages of the low-voltage organic transistors by stamping

T. Someya, T. Sekitani, and I. Hirata

スタンプ法を用いて、H 末端と F 末端の 2 種類のホスホン酸系の自己組織単分子膜を空間的に塗り分けることで、一基板上に作製されたトランジスタの閾値電圧を空間的に制御することに成功した。スタンプ法によって形成された SAM 膜は、浸漬法によるものとほぼ同等の品質であり、移動度の劣化は見られず、閾値電圧の差は 2 V の低駆動電圧で 0.83 V であった。

We have fabricated transistors with spatially-controlled threshold voltages on a substrate by stamping H-terminated and F-terminated self-assembled monolayers (SAMs) based on phosphonic acids in different regions. The SAMs prepared by stamping had the equivalent quality to theSAMs prepared by dipping and no degradation in the mobility was observed. The difference of the threshold voltages were 0.83 V under the low driving voltage of 2 V.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Tsuyoshi Sekitani, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Takao Someya, “Flexible organic transistors and circuits with extreme bending stability”, Nature Material 9, 1015-1022 (2010), doi:10.1038/nmat2896, 07 November 2010

[2] Tsung-Ching Huang, Kenjiro Fukuda, Chun-Ming Lo, Yung-Hui Yeh, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, Kwang-Ting Cheng, “Pseudo-CMOS: A Design Style for Low-Cost and Robust Flexible Electronics”, IEEE Transactions on Electron Devices, in press (2010).

[3] K. Ishida, N. Masunaga, R. Takahashi, T. Sekitani, S. Shino, U. Zschieschang, H. Klauk, M. Takamiya, T. Someya, and T. Sakurai, “UCLP with organic sea of gate architecture and inkjet printed interconnect”, IEEE Journal of Solid State Circuits, Accepted (2010).

[4] Koichiro Zaitsu, Sunghoon Lee, Kiyoshiro Ishibe, Tsuyoshi Sekitani, and Takao Someya, “A field-induced high-dielectric phase in ferroelectric copolymer”, Journal of Applied Physics Vol. 107, 114506 (2010).

[5] Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, “Stretchable, Large-area Organic Electronics”, Advanced Materials, Vol. 22, pp. 2228?2246 (2010).

[6] Yusaku Kato, Tsuyoshi Sekitani, Yoshiaki Noguchi, Tomoyuki Yokota, Makoto Takamiya, Takayasu Sakurai, and Takao Someya, “Large-area, flexible, ultrasonic imaging system with an organic-transistor active matrix”, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 57, pp. 995-1002 (2010).

[7] Kenjiro Fukuda, Tomoyuki Yokota, Kazunori Kuribara, Tsuyoshi Sekitani, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, and Takao Someya, “Thermal stability of organic thin-film transistors with self-assembled monolayer dielectrics”, Applied Physics Letters, Vol. 96, 053302 (2010).

[8] Ute Zschieschang, Frederik Ante, Tatsuya Yamamoto, Kazuo Takimiya, Hirokazu Kuwabara, Masaaki Ikeda, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, Klaus Kern, Hagen Klauk, “Flexible Low Voltage Organic Transistors and Circuits Based on a High Mobility Organic Semiconductor with Good Air Stability”, Advanced Materials, Vol. 22, no. 9, pp. 982-985 (2010).

[9] K. Ishida, N. Masunaga, Z. Zhou, T. Yasufuku, T. Sekitani, U. Zschieschang, H. Klauk, M. Takamiya, T. Someya, and T. Sakurai, “A Stretchable EMI Measurement Sheet with 8×8 Coil Array, 2V Organic CMOS Decoder, and 0.18?m Silicon CMOS LSIs for Electric and Magnetic Field Detection”, IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 45, pp. 249 - 259 (2010).

[10] Lechang Liu, Makoto Takamiya, Tsuyoshi Sekitani, Yoshiaki Noguchi, Shintaro Nakano, Koichiro Zaitsu, Tadahiro Kururoda, Takao Someya, Takayasu Sakurai, “A 107-pJ/bit 100-kb/s 0.18-mm Capacitive-Copuling Tansciver With Data Edge Signaling and DC Power-Free Pulse Detector for Printable Communication Sheet”, IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol, 56, pp. 2511-2518 (2010).

国際会議論文

[11] (INVITED) Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, “Not yet decided”, the Society for Information Display (SID), Los Angeles Convention Center, Los Angeles, California USA, May 15, 2010.

[12] (INVITED) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, “High definition screen printing of organic transistor active matrices for large-area electronic”, Material Research Society (MRS) Fall Meeting Symposium F: Low temperature thin film transistors, Boston, MA, November 29-December 3, 2010.

[13] (INVITED)M. Takamiya, K. Ishida, T. Sekitani, U. Zschieschang, H. Klauk, T. Someya, and T. Sakurai, "Large Area Electronics with Organic Transistors and Novel Interconnects: EMI Measurement Sheet with Stretchable Interconnects and User Customizable Logic Paper (UCLP) with Ink-Jet Printed Interconnects", International Display Workshop (IDW), Fukuoka, Japan, pp. 1577-1580, Dec. 2010.

[14] (INVITED) Makoto Takamiya, Koichi Ishida, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, and Takayasu Sakurai, “Design of Large Area Electronics with Organic Transistors”, The International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD), DoubleTree Hotel, San Jose, CA, November 7-11, 2010. "

[15] "(Invited) Takao Someya, ""Printed organic transistors for ambient electronics"", Colloquium Organic Electronics, The InnovationLab (iL), Germany, March 4, 2011.

[16] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, "Foldable and stretchable electronics using organic transistors and memories", The 7th International Thin-Film Transistor Conference, 3rd -4th March 2011, Clare College, Cambridge, UK.

[17] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, "Stretchable and Ultraflexible Electronics Using Molecular Self-Assembled Electronic Functions", Parallel session 3B - Soft Materials, The 2011 WPI-AIMR Annual Workshop, February 21-24, Sendai, Japan.

[18] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, "Printing of molecular functions for stretchable electronics", Elec Mol 10, 5th International Meeting on Molecular Electronics, MINATEC Center, CEA Grenoble, France, December 6-10. 2011.

[19] (Invited) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "High-definition Screen Printing of Organic Transistor Active Matrices for Large-area Electronics", 2010 MRS Fall Meeting, Symposium F : Low-Temperature-Processed Thin-Film Transistors, Hynes Convention Center, Boston, MA, December 2, 2010.

[20] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, "Emerging Applications and Future Prospects of Printed Transistors and Memories", JSPST (The Japanese Society of Printing Science and Technology)The 2010 Asian Symposium NEXT-GENERATION PRINTING SCIENCE AND TECHNOLOGY, Nihon-insatsukaikan (Japanese Printers' Building), Tokyo, November 9, 2010.

[21] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, ""Flexible electronics using printed organic transistors", The 10th Taiwan-Japan Microelectronics International Symposium- Intelligent Sensing Technologies and Applications, National Chiao Tung University, October 27-29, 2010.

[22] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, ""Foldable and stretchable organic transistor integrated circuits"", 2010 International Conference on Flexible and Printed Electronics (2010 ICFPE), Ambassador Hotel Hsinchu, Taiwan, October 28-29, 2010.

[23] (Plenary) Takao Someya, ""Emerging applications and future prospects of printed organic transistors and memories"", 8th International Conference on Electroluminescence & Organic Optoelectronics (ICEL 2010), The University of Michigan, MI, October 19, 2010.

[24] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, ""Large-Area Organic Transistors"", NSF-MEXT Young Researchers Exchange 2010, University of Illinois at Urbana-Champaign, IL, October 4, 2010.

[25] (Invited) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "Foldable, Ultraflexible, and Stretchable Organic Transistor Integrated Circuits", Symposium: E13 - Thin Film Transistors 10 (TFT 10), # 1832, Las Vegas, October 13, 2010.

[26] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, ""Stretchable skin-like sensors and displays using organic transistors"", Gordon Research Conference, Electronic Processes in Organic Materials, Mount Holyoke College, South Hadley, MA, July 25-30, 2010.

[27] (Plenary) Takao Someya, ""Challenges and outlook for large-area, flexible, organic electronics"", Organic Microelectronics and Optoelectronics Workshop VI, San Francisco, CA, July 6-9, 2010.

[28] (Plenary) Takao Someya, "Skin-like large-area sensors and actuators using printed transistors", 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Montreal, Canada, July 6-9, 2010.

[29] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, "A stretchable organic transistor integrated circuits and displays using elastic conductors", The 3rd International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO) , Toyama, July 22, 2010.

[30] (Plenary) Takao Someya, ""Self-assembled Monolayers for Large-Area Organic Electronics"", Yonsei 125th Year Anniversary Symposium on Advanced Materials for Humantronics, Yonsei University, Seoul, June 9, 2010.

[31] (Invited) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "Picoliter and sub-femtoliter inkjets for organic transistors", Imaging Conference JAPAN 2010, The 105th Annual Conference of the Imaging Society of Japan, Shinagawa General Citizen Hall "Curian", Tokyo, Japan, June 10. 2010.

[32] (Plenary) Takao Someya, "Skin-like flexible large-area electronics using printed organic transistors", 21st International Conference on Molecular Electronics and Devices (The 21st IC ME&D), Sunchon National University, Korea , May19-20, 2010.

[33] (Keynote) Takao Someya, "Ambient Electronics: Print Electronics Everywhere!!", International Conference on Electronics Packaging, ICEP2010, Sapporo Convention Center, May 12-14, 2010.

[34] (Plenary) Takao Someya, "Printed skin-like large-area flexible sensors and actuators", Foundations of Nanoscience (FNANO10), Self-assembled Architectures and Devices, Snowbird Cliff Lodge, Snowbird, Utah, April 27-30, 2010.

[35] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, "A stretchable organic transistors integrated circuits using elastic conductors", International Meeting on the Chemistry of Nanotubes and Graphene (ChemOnTubes 2010), Arcachon, France, April 11-15, 2010.

[36] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, "Foldable and Stretchable Organic Transistor Integrated Circuits", *JJ8.1, Symposium JJ: Stretchable Electronics and Conformal Biointerfaces, 2010 MRS Spring Meeting, San Francisco, April 8-9. 2010.

[37] (Invited) Takao Someya, Tsuyoshi Sekitani, Tomoyuki

Yokota, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Siegfried Bauer, Ken Takeuchi, Makoto Takamiya and Takayasu Sakurai, "Flexible Organic Floating Gate Transistors for Non-volatile Memory", *II7.7, Symposium II: Materials Science and Charge Transport in Organic Electronics, 2010 MRS Spring Meeting, San Francisco, April 8-9. 2010.

[38] (Invited) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, "Stretchable displays and electronics", The 7th International Conference on Optics-photonics Design and Fabrication (ODF'10), Pacifico Yokohama Conference Center (Yokohama, Japan), April 19-21, 2010.

[39] (INVITED) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "Stretchable Large-Area Electronics using Organic Transistor Integrated Circuits", The 10th International Conference on Solid-State and Integrated Circuits Technology (ICSICT 2010) , Shanghai, China, Nov.1-4, 2010

[40] (INVITED) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "A large-area printed organic transistor active matrix for skin-like interfaces", Session ""Active-Matrix Devices"" IMID/IDMC/ASIA DISPLAY 2010, KINTEX, Seoul, Korea, Oct.10-15, 2010.

[41] (INVITED) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "Ultraflexible CMOS circuits and displays", Session "Flexible Displays / Electronic Paper", IMID/IDMC/ASIA DISPLAY 2010, KINTEX, Seoul, Korea, Oct.10-15, 2010.

[42] (INVITED) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "Large-area Stretchable Organic Transistor Integrated Circuits for Sensor applications II", SPIE meeting, San Diego August 2010.

[43] (INVITED) Takao Someya and Tsuyoshi Sekitani, "Foldable and stretchable electronics using organic transistors", International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals 2010 (ICSM 2010), Kyoto International Conference Center, Japan, 4th-9th, July 2010.

[44] (INVITED) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "Organic CMOS for flexible electronics", 2010 CMOS Emerging Technologies Workshop, Hilton Resort and Spa, Whistler, BC, Canada, May 19-21, 2010.

[45] (ORAL) Hiroyuki Endoh, Fumiyuki Nihey, Hideaki Numata, Kazuki Ihara, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, "Print Fabrication and Characterization of CNT Transistors on Plastic Films.", Material Research Society (MRS) Fall Meeting Symposium F: Low temperature thin film transistors, Boston, MA, November 29-December 3, 2010.

[46] (ORAL) Kenjiro Fukuda, Kazunori Kuribara, Tomoyuki Yokota, Tsuyoshi Sekitani, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Takushi Sugino, Kinji Asaka, Masaaki Ikeda, Hirokazu Kuwabara, Tatsuya Yamamoto, Kazuo Takimiya, Takanori Fukushima, Takuzo Aida, and Takao Someya, "4-V operational Braille display using low operational organic TFTs and carbon nanotube based actuator", Material Research Society (MRS) Fall Meeting Symposium F: Low temperature thin film transistors, Boston, MA, November 29-December 3, 2010.

[47] (ORAL) Tomoyuki Yokota, Tsuyoshi Sekitani, Yoshiaki Noguchi, Kenjiro Fukuda, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Tatsuya Yamamoto, Kazuo Takimiya, Masaaki Ikeda, Hirokazu Kuwabara, and Takao Someya, "Subfemtoliter inkjet for 3-V operation, high mobility organic transistors", Material Research Society (MRS) Fall Meeting Symposium F: Low temperature thin film transistors, Boston, MA, November 29-December 3, 2010.

[48] (ORAL) Ute Zschieschang, Tatsuya Yamamoto, Kazuo Takimiya, Hirokazu Kuwabara, Masaaki Ikeda, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, Hagen Klauk, "Low-Voltage Organic Transistors with Improved Stability", Session "Active-Matrix Devices" IMID/IDMC/ASIA DISPLAY 2010, KINTEX, Seoul, Korea, Oct.10-15, 2010.

[49] (ORAL) Tsuyoshi Sekitani, Koichi Ishida, Naoki Masunaga, Ryo Takahashi, Shigeki Shino, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Makoto Takamiya, Takayasu Sakurai, and Takao Someya, "Organic CMOS Logic Papers with In-Field User Customizability", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2010) The University of Tokyo, Tokyo, Japan, September 22-24, 2010.

[50] (ORAL) Tomoyuki Yokota, Yoshiaki Noguchi, Yusaku Kato, Tsuyoshi Sekitani, and Takao Someya, "Organic transistors and circuits with parylene gate dielectric manufactured using subfemtoliter inkjet", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2010) The University of Tokyo, Tokyo, Japan, September 22-24, 2010.

[51] (ORAL) Kenjiro Fukuda, Naoya Uchiyama, Tsuyoshi Sekitani, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Tatsuya Yamamoto, Kazuo Takimiya, and Takao Someya, "3 V-driven flexible organic transistors with mobility exceeding 2 cm2/Vs", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2010) The University of Tokyo, Tokyo, Japan, September 22-24, 2010.

[52] (ORAL) Kazunori Kuribara, Takashi Nakagawa, Kenjiro Fukuda, Tomoyuki Yokota, Tsuyoshi Sekitani, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Takao Someya, Tatsuya Yamamoto, and Kazuo Takimiya, "Oxygen Plasma

Process of Self-assembled Monolayer Gate Dielectric for 2-V Operation High-mobility Organic TFT", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2010) The University of Tokyo, Tokyo, Japan, September 22-24, 2010.

[53] (ORAL) Ute Zschieschang, Tatsuya Yamamoto, Kazuo Takimiya, Hirokazu Kuwabara, Masaaki Ikeda, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, and Hagen Klauk, "Flexible Low-voltage Organic Transistors and Circuits Based on an Air-stable, High-mobility Conjugated Semiconductor", Material Research Society (MRS) Spring Meeting, Symposium II, "II: Materials Science and Charge Transport in Organic Electronics", II7.12, Moscone West Convention Center, San Francisco, U.S.A, Apr. 5-9, 2010.

[54] (ORAL) Tsuyoshi Sekitani, Koichi Ishida, Naoki Masunaga, Ryo Takahashi , Shigeki Shino, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Makoto Takamiya, Takayasu Sakurai, and Takao Someya, "Organic CMOS Logic Papers Customized using At-home Inkjet", Material Research Society (MRS) Spring Meeting, Symposium II, "II: Materials Science and Charge Transport in Organic Electronics", II3.5, Moscone West Convention Center, San Francisco, U.S.A, Apr. 5-9, 2010.

[55] (ORAL)K. Ishida, N. Masunaga, R. Takahashi, T. Sekitani, S. Shino, U. Zschieschang, H. Klauk, M. Takamiya, T. Someya, and T. Sakurai, ""User Customizable Logic Paper (UCLP) with Organic Sea-of Transmission-Gates (SOTG) Architecture and Ink-Jet Printed Interconnects,"" IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, USA, pp. 138-139, Feb. 2010. (DOI: 10.1109/ISSCC.2010.5434015)

[56] (POSTER) Kenjiro Fukuda, Kazunori Kuribara, Tomoyuki Yokota, Takanori Hamamoto, Tsuyoshi Sekitani, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, and Takao Someya, "Structural optimization of self-assembled monolayers for organic transistors", Material Research Society (MRS) Spring Meeting, Symposium II, "II: Materials Science and Charge Transport in Organic Electronics", II6.34, Moscone West Convention Center, San Francisco, U.S.A, Apr. 5-9, 2010.

[57] (POSTER) Tomoyuki Yokota, Tsuyoshi Sekitani, Takashi Nakagawa, Ken Takeuchi, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, and Takao Someya, "Self-assembled Hetero-structure for Organic Non-volatile Memory Transistors", Material Research Society (MRS) Spring Meeting, Symposium II, "II: Materials Science and Charge Transport in Organic Electronics", II6.47, Moscone West Convention Center, San Francisco, U.S.A, Apr. 5-9, 2010.

[58] (POSTER) Kazunori Kuribara, Kenjiro Fukuda, Tomoyuki Yokota, Tsuyoshi Sekitani, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, and Takao Someya, "Thermal stability of organic transistors with self-assembled monolayer dielectrics", Material Research Society (MRS) Spring Meeting, Symposium II, "II: Materials Science and Charge Transport in Organic Electronics", II9.76, Moscone West Convention Center, San Francisco, U.S.A, Apr. 5-9, 2010.

シンポジウム・研究会・大会等発表

[59] (Invited) 染谷隆夫、関谷毅、"伸縮性エレクトロニクス"、第 9 回高分子ナノテクノロジー研究会講座、東京ビッグサイト、2011 年 2 月 17 日.

[60] (Invited) 染谷隆夫、"有機トランジスタの印刷製造とセンサへの応用"、第 3 回 PE 研究会、産業技術総合研究所臨海副都市センター、2011/01/28.

[61] (Invited) 染谷隆夫、"プリンテッドエレクトロニクスの新展開"、第 12 回プリント配線板 EXPO、東京ビックサイト、2011 年 1 月 20 日

[62] (Invited) 染谷隆夫、"フレキシブルトランジスタとメモリのための極薄ゲート絶縁膜技術"、応用物理学会 薄膜・表面物理分科会、シリコンテクノロジー分科会 共催、特別研究会 「ゲートスタック研究会 ―材料・プロセス・評価の物理―」、東京工業大学、2011 年 1 月 22 日.

[63] (Invited) 染谷隆夫、"有機半導体エレクトロニクスの展開"、ナノ量子情報エレクトロニクスシンポジウム、2010 年 12 月 22 日、東京大学武田ホール.

[64] 染谷隆夫、"大面積フレキシブルエレクトロニクスの新展開"、東京大学グローバルＣＯＥ「セキュアライフ・エレクトロニクス」シンポジウム、東京大学本郷キャンパス　弥生講堂一条ホール、2010 年 11 月 16 日.

[65] (Invited) 染谷隆夫、"有機トランジスタを用いた大面積集積回路とその応用"、電子情報通信学会［エレソ賞記念講演］ C-12-2、大阪府立大学　中百舌鳥キャンパス、2010 年 9 月 15 日.

[66] (Invited) 染谷隆夫、"フレキシブルエレクトロニクスの現状と将来展望"、平成 22 年度　第 9 回　飯綱・サイエンスサマー道場、長野県飯綱高原「ホテルアルカディア」、2010 年 8 月 16 日～18 日.

[67] (Invited) 染谷隆夫、"将来加工技術とプリンテッドエレクトロニクス"、独立行政法人日本学術振興会将来加工技術第 136 委員会　第８回(第 2 部会)研究会、

東京大学、2010/06/18.

[68] (基調講演) 染谷隆夫、”プリンテッドエレクトロニクス生産技術による“ものつくり革命”がＣＯ２削減を加速する”、JPCA Show 2010、東京ビックサイト、2010/06/04.

[69] (Invited) 染谷隆夫、”プリンテッドエレクトロニクスの新展開”、「柔軟媒体ハンドリング技術及び応用プロセスに関する調査研究分科会」第 1 回会合、東京工業大学、2010/5/21.

[70] (Invited) 染谷隆夫、”大面積フレキシブルエレクトロニクスの将来展望”、サイエンステクノフロンティアフォーラム、東京大学駒場キャンパス、2010 年 4 月 24 日

[71] (招待講演)　関谷毅　“有機メモリを用いたフレキシブルエレクトロニクスのインテリジェント化”、応用物理学会シリコンテクノロジー分科会シリコンナノテクノロジー研究会、早稲田大学、2010 年 12 月 20 日

[72] (招待講演)　関谷毅、染谷隆夫、“高移動度 DNTT を用いた低電圧駆動有機エレクトロニクスの開発”、JST シンポジウム、広島大学、2010 年 10 月 22 日.

[73] (招待講演)　関谷毅、染谷隆夫、“大面積有機エレクトロニクスの印刷プロセス・基礎物性と応用”、高分子学会「2010 年度有機 EL 講習会：有機電子デバイスの基礎から応用まで」発明会館、2010 年 10 月 15 日.

[74] (招待講演)　関谷毅、染谷隆夫、“有機半導体・フレキシブルエレクトロニクス”、第 3 回フレキシブルディスプレイシンポジウム「フレキシブルディスプレイのインパクト～情報化社会のキーデバイス～」幕張メッセ　国際会議場、2010 年 10 月 9 日.

[75] (受賞記念講演)　関谷毅 “機械的特性に優れた有機トランジスタ集積回路の作製と応用”、第 8 回有機分子・バイオエレクトロニクス分科会（M&BE）奨励賞受賞講演、シンポジウム：有機トランジスタ、応用物理学会、長崎大学 2010 年 9 月 15 日.

[76] "(招待講演)　関谷毅、染谷隆夫、“有機トランジスタの印刷技術と大面積センサーへの応用”、日本画像学会　年次大会（第 105 回）、デジタルファブリケーションセッション品川区民ホール（きゅりあん）、2010 年 6 月 10 日.　Imaging Conference JAPAN 2010, The 105th Annual Conference of the Imaging Society of Japan, Shinagawa General Citizen Hall ""Curian"", Tokyo, Japan, June 9 - 11, 2010,（講演予定）

[77] "(ポスター発表) 横田知之，野口儀晃，関谷毅，加藤祐作，染谷隆夫，“サブフェムトインクジェットによる有機トランジスタと集積回路の作製”，2010 年　第 71 回　応用物理学会学術講演会，長崎大学，2010 年 9 月 14 日～17 日.　"

[78] "(口頭発表) 福田 憲二郎，栗原 一徳，横田 知之，関谷 毅，Ute Zschieschang，Hagen Klauk，杉野 卓司，安積 欣志，池田 征明，桑原 博一，山本 達也，瀧宮 和男，福島 孝典,相田 卓三，染谷 隆夫，“SAM 絶縁膜有機 TFT とカーボンナノチューブアクチュエータ集積化による 4 V 駆動点字ディスプレイ”，2010 年第 71 回　応用物理学会学術講演会，長崎大学，2010 年 9 月 14 日～17 日.　"

[79] "(ポスター発表) 栗原一徳,内山直哉,福田憲二郎，横田知之，関谷毅，Ute Zschieschang，Hagen Klauk，山本達也，瀧宮和男，池田征明，桑原博一，染谷隆夫，“ジナフト-[2,3-b:2,3-f]-チエノ-[3,2-b]-チオフェン（DNTT）を用いた有機トランジスタの耐熱性能”，2010 年　第 71 回　応用物理学会学術講演会，長崎大学，2010 年 9 月 14 日～17 日.　"

[80] "(口頭発表) 栗原一徳,内山直哉,福田憲二郎，横田知之，関谷毅，Ute Zschieschang，Hagen Klauk，山本達也，瀧宮和男，池田征明，桑原博一，染谷隆夫，“自己組織化単分子膜を自己組織化単分子膜を用いた有機浮遊ゲート メモリトランジスタのゲート型有機浮遊ゲート型メモリトランジスタの絶縁膜構造とメモリ性能”，2010 年　第 71 回　応用物理学会学術講演会，長崎大学，2010 年 9 月 14 日～17 日.　"

[81] "(口頭発表) 横田知之，野口儀晃，関谷　毅，加藤祐作，染谷隆夫，“サブフェムトリッターインクジェットを用いた有機集積回路”，電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会、電子ディスプレイ研究会、情報ディスプレイ研究会 共同開催、機械振興会館 地下 3 階 2 号室、東京、2010 年 7 月 12 日"

[82] "(口頭発表)　福田憲二郎，栗原一徳，関谷　毅，Ute Zschieschang，Hagen Klauk，染谷隆夫，“自己組織化単分子膜を用いた低電圧駆動有機集積回路”，電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会、電子ディスプレイ研究会、情報ディスプレイ研究会 共同開催、機械振興会館 地下 3 階 2 号室、東京、2010 年 7 月 12 日."

[83] "(口頭発表)　石田光一，増永直樹，高橋　亮，関谷毅，志野成樹，ツィーシャング ウテ，クラーク ハーゲン，高宮　真，染谷隆夫，桜井貴康，“2V 有機 CMOS 回路とインクジェット印刷配線を用いたユーザ・カスタマイザブル・ロジック・ペーパー”、情報センシング研究会 (ITE-IST)、常翔学園大阪センター、2010 年 7 月 22 日(木)- 7 月 23 日(金).

[84] （口頭発表）加藤裕、横田知之、栗原一徳、関谷毅、Ute Zschieschang、Hagen Klauk、山本達也、瀧宮和男、池田征明、桑原博一、染谷隆夫　「サブフェムトリッターインクジェットを用いた有機トランジス

タの電極焼成プロセス」第 58 回 応用物理学関係連合講演会　6p-BU-12 神奈川大学 2011 年 3 月

[85] 平田郁恵、Ute Zschieschang、Frederik Ante、Hagen Klauk、関谷毅、山本達也、瀧宮和男、池田征明、桑原博一、染谷隆夫、「スタンプ法による低電圧駆動有機トランジスタの閾値電圧制御」、2011 年春季第 58 回応用物理学会関係連合講演会、神奈川工科大学、2011 年 3 月

著書

[86] 関谷毅、福田憲二郎、染谷隆夫、「アクチュエーター」“シート型点字ディスプレイ”(シーエムシー出版)、2010 年 12 月.

[87] "Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, “Picoliter and subfemtoliter inkjet technologies for organic transistors”, Book chapter of “Organic Electronics II. More Materials and Applications”, Edited by Hagen Klauk, to be published in 2010."

[88] 関谷毅、佐野康、染谷隆夫、「エレクトロニクス高品質スクリーン印刷技術 2010」“有機トランジスタ”(シーエムシー出版)、2010 年 6 月出版.

総説・解説論文

[89] 関谷毅、染谷隆夫　“アンビエントディスプレイと伸縮性有機トランジスタ集積回路”『映像情報メディア学会誌』2010 年 10 月号「アンビエントディスプレイの最前線」小特集（第 1 章）

[90] "関谷毅、横田知之、中川隆、栗原一徳、福田憲二郎、染谷隆夫 “自己組織化単分子膜を用いた有機エレクトロニクス”, 応用物理学会有機・バイオエレクトロニクス分科会誌「Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE)誌」Vol. 21, pp. 9-14 (2010).

加藤研究室
Kato Group

(http://ykkato.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. カーボンナノチューブにおける電子スピンダイナミクスの光検出

横山 明男・吉田 匡廣・加藤 雄一郎

Optical detection of electron spin dynamics in carbon nanotubes

S. Harashima, Y. K. Kato

カーボンナノチューブデバイスはナノスケールにおける電子スピン制御に有望な系であるが、単一のカーボンナノチューブ内の電子スピンダイナミクスには不明な点が多い。そこで、高感度な光学的スピン検出システムを構築して電子スピンの緩和時間やコヒーレンス長に関する知見を得て、ナノチューブを用いた電子スピン制御デバイスやスピンから光子への量子情報転写デバイスなど未来の電子スピン情報技術への第一歩とする。

Carbon nanotubes have potential use in electron spin manipulation at nano-scale, but electron spin dynamics within single carbon nanotubes remain elusive. We plan to investigate electron spin relaxation times and coherence length by constructing an optical spin detection system with high sensitivity. Understanding of such spin properties will be a first step towards electron spin information device.

2. カーボンナノチューブにおける励起子束縛エネルギーの電界制御

安河内 諭・加藤 雄一郎

Electrical control of exciton binding energies in carbon nanotubes

S. Yasukochi, Y. K. Kato

一次元性が高く遮蔽効果が弱いカーボンナノチューブでは、クーロン相互作用が強く働く。そのため、励起子束縛エネルギーは通常の半導体と比べて極めて大きい。本研究ではこの束縛エネルギーを電界によって制御することを目指している。

Because of their one-dimensional nature, screening is weak in single-walled carbon nanotubes. This results in strong Coulomb interaction, giving rise to large exciton binding energies. Using electric fields, we aim at controlling the exciton binding energy in carbon nanotubes.

3. カーボンナノチューブとフォトニック結晶共振器の光結合

綿引 亮介・今村 真之・三浦 良平・加藤 雄一郎

Optical coupling of carbon nanotubes and photonic crystal microcavities

R. Watahiki, S. Imamura, R. Miura, Y. K. Kato

カーボンナノチューブはフォトルミネッセンスや電界発光を示し、よく光るナノ材料として知られており、電気駆動のデバイスが作製可能な材料でもある。一方、２次元フォトニッククリスタル光共振器はモード体積が小さく、共鳴波長が制御可能であり、ナノ材料との相性がよい。そこで、カーボンナノチューブ素子とフォトニック結晶を組み合わせたナノスケール光集積回路へ向けて、単層カーボンナノチューブとフォトニック結晶を光結合させる。

Carbon nanotubes are known to be good nanoscale light emitters, while photonic crystal microcavities allow high degree of control over resonant wavelength. Here we combine the two to manipulate the optical emission properties of carbon nanotubes.

4. 架橋カーボンナノチューブにおける励起子ダイナミクス

石井 晃博・加藤 雄一郎

Exciton dynamics in suspended carbon nanotubes

A. Ishii, Y. K. Kato

単層カーボンナノチューブでは、励起子の動的相関による新たな光量子現象が起きる可能性がある。しかし、単層カーボンナノチューブにおける励起子ダイナミクスにはいまだに不明な点が多い。カイラリティによって電子構造が大きく変わる単層カーボンナノチューブでは、励起子拡散はカイラリティに依存するはずである。また、励起子－励起子消滅の効率も定量的に評価されていないほか、暗い励起子が存在することも分かっている。そこで、本研究ではこのようなカーボンナノチューブ特有の励起子ダイナミクスを明らかにすることを目指す。

Excitons in carbon nanotubes offer a unique opportunity for novel optical effects. However, exciton dynamics in single-walled carbon nanotubes have many open questions that remain. Investigating exciton dynamics in air-suspended carbon nanotubes should provide better understanding of their optical properties.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publication List

研究論文

[1] S. Moritsubo, T. Murai, T. Shimada, Y. Murakami, S. Chiashi, S. Maruyama, Y. K. Kato, “Exciton diffusion in air-suspended single-walled carbon nanotubes”, Phys. Rev. Lett. 104, 247402 (2010).

国際会議論文

[2] T. Murai, S. Yasukochi, S. Moritsubo, T. Shimada, Y. Murakami, S. Chiashi, S. Maruyama, Y. K. Kato, “Photoconductivity measurements of single-walled carbon nanotube field effect transistors”, March Meeting of the American Physical Society, Dallas, Texas (March 22, 2011).

[3] S. Yasukochi, T. Murai, T. Shimada, S. Chiashi, S. Maruyama, Y. K. Kato, “Electric field dependence of photoluminescence from individual single-walled carbon nanotubes”, March Meeting of the American Physical Society, Dallas, Texas (March 22, 2011).

[4] S. Moritsubo, T. Murai, T. Shimada, Y. Murakami, S. Chiashi, S. Maruyama, Y. K. Kato, “Exciton diffusion in air-suspended (9,8) carbon nanotubes”, 11th International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT10), Montreal, Canada (July 1, 2010).

シンポジウム・研究会・大会等発表

[5] 加藤雄一郎, 「カーボンナノチューブ発光素子における波長の電界制御」光科学技術振興財団 講演会 (2011 年 3 月 3 日)

[6] 加藤雄一郎, 「ナノチューブ・Ⅲ－Ⅴ族半導体ヘテロ構造による電流誘起スピン」特定領域研究「スピン流の創出と制御」成果報告会(2011 年 1 月 6 日)

[7] Y. K. Kato, "Optoelectronic interactions in individual single-walled carbon nanotubes." 東京大学グローバルＣＯＥ セキュアライフ・エレクトロニクス シンポジウム (2010 年 11 月 17 日).

[8] 加藤雄一郎, 「ナノチューブ・Ⅲ－Ⅴ族半導体ヘテロ構造による電流誘起スピン」特定領域研究「スピン流の創出と制御」研究会(2010 年 6 月 24 日)

小田・小野(亮)研究室
Oda and Ono Laboratory

(http://streamer.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 大気圧ストリーマ放電のラジカル反応計測

小野 亮・小田 哲治・寺本 慶之・中川 雄介・田中 邦理・門脇 和丈

Measurement of Radical Reactions in Atmospheric-Pressure Streamer Discharge

R. ONO, T. ODA, Y. TERAMOTO, Y. NAKAGAWA, K. TANAKA, and K. KADOWAKI

大気圧ストリーマ放電の反応機構を解明するため、ラジカル密度の空間分布や時間変化を、レーザ分光法により測定している。レーザ誘起蛍光法（LIF）による OH ラジカル、NO 分子、準安定準位 N_2(A)分子、振動励起 O_2 分子、O ラジカル、N ラジカル密度の計測、二次元吸収法によるオゾン密度計測を行い、コロナ放電やバリア放電プラズマでのラジカルの挙動を調べている。この研究により、ストリーマの挙動とラジカル生成との関係などが明らかになりつつある。本研究は、非熱平衡プラズマによる大気汚染物質除去など、様々なプラズマ応用技術に貢献するものである。ラジカル反応速度は温度に強く依存するため、本研究では LIF やコヒーレント・アンチストークスラマン分光法（CARS）により、ガス温度や N_2 分子の振動温度も測定している。

To investigate the reaction processes in atmospheric pressure nonthermal plasma, density of radicals was measured using laser spectroscopic techniques. OH radicals, NO molecules, N_2(A) metastables, vibrationally excited O_2 molecules, O atoms, N atoms were measured by laser-induced fluorescence (LIF) and ozone density was measured by two-dimensional laser absorption in corona and dielectric barrier discharges. Time evolution and spatial distribution of these radicals have been observed in order to clarify the production and chemical reaction processes in the non-thermal plasma. This research contributes to various plasma applications such as removal of environmental pollutants using nonthermal plasma. The rate of chemical reactions in the plasma strongly depends on temperature. The kinetic temperature and vibrational temperature of N_2 molecules were also measured using LIF and coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS).

2. 非熱平衡プラズマによる大気中各種有害気体の浄化

小田 哲治・富村 勇太・安田 拓真

Cleaning of Polluted Gas by Using Nonthermal Plasma

T. ODA, Y. TOMIMURA, and T. YASUDA

非熱平衡プラズマの強力な酸化力により大気中に微量(100~1,000ppm)存在するトリクレン等の揮発性有機物(VOCs)を分解除去する技術の開発を行っている。VOC を 99%以上分解することが可能であり、その分解効率向上を触媒により促進することを検討している。放電で生成したオゾンやその他の物質を触媒で分解し O ラジカルを発生させ、そこで酸化反応を強力に行う技術についても研究をしている。OH などの活性種密度に影響する湿度の影響も調べている。

Atmospheric pressure non-thermal plasma processing is studied to efficiently decompose dilute VOCs in air. 50 to 1,000 ppm VOC in air can be decomposed more than 99% by the plasma. In order to improve both energy efficiency and decomposing ratio, a novel plasma process combined with catalyst is under investigation. The relation of the ozone generation and VOC decomposition is also experimentally studied. The effect of humidity, which affects the density of radicals such as OH radicals, is also studied.

3. 大気圧ストリーマ放電のシミュレーション

小野 亮・小田 哲治・小室 淳史

Simulation of Atmospheric-Pressure Streamer Discharge

R. ONO, T. ODA, and A. KOMURO

環境汚染物質除去などに用いられる大気圧ストリーマ放電の、ラジカル生成や反応機構を調べるため、大気圧ストリーマ放電のシミュレーションを行っている。シミュレーションの高速化と高精度化を行った結果、比較的長いギャップ長（10～50 mm）の一次ストリーマと二次ストリーマ両方の高精度シミュレーションに成功した。計算結果は実験結果と良い一致を示しており、計算精度の高さが実証されている。放電で生成される活性種の計算も行っており、O, N, OH などのラジカルや、N_2(v)や O_2(v)などの振動励起種の密度に特に注目して計算を行い、レーザー計測の結果と比較を行っている。

Simulation of atmospheric-pressure streamer discharge is developed to investigate the production and reaction processes of radicals in the streamer discharge. We succeed in a simulation of primary and secondary streamers of relatively long gap streamer (10 to 50 mm) with high precision. The simulation results are in good agreement with experimental results. It verifies the high precision of the simulation. We also simulate the active species produced by the discharge, particularly pay attention to radicals such as O, N, and OH and vibrationally excited species such as N_2(v) and O_2(v). The calculated results for these active species are compared with the experimental results of laser spectroscopic measurement of these active species.

4. 水素操作時の静電気問題

小野 亮・小田 哲治・熊本 亜由美・井関 紘士

Electrostatic Problems in Hydrogen Handling

R. ONO, T. ODA, A. KUMAMOTO, and H. ISEKI

燃料電池の燃料として利用される水素の、操作時（特に、水素ステーションなどでの）における静電気安全性の評価を行っている。水素は最小着火エネルギーが0.019mJ で、一般的な可燃性ガスの 1/10 程度である。このため非常に静電気に敏感で、その安全対策は必須である。本研究では静電気放電を模擬した容量性スパーク放電を用いて、様々な水素濃度、酸素濃度、湿度、回路定数について最小着火エネルギーを求め、水素静電気着火危険性の定量的な評価を行っている。

Electrostatic hazard for hydrogen is investigated especially related with hydrogen station for fuel cell vehicles. The minimum ignition energy (MIE) of hydrogen-air mixture is 0.019 mJ, which is 1/10 smaller than that of other usual flammable gas such as methane and propane. As hydrogen is quite sensitive to the electrostatic discharge (ESD), the assessment of electrostatic hazard is essential for practical use of hydrogen. The MIE of hydrogen was measured using a spark discharge, which simulated ESD, for various hydrogen concentrations.

5. 水素放電着火時のラジカルおよびガス温度計測

小野 亮・小田 哲治・熊本 亜由美

Measurement of Radical Density and Gas Temperature in Incipient Spark-Ignited Hydrogen-Air Flame

R. ONO, T. ODA, and A. KUMAMOTO

水素の静電気着火機構を解明するため、水素放電着火後の反応過程をレーザー計測している。可燃性ガス中で放電が発生すると初期火炎が生成され、これが放電後10μs－1ms に臨界火炎まで成長すれば着火する。したがってこの時間領域で初期火炎の温度、サイズ、ラジカル密度を測定すれば、着火と不着火を分ける要素が明らかになる。本研究では OH ラジカル密度と火炎核温度の LIF 計測と、主要分子（O_2, H_2, H_2O, N_2）のラマン分光計測を行っている。これまで、水素等可燃性ガスの着火過程を定量的に測定した例はなく、本研究は放電着火機構の解明に大きく寄与する。

For examining the hydrogen spark-ignition mechanism, the reaction process in the spark-ignited incipient flame was measured by laser spectroscopy. When a spark occurs in a flammable gas, an incipient flame is produced. If it grows to a sufficient flame during 10 μs to 1 ms after the spark, an ignition occurs. Therefore, the measurements of the gas temperature, size, and density of radicals in the incipient flame are indispensable for investigating the ignition process of hydrogen-air mixture. We measured the gas temperature and OH radical density in the incipient flame using LIF and the densities of major molecules (O_2, H_2, H_2O, N_2) using Raman spectroscopy in spark-ignited hydrogen-air flame. The growing process of the incipient-flame was quantitatively measured.

6. 超高速静電気放電現象の把握とその対策技術

小田 哲治・早田 裕

Observation of Ultra-Fast Electrostatic Discharge and Its Safety Measures

T. ODA and Y. SODA

IT 機器の製造過程において問題となる静電気放電は、5V 以下の低電圧で発生し、パッシェンの法則から大きく外れた領域で発生する。この放電は非常に微弱で、1μm 以下の微小ギャップで発生し、GHz 以上の周波数成分を含む高速現象である。この放電の発生メカニズムはまだほとんど知られておらず、対策を困難なものにしている。本研究ではこの微弱放電の現象の解明および対策技術の確立に取り組んでいる。

Electrostatic discharge (ESD) causes severe problems in the manufacturing process of IT devices. The ESD occurs below 5 V, which deviates considerably from the Pachen curve. The ESD is quite feeble and occurs between a small gap (< 1μm). It is a fast phenomenon containing high frequency component in the order of GHz. The mechanism of the ESD is not well understood, which makes the development of safety measures difficult. We measure the ESD for further understanding and develop the safety measures against the ESD.

7. 色素増感太陽電池の開発

寺本 慶之・小野 亮・小田 哲治・米澤 寛・花輪 啓輔・全 俊豪

Development of Dye-Sensitized Solar Cell

Y. TERAMOTO, R. ONO, T. ODA, H. YONEZAWA, K. HANAWA, and S. ZEN

シリコン系の太陽電池とはまったく異なる原理で動作する色素増感太陽電池は、安価に製造でき材料の制約が少なく、新型太陽電池として期待されている。色素増感太陽電池のチタニア（TiO_2）電極をプラズマ処理し、変換効率を向上させる技術の開発に取り組んでいる。色素増感太陽電池は通常ガラス基板を用いて作成するが、低コストで軽量のプラスチック基板を用いたものも開発されている。プラスチック基板太陽電池はチタニア電極の高温焼成ができないため、性能がガラス基板の半分以下である。プラズマは低温で高度な反応を発生させることができるため、プラスチック基板太陽電池の高温焼成の代用として使えるかどうかも検討している。

Dye-sensitized solar cell (DSSC) generates electricity by different mechanism from silicon solar cell. It can be made at low cost from easily available materials. To enhance the conversion efficiency of DSSC, we develop a plasma treatment of titania (TiO_2) electrode of DSSC. The DSSC is usually made with a glass substrate, but DSSC with a plastic substrate which is light and cost effective is also developed.

The conversion efficiency of the plastic DSSC is lower than the glass DSSC by a factor of more than 2 because high-temperature sintering process cannot be applied for the plastic DSSC. Since the plasma treatment can cause high potential reaction under low temperature, we also try to use the low-temperature plasma treatment instead of the high-temperature sintering for the plastic DSSC to enhance the conversion efficiency.

8. 大気圧グロー放電の生成と計測

小野 亮・小田 哲治・後藤 峰生

Generation and Measurement of Atmospheric-Pressure Glow Discharge

R. ONO, T. ODA, and M. GOTO

大気圧の希ガスや空気中で、均一なグロー放電を発生させる研究を行っている。一般的な大気圧放電はフィラメント状の空間的に不均一な放電となるが、大気圧グロー放電は均一なため表面処理などを均一に行える長所がある。大気圧ヘリウムに交流高電圧を印加し、大気圧グロー放電を発生させることに成功した。大気圧グロー放電が発生する放電条件（電圧値や周波数）を調べ、その放電発生メカニズムを放電波形や高速度カメラを用いて調べた。大気圧グロー放電の応用技術で重要となる OH ラジカル密度のレーザー計測も行った。

Uniform discharge under atmospheric-pressure rare gas or air, which is called atmospheric-pressure glow discharge (APGD), is studied. Usually, a discharge under atmospheric-pressure is filamentary and strongly nonuniform. The uniformity of the APGD is advantageous because, for example, it can uniformly treat a surface of a material. The discharge conditions (amplitude and frequency of applied voltage) under which the discharge becomes APGD (not filamentary) is investigated. The mechanism of the APGD is studied from the discharge current waveforms and discharge photographs taken with a high-speed camera. We also measure the density of OH radicals which are important species in the application of the APGD.

9. 大気圧プラズマジェットの活性種密度計測

小野 亮・小田 哲治・寺本 慶之・中川 雄介・堤 康彦・米森 星矢

Measurement of Radical Density in Atmospheric-Pressure Plasma Jet

R. ONO, T. ODA, Y. TERAMOTO, Y. NAKAGAWA, Y. TSUTSUMI, and S. YONEMORI

大気圧プラズマジェットは、室内空気中でプラズマを発生させることができるため、材料の表面処理、医療、殺菌などに用いられている。これらプラズマジェットの応用で重要な、活性種のレーザー計測を行っている。アーク放電を用いた高温プラズマジェットと、バリア放電を用いた低温プラズマジェットの 2 つについて、それぞれ OH, O, N, NO などの密度を計測している。

Atmospheric-pressure plasma jet (APPJ) can generate a plasma in room air. It is used for surface treatment, medicine, and sterilization. We measure the density of radicals which are important for those applications of the APPJ. We use two types of APPJ, one is a high-temperature APPJ using arc discharge and another is a low-temperature APPJ using dielectric barrier discharge. The densities of OH, O, N, and NO are measured using a laser spectroscopy technique.

10. プラズマによる水処理技術の開発

伴野 卓也・面 大地・小野 亮・小田 哲治

Water Treatment Using Plasma

T. BANNO, D. OMOTE, R. ONO, and T. ODA

水中の化学物質や細菌をプラズマで処理する研究を行っている。研究の第一段階として、プラズマによる分解が容易な色素を沿面バリア放電で処理した。水を 0.5mm 程度の膜状にして放電を発生させると、水面上の広い面積に沿面放電が発生し、従来のバルク水を処理する手法よりも処理効率が著しく改善した。これをさらに進めて、水膜の水中で沿面放電が発生するようにリアクタを改良し、さらに処理効率を高める研究に取り組んでいる。

We remove chemical substances and bacteria in water using plasma. As a first step, we decompose a dye resolved in water using surface dielectric barrier discharge. When discharge occurs with water film of 0.5 mm thick, the discharge widely spreads over the water surface. This water-film method shows much higher decomposition efficiency than the conventional method using water bulk. As a next step, we are trying to treat the water film using a surface discharge “in” water to further increase of the decomposition efficiency.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] Y. Teramoto, T. Shiono, R. Ono, and T. Oda, “Surface treatment of TiO_2 electrode for dye-sensitized solar cells using low-temperature and low-energy dielectric barrier discharge in air,” Jpn. J. Appl. Phys., v.50, 036201 (2011).

[2] A. Komuro, R. Ono, and T. Oda, “Kinetic model of vibrational relaxation in humid-air pulsed corona discharge,” Plasma Sources Sci. Technol., v.19, 055004 (2010).

[3] R. Ono, Y. Teramoto, and T. Oda, “Gas density in pulsed positive streamer measured by laser shadowgraph,” J. Phys. D, v.43, 345203.

[4] 寺本 慶之, 塩野 拓, 小野 亮, 小田 哲治, “空気中コロナ放電を用いた色素増感太陽電池 TiO_2 電極表面処理,” 電気学会論文誌 A, v.130, pp.525-526 (2010).

国際会議論文

[5] Y. Teramoto, R. Ono and T. Oda, “Measurement of atomic nitrogen under atmospheric pressure pulsed corona discharge in N_2/O_2 mixed gas using TALIF,” Int. Conf. Gas Discharges and Their Applicat., pp.224-227 (2010).

[6] R. Ono, A. Komuro, Y. Nakagawa, Y. Teramoto and T. Oda, “Vibrational and translational temperature in the afterglow of pulsed positive corona discharge,” Int. Conf. Gas Discharges and Their Applicat.,” pp.228-231 (2010).

[7] Y. Teramoto, T. Shiono, R. Ono and T. Oda, “Surface treatment of TiO2 electrode for dye-sensitized solar cells using low-temperature and low-energy dielectric barrier discharge in air,” Int. Conf. Gas Discharges and Their Applicat., pp.236-239 (2010).

[8] Y. Nakagawa, Y. Teramoto, F. Morigaki, R. Ono and T. Oda, “Laser-induced fluorescence measurement of OH rotational temperature in atmospheric-pressure pulsed corona discharge,” Proc. 7th Int. Symp. Nonthermal Plasma Technol., VIII-3 (2010).

[9] Y. Teramoto, Y. Fukumoto, R. Ono and T. Oda, “Observation of streamer propagation under atmospheric pressure pulsed positive and negative corona discharges,” Proc. 7th Int. Symp. Nonthermal Plasma Technol., VIII-5 (2010).

[10] Yusuke Nakagawa, Hidetoshi Fujisawa, Ryo Ono and Tetsuji Oda, “Dilute Trichloroethylene Decomposition by using High Pressure Non-Thermal Plasma -Humidity Effects-,” Proc.Ann.Meeting, IEEE/IAS2010, 18p5, Houston, (2010)

[11] Tetsuji Oda, Keisuke Hanawa, Yoshiyuki Teramoto and Ryo Ono, “Low Voltage Contact Electrostatic Discharge Phenomena,” Proc.Ann.Meeting, IEEE/IAS2010, 21p1, Houston, (2010)

著書

[12] T. Oda and R. Ono（分担執筆）, Industrial Plasma Technology: Applications from Environmental to Energy Technologies,” Y. Kawai, H. Ikegami, N. Sato, A. Matsuda, K Uchino, M. Kuzuya, and A. Mizuno ed., Wiley-VCH, pp.37-47 (2010).

シンポジウム・研究会・大会等発表

[13] 小野 亮, “活性種のレーザ計測による大気圧ストリーマの反応機構解明,” 2011 年度第一回静電気学会研究会, pp.79-88 (2011).

[14] 小室 淳史, 小野 亮, 小田 哲治, “振動励起分子の影響を考慮したストリーマ放電シミュレーション,” 2011 年静電気学会春期講演会論文集, pp.1-4 (2011).

[15] 中川 雄介, 門脇 和丈, 小野 亮, 小田 哲治, “同軸円筒型リアクタ中の大気圧空気パルスバリア放電における OH ラジカルの LIF 計測,” 2011 年静電気学会春期講演会論文集, pp.9-12 (2011).

[16] 寺本 慶之, 小野 亮, 小田 哲治, “N および NO 密度計測による N_2/NO パルスコロナ放電の NO 分解過程の解明,” 2011 年静電気学会春期講演会論文集, pp.17-20 (2011).

[17] 後藤 峰生, 中川 雄介, 小野 亮, 小田 哲治, “大気圧ヘリウム均一放電の発光特性と OH ラジカルの LIF 計測,” 2011 年静電気学会春期講演会論文集, pp.21-24 (2011).

[18] 米森 星矢, 寺本 慶之, 小野 亮, 小田 哲治, “ラマン散乱分光法による大気圧 He プラズマジェットの He/空気混合比計測,” 2011 年静電気学会春期講演会論文集, pp.33-36 (2011).

[19] 田中 邦理, 寺本 慶之, 小野 亮, 小田 哲治, “CARS による大気圧パルスコロナ放電後の N2 分子振動温度計測,” 2011 年静電気学会春期講演会論文集, pp.41-44 (2011).

[20] 堤 康彦, 寺本 慶之, 張 加強, 小野 亮, 小田 哲治, “大気圧空気プラズマジェットの発光分光計測,” 2011 年静電気学会春期講演会論文集, pp.51-54 (2011).

[21] 米澤 寛, 寺本 慶之, 小野 亮, 小田 哲治, “空気バリア放電処理による色素増感太陽電池の変換効率向上,” 2011 年静電気学会春期講演会論文集, pp.85-88 (2011).

[22] 井関 紘士, 熊本 亜由美, 小野 亮, 小田 哲治, “火

花放電による水素－酸素－窒素混合気の最小着火エネルギー計測,” 2011 年静電気学会春期講演会論文集, pp.91-94 (2011).

[23] 小野 亮, “大気圧ストリーマ放電のラジカル反応計測,”「原子分子光の素過程とプラズマ分光の研究フロンティア」「原子分子データ応用フォーラムセミナー」合同研究会 (2011) (invited).

[24] 中川 雄介, 小野 亮, 小田 哲治, “大気圧パルスコロナ放電における OH 密度および回転温度計測,” 2010 年静電気学会講演論文集, pp.7-10 (2010).

[25] 後藤 峰生, 小野 亮, 小田 哲治, “大気圧グロー放電の発生 －ヘリウムの場合－,” 2010 年静電気学会講演論文集, pp.33-36 (2010).

[26] 小室 淳史, 小野 亮, 小田 哲治, “大気圧パルスコロナ放電における振動励起分子の影響,” 2010 年静電気学会講演論文集, pp.39-42 (2010).

[27] 米澤 寛, 寺本 慶之, 小野 亮, 小田 哲治, “プラスチック基板色素増感太陽電池のプラズマ処理,” 2010 年静電気学会講演論文集, pp.57-60 (2010).

[28] 熊本 亜由美, 井関 紘士, 小野 亮, 小田 哲治, “ICCD カメラによる水素－空気ならびに水素－酸素予混合気放電着火計測,” 2010 年静電気学会講演論文集, pp.125-128 (2010).

[29] 井関 紘士, 熊本 亜由美, 小野 亮, 小田 哲治, “火花放電による水素－酸素－窒素混合気の最小着火エネルギー計測,” 2010 年静電気学会講演論文集, pp.135-136 (2010).

[30] 田中 邦理, 寺本 慶之, 小野 亮, 小田 哲治, “CARS による大気圧パルスコロナ放電後の振動温度計測,” 2010 年静電気学会講演論文集, pp.201-204 (2010).

[31] 寺本 慶之, 小野 亮, 小田 哲治, “大気圧正・負極性パルスコロナ放電におけるラジカル計測,” 2010 年静電気学会講演論文集, pp.211-214 (2010).

[32] 堤 康彦, 寺本 慶之, 小野 亮, 小田 哲治, “大気圧プラズマジェット中の N 原子・O 原子・NO 分子の LIF 計測,” 2010 年静電気学会講演論文集, pp.217-220 (2010).

[33] 寺本 慶之, 塩野 拓, 小野 亮, 小田 哲治, “誘電体バリア放電による色素増感太陽電池 TiO2 電極表面処理,” 電気学会プラズマ研究会資料, PST-10-048 (2010).

[34] 小室 淳史, 小野 亮, 小田 哲治, “大気圧パルスコロナ放電における振動励起分子の影響,” 電気学会プラズマ研究会資料, PST-10-050 (2010).

[35] 中川 雄介, 寺本 慶之, 小野 亮, 小田 哲治, “大気圧パルスコロナ放電における活性種の密度・温度計測,” 電気学会プラズマ研究会資料, PST-10-051 (2010).

[36] 寺本 慶之, 張 加強, 堤 康彦, 小野 亮, 小田 哲治, “レーザ誘起蛍光法を用いた大気圧プラズマジェット中の N, O, NO 計測,” 電気学会プラズマ研究会資料, PST-10-052 (2010).

[37] 小田哲治,”大気圧非熱平衡プラズマを用いたガス状汚染物質の除去,” 台 4 階環境工学連合講演会、pp.159-166 (2010)

[38] 後藤峰生,小野 亮,小田哲治, “大気圧グロー放電状態発光診断 ヘリウムの場合,” 電気学会パルスパワー・放電合同研究会資料 PPT-10-062, ED-10-102 (2010)

[39] Kim Hak-Joon, Han Bangwoo, Cho Gyu-Baeck, Hong Won-Sun, Kim Yong-Jin and Tetsuji Oda, “Ultrafine Particle Removal of Diesel Particulate Matter Filtration System Combined with a Metallic Flow-Through Filter,” 電気学会パルスパワー・放電合同研究会資料 PPT-10-065, ED-10-106 (2010)

[40] 小田哲治, 藤澤秀俊、中川雄介、富村勇太、小野 亮, ” 大気圧非熱平衡プラズマによるガス状汚染物質の除去―触媒併用効果―” プレ ISCC２０１０空気清浄とコンタミネーションコントロール研究発表会予稿集 pp.181-183(2010)

日髙・熊田，池田(久)研究室
Hidaka, Kumada & Ikeda Laboratory
(http://www.hvg.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 沿面リーダ進展現象の計測

Deng Junbo・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Propagation of Surface Leader

J. Deng, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

リーダ進展の機構解明を目的とし、交流、インパルス、印加電圧の極性を交互に変化させてパルス電圧を印加するなど各種条件下の沿面放電現象を計測してきた。

本年度は、主に 50Hz 交流電圧印加時の沿面放電進展現象に着目し、ハイスピードカメラを用いて、印加電圧の位相と沿面リーダ長の測定を行った。その結果、印加電圧波高値を上昇させるとまずφ＝π～2πの位相において沿面リーダが発生し、さらに電圧を上昇させるとφ＝0～πの位相においてもリーダが発生することが確認された。最終的な放電進展長 L_{MAX} は交流電圧印加時においては印加電圧の波高値 Vp を用いて $L_{MAX} \propto Vp^n$, （ただし n=1.5～3.3）で表わされることがわかった。インパルス電圧印加時においては、$L \propto V^n$（ただし n＝3～5）と印加電圧に対して敏感に進展長が大きくなるのと対照的であった。これは、印加電圧がピークに達する前に放電の初期電子が供給され沿面放電が発生し、その残留電荷が後続の放電の発生・進展を抑制するためと考えられる。

Surface discharge is a kind of discharge which propagates on the surface of insulators, such as the interface between gas/solid, that between liquid/solid, and that between gas/liquid. The breakdown field of the surface discharge is relatively weak. The surface discharge occurs from triple junction, firstly as streamer, and then transforms into leader. Compared with streamer, leader can develop over a longer distance with a lower potential gradient, and leads to flashover of the insulation. For designing highly reliable electric power apparatus, it is of great importance to clarify the process of discharge propagation, especially the transformation process from streamer to leader. The investigations were performed in a cylindrical insulator configuration in atmospheric air. There are two ring electrodes and one rod back electrode. The distance between two ring electrodes is aligned from 100 mm to 300 mm. One of pair ring electrodes is grounded 50Hz-ac voltage is applied to the other ring electrode so that a surface discharge occurs and propagates on the insulator surface. A high speed video camera was used to observe the discharge.

From a series of measurement, the propagation characteristics of AC surface discharge are summarized as follows: With increasing the voltage, leader discharges are recognized, whose occurrences concentrate under the negative period of the voltage application. When the application voltage is enough high, some positive leader discharges are also observed. The maximum length of surface discharge LMAX under AC voltage can be denoted by $LMAX \propto Vp^n$, where Vp is the amplitude of AC voltage and n is 1.5 to 3.3, whereas the propagation length of the surface discharge under impulse voltage is denoted by $L \propto Vn$, where V is the peak value of the impulse voltage and n is 3 to 5.

2. CF3I ガスの放電特性

武田敏信・八木貴大・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Discharge characteristics of CF_3I gas

T. TAKEDA, T. YAGI, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

現在絶縁ガスとして広く用いられている SF_6 ガスが地球温暖化ガスとして使用の削減が求められている。そこで我々は絶縁性能が高く、地球温暖化への影響が小さい CF_3I ガスを SF_6 代替ガスとしての可能性を検証してきた。

電圧立ち上がり時間 20ns、10μs 経過後の減衰率 2.5% 以下、最大波高値 200kV という理想的な方形波高電圧を発生可能な装置を導入し、1μs 以下の短時間領域での放電特性の測定している。一方で 50Hz の交流を印加することで長時間領域での放電特性の測定を行っている。

その結果、準平等電界下では CF_3I は SF_6 より絶縁性能が高いが、極端な不平等電界下では CF_3I は SF_6 より絶縁性能が低いということがわかっている。

また、CF_3I は飽和蒸気圧が低く、高気圧では液化が起こってしまう。それを防ぐために CF_3I を他のガスと混合することによって分圧を下げるという方法が考えられている。混合した場合の絶縁性能を知るために CF_3I/N_2、CF_3I/CO_2 混合ガスの放電特性の測定を行った。特に圧力依存性に関して詳細な測定を行い、高気圧下での放電特性を明らかにした。

SF_6 gas, which is a major electrical insulating medium in high voltage equipments, has been designated as a greenhouse effect gas. Thus, it has been required to be reduced or replaced by other gases.

Steep-front square-pulse voltages with a long duration are useful for clarifying the mechanism of electrical discharge propagation. It has so far been hard to generate such a voltage, when its peak value is required to be several hundred kilovolts. Our laboratory has introduced a new high voltage generator making a square-pulse voltage with a rise time of 13 ns, a dumping factor less than 2.5% after 10 μs duration and a peak value of 200 kV, and started measuring discharge characteristics in a short-time region. On the other hand, the discharge characteristics in long-time region is acquired by applying AC voltage (50 Hz).

The sparkover voltage of gap in CF_3I is lower than that in

SF_6 under non-uniform electric field. On the contrary, the sparkover voltage in CF_3I is higher than that in SF_6 under uniform electric field.

The saturated vapor pressure of CF_3I gas is low. To prevent CF_3I gas from devolatilization, partial pressure of CF_3I gas will be reduced by mixing other gases in practical apparatus. Therefore, the discharge characteristics of CF_3I/N_2 and CF_3I/CO_2, including the pressure dependence, are also investigated, and the discharge characteristics under high pressure are revealed.

3. バリア放電のシミュレーション

田中大樹・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Numerical Simulation of Barrier Discharge

D. TANAKA, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

気体放電の基本的現象であるストリーマのシミュレーションを流体方程式を解くことによって行っている。物理的手法であるシミュレーションは、実験的に得られた結果を検証するためにも非常に有効であり、また、任意の条件下でのシミュレーションを行うことが可能である。このようにシミュレーションが非常に有効であっても、一般的に、シミュレーションの計算過程に計算の不安定さを引き起こしたり、膨大な時間を要することがある。

昨年度までは、差分法と構造格子を用いた手法で放電シミュレーションコードの開発を行ってきたが、計算速度、メモリ量の点から計算対象の規模の制約が大きかった。本年度は、商用計算ソフトウェアを導入し、有限要素法と非構造三角形メッシュを用いて、実験と同規模の計算を行うことができる放電シミュレーションコードの開発を行った。バリア上の電位分布をポッケルスセンサを用いて測定し、計算結果との比較を行った。両者の電荷密度分布は定量的に一致したものとなり、放電シミュレーションの結果が妥当であること及び誘電体バリア放電の機構が確認された。

In recent years, barrier discharge plasma has been utilized to the removal of pollutants such as VOCs, SOx, and NOx. The performance of removal is greatly influenced by the structure of the plasma reactor. For the improvement of performance in various applications, it is necessary to understand gas discharge dynamics experimentally and analytically. A numerical simulation of positive streamer propagation is carried out in non-uniform electric field with a dielectric barrier by the finite element method. The simulation method is based on the first-order continuity equations of charged particles. The transport coefficients at a given field strength are derived from the Boltzmann equation, and the electric field is obtained by solving the Poisson's equation. The streamer propagation, electron and ion distributions, electric field strength, and electron temperature are studied in detail as the time passes after the application of electric field. In addition, the transient change of potential on dielectric barrier is measured by Pockels sensor, and compared with the simulated result. The simulated charge profile on dielectric barrier coincides qualitatively with the measured profile.

4. ポッケルス効果による沿面放電進展時の電位・電界・電荷分布測定

田中大樹・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Potential, Charge, and Electric Field Distributions Measurement of Propagating Surface Discharge by Using Pockels Effect

D. TANAKA, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

沿面放電現象は電力機器の設計上は防ぐべき対象として、また沿面放電によるプラズマは排ガス処理の手法としてその進展機構の解明が望まれている。本研究では、誘電体バリア上を進展する沿面ストリーマ・リーダの進展時電位分布及び電荷密度分布について、ポッケルス効果を利用した光学的手法による測定を行った。

SF6 中における沿面放電進展の過程について、高速度カメラと併せて測定を行った。高速度カメラの結果より、空気中における沿面放電と同様に扇状の沿面ストリーマが確認されたが、極性による差異が少なく、大気圧中における負極性沿面放電と似たものであった。リーダ発生時における放電先端部の電位勾配は正極性において 2.4 kV/mm、負極性において 1.9 kV/mm となり、ともに SF6(25 kPa)中の臨界電離電界強度(2.2 kV/mm)に近い値となった。

Clarifying the propagation mechanism of surface discharge is required in insulating electric apparatuses and processing gases containing pollutants. In this research, we measured the potential and electric field distribution on a dielectric material with the sensing technique using the Pockels effect.

The instantaneous two-dimensional potential profile of a propagating surface streamer and leader in SF6 gas (25 kPa) were measured by the Pockels sensing system and the ICCD camera. The propagating direction component of the electric field of the propagating streamer reaches 2.4 kV/mm in the positive case and 1.9 kV/mm in the negative case.

5. レーザ波面計測による放電中の電子密度測定

稲田優貴・松岡成居・熊田亜紀子・池田久利・日髙邦彦

Electron Density Measurement in Arc Discharge by Wave-front Sensor

Y. INADA, S. MATSUOKA, A. KUMADA, H. IKEDA and K. HIDAKA

雷放電の研究および耐雷技術の開発、ガス絶縁機器の開発や放電プラズマ応用機器の開発などには、過渡的な放電現象の機構解明が求められており、放電に関する基礎物理量の 1 つである電子密度計測は特に重要である。本年度は電流値が 20A にまで低下した時刻において、大

気中アーク放電内の電子密度をシャックハルトマン型レーザ波面測定器を利用して測定した。

アーク柱内の全空間にわたる電子密度分布を解析した結果、電子密度は電極近傍よりアーク柱軸中心付近で低下しており、最小電子密度は $1\times10^{23}m^{-3}$ であった。

It has been needed to clarify the discharge process for lightning protection, efficient plasma reactors, and designing power apparatuses such as gas insulated switchgears. The study on discharge mechanism is possible through the measurement of fundamental physical quantities such as electron density, ion density, and electric field.

This year, Shack-Hartmann type laser wave-front sensor was applied for measuring the electron densities over an arc column with a current of 20A in air.

The electron density distribution acquired over the arc column showed that the electron densities around the column center were lower than those around the electrodes. The electron densities took the minimum value of 1×10^{23} m^{-3} around the column centre.

6. マイクロギャップにおける沿面放電現象

ファテメ レザイファル・渡邊惇・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Surface Discharge in Micro Gap

F.REZAIFAR, A. WATANABE, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

マイクロギャップにおける沿面放電進展特性の測定を行った。具体的には厚さ 1μm の SiO2 絶縁膜上に、ギャップ長 2μm 及び 10μm の電極を配置し、その V-t 特性の測定を行った。その結果、放電電圧は電極の厚み及び印加電圧の極性の影響を受けることが分かった。また、放電の統計時間遅れは十分小さかった。これは電界放出により初期電子が供給されていることを示唆するものである。さらに、サブミクロンオーダの分解能をもつ沿面放電測定用センサの開発を昨年に引き続き行った。センサの出力が微弱であるため、CMOS 読み出し回路集積型センサを試作した。これは、CMOS チップ内の金属層構造を利用して、チップ内部及び表面にセンサ構造、放電電極構造を作りこんだ構造をとる。現在その応答特性の測定の準備を進めているところである。

For efficient operation of Microsystems such as micro actuators, they require operating with high applied electric field through electrodes separation which exposes these systems to high risk of breakdown. Therefore, it is necessary to investigate the electrical discharge characteristic through micro gap. The V-t characteristic of electrical discharge through micro gap has been measured for 2μm and 10μm gap in negative and positive polarity. It was found that the breakdown threshold for negative polarity is lower than that for positive polarity. This indicates that in case of negative polarity the initial electron can easily be supplied by cathode, however in case of positive polarity such source of initial electron is not provided. Moreover, the electrode configuration after micro discharge has changed specifically near the electrode tips. It is assumed that the micro discharge evaporates the Al electrode and has contribution in electron emission.

In addition to above, V-d characteristic of micro discharge has been measured and it shows the breakdown threshold has decreased drastically for smaller gaps. These results also reveal the electric field emission plays dominant

7. 超電導ケーブルの部分放電測定

杉本敬哉・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Partial Discharge Measurement in HTS Cable

Y. SUGIMOTO, F. REZAEIFAR, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

都心部へ給電する電力ケーブルは送電容量の向上が望まれている。高温超電導ケーブル（High Temperature Superconducting Cable = HTS ケーブル）は、高温超電導線材を導体に使用することにより、送電ロスを大幅に減らすことができ、軽量かつコンパクトで大容量の送電が可能となる。HTS ケーブルの電気絶縁システムは、絶縁紙 PPLP(Poly-Propylene Laminated Paper)と液体窒素の複合絶縁となる。既存の OF ケーブルとは放電機構が異なり、従って液体窒素含浸時の PPLP の絶縁破壊および部分放電の体系的解明が望まれている。

本研究では、PPLP の絶縁特性の体系的把握を目的とし、気体窒素中および液体窒素含浸時の部分放電特性の比較を行う。本年度は、0.1～1.0MPa の気体窒素中においてシートモデルを用いた交流部分放電開始電圧特性、電荷量を測定した。得られた結果から Q-V 特性を取得し、液体窒素環境下における部分放電を、他の環境下におけるそれから推測する手法を提案した。また経済対策として、出荷時試験時に液体窒素を使わない代替試験についても検討を行った。

Nowadays, electrical cables that provide power to urban regions are nearly in the full of their capacity, and it is wanted to expand transmission capacity. High Temperature Superconducting (HTS) Cables, whose conductor is made of HTS material, can lessen transmission loss exceedingly and enable more lightweight, compact and high-capacity transmission system. HTS cable electrical insulation system consists of insulation paper PPLP and liquid N_2. The discharge structure is different from that of OF cable, so that it is need to solve the destruction and partial discharge structure of PPLP in the condition of liquid N_2.

In this research, on the purpose of understanding insulation characteristics of PPLP, we compare partial discharge characteristics in the condition of N_2 gas and liquid N_2. In this year, we investigated the characteristics of inception voltage and the amount of electric charge of partial discharge under AC voltage using PPLP sheets model. By comparing the experimental results in 0.1 to 1.0 MPa-N_2 gas

with obtained results in liquid N_2 , we have proposed the method which is estimating partial discharge in the condition of liquid N_2 comparing with other conditions. Moreover we have evaluated the probability of using air or N_2 Gas instead of using liquid N_2 in pre-shipment inspection to reduce inspection cost.

8. 直流電界下における絶縁物の帯電現象

岩渕大行・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Charge Accumulation on an Insulator under DC Electric Field

H. IWABUCHI, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

ガス絶縁開閉機器（GIS）は、交流に用いられる場合においても断路器開極時に最大で運転電圧分の直流電圧が残留する。するとスペーサ近傍の電界分布は、容量分布に基づいて決定される場から、抵抗分布に基づいて決定される場へと移行する。抵抗場への移行に伴いスペーサとガスの界面には帯電が生じる。このようなスペーサに逆極性の電圧が加わった場合の破壊電圧の低下が指摘されている。

本研究では、GIS 絶縁スペーサを模擬した絶縁物に直流を印加した際の帯電現象の測定、また、体積抵抗、表面抵抗を合わせて考慮できる電荷重畳法によるシミュレーション手法の開発を行っている。これらの実験とシミュレーションをくみ合わせ、直流電界下における固体絶縁物帯電機構の解明を目指す。

本年度は新たに実機同様の高気圧 SF6 環境下で実験が可能な装置を新たに導入し、直流電界下における帯電の進展の測定を行った。また、抵抗を考慮した電荷重畳法の計算誤差評価を行い、直流定常状態では 10^{-5} 程度であることを明らかにした。

Gas insulated switchgears (GIS) are widely used as major substation equipment because of their excellent insulation performance. However, when a DC voltage is applied to an insulating spacer in GIS, charges are accumulated on the surface of the insulator, and the breakdown voltage of it may become low. The charge accumulation phenomenon is also a problem in AC-GIS, because the switching operations may leave the remained DC charge on the AC-GIS spacer.

In this research, the charge density distribution of the insulator was measured. In addition, charge distribution was simulated based on charge simulation method taking surface and volume conductivities into account. The process of charge accumulation phenomena was examined from both sides of experiment and numerical computation.

In this year, new experimental chamber, in which high pressure SF6 was filled, was introduced and charge distribution was measured in the chamber. Moreover, calculation error of charge simulation method considering volume and surface conductivities is evaluated. The result showed that the error was 10^{-5} under resistive field distribution.

9. 光学的位相変調による電気光学センサの広帯域化

横山慎一郎・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Wideband Sensitive Electro-optic Sensor Based on Optical Modulation Technique

S. YOKOYAMA, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

電気光学効果に基づく光学センサは、電界・電圧測定に有用である。電気光学センサの最小検出電界は物質自身の電気光学係数だけではなく、測定システムに重畳したノイズレベルによって決定される。これらノイズは主にレーザ光源や検出回路から発生する。そこで、光学的変調技術によって、電界測定システムの改善を図り、気体カー効果を利用した大気圧空気の交流平等電界(50 Hz)の測定を行ってきた。

当該年度においては、雷インパルス電界を測定するために変調周波数を 1 GHz に引き上げ、測定システムの広帯域化を図った。当面の測定対象としては、比較的感度の調整が簡単なポッケルスセンサに印加される電界としている。システムは、ポッケルスセル、固定型 He-Ne レーザ、電気光学変調器、光電気変換器、フェーズシフター及び混合器から成る。ポッケルスセルへの入射光の位相差は変調器により 1 GHz で変調し、出射光は混合器により復調される。ポッケルスセルは縦型変調モードの $Bi_4Ge_3O_{12}$ 結晶と透明電極から成る。また、結晶の半波長電圧は約 40 kV である。この高感度測定システムの最小検出位相差をポッケルスセルに 50 Hz から 1 MHz の電圧(ピーク値 7~140 V)を印加することで実測した。周辺機器の調整が終了次第、本広帯域高感度測定システムを気体 Kerr 効果の測定に適用する予定である。

Optical sensors based on electro-optic effect are useful for measuring electric field or voltage, because they enable to measure the field in broad frequency bandwidth without being influenced by the electromagnetic wave noise. The minimum detectable field of the electro-optic sensor depends not only on the electro-optic coefficient of the material itself but also on the noise level superimposed on the system, which are mainly generated in the light source or the detecting circuit. The authors have improved the sensitivity of field measuring system by introducing the optical phase modulation technique and succeeded in measuring 50Hz-ac stressed uniform electric field in atmospheric air by utilizing Kerr effect of air itself.

In this year, a wideband sensitive electro-optic field measuring system is constructed, where the modulation frequency is increased to 1 GHz, to measure the lightning impulse field. The measuring system consists of a Pockels cell, a stabilized He-Ne laser, an electro-optic phase modulator(EO-PM), an O/E converter, a RF-phase shifter, and a RF mixer. The phase retardation of the input light to the Pockels cell is modulated at 1GHz by EO-PM, and the output of the Pockels cell is demodulated by the RF mixer. The

Pockels cell consists of a $Bi_4Ge_3O_{12}$ crystal in a longitudinal mode, whose half-wavelength voltage is about 40 kV, and transparent electrodes.

The minimum detectable phase retardation of this high-sensitive measuring system is experimentally investigated by measuring the phase retardation produced in the Pockels cell in case of being applied 50-Hz to 1-MHz voltage of 7 to 140 V in its peak value. It is turned out that the optical modulation technique is effective at reducing the $1/f$ noise superimposed on the measuring system.

,

10. 乾燥空気下におけるバリア効果

武輪知明・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Barrier Effect on Electrical Discharge in Dry Air

T. TAKEWA, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

ガス絶縁開閉機器に用いられている SF_6 は優れた絶縁性能と消弧能力を持っているが、地球温暖化を加速させるという問題が指摘されているため、本研究では SF_6 の代替ガスとして、人体及び環境に無害な乾燥空気に注目した。乾燥空気の絶縁耐力は低いため、電力機器においては固体絶縁バリアを組み合わせることになるが、複合絶縁を用いた機器の絶縁設計は経験則に頼っているのが実情である。本研究は、乾燥空気スイッチギアの理論的な絶縁設計手法の確立も視野に入れて、乾燥空気中のバリア存在下における放電進展機構の解明を目指している。

本年度においては、乾燥空気絶縁スイッチギアの絶縁構成として適用例の多い、高圧導体部にエポキシ樹脂を被覆を設ける方式に着目し、0.1～0.6Ma の圧力下においてインパルス電圧印加時の絶縁破壊特性の測定を行った。その結果、高気圧下においては、絶縁被覆が 50%火花電圧に与える影響は極めて小さくなることが判明した。併せて、被被覆電極使用時の火花放電電圧を求める新しい手法を提唱した。これは、気中ギャップのコロナ開始電圧と沿面部分の絶縁破壊に必要な電圧との高い方の電圧で与えられるというモデルであり、計算値は実験地とよく一致した。

The insulation strength in pressurized dry air with a dielectric cover is examined by changing the configuration of the electrodes. A hemisphere high voltage electrode with an insulation cover of epoxy resin and a grounded plane electrode were set in a tank and the lightning impulse voltage (1.3/66 μs) was applied under a pressure of 0.1, 0.2, 0.4, or 0.6 MPa (abs). The insulation strength against impulse voltage was evaluated by measuring 50% flashover voltage, V_{50}, which was obtained through the updown method. The V_{50} increases almost twice by the presence of an insulation cover on the high voltage electrode under 0.1MPa pressure. When the gas pressure increases, little difference is observed between V_{50}s of the covered and the uncovered electrodes.

A simplified model of discharge was also proposed. In this model, the sparkover voltage is given by the larger value between the corona inception voltage and the summation of voltage drop along a discharge in an air gap and the requisite voltage for making a surface discharge propagate over the insulation cover. The calculated sparkover voltage based on this model coincides well with the measured value.

11. 真空バルブの V-t 特性

上田正樹・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦・池田久利

V-t Characteristics of Vacuum Interrupters in Short Time Region

M. UEDA, S. MATSUOKA, A. KUMADA, K. HIDAKA, and H. IKEDA

大電流遮断前および遮断後の真空バルブを用いて100 ns下の短時間領域を含むV-t 特性を測定した。その結果をもとにラウエプロットをとり、大電流遮断が形成遅れ時間・統計遅れ時間に与える影響を検証した。また、真空バルブのFNプロットをとり、電界強化係数および電界放出面積を求めた。その結果、50ns以下の短時間領域においては絶縁破壊電圧は急激に上昇すること、大電流遮断において、ピーク遮断よりゼロ点遮断のほうが電極の損傷が少なく、絶縁破壊電圧は高いこと、同様に、遮断電流が小さいほうが電極の損傷は少なく、絶縁破壊電圧は高いことがわかった。

さらに、陰極表面の微小突起が電界放出電流によって加熱され、金属蒸気が放出されてギャップ間に広がることによって絶縁破壊が起こる、という放電モデルを考案し、V-t 特性の推定を行ったところ、実験で得られた特性とよく一致した。微小突起の大きさや形状などによって、電界集中係数、電界放出面積などの値が変化することで絶縁破壊電圧や遅れ時間がばらつくと考えられる。

V-t characteristics of vacuum interrupters were surveyed in nano second range by using a steep-front pulse voltage generator whose rise time is 16 ns. To identify the influence of the current-interruption on the insulation strength, the authors investigated V-t characteristics of the vacuum interrupters before/after the following interruption cases: The contacts of the vacuum interrupters were opened at either current-zero point or AC current peak. By Laue plot analysis, the statistaical time lag and formative time lag were also obtained. It was identified that the insulation properties deteriorated substantially by the current peak interruption. The statistical time lag is reduced by the current interruption, whereas the formative time lag hardly changes. In addition, V-t characteristics were calculated based on cathode-induced breakdown model and the calculated curve coincides well with the measured one.

12. マイクロ波照射によるPCB分解反応下における発光現象

森本徹郎・松岡成居・熊田亜紀子・日髙邦彦

Light Emission Phenomena in Dechlorination Process of PCBs by Irradiating Microwave

T. MORIMOTO, S. MATSUOKA, A. KUMADA and K. HIDAKA

当該年度はマイクロ波照射下の Pd/C 触媒(IPA や絶縁油溶媒中) に見られる発光の解析を主眼に置いた。まず発光は Pd/C 触媒間の放電に起因するものと仮定し、Pd/C 触媒間で放電可能な電界強度が形成される可能性をモーメント法に基づく電界計算により検証したところ、300W のマイクロ波照射下において Pd/C 触媒間で放電が十分起こり得る電界が形成されることがわかった。

次に発光の分光解析を行った。愚弟的には特定波長を透過するフィルタを装着したカメラで発光の様子を撮影し、発光が確認されるかどうかでその発光に含まれる波長を特定した。その結果、触媒表面の発光には窒素スペクトルは含まれておらず、水素原子に由来するスペクトルが含まれていることがわかった。また、触媒表面の発光には紫外光が含まれており、これは絶縁油分解によって発生した炭化水素のものと考えられる。

水素ラジカルと紫外線が、マイクロ波照射により多く発生し、PCB 分解反応が促進されると推定される。これはマイクロ波の非熱的効果であるといえるだろう。

In recent years, a new effective processing for PCBs diluted in insulating oil has been developed, which can render PCBs harmless by their dechlorination using microwave of 2.45 GHz. The authors discovered optical emission of electrical discharge during the processing. To clarify how the emission is involved in the decomposition of PCBs, the emission spectra were two-dimensionally observed with interference filters. It was turned out that the light includes Balmer-α fluorescence of atomic hydrogen at 656 nm and UV spectra of 250 ~ 290 nm. These phenomena are summarized as follows: Under the irradiation of MW, micro bubbles are generated on the heated catalyst. The micro bubbles contains vaporized solution and gaseous decomposition products; vaporized IPA, H_2, and C_2H_2. The electric field of MW is so strong in the micro bubbles located in the vicinity of catalyst particles that RF discharge plasma is generated. The RF discharge plasma produces the excited atomic hydrogen and UV ray, resulting in the promotion of dechlorination of PCBs.

13. ポッケルス高電圧測定器

熊田亜紀子・日髙邦彦

Directly High Voltage Measuring System Based on Pockels Effect

A. KUMADA and K. HIDAKA

縦型変調ポッケルスセンサを利用した高電圧測定器を開発している。縦型変調ポッケルスセンサは、ポッケルス結晶の両端の電位差を、結晶の電気光学効果を利用し光を利用して測定するものであり、高電圧を直接測定できる特長を持つ。しかしながら、測定可能範囲は、結晶の物性によって定まる半波長電圧 90kV 程度に制限されていた。本研究では、半波長電圧が、光の波長依存性があることに着目し、異なる 2 つの波長の光を利用することで測定可能範囲を大幅に拡張した測定器を開発した。具体的には、120mm の BGO 結晶を 8 本継ぎ、1300nm と 1550nm の光を通す構成とした。本装置を用いて、AC,DC, インパルス,急峻方形波電圧の測定を行った。ファラデー効果や圧旋光効果による偏波面の回転に注意する必要はあるが、5kV の誤差で-450～450kV の測定が可能であることがわかった。

A new optical high voltage measuring system using a Pockels crystal in a longitudinal modulation arrangement was developed. The maximum measurable voltage for conventional Pockels sensors has been limited by the half-wavelength voltage, Vπ. In the new system, two-wavelength dual laser system is introduced to expand measurable voltage up to 1 MV which corresponds to the least common multiple of Vπ for each light. The system consists of eight bars of 10×10×120mm3 Bi4Ge3O12 (BGO) crystal which are arranged in a series, laser diode (LD) sources of 1300 nm and 1550 nm wavelengths, an optical multiplexer, an optical demultiplexer, two O/E converters, and optical fibers. Prior to the assembling a prototype of the system, the thermal dependence of the sensitivity of BGO bars is also measured. The sensitivity of BGO bar shows little thermal dependence and agrees with each other within 10 % variability. The measured results for dc, ac, lightning impulse, and step voltages by the prototype system are presented and compared with the predicted values. Although not-negligible gyration of the light is recognized in case of measuring higher than Vπ, the system shows an advantage of directly measuring voltage up to 450 kV without any potential divider in a wide frequency bandwidth.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 武田敏信，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦：CF_3I ガス及び CF_3I/N_2 混合ガスの不平等電界下における放電特性，電気学会論文誌 B, Vol. 130, No. 9, pp. 813-818 (2010)

[2] 腰塚正，宇田川恵佑，河野広道，小坂田昌幸，豊田充，池田久利，萩森栄一：「ラプラス変換を応用した回路要素変更時の遮断器の TRV 解析手法」，電気学会論文 B, Vol. 130, No. 5, pp. 524-528 (2010)

[3] D. Junbo，S. Matsuoka，A. Kumada and K. Hidaka: The influence of residual charge on surface discharge propagation, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 43, 495203, pp. 1-8 (2010)

[4] F. Rezaeifar, Y. Suzuki, A. Kumada, K. Hidaka, T. Nishimura and T. Masuda: Characterization of partial discharge in composite insulation system with PPLP for HTS cable, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 17, No. 6, pp. 1747-1753 (2010)

[5] H. Matsumoto, S. Matsuoka, A. Kumada and K. Hidaka: Oscillatory waveform caused by piezoelectric vibration of Pockels crystal and its effective suppression, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 1-6 (2011)

国際会議論文

[6] Masoumeh Koochack Zadeh, Volker Hinrichsen, Hisatsohi Ikeda, Masayuki Hikita and Katsuhiko Harada: "Effect of Shot Circuit Switching on Ctris Properties of Vacuum Interrupters", 2010 Transmission and Distribution Conference and Exposition Smart Solutions for a Changing World, TD0116, April 19-22, New Orleans (2010)

[7] Keisuke Udagawa, Tadashi Koshizuka, Hiromichi Kawano, Masayuki Kosakada, Mitsuru Toyoda, Hisatoshi Ikeda and Eiichi Haginomori: "Analytic Method Using Laplace Transform for a Modified TRV of a Circuit Breaker", 2010 Transmission and Distribution Conference and Exposition Smart Solutions for a Changing World, TD0184, April 19-22, New Orleans (2010)

[8] Myo Min Thein, Hisatoshi Ikeda, Hiroaki Toda, Katsuhiko Harada, Shinya Ohtsuka, Masayuki Hikita, Eiichi Haginomori and Tadashi Koshiduka: "Investigation Of EMTP Transformer Model for TRV Calculation after Fault Current Interrupting by Using FRA Measurement", 2010 Transmission and Distribution Conference and Exposition Smart Solutions for a Changing World, TD0424, April 19-22, New Orleans (2010)

[9] Hiroaki Toda, Masayuki Hikita, Hisatoshi Ikeda: "Fundamental Investigation of a Gas Circuit Breaker in University", The Proceedings of the International Scientific Conference on Energy Industry Development and Ecology, Ulaanbaatar, Mongolia, May 26-30 (2010)

[10] Hisatoshi Ikeda, Masayuki Hikita, Katsuhiko Harada, Masoumeh Koochack Zadeh: "Investigation of Insulation Property of Vacuum Interrupter after Current Interruption", The Proceedings of the International Scientific Conference on Energy Industry Development and Ecology, Ulaanbaatar, Mongolia, May 26-30 (2010)

[11] D. Junbo, S. Matsuoka, A. Kumada, K. Hidaka: Residual charge distribution of impulse discharge on the surface of cylindrical insulator, 16th International Conference on Electrical Engineering 2010, CD-Rom, HV&ED-1, Busan, Korea, pp. 1-6 (2010)

[12] Myo Min Thein, Hiroaki Toda, Masayuki Hikita, Hisatoshi Ikeda, Eiichi Haginomori,Tadashi Koshiduka: “Investigation of Transformer Model for TRV Calculation by using Frequency Dependent Inductance Model”, 16th International Conference on Electrical Engineering, Paradise Hotel, Busan, Korea, July 11-14 (2010)

[13] Shuji Sato, Hisatoshi Ikeda, Seisuke Nishimura, Katsuhiko Harada, Yasuhiko Taniguchi, H.Shimizu: "V-t Characteristics of Vacuum interrupter after Large Current Interruption", XXIVth ISDEIV Proceedings of the XXIVth International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, pp. 68-71, Braunschweig, Germany August 30–September 3 (2010)

[14] Myo Min Thein, Hiroaki Toda, Masayuki Hikita, Hisatoshi Ikeda, Eiichi Haginomori and Tadashi Koshiduka: "Investigation of Transformer Impedance at Transformer Limited Fault Condition by using FRA Monitoring Technique", Proceedings of the 2010 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, A7-2, pp.197-200, Tokyo, Japan, September 6-11 (2010)

[15] A. Kumada and K. Hidaka: Residual charge distribution of surface discharge in SF_6, XVIII International Conference on Gas Discharges and Their Applications, Greifswald, Germany, pp. 252-255 (2010)

[16] D. Tanaka, M. Sakuta, S. Matsuoka, A. Kumada and K. Hidaka: Two-dimensional potential and charge distributions on insulator with propagating negative surface leader, XVIII International Conference on Gas Discharges and Their Applications, Greifswald, Germany, pp. 256-259 (2010)

[17] T. Takeda, S. Matsuoka, A. Kumada and K. Hidaka: Flashover characteristics of CF_3I on the dielectric surface, XVIII International Conference on Gas Discharges and Their Applications, Greifswald, Germany, pp. 268-271 (2010)

[18] H. Ikeda, T. Nakajima, A. Kumada, K. Hidaka: Research activities related to T&D equipment and systems, International Workshop on High Voltage Engineering 2010, ED-10-063/SP-10-030/HV-10-025, Kitakyushu, Japan, pp. 21-26 (2010)

[19] D. Tanaka, A. Kumada, K. Hidaka: Numerical simulation of positive surface streamer on dielectric bar, International Workshop on High Voltage Engineering 2010, ED-10-070/SP-10-037/HV-10-032, Kitakyushu, Japan, pp. 57-62 (2010)

[20] F. Rezaeifar, A. Kumada, K. Hidaka: Electric Discharge phenomenon in micro gap, International Workshop on High Voltage Engineering 2010, ED-10-071/SP-10-038/HV-10-033, Kitakyushu, Japan, pp. 63-66 (2010)

[21] T. Yoshida, N. Inoue, S. Sato, Y. Oida, A. Kumada, K. Hidaka: Insulation properties of high pressurized dry air, International Workshop on High Voltage Engineering 2010, ED-10-085/SP-10-052/HV-10-047, Kitakyushu, Japan, pp. 115-119 (2010)

[22] K. Hidaka: International standardization activity on 1100 kV UHV transmission technologies, 15th Asian Conference on Electrical Discharge, invited lecture, Xi'an, China (2010)

[23] A. Kumada: For advanced measurement of surface charge on insulator, 15th Asian Conference on Electrical Discharge, invited lecture, I-2, pp. 9-14 (2010)

[24] Y. Sugimoto, S. Matsuoka, A. Kumada, K. Hidaka, T. Nishimura, T. Masuda: Partial discharge characteristics in butt gaps between PPLP, 15th Asian Conference on Electrical Discharge, CD-Rom, A09, Xi'an, China, pp. 54-57 (2010)

[25] Y. Inada, S. Matsuoka, A. Kumada, H. Ikeda, K. Hidaka: Shack-Hartmann type laser wavefront sensor for electron density measurement, 15th Asian Conference on Electrical Discharge, CD Rom, A06, Xi'an, China, pp. 42-45 (2010)

[26] F. Rezaeifar, A. Kumada, K. Hidaka: V-t characteristic of electrical discharge across micro gap in atmospheric pressure air, 15th Asian Conference on Electrical Discharge, CD-Rom, A08, Xi'an, China, pp. 50-53 (2010)

[27] K. Hidaka: Toward international standardization of Japanese technology-case study in 1100 kV ultra high voltage power transmission technologies-, Global COE Symposium on Secure-Life Electronics, Tokyo, Japan, pp. 120-125 (2010)

[28] A. Kumada and K. Hidaka: Charge structure of positive surface streamer, Global COE Symposium on Secure-Life Electronics, Poster Presentation, No. 3-15, Tokyo, Japan (2010)

[29] K. Hidaka: Numerical simulation of positive surface streamer on dielectric bar, Technical Meeting with Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand (2011)

[30] K. Hidaka: Electrical discharge phenomenon in micro gap, Technical Meeting with Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand (2011)

解説論文・総合報告等

[31] 日髙邦彦:もうすぐ 100 年を迎える高電圧工学教育, 電気評論, 第 95 巻, 第 9 号, p. 67 (2010)

[32] K. Hidaka: International standardization of 1100 kV UHV transmission technologies originating from Japan, Electrical Insulation News in Asia, No. 17, pp. 16-19 (2010)

[33] 熊田亜紀子, 松本洋和, 武田敏信, 田中大樹, 稲田優貴 : 多目的試験・研究のための高電圧絶縁実験棟, 電気学会誌, Vol. 130, No. 7, pp. 405-408 (2010)

[34] 池田久利, 日髙邦彦:「UHV(超超高圧) 送電技術の国際標準化の現状と今後」, 電機, No.747, pp.44-47 (2011)

国内大会・研究会

[35] 田中大樹, 熊田亜紀子, 日髙邦彦 : 正極性沿面ストリーマ進展シミュレーション, 電気学会パルスパワー放電合同研究会, PPT-10-25/ED-10-23, pp. 7-12 (2010)

[36] 稲田優貴, 松岡成居, 熊田亜紀子, 池田久利, 日髙邦彦 : 電子密度計測に向けたシャックハルトマン型レーザ波面測定装置の開発, 電気学会放電静止器開閉保護合同研究会, ED-10-34/SA-10-50/SP-10-1, pp. 1-7 (2010)

[37] 武田敏信, 松岡成居, 熊田亜紀子, 日髙邦彦 : CF_3I ガス及びCF_3I/CO_2混合ガスの沿面放電特性, 電気学会放電静止器開閉保護合同研究会, ED-10-35/SA-10-51/SP-10-2, pp. 9-14 (2010)

[38] 稲田優貴, 松岡成居, 熊田亜紀子, 池田久利, 日髙邦彦 : アーク放電からの発光撮影による放電形状の経時変化, 平成 22 年電気学会基礎・材料・共通部門大会, paper no. XIX-5, p. 403 (2010)

[39] 岩渕大行, 熊田亜紀子, 池田久利, 日髙邦彦, 水野麻弥, 福永香 : テラヘルツ波を用いたポリエチレン中のおける水トリーの観察, 平成 22 年電気学会基礎・材料・共通部門大会, paper no. XIII-2, pp. 304-309 (2010)

[40] 作田真理子，田中大樹，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦：ポッケルス効果を用いた負極性沿面リーダ進展現象の測定, 平成 22 年電気学会基礎・材料・共通部門大会, paper no. XX-1, pp. 404-409 (2010)

[41] 田中大樹，熊田亜紀子，日髙邦彦：正極性沿面ストリーマシミュレーション, 2010 年放電学会若手セミナー, ポスター発表 (2010)

[42] 稲田優貴，松岡成居，池田久利，熊田亜紀子，日髙邦彦：小電流アーク内の電子密度計測に向けたシャックハルトマン型レーザ波面測定装置の開発，2010 年放電学会若手セミナー，ポスター発表 (2010)

[43] 腰塚正，萩森英一，池田久利，ティンミョーミン，戸田弘明，匹田政幸:「TLF 遮断後の TRV 解析のための変圧器高周波モデルの検討」，平成 22 年度電気学会電力･エネルギー部門大会，306，38-9-10，九州大学, 9/1-3 (2010)

[44] 池田久利，里周二，清水博幸，原田克彦:「真空遮断器絶縁特性への電流遮断による影響調査」，第 34 回静電気全国学会，pp.89-92，14pA-5，鳥取大学，9/14-15 (2010)

[45] 池田久利，合田忠弘，岡本浩，上原京一，山口達史:「IEC/SB1 と関連 SG 活動」，電力技術･電力系統技術合同研究会,pp.115-120，広島大学, 9/28-30 (2010)

[46] 中島達人，日髙邦彦，横山明彦，谷口治人，池田久利，太田豊:「電力エネルギー技術の大学教育研究への新しい試み -東京大学のケース-」，電気学会電力技術･電力系統技術合同研究会 (2010)

[47] 日髙邦彦：日本発の技術を国際標準へ～1100kV UHV 送電システムを例として～，東京大学グローバル COE「セキュアライフ・エレクトロニクス」シンポジウム，口頭発表 (2010-)

[48] 池田久利: 特別講演 UHVの国際標準化と日本の役割,放電学会年次大会，別刷x1-5，日本大学理工学部, 11/6 (2010)

[49] 横山慎一郎，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦：光学的変調による電気光学センサの高感度化, 2010 年放電学会年次大会，CD-Rom，A-1-8，pp. 20-21 (2010-11)

[50] 渡邉惇，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦：沿面放電電位分布測定用マイクロセンサの開発, 2010 年放電学会年次大会, CD-Rom, A-1-9, pp. 22-23 (2010)

[51] 八木貴大，武田敏信，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦：CF_3I ガスの沿面放電特性, 2010 年放電学会年次大会, CD-Rom, B-1-4, pp. 32-33 (2010-11)

[52] W. Qin, J. Deng, S. Matsuoka, A. Kumada, H. Ikeda, K. Hidaka: Propagation characteristics of AC surface discharge in atmospheric air, 2010 年放電学会年次大会, CD-Rom, B-1-5, pp. 34 (2010-11)

[53] 岩渕大行，道念大樹，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦：体積抵抗及び表面抵抗を考慮した電荷重畳法による過渡電界解析，2010 年放電学会年次大会，CD-Rom, D-2-1, pp. 46-47 (2010-11)

[54] Myo Min Thein, Hiroaki Toda, Masayuki Hikita, Hisahito Ikeda, Eiichi Haginomori and Tadashi Koshiduka: "Frequency Dependent Transformer Model for TRV Calculation at the Transformer Limited Fault Condition by EMTP", 電気学会研究会資料, pp.77-81, ED-10-75/SP-10-42/HV-10-37, 放電･開閉程･高電圧合同研究会，北九州, 11/12-13 (2010)

[55] 塚越正，ティンミョーミン，戸田弘明，匹田政幸，池田久利，萩森英一:「変圧器通過故障遮断時のTRVと変圧器モデルの検討」,電気学会静止器研究会, SA-10-115, 12/17 (2010)

[56] 鈴木正美，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦：放電音による絶縁抵抗値の低下検出技術の開発，電気学会放電・誘電・絶縁材料・高電圧合同研究会，ED-11-12/DEI-11-25/HV-11-12, pp. 57-61 (2011-1)

[57] Myo Min Thein, Hiroaki Toda, Masayuki Hkita, Hisatoshi Ikeda, Eiichi Haginomori and Tadashi Koshiduka: "EMTP Transformer Equivalent Circuit for TRV Calculation with 50MVA Short Circuit Test Transformer", 6-257, p. 455, 2011 IEEJ National Convention Record (2011)

[58] 杉本敬哉，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦，畳谷和晃，増田孝人：高気圧窒素ガス環境下におけるバットギャップ中の部分放電特性，平成 23 年電気学会全国大会, Vol. 7, No. 161, pp. 249 (2011-3)

[59] 武輪知明，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦，井上直明，佐藤伸治：乾燥空気インパルス破壊電圧に対する絶縁被覆効果，平成 23 年電気学会全国大会，Vol. 1, No. 88, pp. 111 (2011)

[60] 岩渕大行，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦：直流電界下における GIS 絶縁スペーサの帯電要因，平成 23 年電気学会全国大会，Vol. 6, No. 289, pp. 501 (2011)

[61] F. Rezaeifar, A. Kumada, K. Hidaka: Voltage polarity effect on the mechanism of micro-surface discharge, 平成 23 年電気学会全国大会, Vol. 1, No. 70, pp. 86-87 (2011)

[62] 八木貴大，武田敏信，松岡成居，熊田亜紀子，日髙邦彦：準平等電界下における CF_3I/CO_2,CF_3I/N_2 混合ガスの火花放電特性，平成 23 年電気学会全国大会，Vol. 6, No. 303, pp. 519 (2011)

[63] 稲田優貴，松岡成居，熊田亜紀子，池田久利，日髙邦彦：電子密度計測に向けたシャックハルトマン型レーザ波面測定装置の開発(2)，平成 23 年電気学会全国大会, Vol. 1, No. 104, pp. 128 (2011)

[64] 田中大樹，熊田亜紀子，日髙邦彦：CF_3I-N_2 混合ガス中における正極性・負極性ストリーマ進展の数値シミュレーション，平成 23 年電気学会全国大会，

Vol. 1, No. 89, pp. 112 (2011)

[65] 上田正斗，日髙邦彦，熊田亜紀子，池田久利：真空バルブの V-t 特性における極性効果，平成 23 年電気学会全国大会, Vol. 1, No. 79, pp. 98 (2011)

[66] 楠山宏，腰塚正，萩森英一，Myo Min Thein，戸田弘明，匹田政幸，池田久利:「短絡試験用変圧器の固有TRV測定」，6-259，pp. 457-458，平成23年電気学会全国大会

その他

[67] 日髙邦彦他：変電所システムにおけるガス絶縁開閉装置（GIS）の技術動向，電気学会技術報告，第 1189 号，変電所システムにおけるガス絶縁開閉装置（GIS）の技術動向調査専門委員会 (2010)

[68] 日髙邦彦他：試験電圧標準, JEC, JEC-0102-2010，電気学会電気規格調査会 (2010)

[69] 池田久利 (編集協力):「エコノミストリポート 過熱する主導権争い幕あけた国際標準化競争の時代」，週刊エコノミスト 7月20日号, pp.82-85 (2010)

[70] 池田久利:「特集 UHV送変電技術と国際標準化」，電気協会報1, pp.15-18 (2011)

[71] 日髙邦彦他：LED 型航空灯火システムの最適化に関する調査報告書，電気設備学会 LED 型航空灯火システムの最適化に関する調査研究委員会 (2011)

堀 研究室
Hori Laboratory

(http://hflab.k.u-tokyo.ac.jp/ja/index.html)

研究現況
Current Research Projects

堀研究室のテーマは多岐にわたるが，大きく，（1）電気自動車の制御，（2）ワイヤレス電力伝送システム，（3）人間親和型モーションコントロール，の三つに分けている。

機械制御が開ループ制御を基本とするのに対し，電気制御の本質はフィードバック制御にある。単純な演算を短い制御周期で繰り返す電気制御の力によって，機械系の特性は大きく変化する。この原理をもとに，電気自動車やモーションコントロールの分野に，革新をもたらそうとしている。

研究室は本郷の電気工学専攻に軸足をおきながら，総合試験所で 5 年，生産技術研究所で 5 年などを過ごしたあと，平成 20 年度から柏の先端エネルギー専攻に異動した。平成 22 年 3 月には，研究室を柏キャンパスに完全移転，基盤棟 7 階と EV のためのガレージ棟をベースに研究を開始した。同時に横浜国立大学から藤本博志准教授を招き，研究室を共同運用している。

The research themes of Hori Lab. are divided into 3 groups: Electric Vehicle Control, Wireless Power Transfer, and Welfare Control Engineering. The essence of electrical control is in feedback control, while that of mechanical control in open loop control. The electric control, where simple algorithm is repeated in a short control period, can drastically change mechanical characteristics. Based on this principle, we aim to make revolution in the fields of Electric Vehicle and Human Friendly Motion Control. Also, we started research on Wireless Power Transfer System, which will change the future vehicle society.

1. 電気自動車の制御

堀 洋一・内田利之・皆木 亮・南 康鉉・
王 亜飛・金 潤河・コチャパンソムポテ パラコン・
グエン ビンミン・曲 亭・前田健太・
クルティマルクス・黄 孝亮・
アレクサンダー ヴィーワイダ・落 直哉

Advanced Motion Control of Electric Vehicle

Y.HORI, T.UCHIDA, R.MINAKI, K.NAM, Y.WANG, Y.KIM, K.PALAKON, N.BINHMINH, T.KYOKU, K.MAEDA, M.CURTI,X.HUANG, A.VIEHWEIDER, N.OCHI

電気モータの高速トルク発生を生かし，電気自動車で初めて可能になる新しい制御の実現をめざしている。タイヤの増粘着制御によって低抵抗タイヤの使用が可能になったり，４輪独立駆動車によって高性能な車体姿勢制御が実現できたりする。モータトルクは容易に知れるから路面状態の推定も可能になる。インホイールモータ 4 個を用いた高性能車「東大三月号-II」および「カドウェル EV」を製作し，粘着制御をはじめ，車体すべり角 β の推定，DYC と AFS の非干渉制御などに力を入れてきた。電気二重層キャパシタ（EDLC）だけで動く小型電気自動車 C-COMS も 3 台作った。初代 C-COMS1 に続き，C-COMS2 は新開発のインホイル DD モータをもつ高性能車，COMS3 は汎用機である。C-COMS は 30 秒充電で 20 分ぐらい走る。

By utilizing electric motor's quick torque generation, we aim to realize novel control techniques for EV. Effective adhesion control at tires based on quick torque reduction property, high performance vehicle dynamics control by 4-wheel-driven car, and road surface estimation using easily known motor torque are being researched. The test vehicle "UOT March-II" with independent 4 in-wheel motors and the new vehicle “Cadwell-EV” were used for experiments. Recently, “C-COMS”, “C-COMS II” and “C-COMS III” driven only by super-capacitors have been completed. Other research themes are body slip angle estimation, optimal speed pattern generation, hybrid braking system, and so on.

2. ワイヤレス電力伝送システム

堀 洋一・居村岳広・内田利之・加藤昌樹・
ベー テック チュアン・森脇悠介・
ジワリヤウェート ウィツター・
コウ キムヤン・坪香雅彦

Wireless Power Transfer System

Y.HORI, T.IMURA, T.UCHIDA, M.KATO, B.CHUAN, Y.MORIWAKI, V.JIWARIYAVEJ K.KOH, M.TSUBOKA

電気自動車が高価な電池をたくさん積んで走るのでは，従来のガソリン車と同じである。これからのクルマは電気で動き，インフラからエネルギーをもらって走ることは間違いない。そのためにはワイヤレス電力伝送が重要で，とくに磁気共鳴を使った方式が有望である。50cm～数 m という距離で送受信アンテナの位置が大きくずれても，アンテナ間効率 95%を達成しており，数年内に大ブレイクするだろう。電気は起こしたらできるだけすぐ使うのがベストであり，貯めて使うのは賢くない。これからのクルマは，モータ／キャパシタ／ワイヤレスが重要になる。キャパシタ車はオートチャージの Suica，ワイヤレス電力伝送はエネルギー版 ETC ということができる。

In Wireless Power Transfer (WPT) team, we research a wireless power transfer technology that is based on Electromagnetic Resonance Coupling. Ever since the theories of wireless power transfer via electromagnetic resonance are proven, a wireless power transfer technique with a large air gap and a high efficiency is achieved. This team studies the basic theories of electromagnetic resonance, and conducts researches to create a wireless power transfer system with advantages: large air gap, high efficiency, and resistant to positional shifts. The researches include topics such as: (1) Explanation of electromagnetic resonance phenomenon using equivalent circuits, (2) Proposal of new antenna designs, (3) Creation of highly efficient power transfer systems with switching devices, (4) Improvement of power transfer efficiency based on impedance matching theories, and (5)

Wireless charging systems for electric vehicles.

3. 人間親和型モーションコントロール

堀 洋一・呉 世訓・内田利之・
バレリオ サルブッチ・木村康人・金 佳英・
ペイン孝二・青木元伸・園川真太・
カルロスミウラ・茂渡修平・東野昌記

Human Friendly Motion Control
Y.HORI, S.OH, T.UCHIDA,
V.SALVUCCI, Y. KIMURA, K.KIM,
K.PAYNE, M.AOKI, S.SONOKAWA, C.MIURA,
S.SHIGETO, M.HIGASHINO

福祉分野を想定した独特の制御手法の開発を目論むもので，人間親和型モーションコントロールという学術領域を作りたいと考えている。様々な動作で人間の生活に役立つロボットや，人間移動支援用のパーソナルモビリティに適した制御手法を提案する。モータの高速制御性を利用して機器の機械特性を自由に設計することができる。また，人間や生物の筋骨格系の特徴を機器設計に反映し，効率的でシンプルに動く新しいロボティクスを提案している。現在，(1) 介護ロボットのためのパワーアシスト技術，(2) 力センサレス制御を利用した安全な電車ドア，(3) 生物の二関節筋構造や非線形筋弾性特性を用いた新しい原理のロボットアーム，(4) 筋電センサを用いたパワーアシスト車椅子，の研究を行っている。

We aim to establish a new field of "Welfare Control Engineering" based on "Human Friendly Motion Control". We can design the mechanical characteristics freely by electrical control, because the time response of electric motor is very quick. Present research themes are : (1) Power assist technology for human-care robot, (2) Force sensor-less impedance control for the electric train door to secure the safety, (3) Application of bi-articular muscle structure and non-linear elasticity of muscles to robotics with a nove; principle, (4) Control of power assisted wheelchair based on state observer and electromyogram sensors, and so on.

論文，著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 佐竹正光，河島清貴，内田利之，堀 洋一, IPMSM 駆動電気自動車のトルク垂下特性改善によるスリップ抑制制御 −dq 軸電流制御系への拡張と実車実験による検証−，電気学会論文誌Ｄ，Vol.130，No.4, pp.430-435, 2010.4

[2] 河島清貴，内田利之，堀 洋一，ロールオーバ指標を用いたインホイールモータ搭載電気自動車におけるロール安定化制御，電気学会論文誌Ｄ，Vol.130, No.5, pp.655-662, 2010.5

[3] 呉 世訓，堀 洋一，従来のマニピュレータ解析手法から見た二関節筋構造の優位性，日本ロボット学会誌「生体筋骨格型ロボット」特集, Vol. 28, No. 6, pp. 41-44, 2010.6

[4] Jia-Sheng Hu, Mi-Ching Tsai, Feng-Rung Hu, and Yoichi Hori, Robust Control for Coaxial Two-Wheeled Electric Vehicle, Journal of Marine Science and Technology, Vol.18, No.2, pp.172-180, 2010.6

[5] Yuusuke Oonishi, Sehoon Oh and Yoichi Hori, A New Control Method for Power-assisted Wheelchair based on the Surface Myoelectric Signal, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 9, pp. 3191-3196, 2010.9

[6] Lotfi Mostefai, Mouloud Denai and Yoichi Hori, Robust Tracking Controller Design with Uncertain Friction Compensation Based on a Local Modeling Approach, IEEE Transactions on Mechatronics, Vol. 15, No. 5, pp. 746-756, 2010.10

[7] 居村岳広，堀 洋一，等価回路から見た磁界共振結合におけるワイヤレス電力伝送距離と効率の限界値に関する研究，電気学会論文誌Ｄ, Vol.130, No.10, pp.1169-1174, 2010.10

[8] Jia-Sheng Hu, Dejun Yin, and Yoichi Hori, Fault-tolerant Traction Control of Electric Vehicles, IFAC Journal of Control Engineering Practice. (CEP), Vol. 19, pp. 204-213, 2010.12

国際会議論文

[9] Kanghyun NAM and Yoichi HORI, Sliding Mode Controller Design for Optimal Slip Control of Electric Vehicles Based on a Fuzzy Vehicle Velocity Estimation Logic, The 10th FISITA Student Congress, 2010.5.30-6.4, Budapest, Hungary

[10] Ryo MINAKI and Yoichi HORI, Two Degree of Freedom Yaw Rate Control Based on Cornering Stiffness Using Planetary Gear Steering System, The 10th FISITA Student Congress, 2010.5.30-6.4, Budapest,

Hungary

[11] Yunha KIM and Yoichi HORI, Road Condition Estimation using Acoustic Method for Electric Vehicles, The 10th FISITA Student Congress, 2010.5.30-6.4, Budapest, Hungary

[12] A. B. Raviteja, C.Chakraborty, S. Maiti and Y.Hori, A New V*I Based Adaptive Speed Sensorless Four Quadrant Vector Controlled Induction Motor Drive, IPEC 2010, 2010.6.21-24, Sapporo, Japan

[13] Yoichi Hori, Future Vehicle Society based on Electric Motor, Capacitor and Wireless Power Supply, IPEC 2010, 2010.6.21-24, Sapporo, Japan

[14] Ryo Minaki, Hiroshi Hoshino, Yoichi Hori, Driver Steering Sensitivity Design Used on Road Reaction Torque Estimation and Viscous Friction Compensation to Active Front Steering, IEEE ISIE-2010, 2010.7.4-7, Bari, Italy

[15] Takuya Koyanagi, Shigeki Inatama, Oh Sehoon, Yoichi Hori, A Safety and Robust Control Method With Disturbance Observer for Train Doors, IEEE ISIE-2010, 2010.7.4-7, Bari

[16] Teck Chuan Beh, Takehiro Imura, Masaki Kato, Yoichi Hori, Basic Study of Improving Efficiency of Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling Based on Impedance Matching, IEEE ISIE-2010, 2010.7.4-7, Bari, Italy

[17] Valerio Salvucci, Sehoon Oh and Yoichi Hori, New Approach to Force Sensor-Less Power Assist for High Friction and High Inertia Systems, IEEE ISIE-2010, 2010.7.4-7, Bari, Italy

[18] Yoichi Hori, Application of Electric Motor, Supercapacitor, and Wireless Power Transfer to Enhance Operation of Future Vehicles, IEEE ISIE-2010, 2010.7.4-7, Bari

[19] Sehoon Oh, Ysuto Kimura and Yoichi Hori, Reaction Force Control of Robot Manipulator Based on Biarticular Muscle Stiffness Control, AIM 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2010.7.6-10, Montreal, Canada

[20] Jia-Sheng Hu, Dejun Yin, and Yoichi Hori, Robustness Analysis of MTTE-Based Traction Control Systems, ISFA 2010: 2010 International Symposium on Flexible Automation, Special Organizing Session "Design and Control of Electrified Vehicles", 2010.7.12-14, Tokyo, Japan

[21] Sehoon Oh, Yoichi Hori and Kengo Yoshida, Biarticular Muscle Structure Robotics, ISAB 2010 International Symposium on Application of Biomechanical Control Systems to Precision Engineering (invited), 2010.7.22-24, Iwaki, Japan

[22] Valerio Salvucci, Sehoon Oh and Yoichi Hori, A New Approach for Torque Sharing of Robotic Arms Equipped with Biartcular Actuators, ISAB2010 International Symposium on Application of Biomechanical Control Systems to Precision Engineering, 2010.7.22-24, Iwaki, Japan

[23] Lotfi Mostefai, Cong Geng, Khatir Tabyo, Mouloud Denai and Yoichi Hori, LMI Design of a Direct Yaw Moment Controller Based on Body Slip Angle Estimation for In-Wheel Type Electric Vehicles, AVEC 2010: 10th International Symposium on Advanced Vehicle Control, 2010.8.22-26, Loughborough, U.K.

[24] Ryo Minaka and Yoichi Hori, Two Degree of Freedom Control of Active Front Steering System using Planetary Gear, AVEC 2010: 10th International Symposium on Advanced Vehicle Control, 2010.8.22-26, Loughborough, U.K.

[25] Kanghyun Nam, Sehoon Oh and Yoichi Hori, Robust Yaw Stability Control for Electric Vehicles Based on Active Steering Control, IEEE VPPC2010, 2010.9.1-3, Lille, France

[26] Ryo Minaki and Yoichi Hori, Study on Cornering Stability Control Based on Pneumatic Trail Estimation Using Dual Pitman Arm Type Steer-By-Wire on Electric Vehicle, IEEE VPPC2010, 2010.9.1-3, Lille, France

[27] Yoichi Hori, Application of Electric Motor, Supercapacitors, and Wireless Power Transfer to Enhance Operation of Future Vehicles, KSAE Summer Symposium of HEV&FCV (invited) , 2010.9.9, Seoul, Korea

[28] Yoichi Hori, Application of Electric Motor, Supercapacitors, and Wireless Power Transfer to Enhance Operation of Future Electric Vehicles, 12th Besetoha presidents' forum "Urban sustainable development in the context of global change"(Vietnum National University), 2010.10.8, Hanoi, Vietnum

[29] Sehoon Oh, Yasuto Kimura and Yoichi Hori, Force Control based on Biarticular Muscle System and its Application to Novel Robot Arm Driven by Planetary Gear System, IEEE IROS 2010 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2010.10.18-22, Taipei, Taiwan

[30] Cong Geng, Li Liu, Yoichi Hori, Adaptive Design of Body Slip Angle Estimation for Electric Vehicle Stability Control, EVS 25 (25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition), 2010.11.5-9, Shenzhen, China

[31] Dejun Yin, Manabu Omae, Tadashi Takano, Hiroshi Shimizu, and Yoichi Hori, A New Two-Dimensional

Motion Control for Electric Vehicle, EVS 25 (25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition), 2010.11.5-9, Shenzhen, China

[32] Tech Chan Beh, Masaki Kato, Takehiro Imura and Yoichi Hori, Wireless Power Transfer System via Magnetic Resonant Coupling at Fixed Resonance Frequency - Power Transfer System Based on Impedance Matching -, EVS 25 (25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition), 2010.11.5-9, Shenzhen, China

[33] Kanghyun Nam, Sehoon Oh and Yoichi Hori, Robust Yaw Stability Control for Electric Vehicles Based on Steering Angle-Disturbance Observer (SA-DOB) and Tracking Control Design, IEEE IECON 2010, 2010.11.7-10, Glendale, U.S.A

[34] .Sehoon Oh, Yasuto Kimura and Yoichi Hori, Control Methodology for Reaction Force at Impact based Only on the Viscoelasticity of Muscles, IEEE IECON 2010, 2010.11.7-10, Glendale, U.S.A.

[35] Valerio Salvucci, Sehoon Oh and Yoichi Hori, Infinity Norm Approach for Precise Force Control of Bi-articular Driven Robotic Arms, IEEE IECON 2010, 2010.11.7-10, Glendale, U.S.A.

[36] Yoichi Hori, Toshiyuki Uchida, Sehoon Oh, Takehiro Imura, Valerio Salvucci, Ryo Minaki, Nam Kanghyun, Wang Yafei and Teck Chuan Beh, Advanced Motion Control and Electric Power Transfer System for Comfortable Secure-Life, GCOE シンポジウム「エネルギー，環境技術を支えるセキュアライフエレクトロニクス」, 2010.11.16-17, 東京

[37] Valerio Salvucci, Sehoon Oh, Yoichi Hori, Infinity Norm Approach for Maximum Output Force of Manipulators Driven by Bi-articular Actuators, MECATRONICS 2010 –Yokohama 8th edition of France-Japan and 6th Europe-Asia Congress on Mechatronics, 2010.11.22-24, Yokohama, Japan

[38] Binh Minh Nguyen, Kanghyun Nam, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori and Cao Minh Ta, Modeling of Lateral Dynamics for Motion Control of Electric Vehicle, SEATUC SYMPOSIUM 2011 (South East Asian Technical Universities Consortium), 2011.2.24-25, Hanoi, Vietnum

著書

[39] 堀 洋一（編集委員），パワーエレクトロニクスハンドブック，全 717 ページ， オーム社，ISBN978-4-274-20790-7, 2010.7.20

[40] 堀 洋一（編集委員長），発刊にあたり，自動車技術ハンドブック 第 10 分冊 設計(EV, ハイブリッド)編，本体は全 438 ページ，自動車技術会，ISBN978-4-904056-42-4, 2011.3

[41] 堀 洋一（監修），電気自動車のためのワイヤレス給電とインフラ構築，シーエムシー出版，全 314 ページ, ISBN978-4-7813-0305-5 C3054, 2011.3

総説・解説論文

[42] 堀 洋一, 共同企画にあたって,「最近のパワートレイン制御技術」，自動車技術, Vol. 65, No. 3, および,「制御技術で描く電気自動車の将来像」，計測と制御, Vol. 50, No. 3, 2011.3（同じ内容）

シンポジウム，研究会，大会等発表

[43] 国枝祐樹，内田利之，堀 洋一，Half Controlled Converter を用いた電池，キャパシタ併用電源システムの制御に関する研究，電気学会自動車研究会，VT-10-014, 2010.8.6, 東京

[44] Teck Chuan Beh, Takehiro Imura, Member, Masaki Kato, and Yoichi Hori , Wireless Power Transfer System via Magnetic Resonant Coupling at Restricted Frequency Range - Fixing Resonance Frequency With Impedance Matching - ，平成２２年電気学会産業応用部門大会, 2010.8, 東京

[45] 稲玉繁樹，小柳拓也，呉 世訓，堀 洋一，機械定数に基づく移動動作設計と電動ドアへの適用実験，平成 22 年電気学会産業応用部門大会, 2010.8, 東京

[46] 加藤昌樹，居村岳広，内田利之，堀 洋一，磁界共振結合における自己共振周波数を利用したワイヤレス電力伝送，平成 22 年電気学会産業応用部門大会，2010.8, 東京

[47] 小柳拓也，居村岳広，堀 洋一 , MHz 帯を用いた電気自動車向け磁気共鳴型非接触給電システムに関する研究，平成 22 年電気学会産業応用部門大会，2010.8, 東京

[48] 木村康人，呉 世訓，堀 洋一，遊星歯車機構による二関節同時駆動機構を装備したロボットアームの実現 ，平成 22 年電気学会産業応用部門大会，2010.8, 東京

[49] Valerio Salvucci, Sehoon Oh, Yoichi Hori, Optimal Actuator Torques Distribution for Bi-articular Driven Manipulators, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会，2010.9.22-24, 名古屋

[50] 清水 拓，藤本博志，堀 洋一, NC 工作機械における最大切削力検出とその制御，電気学会産業計測制御研究会, IIC-11-053, 2011.3, 東京

[51] 五十嵐渉，呉 世訓，藤本博志，堀 洋一，電動ドアにおける衝撃力制御のための電流制御系の提案，電気学会産業計測制御研究会，IIC-11-064, 2011.3, 東京

[52] 稲玉繁樹, 小柳拓也, 呉 世訓, 堀 洋一, 可変粘弾性の付加による制御切り替えを用いない電車ドアの開閉制御, 電気学会産業計測制御研究会, IIC-11-116, 2011.3, 東京

[53] Yafei Wang, Kanghyun Nam, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori, Robust roll and yaw integrated control using 4 wheel steering based on yaw moment and lateral force observers, 電気学会産業計測制御研究会, IIC-11-138, 2011.3, 東京

[54] Binh Minh Nguyen, Kanghyun Nam, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori, Proposal of Cornering Stiffness Estimation without Vehicle Side Slip Angle Using Lateral Force Sensor, 電気学会産業計測制御研究会, IIC-11-140, 2011.3, 東京

[55] 前田健太, 藤本博志, 堀　洋一, 電気自動車の操舵安定性向上を目的としたヨーモーメントオブザーバの設計法に関する基礎検討, 電気学会産業計測制御研究会, IIC-11-141, 2011.3, 東京

その他（新聞，雑誌，マスコミなど）

[56] 堀 洋一, モータ／キャパシタ／ワイヤレス, キャパシタフォーラム会報, Vol. 5, pp.4-5, 2010.4

[57] 堀 洋一, 共鳴の原理"で EV, 充電　ワイヤレス給電に描く次のクルマ社会, 電気新聞　, 2010.5.24

[58] 堀 洋一, 未来のクルマが進む道, JAM マネジメントレビュー (2010.6 月号), 2010.6

[59] 堀 洋一, 町で充電しながら走る未来の電気自動車, Maid in Japan 日本が誇る世界一　（フロムページ, 夢ナビ編集部）, 2010.6

[60] 堀 洋一, ワイヤレス給電, BS ジャパン「世の中進歩堂」, 2010.6.4

[61] 堀 洋一, 「電池のない EV」がなぜ走る　（著者：山田久美）, 日経ビジネスオンライン, 2010.8.6

[62] 堀 洋一, EV は「電車技術」で大化けできる　（著者 : 山田久美）, 日経ビジネスオンライン, 2010.8.20

[63] 堀　洋一, リチウムイオン電池一辺倒でいいのか！？ 電気自動車の「もう一つの未来」を語ろう, 朝日新聞社 WEBRONZA プラス, 聞き手 : 一色清, 執筆：大内悟史, 2010.9.16

[64] 堀 洋一, 大容量のバッテリは本当に必要か モータ／キャパシタ／ワイヤレスで描くもう一つの EV 社会, 日経 Automotive Technology 2011.3 月号 「視点」, p.130, 2011.3

その他（講演）

[65] 堀 洋一, 次世代自動車について, 公共政策大学院（講義）, 2010.5.17, 東京

[66] 堀 洋一, モータ, キャパシタ, ワイヤレスで描く近未来の車社会 Future Vehicle Society based on Electric Motor, Capacitor and Wireless Power Transfer, 電気自動車開発技術展 2010 , 車両制御, 安全技術セッション, 2010.7.15, 横浜

[67] 堀 洋一, モータ／キャパシタ／ワイヤレスで描く未来のクルマ社会, 自動車技術会関東支部講演会第４回講演会, 協賛: 東京大学 グローバル COE「セキュアライフ, エレクトロニクス」, 2010.9.7, 柏

[68] Yoichi Hori, State-of-the-Art of Researches on Electric Vehicles in the World and Application Feasibility in Vietnam, IEEE Vietnam Section Technical Seminar (invited), 2010.10.8, Hanoi

[69] 堀 洋一, モビリティの電動化と社会インフラの将来動向, アスモテクニカルフェア 2010 技術講演会, 2010.10.13, 新所原

[70] 堀 洋一, モータ／キャパシタ/ワイアレスで描く電気自動車のもう一つの可能性, 中国海西希土産業技術成果対接会 China Western-Strait Rare Earth Industry Technological Fruits Matchmaking Symposium, pp.59-78, 2010.11.9, 中国龍岩市

[71] 堀 洋一, モータ／キャパシタ／ワイヤレスで描くもうひとつのクルマ社会, 日本無線講演会 , 2010.11.15, 三鷹

[72] 堀 洋一, 次世代自動車は本当に充電池が要るのか？ 〜モータ/キャパシタ/ワイヤレスで描く未来のクルマ社会〜, アキバイノベーションカレッジオープンセミナーAICOS2010, 2010.12.20, 秋葉原

[73] 堀 洋一, リチウムイオン電池一辺倒でいいのか？電気自動車の『もう一つの未来』, 電気学会四国支部講演会 共催：電子情報通信学会四国支部、計測自動制御学会四国支部, 2011.1.11, 徳島

[74] 堀 洋一, モータ／キャパシタ／ワイヤレスで描くもうひとつのクルマ社会, 三菱電機姫路製作所 , 2011.1.28, 姫路

[75] 堀 洋一, モータ／キャパシタ／ワイヤレスで描くもうひとつのクルマ社会, 社会人のためのＩＴＳ専門講座 , 2011.2.1, 東京

横山研究室
Yokoyama Laboratory

(http:// www.syl.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 需要家機器を利用した電力系統需給制御手法の構築

横山 明彦・益田 泰輔・
チャトゥプロムウォン・ピシェン

Design of demand-supply control method in power system using controllable loads

A.YOKOYAMA, T.MASUTA and C.Phichian

地球温暖化などの環境問題やエネルギーセキュリティの観点から、電力系統の供給サイドは大量の再 生可エネルギー電源や蓄電池、需要サイドでは多数台のヒートポンプ給湯機や電気自動車といったエネルギー貯蔵装置を持つ需要家機器の導入が今後ますます進 むものと予測されている。

こうした需給構造の変化を背景として、本研究では、多数台の需要家機器の消費電力を制御することによる新たな電力系統需 給制御手法の構築に取り組んでいる。ユーザーの利便性と不確実性を考慮した多数台のヒートポンプ給湯機や電気自動車などの集約制御およびモデリング、さら にそれらを利用した電力系統周波数制御に関する研究を行っている。

From the viewpoints of energy security and environmental issues such as global warming, the supply side of the power system has a large capacity battery storage and renewable energy based generation system while the demand side has a large number of electric cars and heat pump water heaters, both of which can be used as energy storage devices.

Based on these changes in the supply and demand side, a new demand-supply balance control method by adjusting the power consumption of controllable loads is proposed. The customer’s convenience has to be taken into consideration when designing the control method of the electric cars and heat pump water heaters. The load frequency control by using these controllable loads is also studied.

2. 電力系統におけるFACTS機器やエネルギー貯蔵装置の協調制御による停電範囲の極小化

横山明彦・河辺賢一

Power Supply Reliability Improvement by Coordinated Control of FACTS Devices and Energy Storage Systems in Power Systems

A.YOKOYAMA and K.KAWABE

本研究では，近年における世界的な広域停電の発生を背景に，電力制御機器の有効活用による事故時の停電範囲極小化方策を検討している。今後，電力系統には再生可能エネルギー大量導入のための対策として，エネルギー貯蔵装置・潮流制御機器・情報通信設備等の益々の普及が見込まれることから，新たな緊急制御手法によってこれらの設備を事故時に有効に活用すれば，送電線の増強策と比較して，より経済的な供給信頼度向上策となりうる。これまで，系統用蓄電池や FACTS 機器による事故時の最適潮流制御法，過渡安定度安定化制御法を提案し，各種電力制御機器の活用による停電範囲の削減効果，過渡安定度の安定化効果を明らかにしている。

Recent trends towards the deregulation in an electrical power sector and a large integration of renewable energy sources into the power system have heightened the need to maintain the power supply reliability, since these trends have caused cascading outages in some countries. Besides the construction of new transmission lines, installation of the advanced power control devices and development of a new emergency control system will also be a potential approach to improve the power system reliability in the future power system. In this research, an emergency control scheme that can make the best use of the existing equipment considering new technologies, e.g. FACTS (flexible AC transmission systems) devices, BESSs (battery energy storage systems), has been studied to overcome the transmission overload or the transient instability problems under the severe fault conditions.

3. 次世代電力系統の最適需給運用計画作成手法の開発

横山 明彦・相原 良太

Development of Optimal Operation Scheduling in the Next-Generation Power System

A. YOKOYAMA and R. AIHARA

地球温暖化問題への対策として、大量の再生可能エネルギー電源を電力系統へ導入しようとしている。太陽光発電や風力発電は天候によってその出力が大きく変動するため、系統対策なしに既存の電力系統への大量導入は困難である。また、供給力が電力需要を上回る余剰電力問題も懸念されている。これらに対する対策として電力貯蔵装置の活用が考えられるが、蓄電池などの新規導入はコストがかかる。そこで本研究では、電力系統に既存の電力貯蔵装置である揚水発電所に着目し、その運用計画の最適化を含めた電力系統全体の需給運用の最適化を図る。また、将来的な設備対策として蓄電池導入や、電気自動車やヒートポンプ給湯器等の可制御負荷の導入を見据えた、最適運用計画作成手法の確立を目指す。

A large amount of renewable energy sources (RES) are supposed to be installed into the power systems. However, the power output from the RES is random and intermittent in nature. Therefore, various kinds of counter measures have been considered when a substantial amount of RES is installed into a power system. Though the use of Battery

Energy Storage System (BESS) could be considered as a solution of these issues, their high cost is preventing them from being considered as a solution in most situations. This research proposes that Pumped Storage Hydro Power Plant (PSHPP) is used effectively. Furthermore, we will develop an optimal operation scheduling method considering new equipment such as controllable load and BESS in the next-generation power grid.

4. スマートグリッドの経済性評価

横山明彦・北川彰宏・井上孝弘・上田知広

Economical evaluation of Smart Grid

A.YOKOYAMA, A.KITAGAWA, T.INOUE and T.UEDA

経済性を確保しつつ太陽光発電の大量導入を可能とする次世代電力系統であるスマートグリッドは、近年急速な発展を遂げた通信技術の利用を前提としており、NAS電池に代表される蓄電池エネルギー貯蔵システム、ヒートポンプ給湯器や電気自動車の制御、更には太陽光発電の出力抑制を行うこと等が特徴として挙げられる。そこで、本研究室では、従来の電力システム運用の最適化問題に、新たに系統用蓄電池の充放電、可制御負荷の出力制御、太陽光発電の出力抑制を考慮し、スマートグリッド構築・運用費用と CO_2 削減量との関係を明らかにする。

Smart grid, which is next-generation power system, enables us to introduce mass photovoltaic generation while ensuring economic efficiency. It is based on the use of information and communication technology, which has evolved rapidly in recent years, and is characterized by the smart control of battery energy storage systems such as NAS batteries, heat pump water heaters and electric vehicles, and even by the suppression control of outputs of photovoltaic generation. This study makes the relationship between the cost for constructing and operating smart grid and the amount of CO_2 reduction clear in a new optimization problem of the power system operation taking into account the charge and discharge of storage batteries in the grid side, the output control of controllable loads, and the suppression control of outputs of photovoltaic generations.

5. 電力系統への太陽光発電の大量導入に関する研究

横山 明彦・木原　寛之・
グェン ホアン ヴィエット・佐藤　江里子

Study on power system with a large penetration of photovoltaic system

A.YOKOYAMA, H.KIHARA, N.VIET and E.SATO

次世代の電力システムの電源の一つとして，太陽光発電には世界中から大きな期待が寄せられている。しかし大量の太陽光発電が系統に導入されることで，系統安定性が損なわれたり，事故に起因する一斉脱落が大規模停電の原因となるなどの恐れがある。また，新たな発電設備の形態として大規模なソーラー発電のシステム構築・運用方法を検討する必要もある。本研究室ではこれらの課題に対して，電力系統に大量導入された太陽光発電の系統安定度への影響の評価，ギガソーラー単独直結大容量直流送電システムの設計などの取り組みを行っている。

Photovoltaic(PV) power generation is expected to be one of the essential energy sources in the future power system. However, when a large amount of PV system is connected to the power system, the power system stability may get worse and disconnection of PV system due to a fault in the power system may cause a large blackout. Besides, an appropriate system design and control scheme of a large scale PV system called 'giga solar system' must be developed. We are currently analyzing the impact of the power system stability with a large penetration of PV system, and studying about an operation method of HVDC(high voltage direct current) transmission system connected to a giga solar power plant.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 酒井，林，川﨑，松木，馬場，横山，北條，若尾，森，不破：“分散型電源連系課題解決支援実験システム（ANSWER）の構築と分散型電源と配電ネットワークとの協調運用形態の実験検証”，電気学会論文誌 B，130 巻，5 号，pp. 473-483(2010).

[2] 太田，谷口，中島，K.M.Liyanage，馬場，横山：“ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの提案 -電気自動車の自律分散型 Vehicle-to-Grid-”，電気学会論文誌 B，130 巻，11 号，pp. 989-994(2010).

[3] K.Tangpatiphan and A.Yokoyama : “Adaptive Evolutionary Programming Incorporating Neural Network for Transient Stability Constrained Optimal Power Flow”, IEEJ Trans. PE, Vol.130, No.12, pp.1101-1110(2010).

[4] 太田，谷口，中島，K.M.Liyanage，清水，益田，馬場，横山：“ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの周波数制御への効果”，電気学会論文誌 B，131 巻，1 号，pp. 9-19(2010).

[5] 益田，郡司掛，横山，多田：“大量の再生可能エネルギー電源が導入された電力系統における需要家の利便性と不確実性を考慮した多数台の可制御ヒートポンプ給湯機の統計的モデリングとその周波数制御への適用”， 電気学会論文誌 B，131 巻，1 号，pp. 9-19(2010).

[6] R.Aihara, A.Yokoyama, F.Nomiyama and N.Kosugi: “Impact of Operational Scheduling of Pumped Storage Power Plant Considering Excess Power on Power Supply Reliability in a Power System with a Large Penetration of Photovoltaic Generations”, Journal of International Council on Electrical Engineering Vol.1, No.1, pp.85-90, 2011 (2010).

国際会議論文

[7] K.M.Liyanage, T.Masuta, K.Shimizu, H.Kihara, A.Yokoyama, Y.Ota, T.Nakajima and H.Taniguchi: “Performance Analysis Ubiquitaous Power Systems under Coordinated Control of System Elements”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[8] Y.Ota, H.Taniguchi, T.Nakajima, K.M.Liyanage, K.Shimizu, T.Masuta, J.Baba and A.Yokoyama: “Autonomous Distributed Vehicle-to-Grid for Ubiquitous Power Grid and its Effect as a Spinning Reserve”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[9] C.Jakpattanajit, N.Hoonchareon and A.Yokoyama: “On-line Estimation of Power System Low Frequency Oscillatory Modes in Large Power Systems”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[10] N.Paensuwan, A.Yokoyama, S.C.Verma and N.Yoshiki: “Application of Decision Tree Classification to the Probabilistic TTC Evaluation”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[11] N.H.Viet and A. Yokoyama: “Impact of a Large Penetration of Photovoltaic Generation on Transient State of Power System”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[12] K. Kawabe and A. Yokoyama: “Coordinated Control of Multiple Unified Power Flow Controllers for Stability Enhancement of the Multi-Machine Power System”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[13] T.Masuta, Y.Gunjikake, A.Yokoyama and Y.Tada: “System Frequency Control by Heat Pump Water Heaters Considering Customers' Convenience in a Power System with a Large Penetration of Renewable Energy Sources”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[14] R.Aihara, A.Yokoyama, F.Nomiyama and N.Kosugi: “Impact of Operational Scheduling of Pumped Storage Power Plant Considering Excess Power on Power Supply Reliability in a Power System with a Large Penetration of Photovoltaic Generations”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[15] K.Shimizu, T.Masuta, Y.Ota, K.M.Liyanage and A.Yokoyama: “System Frequency Control Using Electric Vehicles in Power System with a large Penetration of Renewable Energy Sources”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[16] K.Miyahara, A.Yokoyama and Y.Tada: “Cost Estimation of Battery Energy Storage System for Solving Excess Energy Issue of a Power System with a Large Penetration of PV Generations”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[17] T.Yoshihara, A.Yokoyama, M.Imanaka, Y.Onda and J.baba: “Contribution to Frequency Regulating Capacity by Input Power Control of Seawater Desalination Plant in Island Power System”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[18] H.Kihara, A.Yokoyama, K.M.Liyanage and H.Sakuma: “Optimal Placement and Control BESS for a Distribution System Integrated with PV Systems”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[19] T.Chinuki, A.Yokoyama, T.Shinji and S.Tsujita: “Contribution of Microgrids to System Frequency Suppression Considering Distribution Voltage Violations”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[20] M.Imanaka, Y.Onda, T.Yoshihara, J.Baba and A.Yokoyama: “Feasibility Study on Compensation of Power Fluctuation Caused by Renewable Energy Source Using Desalination System in Island Power System”, International Conference on Electrical Engineering 2010, 11, Busan, Korea (2010).

[21] K.M.Liyanage, A.Yokoyama, Y.Ota, T.Nakajima and H.Taniguchi: “Evaluating the impact of Battery Energy Storage Systems Capacity on the Performance of Coordinated Control of Elements in Ubiquitous Power Networks”, 2010 5th International Conference on Industrial and Information Systems, ICII 2010, India (2010).

[22] Y.Ota, H.Taniguchi, T.Nakajima, K.M.Liyanage, K.Shimizu, T.Masuta, J.Baba and A.Yokoyama: “Effect of Autonomous Distributed Vehicle-to-Grid (V2G) on Power System Frequency Control”, 2010 5th International Conference on Industrial and Information Systems, ICII 2010, India (2010).

[23] K.M.Liyanage, A.Yokoyama, Y.Ota, T.Nakajima and H.Taniguchi: “Impact of Communication Delay on the Performance of a Control Scheme to Minimize Power Fluctuations Introduced by Renewable Generation under Varying V2G Vehicle Pool Size”, 2010 1st IEEE Conference on Smart Grid Communications(Smart Grid Comm 2010), Gaithersburg, MD, USA (2010).

[24] Y.Ota, H.Taniguchi, T.Nakajima, K.M.Liyanage, J.Baba and A.Yokoyama: “Autonomous Distributed V2G (Vehicle-to-Grid) considering Charging Request and Battery Condition”, The first IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT) in Europe, Gothenburg, Sweden (2010).

[25] N.Paensuwan, A.Yokoyama, S.C.Varma and N.Yoshiki: “Voltage Stability Constrained Risk-Based TTC Evaluation of a Power System with Large Integration of Renewable Energy”, International Conference on Power System Technology, POWERCON, Hangzhou, China (2010).

[26] T.Masuta, A.Yokoyama, and Y.Tada: “System Frequency Control by Heat Pump Water Heaters(HPWHs) on Customer Side Based on Statistical HPWH Model in Power System with a Large Penetration of Renewable Energy Sources”, International Conference on Power System Technology, POWERCON, Hangzhou, China (2010).

[27] N.H.Viet and A. Yokoyama: “Impact of Fault Ride-Through Characteristics of High-Penetration Photovoltaic Generation on Transient Stability”, International Conference on Power System Technology, POWERCON, Hangzhou, China (2010).

[28] C.Jakpattanajit, N.Hoonchareon and A.Yokoyama: “A New Coordinated Control Scheme of PSS and FACT devices for Improving Power System Oscillations in Multi-Machine System”, International Conference on Power System Technology, POWERCON, Hangzhou, China (2010).

[29] T.Yoshihara, A.Yokoyama, M.Imanaka, Y.Onda, J.baba, Y.Kuniba, N.Higa and S.Asato: “A New Method for Securing Regulating Capacity for Load Frequency Control Using Seawater Desalination Plant in Small Island Power System”, International Conference on Power System Technology, POWERCON, Hangzhou, China (2010).

[30] K.Shimizu, T.Masuta, Y.Ota and A.Yokoyama: “Load Frequency Control in Power System Using Vehicle-to-Grid System Considering the Customer Convenience of Electric Vehicles”, International Conference on Power System Technology, POWERCON, Hangzhou, China (2010).

[31] R.Aihara, A.Yokoyama, F.Nomiyama and N.Kosugi: “Impact of Operational Scheduling of Pumped Storage Power Plant Considering Excess Energy and Reduction of Fuel Cost on Power Supply Reliability in a Power System with a Large Penetration of Photovoltaic Generations”, International Conference on Power System Technology, POWERCON, Hangzhou, China (2010).

[32] K.Kawabe and A. Yokoyama: “Stability Enhancement by Multiple Unified Power Flow Controllers Using Wide-Area Information in the Multi-Machine Power System”, International Conference on Power System Technology, POWERCON, Hangzhou, China (2010).

[33] A.Yokoyama, T.Masuta, K.Shimizu and T.Yoshihara: “Smart Grid in Japan -Introduction of Customer Equipment Control for Load Frequency Control-”, Proceedings of Global COE Symposium on Secure-Life Electronics, Japan (2010).

[34] C.Jakpattanajit, N.Hoonchareon and A.Yokoyama “A New Coordinated Control Scheme of PSS and SVC for Enhancing Power System Stability”, Proceedings of IASTED International Conference, Power and Energy Systems (AsiaPES 2010), Phuket, Thai (2010).

[35] N.Paensuwan and A.Yokoyama, T.Tayjasanant, B.Eua-Arporn: “Total Transfer Capability Evaluation of a Power System with Renewable Energy”, Proceedings of IASTED International Conference, Power and Energy Systems (AsiaPES 2010), Phuket, Thai (2010).

著書

[36] 横山(共著)：スマートグリッドの構成技術と標準化，（財）日本規格協会，全 330 頁(2010).

総説・解説論文

[37] 横山：“スマートグリッドを巡る動向と展望,” 季報エネルギー総合工学，第 33 巻，第 2 号，pp. 3-20(2010).

[38] 横山：“電力会社の流通設備対策はどうあるべきか？,” 月刊エネルギーフォーラム，第 56 巻，第 668 号，pp. 66-69(2010).

[39] 横山：“スマートグリッド技術の動向と展望　次世代送配電系統最適制御技術実証-低炭素社会を支える電力ネットワークを目指して-,” 電気評論，第 10 号，pp. 26-29(2010)

[40] 横山：“地産地消考,” R&D NEWS KANSAI（関西電力発行），p. 1(2010).

シンポジウム・研究会・大会等発表

[41] 益田，郡司掛，横山，多田：「大量の再生可能エネルギー電源が導入された電力系統における需要家の利便性と不確実性を考慮した多数台の可制御ヒートポンプ給湯機の統計的モデリングとその周波数制御への適用」，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 1(2010).

[42] 吉原，横山，今中，恩田，馬場：「風力発電導入時の離島系統における海水淡水化装置を用いた需給調整容量拡大手法」，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 2(2010).

[43] 河辺，横山：「広域情報を活用した複数台の UPFC による多機系統の過度安定度向上制御」，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 3(2010).

[44] 清水，益田，太田，横山:「ユビキタスパワーネットワークにおける電気自動車の使用者利便性を考慮した V2G 周波数制御」，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 4(2010).

[45] 郡司掛，益田，横山，多田:「大量の再生可能エネルギー電源が導入された電力系統における周波数制御のための需要家ヒートポンプ給湯機の効果的な運転に関する検討」，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 5(2010).

[46] N. Paensuwan, A. Yokoyama, S. C. Verma and Y. Nakachi : "Total Transfer Capability Evaluation of a Power System with Wind Power Generation"，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 8(2010).

[47] 宮原，横山，多田：「太陽光発電大量導入を見込んだ将来系統における CO_2 削減量と系統コストの関係の評価方法に関する基礎検討」，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 18(2010).

[48] N.H.Viet and A. Yokoyama : " Impact of Various Penetration Levels of Photovoltaic Generation on Transient State of Power System"，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 28(2010).

[49] 相原，横山，野見山，小杉：「太陽光発電が大量導入された電力系統における余剰電力を考慮した揚水発電所の運用計画が供給信頼度に与える影響の解析」,平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 36(2010).

[50] K.M.Liyanage, A,Yokoyama, Y.Ota, T.Nakajima and H.Taniguchi : " Performance analysis of Coordinated Control of Elements in Ubiquitous Power Networks with Controllable Loads Having Limited Energy Capacity"，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 47(2010).

[51] 太田，谷口，中島，K. M. Liyanage，清水，益田，馬場，横山：「ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの周波数制御への効果」，平成 22 年電気学会電力エネルギー部門大会，No. 48(2010).

[52] 相原，横山，野見山，小杉：「太陽光発電大量導入時における供給信頼度を考慮した揚水発電所の最適運用計画作成への一考察」，電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会(2010).

[53] 中島，日高，横山，谷口，池田，太田：「電力エネルギー技術の大学教育研究への新しい試み　-東京大学のケース-」，電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会(2010).

[54] 太田，谷口，中島，K. M. Liyanage，　馬場，横山:「ユビキタスパワーネットワークにおけるプラグアンドプレイ　V2G(Vehicle-to-Grid)」，電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会(2010).

[55] 益田，横山，多田：「系統周波数制御のための多数台の可制御ヒートポンプ給湯機のモデリング」，電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会(2010).

[56] N.Paensuwan, A.Yokoyama, S.C.Verma, Y.Nakachi : "Efficient Risk-Based TTC Evaluation Method with a System Case Partitioning Method"，電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会(2010).

[57] 清水，益田，太田，横山：「系統周波数制御のための多数台の電気自動車のモデリング」，電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会(2010).

[58] 河辺，横山：「等価電圧源の定理・直流法を適用した UPFC-発電機間の感度推定方法の検証」，電気学会

電力技術・電力系統技術合同研究会(2010).

[59] 吉原，横山，今中，恩田，馬場，國場，　比嘉，　安里:「再生可能エネルギー電源大量導入時の余剰電力解消のための蓄電池容量算出手法」，電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会(2010).

[60] 石川，横山，進士，辻田：「地域冷暖房システムによる電力系統の PV 大量導入時の余剰電力問題への貢献に関する基礎検討」，電気学会電力系統技術研究会(2010).

[61] 清水，太田，横山：「系統周波数制御のための多数台の電気自動車のＳＯＣ同期制御」，電気学会電力系統技術研究会(2010).

[62] 馬場，吉原，今中，恩田，横山，國場，比嘉，安里：「小規模離島系統における海水淡水化装置を利用した系統安定化の検討」，電気学会電力技術・電力系統技術・半導体電力変換合同研究会(2010).

[63] 吉原，横山，今中，恩田，馬場，國場，比嘉，安里：「小規模離島系統における貯水量制約を考慮した海水淡水化装置制御による需給調整容量拡大手法」，電気学会電力技術・電力系統技術・半導体電力変換合同研究会(2010).

[64] 佐久間，工藤，横山：「自端情報共有に基づいた需要家 PV システム群の連携制御による配電線電圧上昇抑制手法」，平成 23 年電気学会全国大会，pp. 45(2010).

[65] 相原，横山，野見山，小杉：「太陽光発電大量導入時における揚水発電所運用計画に関する一手法の検討」，平成 23 年電気学会全国大会，pp. 87-88 (2010)..

[66] 吉原，横山，今中，恩田，馬場，國場，比嘉，安里：「貯蓄量制約を考慮した離島系統における海水淡水化装置を用いた需給調整容量拡大手法」，平成 23 年電気学会全国大会，pp. 155-156 (2010).

[67] N.Paensuwan, A.Yokoyama, S.C.Verma and Y.Nakachi："Total Transfer Capability Evaluation with LVRT Consideration"，平成 23 年電気学会全国大会，pp.167-168(2010).

[68] 太田，谷口，中島，馬場，横山：「リチウムイオン電池のモデリングについての基礎的考察」，平成 23 年電気学会全国大会，pp. 235 (2010).

[69] 吉住，高崎，横山：「太陽光発電大量導入における配電系統用 STATCOM の瞬低補償効果」，平成 23 年電気学会全国大会，pp. 253-254 (2010).

[70] 益田，横山，多田：「系統周波数制御のための多数台のヒートポンプ給湯機の群制御手法の基礎的検討」，平成 23 年電気学会全国大会，pp. 287-288 (2010).

[71] 河辺，横山：「大容量二次電池の活用による多機電力系統の過渡安定度向上制御」，平成 23 年電気学会全国大会，pp. 291-292 (2010).

[72] 清水，益田，太田，横山：「SOC 同期制御における電気自動車群の SOC 同期効果」，平成 23 年電気学会全国大会，pp. 293-294 (2010).

[73] 恩田，今中，吉原，馬場，横山，國場，比嘉，安里：「可制御負荷としての海水淡水化装置の消費電力制御に関する応答速度の検討」，平成 23 年電気学会全国大会，pp. 354-355 (2010).

大崎・関野研究室
Ohsaki and Sekino Laboratory

(http://www.ohsaki.k.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. 超電導風力発電機の設計と特性解析

寺尾悠・ロイキ ケバル・クッディス モハンマド ラシド・中西泰章・関野正樹・大崎博之

Superconducting Motors and Generators

Y. TERAO, L. QUEVAL, M. R. QUDDES, Y. NAKANISHI, M. SEKINO and H. OHSAKI

洋上風力発電などへの適用が期待される 10MW 級大型風力発電機の検討を行っている。大トルク，超低速回転を特徴とするこのような発電機について，三次元有限要素法を使った電磁界解析に基づく特性評価および発電機概念設計を進め，バルク超電導体と超電導コイルを界磁として併用する設計や，超電導コイルを利用した横方向磁束強化型，および一般的なレーストラックコイル界磁を使う設計等を比較検討している。また，冷却系や機械構造の設計検討も併行して進めている。

We have studied 10 MW-class superconducting wind turbine generators, which are characterized as a high torque and very low speed machine and expected to be applied to off-shore wind power generation. Performance analysis using the three-dimensional finite element method, and conceptual machine designs have been carried out. Several field magnet designs have been investigated for a high power density machine, such as a combination of bulk superconductors and superconducting windings, transverse- flux enhanced type field windings, and conventional racetrack coils, etc. Cooling systems and mechanical support structures for them have been also studied.

2. 高い磁場均一性を持ったイットリウム系超電導マグネットの設計

宮副照久・関野正樹・大崎博之

Design of YBCO Superconducting Magnets with Highly Homogeneous Magnetic Fields

A. MIYAZOE, M. SEKINO and H. OHSAKI

イットリウム(Y)系超電導線材を用い，空間的磁場均一性と時間的安定性が高い超電導マグネットの設計手法の開発を進めている。高い磁場均一性は，NMR (Nuclear Magnetic Resonance) 分光計や MRI (Magnetic Resonance Imaging) 装置のマグネットにおいて欠かせない。Y 系線材はテープ状であり，線材を貫く磁束が誘導する遮蔽電流の影響を実験的に調査し，それらを考慮したコイル設計モデルの検討を行っている。

We study how to design YBCO superconducting magnets producing highly stable and homogeneous magnetic fields, which are required for NMR and MRI devices. YBCO superconducting wires have the shape of tapes. Magnetic field perpendicular to the surface of the wires induces screening currents in the wires. The currents and magnetic field decay with time and result in generating inhomogeneous fields. We try to evaluate the screening currents from measurement data and develop a design method suitable for YBCO wires.

3. 超電導技術の鉄道への応用

ロ シン・松下通生・関野正樹・大崎博之

Superconducting Technology for Railway Systems

L. ZHEN, M. MATSUSHITA, M. SEKINO and H. OHSAKI

超電導技術を鉄道システムに適用することの可能性について検討を進めている。磁気浮上鉄道用高温超電導マグネットの設計研究に加え，在来鉄道の直流き電システムへの直流超電導ケーブルの導入可能性，およびそれにその他の超電導機器やエネルギー貯蔵機器等を組み合わせることの可能性などについて，シミュレーションを元に検討を進めている。

Application of superconducting technologies to railway systems has been studied. Design study of high-temperature superconducting magnets for the maglev system has been carried out. In addition, potential application of DC superconducting power cable to DC feeding systems in conventional railway systems, combined with other superconducting equipment and energy storage devices have been studied based on numerical simulation.

4. マイクロ波励起非平衡プラズマを対象とする自己無撞着の数値解析ツールの開発

キム ドンミン・大崎博之

Development of Self-consistent Numerical Analysis Tool for Microwave-exited Plasma

D. KIM and H. OHSAKI

マイクロ波励起プラズマは，低気圧から大気圧まで広い圧力条件で安定的に発生や維持ができるが，そのプラズマパラメータと電磁波伝搬特性は強い依存関係にある。そのために，設計段階での装置最適化は容易でなく，プラズマとマイクロ波伝搬の特性を同時に解析できる必要がある。本研究で FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法による電磁界解析とプラズマ流体解析を連成した数値解析ツールを開発している。

Microwave-excited plasmas can be generated very stably at the low gas pressure, and even at the atmospheric pressure. However, the device characteristics cannot be prospected and optimized on the design level due to the close and complicated coupling of plasma parameters and microwave propagation characteristics. In order to overcome this problem, it needs to simulate them simultaneously. In this study, we develop a self-consistent numerical analysis tool in

three-dimensional system with combining plasma fluid model and FDTD (Finite-Difference Time-Domain) method.

5. 磁気共鳴イメージング(MRI)の新しい計測技術

武輪知明・関野正樹・大崎博之

Novel MRI Measurement Techniques

T. TAKEWA, M. SEKINO and H. OHSAKI

MRI (magnetic resonance imaging)は，強磁場の下に置かれた人体から発生する磁気共鳴信号をもとに，断層像を得る技術である。脳卒中や癌などの，様々な病気の診断において，MRIから得られる鮮明な画像が活用されている。従来の MRI は形態的情報を得ることに主眼が置かれていたのに対して，電流や磁場，導電率，誘電率などの電気的情報を可視化する新たな MRI 測定手法に取り組んでいる。これまでに，神経活動に由来する微弱な磁場の検出にもとづく新しい脳機能イメージングや，異方性まで含めた生体組織の導電率のイメージングなどに成功した。

MRI signals originate from nuclear magnetic resonance signals emitted from samples located in a strong magnetic field. Clear and precise images obtained from MRI are now essential in diagnoses of a lot of diseases such as cerebral stroke and cancer. While conventional MRI provides anatomical information mainly, our novel MRI measurement techniques enable us to obtain electrical information, namely electric current, magnetic field, conductivity, and permittivity. In previous studies, we demonstrated novel functional imaging of the brain using a detection of weak neuronal magnetic fields, and imaging of anisotropic conductivity of biological tissues.

6. 脳の磁気刺激

加藤拓哉・関野正樹・大崎博之

Magnetic Stimulation of the Brain

T. KATO, M. SEKINO and H. OHSAKI

経頭蓋磁気刺激は，頭部に置いたコイルからパルス磁場を発生させ，脳内に誘導される電流により神経を刺激する診断・治療法である。有限要素法を用いた数値解析によって，磁気刺激における磁場分布や脳内電流分布を解析し，コイル設計や刺激条件の最適化に利用している。他大学や企業と連携して，患者が在宅で使用できる小型磁気刺激装置の開発および実用化にも携わっている。特に，磁界発生コイルの新しい設計を提案し，小型で低出力の駆動回路と組み合わせても脳内に十分な渦電流を誘導できるような工夫を行っており，試作機の製作にも取り組んでいる。

Transcranial magnetic stimulation is a diagnostic or therapeutic method to stimulate neurons in the brain using magnetic fields. Pulsed magnetic fields generated from an external coil induces stimulating currents in the brain. Numerical simulations of electromagnetic fields are effective for investigating the distributions of magnetic fields and induced currents. The results then give a theoretical basis for optimizing the designs of the coil and driving circuit. We are working on, in collaboration with medical doctors and companies, the development of a compact and highly efficient magnetic stimulator for installing at patients' homes. Our stimulator has a newly designed coil so that a low-power stimulator system generates eddy currents in the brain with a sufficient intensity. Fabrication of a magnetic stimulator based on our original design concept is now in progress.

7. バルク超電導体の電磁現象と応用

寺尾悠・岡島直輝・関野正樹・大崎博之

Electromagnetic Phenomena in Bulk Superconductors and their Applications

Y. TERAO, N. OKAJIMA, M. SEKINO and H. OHSAKI

優れた磁束ピン止め特性により高臨界電流密度を有する RE（希土類）系バルク超電導体の応用を目指して，その中での電磁現象を中心に研究を行っている。バルク超電導体のマグネット応用のための着磁法として，パルス着磁や磁界中冷却法に関して，有限要素法を用いた解析ツールを開発し，効率的な着磁について検討している。また，バルク超電導体の磁気シールド材としての可能性についての検討も進めている。

For practical application of (RE)BCO bulk superconductors, which have high critical current densities based on strong flux pinning characteristics, electromagnetic phenomena inside the superconductors have been studied. For their magnet applications, pulsed-field and field-cooling magnetization methods have been examined using a FEM analysis tool developed for studying improvement of magnetization performance. Magnetic shielding application of bulk superconductor is also investigated.

8. 高温バルク超電導体による均一磁界の発生

蛭川倫行・関野正樹・大崎博之

Generation of Homogeneous Magnetic Fields Using High-Temperature Bulk Superconductors

M. HIRUKAWA, M. SEKINO and H. OHSAKI

高温バルク超電導体は，コンパクトながら数テスラの強磁場を発生する能力があり，医薬品の動態追跡を目的とした小動物用 MRI 装置などへの応用が期待されている。そのための大きな技術的課題が，発生磁場の均一化である。これを解決するアイデアとして，バルク超電導体を同心円状に切り抜く加工を施して内部電流の経路を整える方法などを提案し，その有効性を示す実験を行っている。

The high-temperature bulk superconductor is capable of trapping strong magnetic fields of up to several tesla in a compact superconductor body. One of the potential applications of the bulk superconductor is a magnet for a portable nuclear magnetic resonance (NMR) system. One of the technical challenges of this application is homogenizing the trapped magnetic fields. We have proposed a method to reduce the inhomogeneity by means of concentrically slitting

a ring-shaped bulk superconductor.

9. 超電導磁気センサSQUIDを用いた超低磁界MRI装置の開発

小川雅史・関野正樹・大崎博之

Ultralow-Field MRI Using a Superconducting Magnetic Sensor SQUID

M. OGAWA, M. SEKINO and H. OHSAKI

従来の 1 万分の 1 レベルの超低磁界で動作し，高感度の超電導磁気センサ SQUID を用いて信号を検出するような，新しいタイプの MRI 装置を開発している。この装置は，従来型 MRI が苦手としてきた金属含有体を測定できるなどの特徴があり，将来的には，医療器具を装着した患者の MRI 検査などへの利用を目指している。

We are now developing an MRI system working with ultralow micro-tesla magnetic fields and detecting signals using a superconducting magnetic sensor, SQUID (superconducting quantum interference device). This MRI is free from the risk of accidents caused by strong magnetic fields. Moreover, the MRI system is applicable to samples containing metal, which conventional MRI cannot measure. The potential application of this MRI system is examination of patients wearing medical equipment.

10. 認知症診断用 MRI の新しい超電導マグネットの開発

宮副照久・関野正樹・大崎博之

MRI Superconducting Magnet for Diagnosis of Dementia

A. MIYAZOE, M. SEKINO and H. OHSAKI

縦型の MRI 用超電導マグネットにおいて，下へ行くほど太くなるような上下非対称のコイル構造を取り入れれば，マグネットの開口部から近い位置に，画像取得のための磁場均一空間を生成できる。患者が MRI 装置に入った状態でも広い視野が確保され，手足も動かせる利点があり，脳機能研究や認知症の早期診断などに有用である。非対称なコイル構造を有する MRI 用超電導マグネットを，世界で初めて開発した。マグネットの完成後，測定系を取り付けて MRI システムを構築し，テスト試料や野菜の断層像を取得した。

MRI requires a highly homogenous magnetic field zone which usually appears at the center of the MRI magnet coil. If this homogeneous zone is allowed to occur at an off-center position along the coil axis, quite new applications of MRI may be possible. In order to examine this idea, we fabricated an MRI model magnet. As an example of application, there is a functional MRI-based Benton visual retention test which is currently used for diagnosis of dementia. This test requires patients to carry out drawing, where they need some field of vision while sitting under the magnet. The off-center homogeneous field zone provides a wide field of vision.

11. 生体内電磁界の数値解析

槻木孝亮・関野正樹・大崎博之

Numerical Analyses of Electromagnetic Fields in Biological Bodies

T. TSUGEKI, M. SEKINO and H. OHSAKI

生体内に発生する電磁界の分布を求めることは，電磁界を用いた診断や治療の基礎研究や，脳機能の解析において重要である。MRI における高周波電磁界の数値解析を行った結果，超電導マグネットの磁界強度が増加するにつれて，高周波電磁界の分布に顕著な不均一が現れることを示した。また，磁性微粒子を利用して，がん転移に関与するリンパ節を特定するセンサを開発するため，数値解析による基礎検討を行っている。

Analyses of electromagnetic fields in biological bodies are important for basic studies of diagnostic or therapeutic methods using electromagnetic fields, and analyses of brain function. Numerical analyses of high-frequency electromagnetic fields in MRI showed that an increase in main static field strength causes inhomogeneous distributions of the high-frequency fields. We are carrying out analyses on sensing of magnetic particles in the human body. The study will lead to the development of an equipment for detecting lymph nodes related to metastasis.

12. 高性能平面アクチュエータ

岸本孝基・関野正樹・大崎博之

High-Performance Planar Actuator

K. KISHIMOTO, M. SEKINO and H. OHSAKI

平面内の並進と回転方向の駆動が可能な小形平面アクチュエータの研究を進めている。可動子を直接，多自由度駆動が可能であり，高精度な位置決めが可能である。我々の平面アクチュエータでは，2 組の 3 相交流電流を制御することによって固定子と対向する広い範囲内で並進と回転方向の位置決めが可能である。さらに駆動特性を向上するために，可動子を磁気浮上させながら平面内の運動制御を行う検討をしており，数値解析と実験の両面から研究を進めている。

A planar actuator has been studied, which has a small mover that can be driven in translational and rotational directions on a plane. A planar actuator can directly drive the mover for multiple degrees of freedom, and can precisely position it. Our planar actuator can position the mover in the translational and rotational directions on the wide movable area where the mover faces the stator by controlling two sets of three-phase alternating currents. To further improve the drive characteristics, we have studied the planar motion controls with the mover magnetically levitated, and performed the numerical analyses and experiments.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] M. Sekino, H. Ohsaki, H. Wada, T. Hisatsune, O. Ozaki and T. Kiyoshi: “Fabrication of an MRI model magnet with an off-centered distribution of homogeneous magnetic field zone,” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.20, No.3, pp.781-785 (2010).

[2] A. Miyazoe, M. Sekino, T. Kiyoshi and H. Ohsaki: “Magnetic field induced by screening current in short and straight coated conductors,” IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 20, Issue 3, pp. 1557-1560 (2010).

[3] H. Ohsaki, Y. Terao and M. Sekino: “Wind Turbine Generators using Superconducting Coils and Bulks,” IOP Publishing, Journal of Physics Conference Series, 234 032043(2010).

[4] Y. Chin, Y. Sato, M. Mase, T. Kato, B. Herculano, M. Sekino, H. Ohsaki, N. Ageyama, F. Ono, K. Terao, Y. Yoshikawa and T. Hisatsune: “Transient decrease in cerebral motor pathway fractional anisotropy after focal ischemic stroke in monkey,” Neuroscience Research, Vol.66, No.4, pp.406-411 (2010).

[5] M. Takeuchi, D. Kim, M. Sekino, S. Ueno, H. Ohsaki and N. Iriguchi: “Subvoxel limits of magnetic resonance angiography: One-dimensional case,” Journal of Applied Physics, Vol.107, No.9, pp.09B326 (2010).

[6] S. Kaida, H. Cabral, M. Kumagai, A. Kishimura, Y. Terada, M. Sekino, I. Aoki, N. Nishiyama, T. Tani and K. Kataoka: “Visible-drug delivery by supra-molecular nanocarriers directing to single-platformed diagnosis and therapy of pancreatic tumor model,” Cancer Research, Vol.70, No.18, pp.7031-7041 (2010).

[7] M. Kumagai, T. K. Sarma, H. Cabral, S. Kaida, M. Sekino, N. Herlambang, K. Osada, M. R Kano, N. Nishiyama and K. Kataoka: “Enhanced in vivo magnetic resonance imaging of tumors by PEGylated iron oxide-gold core-shell nanoparticles with prolonged blood circulation properties,” Macromolecular Rapid Communications, Vol.31, No.17, pp.1521-1528 (2010).

[8] 金載浩, キムドンミン, 大崎博之, 桂井誠: “マイクロストリップ線路を用いた大気圧 CVD 用マイクロ波励起吹き出しプラズマ,” 電気学会論文誌 A, Vol.130, No.19, pp.913-918 (2010).

[9] 中谷駿介, 宮田昌悟, 関野正樹, 大崎博之: “軟骨細胞含有コラーゲンゲルに対する磁場印加の組織再構築に与える影響,” 臨床バイオメカニクス, Vol.31, pp.165-169 (2010).

[10] 福島大志, 西川敦, 宮崎文夫, 関野正樹, 安室喜弘, 松崎大河, 細見晃一, 齋藤洋一: “在宅型反復経頭蓋磁気刺激治療のための磁場ナビゲーションシステムの開発,” 生体医工学, Vol.49, No.1, pp.122-131 (2011).

国際会議論文

[11] M. Sekino, A. Miyazoe, H. Ohsaki, T. Hisatsune, O. Ozaki, T. Kiyoshi and H. Wada: “Fabrication of an MRI superconducting magnet with an off-center homogeneous field zone for imaging,” ISMRM-ESMRMB Joint Annual Meeting, Stockholm, Sweden, pp.1539 (2010).

[12] Y. Terao, M. Sekino and H. Ohsaki: “Design Study of Linear Synchronous Motors using Superconducting Coils and Bulks,” International Power Electronics Conference (IPEC-Sapporo2010), Sapporo, Japan, June, 23E2-4, pp. 1760-1765(2010).

[13] H. Ohsaki: “High-Temperature Superconducting Electrical Machines and Systems: Current Status and Future Prospects,” Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (APSAEM 2010), Kuala Lumpur, Malaysia, (2010). (Invited).

[14] H. Ohsaki, Lv Zhen, A. Miyazoe and M. Sekino: “Design Study of High-Temperature Superconducting Coils for Maglev Vehicles,” Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (APSAEM 2010), Kuala Lumpur, Malaysia, (2010).

[15] H. Ohsaki, M. R. Quddes, M. Sekino, N. Kashima and S. Nagaya: “Transverse Flux Enhanced Type Superconducting Synchronous Machines for Wind Power Generation,” Applied Superconductivity Conference 2010, Washington D.C., USA, August 2010, 1LA-05 (2010).

[16] M. Sekino, H. Yasuda and H. Ohsaki: “Concentric slitting of a ring-shaped bulk superconductor for a reduction in circumferential inhomogeneity of the trapped magnetic field,” Applied Superconductivity Conference, Washington DC, 3LP3A-11 (2010).

[17] A. Miyazoe, M. Sekino, T. Kiyoshi and H. Ohsaki: “Distributions of Transport and Screening currents flowing in coated conductor,” Applied Superconductivity Conference 2010, Washington D.C., USA, 3LP3C: 255 (2010).

[18] Y. Terao, M. Sekino, H. Ohsaki, H. Teshima and M. Morita: “Magnetic Shielding Characteristics of Multiple Bulk Superconductors for Higher Field Applications,” 2010 Applied Superconductivity Conference (ASC2010), Washington D.C., USA, 3LP3A-10 (2010).

[19] M. R. Quddes, M. Sekino, H. Ohsaki, N. Kashima and S. Nagaya: “Electromagnetic design study of transverse flux enhanced type superconducting wind turbine

generators," 2010 Applied Superconductivity Conference (ASC 2010), Washington D.C., USA, 1LPD-07 (2010).

[20] M. Sekino, A. Miyazoe, H. Ohsaki, T. Hisatsune, O. Ozaki, T. Kiyoshi and H. Wada: "MRI using a superconducting magnet with an off-centered homogeneous field zone," 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Atlanta, USA, DU-09 (2010).

[21] H. Ohsaki, Y. Terao, M. R. Quddes and M. Sekino: "Electromagnetic Characteristics of 10 MW Class Superconducting Wind Turbine Generators," International Conference on Electrical Machines and Systems 2010 (ICEMS 2010), Incheon, Korea, (2010).

[22] T. Fukushima, A. Nishikawa, F. Miyazaki, K. Uchida, Y. Saitoh and M. Sekino: "Magnetic guided transcranial magnetic stimulation: newly convenient navigation system," 24th International Congress and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery, Geneva, Switzerland (2010).

[23] S. Yamaguchi-Sekino, J. Ojima, M. Hojo, H. Saito, M. Sekino and T. Okuno: "Measuring exposed magnetic fields of welders in working time," International Symposium on Industrial Safety and Health 2010, Tokyo, Japan (2010).

著書

[24] 今江禄一, 関野正樹, 篠原広行: 拡散 MRI の基礎と応用, 医療科学社 (2011).

[25] 関野正樹 他: 電磁界の医療応用, (藤原修, 宅間董監修: エレクトロニクス機器設計と電磁波による生体影響) 三松, (全 200 ページ, 分担 27-54 ページ) (2011).

総説・解説論文

[26] H. Wada, M. Sekino, H. Ohsaki, T. Hisatsune, H. Ikehira and T. Kiyoshi: "Prospect of high-field MRI," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.20, No.3, pp.115-122 (2010). (招待)

[27] S. Yamaguchi-Sekino, M. Sekino and S. Ueno: "Biological effects of electromagnetic fields and discussion of the recently updated safety guidelines for strong static electromagnetic fields," Magnetic Resonance in Medical Sciences, Vol.10, No.1, pp.1-10 (2011).

[28] 大崎博之: "新たな百年に臨む「超電導」: 産業応用技術の最新動向," 工業材料, Vol.59, No.1, pp.59-62 (2011).

シンポジウム・研究会・大会等発表

[29] 関野正樹, 安田斉史, 大崎博之: "リング形バルク超電導体への同心円スリット加工による捕捉磁界の軸対称性向上," 第 82 回 2010 年度春季低温工学・超電導学会, 3D-a09, pp.213 (2010).

[30] 宮副照久, 関野正樹, 大崎博之, 木吉司: "イットリウム系線材の遮蔽磁界分布," 第 82 回 2010 年度春季低温工学・超電導学会, 1P-p08, pp. 79 (2010).

[31] 宮副照久, 関野正樹, 大崎博之, 木吉司: "イットリウム系超電導線材中の通電時電流分布の外部磁場印加による変化," 第 83 回 2010 年度秋季低温工学・超電導学会, 3B-a08, pp. 260 (2010).

[32] 呂臻, 宮副照久, 関野正樹, 大崎博之: "磁気浮上鉄道用高温超電導コイルの基本設計," 第 83 回 2010 年度秋季低温工学・超電導学会, 2P-p28, pp. 221 (2010).

[33] クッデイス・モハンマッド・ラシド, 寺尾悠, 関野正樹, 大崎博之, 長島直二, 長屋重夫: "横方向磁束強化形超電導風力発電機の電磁設計," 超電導応用電力機器研究会, ASC-10-30, pp. 69-74 (2010).

[34] 宮副照久, 関野正樹, 大崎博之, 木吉司: "短尺イットリウム系超電導線材における磁場中での電流分布の評価," 電気学会研究会　金属・セラミックス研究会, MC-10-012, pp. 45-50 (2010).

[35] 金載浩, キムドンミン, 大崎博之, 桂井誠: "吹き出し型マイクロ波励起大気圧プラズマにおけるナノ結晶ダイヤモンド薄膜の合成," 表面技術協会第 123 回講演大会, 関東学院大学 (2011).

[36] 山田正博, 関野正樹, 大崎博之, 富田優: "直流鉄道システムへの超電導ケーブルの適用," 平成 23 年電気学会全国大会, 5-096, 第 5 分冊, p.149 (2011).

[37] 大崎博之: "これからのリニアドライブ技術を考える," 平成 23 年電気学会全国大会, 5-S19-6, 第 5 分冊, pp.S19(19)-S19(20) (2011).

[38] 熊谷康顕, Tridib Kumar Sarma, Horacio Cabral, 関野正樹, 狩野光伸, 西山伸宏, 宮園浩平, 片岡一則: "PEG 化金コート酸化鉄微粒子の MRI 用造影剤としての評価," 第 59 回高分子学会年次大会, 1H29 (2010).

[39] 福島大志, 西川敦, 宮崎文夫, 内田国克, 関野正樹, 齋藤洋一: "在宅型経頭蓋磁気刺激治療のための磁場ナビゲーションシステムの開発," 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2010).

[40] 熊谷康顕, Tridib Kumar Sarma, Horacio Cabral, 関野正樹, 狩野光伸, 西山伸宏, 宮園浩平, 片岡一則: "PEG 化金コート酸化鉄微粒子を使った膵臓ガン MR イメージング," 第 26 回日本 DDS 学会学術集会, 1-B-14 (2010).

[41] 朱海涛, 出町和之, 関野正樹: "MRI における陰性造影部位のポジティブコントラスト法による強調画像化," 日本保全学会第 7 回学術講演会, E-1-6 (2010).

[42] 熊谷康顕, 西山伸宏, 貝田佐知子, Horacio Cabral, 関野正樹, 片岡一則: “制ガン剤と MRI 用造影剤を同時内包した高分子ミセルのガン診断及び治療,” 第 39 回医用高分子シンポジウム (2010).

[43] 陳揚, 関野正樹, 大崎博之, 久恒辰博: “The alterations in hippocampal functions after middle cerebral artery occlusion in rats,” 第 33 回日本神経科学大会, o2-7-4-4 (2010).

[44] 福島大志, 西川敦, 宮崎文夫, 関野正樹, 安室喜弘, 松崎大河, 細見晃一, 齋藤洋一: “在宅型反復経頭蓋磁気刺激治療のための磁場ナビゲーションシステムの開発,” 生体医工学シンポジウム, 2-10-4 (2010).

[45] 関野正樹, 大崎博之, 久恒辰博, 尾崎修, 木吉司, 和田仁: “コイル中心から外れた位置に均一磁場空間を持つ超伝導マグネットを用いた画像取得,” 第 38 回日本磁気共鳴医学会大会, T-1-118, pp.217 (2010).

[46] 陳揚, 中條蕗子, 能智禄弥, 関野正樹, 大崎博之, 久恒辰博: “ラット中大脳動脈閉塞モデルの海馬における拡散 MRI 解析,” 第 38 回日本磁気共鳴医学会大会, P-1-69, pp.341 (2010).

[47] 山口さち子, 関野正樹, Denis Le Bihan: “Measurement of actual exposed magnetic field to MR staffs in MR scanner room,” 第 38 回日本磁気共鳴医学会大会, T-3-287, pp.304 (2010).

[48] 山口さち子, 関野正樹: “パルス電磁場ばく露の骨盤内磁場・電流密度分布の推定,” 第 23 回バイオメディカル・ファジイ・システム学会, 10P-A-4, pp.189-192 (2010).

[49] 山口さち子, 小嶋純, 北條稔, 齊藤宏之, 関野正樹, 奥野勉: “溶接作業における作業者の磁場ばく露の実態調査,” 第 50 回日本労働衛生工学会, pp.189-190 (2010).

[50] 関野正樹, 大崎博之, 西川敦, 齋藤洋一: “新しいコイル設計に基づく経頭蓋的磁気刺激装置の試作,” 電気学会マグネティックス／医用・生体工学合同研究会, MAG-10-159, MBE-10-160, pp.17-22 (2010).

[51] 阿部欣史, 関野正樹, 大崎博之, 久恒辰博: “Optogenetics と fMRI を併用した海馬の機能解析,” 日本農芸化学会, 3C34p04, pp.296 (2011).

[52] 徳田正満, 大崎博之, 松尾尚: “高速電力線通信システムの伝導妨害波イミュニティ特性,” 電気学会電磁環境研究会, EMC-11-006 (2011).

その他

[53] 大崎博之: “巻頭言 : 超電導技術の産業応用の発展に期待して,” 低温工学, Vol.45, No.4, p.125 (2010).

[54] 大崎博之: “これからの EMC,” 電磁環境工学 EMC, 2011 年 1 月号, ミマツコーポレーション, No.273, p.24 (2011).

[55] 大崎博之: “特集 : 超電導産業機器技術の展開「超電導産業機器技術の動向」, ” 超電導 Web21, 2011 年 3 月 1 日号, p.1 (2011).

[56] 大崎博之: “新・電気用品安全法の行方　～製品認証からのアプローチ～,” JQA 認証制度セミナー, 東京, 2010 年 4 月 21 日.

古関研究室（2010 年度）
Koseki Laboratory

(http://koseki.t.u-tokyo.ac.jp/index.html)

研究現況
Current Research Projects

1. 混合整数計画法に基づく列車運行乱れ時の旅客損失に主眼を置いた運転整理最適化

千種 健二

A passenger-oriented optimization of train rescheduling based on mixed integer programming

Kenji Chigusa

鉄道において、列車は設備面や安全運行上の厳しい制約のもとで綿密に定められた秒単位の運行計画にしたがって運行している。そのような際には、遅延の伝搬や混雑の発生を最小限にとどめて速やかに定常運行へと回復させるため、「運転整理」と呼ばれる列車運行計画の調整業務が行われる。

運転整理案の作成には迅速性が求められるが、先述した数多くの制約を満たした上で、定量的な評価が難しい「旅客の被る損失」を考慮した複雑な調整が同時に要求されるため、非常に困難な作業である。

そこで本研究では、頻発する小～中規模の乱れに対して、旅客の観点からみて適切な運転整理案を自動生成するシステムを提案する。具体的には、対象を複線区間に絞って列車運行と旅客行動をそれぞれ数理モデル化し、旅客の旅行時間増大量を線形の目的関数として設定することで、運転整理最適化問題を混合整数計画問題として定式化する。また、提案システムによって得られる運転整理案を検証し、定式化の妥当性を論じる。

Once a disruption happens in areas with high frequency of train operations, delays of the trains propagate and train passengers suffer some inconvenience.

Then rescheduling of train operations is conducted by train dispatchers to recover the original operational plan.

The task is quite difficult and a severe burden for dispatchers due to a variety of recovery options, a necessity of swiftness and an absence of a proper evaluation criterion. Consequently a computer-aided rescheduling support system is required. In this paper, we present a Mathematical Programming approach for the train rescheduling, focusing on the minimization of the passengers on arrival delay at their destinations.

We simultaneously model the train operations and the passenger flow as a Mixed Integer Programming(MIP), and an optimal rescheduling plan is obtained in reasonable time for a small disruption case.

2. 列車密度の高い都市部の複々線区間における大規模乱れ時の運転整理

福地 正樹

Train rescheduling of highly frequent operation on an urban quadruple track line after a large disruption

Masaki Fukuchi

人身事故等で乱れたダイヤを元に戻す作業を運転整理という。この作業は、指令員が経験と勘で行われており、計算機支援が求められている。

本研究室では、乗客視点での評価を用いて、片方向の運転整理案を提案するシステムを開発してきた。

本研究では、大規模乱れを扱いためにさらに上下両方向に拡張する。そのために、乗客がどの列車に乗るか推定するにあたり、新しい乗客流解析を提案する。また、時隔調整、順序変更の方法を提案する。

そして、複々線区間において、運転線路変更と運休のどちらがよいのか明らかにする。

Train rescheduling is an important task to recover a disordered train operation. Train dispatchers are going by the experience and intuition. Thus, operators have requested assistance in the form of a computer aided train rescheduling program. In this laboratory, the system that proposes the train rescheduling plan that considers the operation only of a certain direction has been developed by evaluating from passenger's point of view.

In the present study, it enhances it to the system that can consider both directions in addition. Because it can consider a large disorder. So I propose new passenger-flow analysis. I propose train interval and changing train orders. And I show which train suspensions or changing running tracks have a good effect.

3. 三次元磁束を考慮した大トルク永久磁石形同期機の設計と評価

佐藤 功一

Design and verification of permanent magnet synchronous motor for high torque drive considering three-dimensional flux distribution

Kouichi Sato

今日、電動機は情報関連機器・産業機器・交通機関を始め多岐にわたって使用されている。電動機の中でも界磁用に磁力の強い希土類磁石を用いた永久磁石形同期電動機は、電動機単体で大トルクを出力し、変速機を省いた直接駆動が可能である。

本論文で直接駆動における船舶推進用電動機を想定し、低速回転時に高い回転力密度が実現可能な試験機の設計と実験による評価を行った。

Recently, the motor is used for the field of information, industrial, and so on. A permanent magnet synchronous motor (PMSM) that uses the rare earth permanent magnet can be realized high torque at low speed and driven directly by itself. The motor for direct drive has advantages of an unnecessary personally mechanical splice, freedom in the design, and easy maintenance.

This paper says about verification by design and experiment of the prototype that realizes high torque at low speed assuming the motor for ship propulsion at direct drive.

4. 都市交通用リニア誘導モータ二次レール設計のための準三次元動磁界解析

早山 和弥

Designing of reaction plate of linear induction motor for urban transit for improvement of thrust based on 3-D eddy current analysis

Kazuya Hayayama

リニア誘導モータは、直接駆動による粘着からの解放や車体の小型化によるトンネル断面の小型化が可能であるというメリットから都営大江戸線をはじめとするリニアメトロの駆動源として活用されている。

その問題点の一つは、縁効果や二次鉄心の渦電流損といった二次側の渦電流に起因する損失があることである。そのために力率や効率の悪化を招いてしまう。

そこで、渦電流分布を解析した上で二次側形状に変更を加えていく必要がある。しかし、従来の二次元解析では積厚方向の分布を解析することができず、三次元解析では離散化する次元が増えるため、計算時間が膨大になるという欠点がある。

そこで、進行方向に電磁界が正弦波状に変化するという仮定を立て、積厚方向と鉛直方向について離散化を行う電磁界手法を提案した。その上で、解析上の仮定を満たすためのモデルの簡略化、電磁基礎方程式の離散化を物理的な意味を考慮しながら行った。さらに、準三次元解析におけるスカラーポテンシャルの意味についても考察を行い、キルヒホッフの法則との対応関係について定式化を行った。

これにより、渦電流を考慮した準三次元解析を行うことが可能となった。

Linear induction motor (LIM) is used for traction system of Linear Metro and HSST. On the other hand, there are problems which diminish efficiency and power factor of motor in secondary side.

For instance, "edge-effect" and eddy current loss of secondary core.

Eddy current in secondary conduction plate should be analyzed to improve these problems by reforming secondary structure. However, 2D electromagnetic analysis is unable to consider condition of cross direction.

Besides 3D analysis costs too much time to calculate electromagnetic field on a practical level.

So this research proposed semi-3D electromagnetic analysis discretized cross direction and vertical direction assumption that electromagnetic field changes sinusoidaly in moving direction.

Simplified model is made and basic electro-magnetic equation is discretized considering physical meaning. Relation of Kirchhoff's laws and scalar potential is formulated.

As a result, we can analyze eddy current distribution by proposed method.

5. 横磁束リニア同期モータの設計と制御

シンジュンソブ

Proposal of a novel flux-concentrated type transverse flux cylindrical linear synchronous motor for high thrust

Shin Jung-Seob

1980 年代から、物流システムや工場内搬送装置として用いられてきたリニアモータは、高推力化設計技術とセンサ、制御技術の進歩に伴い、工作機械の直動系や高速往復運動を必要とする分野などに広く用いられている。

リニアモータには様々な種類があるが、特に永久磁石を用いるリニア同期モータ(PMLSM: Permanent Magnet Linear Synchronous Motor)は、レアアース系磁石を用いることで、モータの小型化、大推力化、高効率化等を図ることができるというメリットがあり、産業分野で応用されるケースが急速に増えている。

産業分野で利用されている PMLSM には、使用条件・目的にもよるが、一般的に大推力、高位置決め精度（低ディテント力、低推力リップル）、小型、軽量などの特性が要求されている。特に大型ガラスなどの重たいものを運ぶためには、大推力をいう特性は設計上で重要なポイントになる。

そこで、本研究では大推力のための磁束集中形界磁を持つ横磁束形円筒リニア同期モータを提案し、その設計と評価を行った。

Linear motors are being employed increasingly in industrial fields. Such direct devices offer many advantages over ball-skrew drive, which result in a higher dynamic performance and reliability.

Especially, linear synchronous motor that uses permanent magnets (PMLSM) in the field side has contributed to the popularization in industrial fields because of the advent of rare earth permanent magnet, which results in high efficiency and compact size.

In general, characteristics required to PMLSM in industrial fields are high thrust, high positioning accuracy and simple structure etc. Among these characteristics, high thrust can be an important technical requirement to PMLSM.

I propose a novel flux-concentrated type transverse flux cylindrical linear synchronous motor to gain higher thrust. In this paper, the concept and advantages of the proposed model are introduced and its characteristics are both theoretically analyzed and numerically computed by field calculation using FEM.

6. 低速大トルク永久磁石形同期電動機の設計 -コギングトルク低減とうず電流損失の低減-

中村 太一

Design of low-speed high-torque Permanent

Magnet Synchronous Motor -Reducing cogging toque and loss by eddy current-

Taichi Nakamura

横方向磁束形永久磁石形同期電動機は低速で大トルクを出力できる。そのため機械的損失の低減や低騒音・低振動運転を可能とする直接駆動用モータとしての応用が期待される。

本研究室では船舶推進応用に注目し、その駆動用モータの開発を行ってきた。しかしコギングトルクと渦電流による熱の発生が大きな問題点であった。そこで本研究では、コギングトルク低減のために磁石数極数を考慮した設計を提案した。さらに渦電流損失低減のために、回転板をステンレスから導電率の小さい炭素繊維強化プラスチックに変更した。

Transverse flux type permanent magnet synchronous motors can produce large torque at low speed, so this capability is suitable to direct drive, which propulsion systems can reduce mechanical loss and drive in low noise and low vibration.

In our laboratory we focused the application to electric ships. Then in previous research a motor for direct drive for ships is developed. However there were two primary problems, one is cogging torque and the other is generation of heat by eddy current. Then in this research, we proposed the design which aimed to reduce cogging torque by considering poles-slots combination. And we proposed the disk made from carbon fiber reinforced plastic (CFRP) substituting for stainless to reduce loss by eddy current, because the conductivity of CFRP is much smaller than that of stainless.

7. 可変速交流駆動電車における推定接線力およびすべり速度情報を活用した再粘着制御の有用性の研究

原 崇文

Readhesion control study on electric railways that uses information presumpting adhesive information presumpting adhesive force and information in slip velocity

Takafumi Hara

鉄道においてその推進には鉄車輪とレール間の粘着力を利用している。

しかし、粘着力に関係する現象としてしばしば発生する滑走・空転によって推進力が減尐してしまうこと、車輪・レールの損傷を招くなど、この発生を防ぐことは大きな課題である。

そこで本研究では電気車の駆動に関わるこの滑走・空転現象に関して、超過角運動量に着目し、インバータ装置の制御の面から滑走・空転を最小限に抑え最大限の減速/加速を実現するための制御則の提案をした。

In these days, consideration for environment is rising all over the world. For these environmental threats, Electric Railways are the most advantageous vehicle. They generate electricity and collect energy by using Induction Motor when they are braked. Currently, most of them equip with this brake. Therefore, their advantage for environmental threats is evident.

On the other hand, Electric Railways have problems. Compared with other Vehicles, their adhesive force are small when they accelerate. Particularly, in case of rainfall, dead leaves and snow slip cause. Generation of slip leads to energy dissipation, riding quality and break of rail. Therefore, it requires re-adhesion control to stop slip and adhere between rail and wheel.

It is important in the viewpoint that secures the acceleration not to cause the silp and to use adhesion phenomenon effectively in railways. I would like to examine the condition of causing the slip with adhesion control.

On the other hand, it is known that the tractive coefficient is shown as a function at the slip velocity.

As a result, I proposed re-adhesion control based on excess angular momentum tracks.

8. 回生変電所の段階的導入時における変電所の特性を考慮した回生ブレーキ有効活用ダイヤの提案

渡邊 央朗

The best use of regenerative brakes by adjecting train intervals in DC-electrified railway system

Hiroaki Watanabe

近年の電気鉄道車両はブレーキ時に主電動機を用いて発電し，回収したエネルギーを同一供給電車線路内に存在する他の列車等に供給する電気ブレーキ，即ち回生ブレーキを用いている。このような車両であっても，従来の摩擦力による機械ブレーキと電磁気力による回生ブレーキが併用されている。これは回生ブレーキだけでは常用最大ブレーキ力を下回ってしまうからである。電気車の機械ブレーキは空気圧で制御されているため応答速度が遅い。ブレーキ力の源は摩擦力であるから，摩擦係数という環境に左右されやすい要素を含んでいる。さらに，機械ブレーキは保守に手間と費用がかかる上，摩擦の変動要素が原因で乗り心地を悪化させたり滑走を誘発したりする問題もある。

本論文では，回生ブレーキの使用と PWM 変電所の機能が協調するよう運転間隔の最適化を行うことによって，回生失効による機械ブレーキ負担増加量を低減する方法を示した。

A recent electric train uses electric brakes which convert mechanical to electric energy and send the regenerated energies to other trains on the same route. These brakes are called regenerative brakes.

The regenerative brakes have to be used with conventional mechanical brakes using frictional force, the regenerative braking force is less than the simultaneous service braking

force required at high speed.

The response of mechanical brakes is much slower than electric brakes. The source of mechanical braking force is friction, which strongly depends on environment. A change of frictional force worsens ride quality and causes slip. Furthermore, mechanical braking force costs time and money for maintenance.

In this research, the author proposes to reduce mechanical brakes usage by doing headway optimization based on PWM substations and regenerative brakes.

9. ヒトの構造的特徴・基本動作と二関節筋を考慮したロボットの四肢の運動制御

福正 博之

Motion control of a robot limb taking advantages of structural characteristics, fundamental motion and bi-articular muscle of a human

Hiroyuki Fukusho

ロボットの四肢の運動制御簡単化のために、近接する二つの関節にまたがり関節を同時に駆動させる二関節筋に着目した研究がある。先行研究では、上肢を固定した状態で手先から発する力の方向と各筋肉の筋電位の同時測定を行い、先端で力を発する際に二関節筋と一関節筋がそれぞれの筋力を簡単に制御していることが示された。

これは手先位置から各関節の角度を求めて逆運動学を計算し、関節トルクを制御する従来のロボット工学と異なり、生体はもっと簡単な方法で運動を制御しているのではないかという分析につながっている。

本研究では、静止時の力特性の理論計算から、2 リンクの長さが等しい条件と基本動作である支点と先端を結ぶ方向への力を発することを考えたした場合に、一関節・二関節の協調的同時駆動が簡単な力制御の実現に役立っていることを証明した。また、壁を押したり垂直落下から着地するような、先端が支点から真っ直ぐに伸縮する運動に必要なトルクの理論計算を行った。力制御と同様にリンクの長さを等しくすると、運動に必要な各トルクの変数が高々二次の簡単なものであり、伸縮運動時のトルクの非線形性が簡単であることを示した。これより、力制御と運動制御を重ね合わせた伸縮運動の制御を提案し、実験を通じてその特性の評価と問題点の抽出を行った。

Research for motion control of a robot taking advantages of a bi-articular which is connected between adjacent two joints and rotates those joints simultaneously is advancing. It has been obvious from the previous research that force control at the tip point of an arm and a leg is defined by easy muscle force control. It is actualized by simple proportional distributed control.

This means that our life might not use a complex calculation like inverse kinematics using the information of the position of tips and each joint angles but use easy control like above proportional distributed actuator control.

In this research, it has been proven that cooperative simultaneous drive of mono- and bi-articular muscles of a human is useful for the force control of one direction which is a straight line between the supporting point and tip point, when each length of two link is same value. Furthermore, joint torques during the straight line stretching motion has taken into account.

It has been shown that the characteristics of rotational torques correspond to mono- and bi-articular muscles have easy nonlinearity based on quadratic functions of the valuable numbers. Finally, control system of a stretching motion using superposition of above force control and dynamic motion control has been proposed, and characterization and experimental extraction by experimental verification using test machine has been done.

10. 運動学的冗長性・筋冗長性を有するマニピュレータの特性解析と冗長自由度を最大限活用する運動制御

杉本 貴大

Characteristic analysis and motion control utilizing redundant degree of freedom of a manipulator with kinematic redundancy and actuatioin redundancy

Takahiro Sugimoto

ヒトを始めとする生物は膨大な数の関節を有しており、それに加え、それぞれの関節を複数の筋を協調させることで駆動させている。この意味で生物は運動学的冗長性、筋冗長性という 2 つの冗長性を有していると言える。生物はこれらの冗長性を生かして、様々な環境下でものを掴む、投げる、走るといった巧みな動作を実現していると考えられる。

本研究では、運動学的冗長性、筋冗長性を持つマニピュレータがどのような特徴を有しているのかを数理的に解明し、生物の筋配列の合理性を解明するとともに、これらの冗長性を利用した巧みな運動制御を行うことを目的としている。工学的にはマニピュレータの構造に冗長性を持たせ、マニピュレータの性能を向上させようとするものである。現在のところ，線形計画法を利用してマニピュレータの最大出力分布を求める方法を考案すると同時に、冗長自由度を有するマニピュレータの構造と信頼性との関係を定量的に評価する方法を導いた．これらの方法を用い，ヒト下肢が抗重力運動に優れた先端出力分布を有していることを示した。

Human beings not only have an enormous number of joints, but also drive one joint by many muscles. In this sense, human beings have kinematic redundancy and muscle redundancy. It could be due to these redundancies that we are able to realize various motions like grasp, throw and run dexterously. On the other hand, it is common for conventional robot manipulators to have not so many joints and drive one joint by one motor. But, there are some advantages of equiping industrial robot manipulators with kinematic

redundancy and muscle redundancy. The advantages are increasing the reliability, avoiding singular configurations, avoiding obstacles, minimizing the necessary energy and so on.

In our research, methods for maximizing output force and acceleration of a manipulator with kinematic and muscle redundancy by linear programming method and for calculating reliability of a redundant manipulator have been derived. And the maximum output force distribution and reliability distribution of a human lower leg have been calculated. Rationality of human lower leg is confirmed from these distributions.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] G. Patterson, T. Koseki, Y. Aoyama, K. Sako: “Simple Modeling and Prototype Experiments for a New High-Thrust Low-Speed Permanent-Magnet Disk Motor,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 47, No.1, pp. 65-71, (2011).

[2] 久野村健,古関 隆章: “複数の電力変換装置を用いた新幹線き電システムの交流電圧制御の安定性解析,” 電学論Ｄ, Vol.130, No. 4, pp.536-543 (2010).

国際会議論文

[3] Kouichi Sato, Jung-Seob Shin, Takafumi Koseki and Yasuaki Aoyama: “Basic Experiments for High-Torque, Low-Speed Permanent Magnet Synchronous Motor and a Technique for Reducing Cogging Torque,” International Conference on Electrical Machines, Roma, Italy, Sep 2010.

[4] Shin Jung-Seob, Takafumi Koseki, Geuk-Sub An, Kim Houng-Joong: “重力駆動形都市交通軌道交通の車両上昇駆動への円筒形永久磁石式リニア同期モータ応用 --低速、大推力直接駆動のための円筒形リニアモータの提案--,” 第 4 回 LRT 国際ワークショップ 2010,沖縄, (2010).

[5] Shin Jung-Seob, Takafumi Koseki, Kim Houng-Joong: “Proposal of a novel flux-concentrated type transverse flux cylindrical linear synchronous motor for high thrust,” The 6th IEEE International Magnetics Conference (Intermag 2011), AF-11, Taiwan, (2011).

[6] 中村太一,佐藤功一,古関隆章,青山康明: “コアキシャル形永久磁石同期機の低床式 LRV の車輪直接駆動への応用の可能性 - 弱め界磁を用いず速度制御範囲を広げる方法 - ,” 第 4 回 LRT 国際ワークショップ 2010,沖縄, (2010).

[7] T. Hara, Y. Takada,T. Koseki and Y. Nozaki: “Dual Sampling Rate Digital Signal Processing for Low Speed Vehicle Tests,” Comprail 2010, Beijin, Aug 31, Sep 2010.

[8] H. Fukusho, T. Sugimoto, T. Koseki: “Control of a Straight Line Motion for a Humanmoid Robot using Characteristics of Bi-Articular Simultaneous Drive and Machine Learning Control.” International Symposium on Application of Biomechanical Control Systems to Precision Engineering (ISAB 2010), pp. 163-169, 2010.

[9] T. Sugimoto, H. Fukusho, T. Koseki: “Calculaton of the Maximum Force Distribution of an Index Finger by using Linear Programming Method,” International Symposium on Application of Biomechanical Control

Systems to Precision Engineering (ISAB 2010), pp. 210-215, 2010.

[10] Takafumi Koseki: “Technical Trends of Railway Traction in the World,” International Conference on Power Electronics, pp. 2836-2841, Sapporo, June 2010 (invited).

[11] Takafumi Koseki and Houng-Joong Kim: “Electromagnetic Actuators as Artificial Muscles for a Robotic Motion ---Advantages and Limitations---,” Proceedings of International Symposium on Application of Biomechanical Control System to Precision Engineering (ISAB 2010), 6 pages, July 2010, Onahama, Japan (2010).

総説・解説論文

[12] Takafumi Koseki: “Introduction: Innovations in Railway Power Supply System,” The Journal of The Institute of Electrical Engineers of Japan, Vol.130, No.8, pp.524-525 (2010).

[13] 古関隆章: “総論,” 電気学会誌, Vol. 130, No. 8, pp.524-525 (2010).

[14] 古関隆章: “LRT と公共交通･都市交通についての課題,” 鉄道車両と技術 No. 171 特集 LRT Workshop 2010, pp. 2-7 (2010).

シンポジウム・研究会・大会等発表

[15] 千種健二, 佐藤圭介, 古関隆章: “数理計画法に基づく旅客の観点から見た異常時列車運行計画の最適化,” 交通・電気鉄道研究会, TER-10-057, (2010).

[16] 千種健二, 佐藤圭介, 古関隆章: “数理計画法に基づく旅客を考慮した異常時列車運行計画の最適化,” 第 17 回鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail2010), (2010).

[17] 福地正樹, 古関隆章: “複々線区間における折り返しを考慮した列車運行シミュレーションと乗客流解析,” 電気学会交通・電気鉄道研究会 TER-10-049, pp.39-44, (2010).

[18] 福地正樹, 古関隆章: “高密度運行の複々線区間における折り返しを考慮した運転整理,” 電気学会電気鉄道・ＩＴＳ合同研究会 TER-10-058・ITS-10-049, pp.39-44, (2010).

[19] 福地正樹, 古関隆章: “高密度運行の複々線区間における上り下りの干渉を考慮した運転整理,” 第 17 回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2010), S5-2-5, pp.519-523 (2010).

[20] 福地正樹, 古関隆章: “高密度運行の複々線区間における列車順序変更法の提案,” 電気学会全国大会,vol.3, pp.137-138, (2010).

[21] 佐藤功一, 古関隆章, 青山康明: “低速・大トルク永久磁石形同期電動機の設計と評価,” 平成 22 年電気学会研究会　回転機研究会, RM-10-147, pp.79-84, 北見, (2010).

[22] 早山和弥、古関隆章: “都市交通用車上一次側リニア誘導モータの二次導侠断面、鉄心の実装方法が電動機特性に与える影響の解析,” 電気学会 交通・電気鉄道研究会,TER-10-048, (2010).

[23] 申 重燮, 古関隆章, 金 弘中: “横磁束形円筒リニア同期モータの設計と磁束集中形界磁による大推力化の提案,” 平成 22 年電気学会リニアドライブ研究会 2010, LD-10-060,東京, (2010).

[24] 中村太一, シンジュンソブ, 古関隆章: “永久磁石形リニア同期モータにおける 8 磁石 9 極配置のギャップ磁束密度の空間高調波分析,” 平成 22 年電気学会全国大会, 2011.

[25] 原崇文, 槻木澤佑公, 古関隆章, 村端章浩, 岡山秀夫: “電気車における推定接線力, すべり速度情報を活用した再粘着制御,” 電気学会交通･電気鉄道研究会 TER-10-38 (2010).

[26] 原崇文, 槻木澤佑公, 古関隆章: “超過角運動量に着目した空転再粘着制御,” NU-Rail, 2011.

[27] 古関隆章, 福正博之,杉本貴大: “ロボット四肢の運動制御で二関節筋の機能を考慮する工学的意義-技術者にとって冗長性に加え体が良いのか?,” ロボット学会学術講演会, 1P1-1 / 基調講演 (2010).

[28] Takafumi Koseki, Hiroyuki Fukusho, and Takahiro Sugimoto: “Engineering Significance of Functions of Bi-Articular Muscles in Motion Controls of Robotic Arms and Legs -What is advantageous for engineers?-,” 日本光学会学術講演会, Global COE Symposium: Secure Life Electronics, 4 pages, The University of Tokyo, December 2010.

[29] 古関隆章: “鉄道・輸送分野におけるリニアドライブ技術の現状,” 2010 年度電気学会全国大会、大阪, シンポジウム：S19-5 (2010).

馬場研究室
Baba Laboratory

(http://www.asc.t.u-tokyo.ac.jp)

研究現況
Current Research Projects

1. マイクログリッド制御高度化に関する研究

馬場旬平・下田英介・河内駿介・萩原裕人・森昭斗

Studies on Advanced Control Method for Micro Grid Power System

J.BABA, E.SHIMODA, S.KAWACHI, H.HAGIWARA and A.MORI

マイクログリッドは複数の分散型電源と負荷を有する小規模電力系統である。マイクログリッドにおける最も挑戦的な課題は既存の系統から自立して運転している場合においても高品質な電力を供給する手法の確立である。本研究室では複数種類の分散型電源を統合的に制御することにより負荷変動を補償する手法、及び、分散型電源と負荷が母線に混在する場合における負荷総量推定手法を提案している。現実的なシステムを構築するには時間遅れを考慮した制御手法の確立が必須である。そこで電力応答特性の良い一部の分散型電源にローカル制御を組み合わせ、統合制御に時間遅れが存在する場合においても高品質電力供給が可能となるような制御系を提案し、実証試験の結果、自立運転時においても高い電力品質の電力供給が可能であることが証明され、これらの手法の有効性が確認された。更にシステムの高度化を目指し、マイクログリッドの運用に必須と考えられる。エネルギー貯蔵装置の SoC(State of Charge)制御手法についても検討し、より少ない設備容量でも同等の機能を得る手法を提案・実証した。更に容量削減を目指し、空調用ヒートポンプによる電力変動補償の可能性についても検討を進めた。

Micro grid is a small electric power system that consists of several distributed generation systems (DGs) and loads. The most challenging issue about micro grid is to establish the method to supply high quality electricity in case of islanding operation. Two DG operation methods have been proposed by our laboratory; the integrated DG control method to compensate load power fluctuation and the demand estimation method when loads and DGs are penetrated to a grid. The proposed method should be improved to be able to respond the time delay. Then, it is proposed to introduce a local control method for a DG whose power response is the fastest of all to realize a high quality power supply even when there are the control and communication time delay of the integrated control. To establish more advanced micro grid system, the SoC (State of Charge) control methods for energy storage system that will be essential for micro grids have also been developed and it has been shown that fewer power/energy capacity of ESS are needed to realize almost same function by use of proposed method. To reduce more ESS capacity, feasibility study on fluctuated power compensation method by use of heat pumps has been started.

2. 超電導故障電流限流器に関する研究

馬場旬平・森政人・服部圭佑

Studies on Superconducting Fault Current Limiter

J.BABA, M.MORI and K.HATTORI

定常時に低インピーダンスで故障時に高インピーダンスとなる超電導故障電流限流器は電力系統での活躍が期待されている。これまで、金属系の動作電流調整可能な限流器を開発し、優れた動作を実験的・理論的に示してきた。この唯一の欠点は、保護区間外のサージにより誤動作する点にある。この欠点のない限流器を構築すべく、2 種類の限流器(変圧器型、抵抗型)を開発中である。特に YBCO 薄膜の適用について着目して研究を進めており、特性が異なる薄膜の直並列接続手法、及び、薄膜の I-V 特性の工学的モデルの構築を進め、限流器設計への適用を目指している。また工学的モデル構築のため薄膜の過電流通電時における電圧・熱発生の二次元分布を計測している。

Superconducting fault current limiters (SFCLs) which are of low impedance in steady states and of high impedance at fault conditions are expected to be used in power systems. SFCLs by use of metal superconductors have been developed. Experimental and theoretical results show that they have very good characteristics. They, however, have only one weak point, that is, they operate incorrectly due to surge current generated at non-protection zone. 2 kinds of SFCLs (transformer type and resistive type) without such a weak point have been being developed. Application of YBCO thin film for those SFCLs has been studied. Designing method for parallel - series connection of uninformed YBCO thin films and the I-V characteristics model of YBCO thin film have been developed to apply the SFCL design. 2 Dimensional voltage and temperature distributions on YBCO thin film at S/N transition period have been measured to build and verify the I-V characteristics model.

3. 離島系統の安定化に関する研究

馬場旬平・今中政輝・恩田祐輔

Studies on Stabilization of Island Power Systems

J.BABA, M.IMANAKA and Y.ONDA

再生可能エネルギー電源が離島独立系統に導入されつつある。しかし再生可能エネルギー電源からの出力変動は、離島独立系統において補償することは困難である。その結果、電力品質問題が離島系統への再生可能エネルギー電源導入にあたっての深刻な問題になっている。十分な電力および電力量容量を持ったエネルギー貯蔵装置を導入すれば電力品質問題を解決することができるが、エネルギー貯蔵装置はまだ高コストである。ここでは、再生可能エネルギー電源による出力変動を補償するため

に、可制御負荷として海水淡水化装置を活用することを提案し、制御方法について議論している。電力変換装置を用いることで、海水淡水化装置の消費電力制御が十分な精度と応答速度で実現しうることを示し、また、消費電力制御可能範囲を逆浸透膜より決定される制約条件より明らかにした。

Renewable energy sources are being installed into isolated islands. Power fluctuation caused by them, however, is difficult to be compensated in isolated island power systems. As a result, the power quality problem is an important issue in the island systems with renewable energy sources. If energy storage systems that have enough power and energy capacity are installed in the system, this problem will be overcome. They, however, are still quite expensive. In this paper, the use of a seawater desalination system as a controllable load is proposed to compensate the power fluctuation of renewable energy sources, and control methods are discussed. With a power converter, it has been shown that the power consumption of the system can be controlled with enough accuracy and response speed. The relation between the power controllable range of a seawater desalination system and the constraint determined by the reverse osmosis membrane has been found.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 酒井重和, 林泰弘, 川﨑章司, 松木純也, 馬場旬平, 横山明彦, 北條昌秀, 若尾真治, 森健二郎, 不破由晃, 分散型電源連系課題解決支援実験システム(ANSWER)の構築と分散型電源と配電ネットワークの協調運用形態の実証検証,電気学会論文誌 B(電力・エネルギー部門誌), Vol. 130, No.5, pp. 473-483 (2010)

国際会議論文

[2] Y. Ota, H. Taniguchi, T. Nakajima, K. M. Liyanage, K. Shimizu, T, Masuta, J. Baba, A. Yokoyama, Autonomous Distributed Vehicle-to-Grid for Ubiquitous Power Grid and its Effect as a Spinning Reserve, 16th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2010), Busan Korea (2010)

[3] M. Imanaka, Y. Onda, T. Yoshihara, J. Baba and A. Yokoyama, Feasibility Study on Compensation of Power Fluctuation Caused by Renewable Energy Source Using Desalination System in Island Power System, 16th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2010), Busan Korea (2010)

[4] T. Yoshihara, A. Yokoyama, M. Imanaka, Y. Onda and J. Baba, Contribution to Frequency Regulating Capacity by Input Power Control of Seawater Desalination Plant in Island Power System, 16th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2010), Busan Korea (2010)

[5] M. Mori, H. Nishioka, J. Baba, T. Nitta, T. Kumagai and M. Shibuya, 2 Dimensional Voltage Distribution Measurement of YBCO Thin Film during S/N Transition, 16th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2010), Busan Korea (2010)

[6] M. Mori, H. Nishioka, J. Baba, T. Nitta, T. Kumagai and M. Shibuya, 2 Dimensional Voltage Distribution Measurement of YBCO Thin Film during S/N Transition, 16th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2010), Busan Korea (2010)

[7] S. Kawachi, J. Baba, H. Hagiwara E. Shimoda, S. Numata, E. Masada and T. Nitta, Energy Capacity Reduction of Energy Storage System in Microgrid by Use of Heat Pump-Characteristic Study by Use of Actual Machine-, 14th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2010), pp. T11-52--T11-58, Ohrid, Republic of Macedonia (2010)

シンポジウム・研究会・大会等発表

[8] 小田さや香, 白井康之, 野田翔, 馬場旬平, 西岡英祥, 森政人, 巻き戻し構造をもつ変圧器型超電導限流器の模擬系統における限流特性解析, 電気学会超電導応用電力機器研究会, ASC-10-021, pp.25-29, 福岡 (2010)

[9] 吉原徹, 横山明彦, 今中政輝, 恩田祐輔, 馬場旬平, 風力発電導入時の離島系統における海水淡水化装置を用いた需給調整容量拡大手法, 平成 22 年度電気学会　電力・エネルギー部門大会論文集, 九州大学 (2010)

[10] 太田　豊・谷口治人・中島達人・Liyanage Kithsiri・清水浩一郎・益田泰輔・馬場旬平・横山明彦, ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの周波数制御への効果, 平成 22 年度電気学会　電力・エネルギー部門大会論文集, 九州大学 (2010)

[11] 太田 豊, 谷口治人, 中島達人, キッシリリヤナゲ, 馬場旬平, 横山明彦, ユビキタスパワーネットワークにおけるプラグアンドプレイ V2G (Vehicle-to-Grid), 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, PE-10-99/PSE-10-98, pp.71-75, 広島 (2010)

[12] 吉原 徹, 今中政輝, 恩田祐輔, 馬場旬平, 横山明彦, 國場裕介, 比嘉直人, 安里貞夫, 再生可能エネルギー電源大量導入時の余剰電力解消のための蓄電池容量算出手法, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, PE-10-182/PSE-10-181, pp.101-105, 広島 (2010)

[13] 下田英介, 沼田茂生, 馬場旬平, 正田英介, マイクログリッド自立運転時の電力品質に対する建物機器の感受性評価,平成 22 年度電気学会　電力・エネルギー部門大会論文集, 九州大学, pp. 24.1-24.2, 福岡 (2010)

[14] 萩原裕人, 河内駿介, 馬場旬平, 沼田茂生, 下田英介, 古川慧, 正田英介, 仁田旦三, 電力変動保障制御を目的とした空調用ヒートポンプのモデル化, 電気学会電力技術研究会　PSE-11-001～017, pp13-18, 北海道 (2011)

[15] 馬場旬平, 横山明彦, 國場裕介, 比嘉直人, 安里貞夫, 吉原徹, 今中政輝, 恩田祐輔, 小規模離島系統における海水淡水化装置を利用した系統安定化検討, 電気学会　電力技術・電力系統技術・半導体電力変換研究会, PE-11-005/PSE-11-022/SPC-11-059, p. 25-30, 沖縄 (2011)

[16] 吉原徹, 横山明彦, 今中政輝, 恩田祐輔, 馬場旬平, 國場裕介, 比嘉直人, 安里貞夫, 小規模離島系統における貯水量制約を考慮した海水淡水化装置制御による需給調整容量拡大手法, 電気学会　電力技術・電力系統技術・半導体電力変換 研究会, PE-11-028/PSE-11-045/SPC-11-082, pp. 31-36, 沖縄 (2011)

[17] 今中政輝, 電気学会　電力技術・電力系統技術・半導体電力変換　研究会, PE-11-006/PSE-11-023/SPC-11-060, pp. 37-42, 沖縄 (2011)

[18] 浅野浩志, 馬場旬平, スマートグリッドに関連する電力･エネルギー部門(B 部門)の活動, 電気学会全国大会シンポジウム講演論文集, 第 1 分冊, 1-H5-3, pp. H5(7)-H5(10), 大阪 (2011)

[19] 吉原徹, 横山明彦, 今中政輝, 恩田祐輔, 馬場旬平, 國場裕介, 比嘉直人, 安里貞夫, 貯水量制約を考慮した離島系統における海水淡水化装置を用いた需給調整容量拡大手法, 電気学会全国大会講演論文集, 6-089, 第 6 分冊, pp.155-156, 大阪 (2011)

[20] 太田豊, 谷口治人, 中島達人, 馬場旬平, 横山明彦, リチウムイオン電池のモデリングについての基礎的考察, 電気学会全国大会講演論文集, 6-132, 第 6 分冊, p.235, 大阪 (2011)

[21] 江川光, 今中政輝, 吉原徹, 恩田祐輔, 馬場旬平, 辻田伸介, 進士誉夫, 発電用内燃機関の運転特性を考慮した運用手法に関する基礎検討, 電気学会全国大会講演論文集, 6-171, 第 6 分冊, pp.309-310, 大阪 (2011)

[22] 河内駿介, 萩原裕人, 馬場旬平, 沼田茂生, 下田英介, 古川慧, 正田英介, 仁田旦三, 可制御負荷としてのヒートポンプの応答速度とエネルギー貯蔵装置の必要容量に関する検討, 電気学会全国大会講演論文集, 6-186, 第 6 分冊, pp.336-337, 大阪 (2011)

[23] 萩原裕人, 河内駿介, 馬場旬平, 沼田茂生, 下田英介, 古川慧, 正田英介, 仁田旦三, 電力変動補償に用いるヒートポンプのモデル化および室温変化の数値計算, 電気学会全国大会講演論文集, 6-187, 第 6 分冊, pp.338-339, 大阪 (2011)

[24] 恩田祐輔, 今中政輝, 吉原徹, 馬場旬平, 横山明彦, 國場裕介, 比嘉直人, 安里貞夫, 可制御負荷としての海水淡水化装置の消費電力制御に関する応答速度の検討, 電気学会全国大会講演論文集, 6-195, 第 6 分冊, pp.354-355, 大阪 (2011)

谷口研究室
Taniguchi Laboratory

(http://www.apet.t.u-tokyo.ac.jp/kenkyu_taniguchi.html)

研究現況
Current Research Projects

1. 電力系統と分散電源の協調運転に関する研究

谷口 治人・横山 明彦・馬場 旬平・太田 豊

Study on Coordination between Power System Operation and Dispersed Generation

H. Taniguchi, A. Yokoyama, J. Baba, and Y. Ota

風力発電，太陽光発電，バイオマス発電をはじめとする再生可能エネルギー利用の分散電源の導入が促進する中，電力系統への影響把握と，その影響を分散型電源自身が緩和する方策が求められている。電力系統と分散電源の協調運転により，電力系統に高い信頼度，ロバスト性をもたらす道を探り，将来のシステムの姿について検討する。

While the renewable generation such as wind power generation, PV generation and biomass generation are promoted to be introduced, understanding those effects to power system and developing the mitigation method by those generation themselves are becoming very important. The objective of this study is to investigate the future figure to bring higher reliability and robustness through coordination between power system operation and dispersed generation.

2. 系統構成と信頼度に関する基礎研究

谷口 治人・中島 達人
K. M. Liyanage・太田 豊

Fundamental Study on Power System Configuration and Reliability

H. Taniguchi, T. Nakajima, K. M. Liyanage, and Y. Ota

電力系統の擾乱に対する強靭さはその系統構成によっても影響を受ける。放射状とメッシュ状の単純な系統構成例を用い、送電線の送電容量により事故が波及していくことを考慮し、停電の発生の観点から信頼度を比較し両者の特徴を明らかとした。

The resilience of power system is affected by its system configuration. The features of radial and mesh network were clarified by fundamental study on power system reliability considering cascading of faults by excess of transmission limit.

3. 太陽光発電大量導入時の過渡安定度に関する基礎研究

坂本 尚也・千貫 智幸・谷口 治人
中島 達人・K. M. Liyanage・太田 豊

Transient Stability Study under Large Penetration of PV Generation

太陽光発電（PV）の大量導入は、電力系統の過渡安定度へ影響を与える。この影響を，一機無限大母線系統を対象に、P-δカーブを用いた等面積法やシミュレーションによって明らかとした。

また、多数の PV が導入された二次系統を、精度を保って縮約する手法の開発に取り組んでいる。

Large penetration of PV may affect transient stability. The effects were clarified by using an equal area criterion of P-δ curves and time domain simulations applied to the one machine to infinite bus model.

The precise aggregation methods of secondary power system with many PVs are being investigated.

4. 再生可能エネルギーシステムへの直流超電導ケーブル適用可能性の検討

谷口 治人・中島 達人

Feasibility Study on Superconducting DC Cables for Power Transmission from Renewable Energy

H. TANIGUCHI and T. NAKAJIMA

太陽光発電，風力発電などの再生可能エネルギー電源からの送電における，直流超電導ケーブルの適用可能性を検討している。ウィンドファームのデータに基づき，必要となる交直変換器や直流超電導ケーブルなどのシステム構成や，電圧，電流条件についてケーススタディを行っている。システム構成の最適化，従来ケーブルとの損失比較などについて検討を進めている。

In this research, feasibility studies on superconducting (SC) DC cable for power transmission from renewable energy generation sources are being conducted. Case studies on the system configuration including wind turbine generators, AC/DC static converters, and SC cables are being carried out, based on existing wind farm data. The research also covers optimization of the system configuration, and power loss evaluation of superconducting DC cable transmission system.

5. 電力系統用自励式交直変換器に関する研究

中島 達人

Research on High-Power Voltage Source AC/DC Converters for Power Network Applications

T. NAKAJIMA

本研究では，電力系統用自励式交直変換器として66kV 特別高圧系統に連系された自励式無効電力補償装置(STATCOM)を対象に，①変換器内部事故時の過電流とヒューズの時限協調，②系統電圧の制御性能，④送電線事故時の応答性能について解析および分析を行っている。

In this research, simulation studies on high-power voltage source AC/ DC converters for power network applications are being conducted. As the voltage source converter, a static synchronous compensator (STATCOM) connected to a 66kV high voltage transmission line is analyzed. The research

includes the simulation studies on (1) time coordination of overcurrents and high-speed power fuses, (3) system voltage control performances of STATCOM, (4) transient operating performances in the event of transmission line faults.

6. スマートグリッドにおける電気自動車のV2G (Vehicle-to-Grid)に関する研究

太田 豊・谷口 治人・中島 達人
K. M. Liyanage・馬場旬平・横山明彦

Research about V2G (Vehicle-to-Grid) of Electric Vehicle on Smart Grid Concept

Y. Ota, H. Taniguchi, T. Nakajima
K. M. Liyanage, J. Baba, and A. Yokoyama

電気自動車の Smart Charging の次には，充放電が可能な蓄電池として活用する V2G (Vehicle-to-Grid)が，スマートグリッドのコア技術として期待されている。本研究では、ユーザの充電要求を満たしたうえで、太陽光・風力発電の自然変動による影響を電力系統全体で緩和する V2G 制御を提案した。この制御が電力系統の周波数制御に与える影響や、実装方法について研究を進めている。

In the next step following smart charging, bi-directional V2G (Vehicle-to-Grid), which is equivalent to stationary battery energy storage, is expected as one of the key technology for smart grids. We proposed a new V2G control scheme for mitigating the effects of intermittent renewable energy sources in whole power system with satisfying the charging request of each electric vehicle. Study on the effects to the power system frequency control and implementation of the proposed V2G control is being investigated.

7. スマートグリッドの運用のための制御戦略に関する研究

K. M. Liyanage・横山明彦・太田 豊
中島 達人・谷口 治人

Control Strategies for the Operation of Smart Grids

K. M. Liyanage, A. Yokoyama, Y. Ota,
T. Nakajima, and H. Taniguchi

再生可能エネルギー電源のランダムで断続的な出力特性に対し、電力系統の信頼度を維持する制御戦略は不可欠である。本研究では、種々の制御対象間をリアルタイムで情報交換できる通信技術を使った新しい制御戦略を開発する。これにより、連系線電力変動や周波数変動を抑制する。

Employing new control strategies for system operation is becoming inevitable to ensure the reliable operation of future power systems due to the random and intermittent nature of renewable generation. The research activities under this theme is expected to develop new control strategies that rely on the capabilities of modern communication technologies' to exchange information near real-time among various controllable devices. Information gathered is used to maintain reasonably smooth power and frequency fluctuations which are, without any controls, could be very severe.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 太田豊，谷口治人，中島達人，Kithsiri M.Liyanage, 馬場旬平, 横山明彦:「ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの提案－電気自動車の自律分散型Vehicle-to-Grid－」，電気学会論文誌B, Vol.130, No.11, pp.989-994 (2010-11)

[2] 太田豊，谷口治人，中島達人，Kithsiri M.Liyanage, 清水浩一郎，益田泰輔，馬場旬平，横山明彦:「ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの周波数制御への効果」，電気学会論文誌B, Vol.131, No.1, pp.94-100 (2011-1)

[3] Kithsiri M.Liyanage, Taisuke Masuta, Koichiro Shimizu, Hiroyuki Kihara, Aihiko Yokoyama, Yutaka Ota, Tatsuhito Nakajima, and Haruhito Taniguchi,

"Performance Analysis of Ubiquitous Power Systems under Coordinated Control of System Elements", Journal of International Council on Electrical Engineering (JICEE), Vol.1, No.1, pp.67-73 (2011-1)

国際会議論文

[4] Koichiro Shimizu, Taisuke Masuta, Yutaka Ota, Kithsiri M.Liyanage and Akihiko Yokoyama: "System Frequency Control Using Electric Vehicles in Power System with a large Penetration of Renewable Energy Sources", International Conference on Electrical Engineering 2010,11-14 July, 2010, Busan, Korea

[5] Hiroyuki Kihara, Akihiko Yokoyama, Kithsiri M.Liyanage and Hisato Sakuma: "Optimal Placement and Control BESS for a Distribution System Integrated with PV Systems", International Conference on Electrical Engineering 2010, 11-14 July, 2010, Busan, Korea

[6] Koichiro Shimizu, Taisuke Masuta, Yutaka Ota and Akihiko Yokoyama: "Load Frequency Control in Power System Using Vehicle-to-Grid System Considering the Customer Convenience of Electric Vehicles", International Conference on Power System Technology, POWERCON, 24-28 Oct., 2010, Hangzhou, China

[7] Kithsiri M.Liyanage, Taisuke Masuta, Koichiro Shimizu, Hiroyuki Kihara, Akihiko Yokoyama, Yutaka Ota, Tatsuhito Nakajima and Haruhito Taniguchi: "Performance Analysis Ubiquitaous Power Systems under Coordinated Control of System Elements", International Conference on Electrical Engineering 2010, 11-14 July, 2010, Busan, Korea

[8] Yutaka Ota, Haruhito Taniguchi, Tatsuhito Nakajima, Kithsiri M.Liyanage, Koichiro Shimizu, T.aisuke Masuta, Jumpei Baba and Akihiko Yokoyama: "Autonomous Distributed Vehicle-to-Grid for Ubiquitous Power Grid and its Effect as a Spinning Reserve", International Conference on Electrical Engineering 2010, 11-14 July, 2010, Busan, Korea

[9] Kithsiri M.Liyanage, Akihiko Yokoyama, Yutaka Ota, Tatsuhito Nakajima and Haruhito Taniguchi: "Evaluating the Impact of Battery Energy Storage Systems Capacity on the Performance of Coordinated Control of Elements in Ubiquitous Power Networks", 2010 5th International Conference on Industrial and Information Systems, ICIIS 2010, Jul 29-Aug 01, 2010, India

[10] Yutaka Ota, Haruhito Taniguchi, Tatsuhito Nakajima, Kithsiri M.Liyanage, Koichiro Shimizu, Taisuke Masuta, Jumpei Baba and Akihiko Yokoyama: "Effect of Autonomous Distributed Vehicle-to-Grid (V2G) on Power System Frequency Control", 2010 5th International Conference on Industrial and Information Systems, ICIIS 2010, Jul 29-Aug 01, 2010, India

[11] Kithsiri M.Liyanage, Akihiko Yokoyama, Yutaka Ota, Tatsuhito Nakajima and Haruhito Taniguchi: "Impact of Communication Delay on the Performance of a Control Scheme to Minimize Power Fluctuations Introduced by Renewable Generation under Varying V2G Vehicle Pool Size", 2010 1st IEEE Conference on Smart Grid Communications (Smart Grid Comm 2010), 4-6 Oct., 2010, Gaithersburg, MD, USA

[12] Yutaka Ota, Haruhito Taniguchi, Tatsuhito Nakajima, Kithsiri M.Liyanage, Jumpei Baba and Akihiko Yokoyama: "Autonomous Distributed V2G (Vehicle-to-Grid) considering Charging Request and Battery Condition", The first IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT) in Europe, October11-13, 2010, Gothenburg, Sweden

[13] Haruhito Taniguchi, Tatsuhito Nakajima, Yutaka Ota, Naoya Sakamoto, Kithsiri M.Liyanage, Jumpei Baba and Akihiko Yokoyama: "Ubiquitous Power Grid -Integrating Renewable Energy Sources and Electric Vehicles into Power Grid -", Proceedings of Global COE Symposium on Secure-Life Electronics, University of Tokyo (2010-11)

著書

[14] 谷口治人 :「パワーエレクトロニクスハンドブック」, オーム社, pp.147-162, 165-171 (2010)

総説・解説論文

[15] 谷口治人:「電力システム解析－モデリングとシミュレーション解析－」,電気学会電力エネルギー部門誌, Vol.130, No.8, pp.715-718 (2010-08)

[16] 太田豊：「V2G(Vehicle to Grid)の基本概念と課題」, エネルギーと動力　特集号　「自動車の電動化と関連インフラの将来」, pp.101-108 (2011-02)

シンポジウム・研究会・大会等発表

[17] 清水浩一郎, 益田泰輔, 太田豊, 横山明彦:「ユビキタスパワーネットワークにおける電気自動車の使用者利便性を考慮したV2G周波数制御」, 平成22年電気学会電力エネルギー部門大会, No.4 (2010-8)

[18] 清水浩一郎, 益田泰輔, 太田豊, 横山明彦:「系統周波数制御のための多数台の電気自動車のモデリング」, 電気学会電力技術･電力系統技術合同研究会 (2010-9)

[19] 清水浩一郎, 太田豊, 横山明彦:「系統周波数制御のための多数台の電気自動車のSOC同期制御」, 電気学会電力系統技術研究会 (2011-1)

[20] 清水浩一郎, 益田泰輔, 太田豊, 横山明彦:「SOC同期制御における電気自動車群のSOC同期効果」, 平成23年電気学会全国大会, pp.293-294 (2011-3)

[21] 太田豊, 谷口治人, 中島達人, Kithsiri M.Liyanage, 清水浩一郎, 益田泰輔, 馬場旬平,横山明彦:「ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの周波数制御への効果」, 平成22年電気学会電力エネルギー部門大会, No.48 (2010-8)

[22] K.M.Liyanage, Akihiko Yokoyama, Yutaka Ota, Tatsuhito Nakajima and Haruhito Taniguchi: "Performance analysis of CoordinatedControl of Elements in Ubiquitous Power Networks with Controllable Loads Having Limited Energy Capacity", 平成22年電気学会電力エネルギー部門大会, No.47 (2010-8)

[23] 坂本尚也, 谷口治人, 太田豊, 中島達人, Kithsiri M.Liyanage:「太陽光発電大量導入時の一機無限大母線系統の過渡安定度－電流源表現の場合－」, 平成22年電気学会電力・エネルギー部門大会 (2010-09)

[24] 坂本尚也, 谷口治人, 太田豊, 中島達人, Kithsiri M.Liyanage:「太陽光発電大量導入時の一機無限大母線系統の過渡安定度解析－等面積法による考察－」, 電気学会電力技術･電力系統技術合同研究会, PE-10-113 PSE-10-112 (2010-09)

[25] 谷口治人, 太田豊, 中島達人, Kithsiri M.Liyanage:「放射状系統とメッシュ状系統の信頼度－地域内電源と負荷のバランスの影響－」, 電気学会電力技術･電力系統技術合同研究会, PE-10-135/PSE-10-134 (2010-09)

[26] 太田豊, 谷口治人, 中島達人, キッシリ･リヤナゲ, 馬場旬平, 横山明彦:「ユビキタスパワーネットワークにおけるプラグアンドプレイ　V2G (Vehicle-to-Grid)」, 電気学会電力技術･電力系統技術合同研究会 (2010-9)

[27] 中島達人, 日髙邦彦, 横山明彦, 谷口治人, 池田久利, 太田豊:「電力エネルギー技術の大学教育研究への新しい試み -東京大学のケース-」, 電気学会電力技術･電力系統技術合同研究会 (2010-9)

[28] 坂本尚也, 谷口治人, 太田豊, 中島達人:「負荷の影響を考慮した太陽光発電大量導入時の一機無限大母線系統の過渡安定度解析」, 電気学会電力系統技術研究会, PSE-11-013 (2011-01)

[29] 太田豊, 谷口治人, 中島達人, 馬場旬平, 横山明彦:「リチウムイオン電池のモデリングについての基礎的考察」, No.6-132, 平成23年電気学会全国大会, p.235 (2011-3)

[30] 坂本尚也, 谷口治人, 太田豊, 中島達人:「太陽光発電大量導入時の一機無限大母線系統の過渡安定度解析」, 電気学会電力技術/電力系統技術/半導体電力変換合同研究会, PE-11-023/PSE-11-040/SPC-11-077 (2011-03)

[31] 坂本尚也, 谷口治人, 太田豊, 中島達人:「同期機詳細モデルを考慮した太陽光発電大量導入時の一機無限大母線系統の過渡安定度解析」, No.6-100, 電気学全国大会 (2011-03)

[32] 千貫智幸, 谷口治人, 中島達人, 太田豊, 坂本尚也:「太陽光発電が大量導入された配電系統の縮約に関する一考察」, No.6-044, 電気学会全国大会 (2011-03)

その他

[33] 太田豊:「充電インフラの核となるVehicle to Grid」, Automotive Technology Days 2010 summer, 5/31 (2010)

[34] 谷口治人:「電気エネルギー」, 東京大学部工学部広報室主催 「低炭素社会実現に向けた工学の挑戦」 6/1 (2010)

[35] 谷口治人:「スマートグリッドとは何か？－その必要性と太陽光発電大量導入時の系統対応」, 技術総合誌OHM, Vol.97, No.7 (2010-07)

[36] Haruhito Taniguchi: "Measures for Accommodating Large Penetration of PV Generation in Japanese Smart Grid", Plenary Talk #3, Fifth International Conference on Industrial & Information Systems (ICIIS2010), Mangalore, India, July 31, 2010

[37] 谷口治人:「低炭素社会へ向けた分散電源の活用」, 九州パワーアカデミー第1回産学連携フェスタ 特別講演, 8/29 (2010)

[38] 中島達人：「東京大学先端電力エネルギー・環境技術教育研究センター(APET)」, エネルギー・資源, Vol.32, No.1, pp.66 (2011-01)

[39] 谷口治人:「ユビキタスパワーネットワーク」, 東京大学産学連携協議会 科学技術交流フォーラム 第

20回「サイバーフィジカル情報革命」 ホリスティクセンサーからの情報爆発を価値創造に価値創造に結びつける次世代ITインフラ, 1/13 (2011)

[40] 谷口治人:「将来の蓄電技術への期待」, JST/CRDS科学技術未来戦略ワークショップ, 1/27 (2011)

[41] 谷口治人:「スマートグリッドの今〜東京大学APETでの取り組み」, 電気学会東京支部 学生員委員会主催講演会, 2/5 (2011)

藤本研究室
Fujimoto Laboratory

(http://www. fujilab.k.u-tokyo.ac.jp/)

研究現況
Current Research Projects

1. AFMとステージのナノスケールサーボ制御

藤本　博志・白石　貴行・朱　洪忠・関　優志・竹村　征・徳山　享大・佐野　貴章・浅野　弘一郎

Nanoscale servo control for AFM and Stage

H. Fujimoto, T. Shiraishi H. Zhu, Y Seki, T. K. Takemura, T. Sano, and K. Asano

原子間力顕微鏡(AFM)とはナノスケールの針とフィードバック技術により物体表面を測定する装置であり，その高速高精度化の研究を行っている。従来数分間かかっていた測定を数 10 倍高速化する理論を開発し，2009 年には製品適用されている。今後は，サブナノスケール・原子レベルの高性能制御の夢を実現させ，医療や材料分野へのナノスケールサーボ技術の貢献に挑戦したいと考えている。

また，史上最も精密な機械と呼ばれる露光装置（ステッパ・スキャナ）の先行研究として，産業界に先駆け世界最高性能の多自由度ナノステージを製作し，その制御系の研究開発を行っている。

さらにマザーマシンとよばれる NC 工作機械やハードディスク装置に適用可能な，実用的な高速高精度制御系の開発にも取り組んでいる。

We are developing high-speed high-precision control for atomic force microscopes (AFMs). Conventional AFMs required several minutes to detect a nanoscale image, while the proposed control algorithm enables ten-times faster measurement. This algorithm has already been implemented in a commercial product. In the future, we will contribute to medical and material science by using our nanoscale servo technologies.

Moreover, we are researching nanoscale servo control on multi-degree-of-freedom high-precision stages. A possible application area is the scan-stage of the lithography process of liquid crystal displays and semi-conductors and ball-screw stage for NC Machine Tools.

Head-positioning control of next-generation hard disk drives is also being developed. In the future, we will challenge novel data storages by using new principles.

2. 電気自動車の運動制御

藤本　博志・宮島　孝幸・江上　奨・角谷　勇人・天田　順也・兼松　正人

Motion control for electric vehicle

H. Fujimoto, T. Miyajima, S. Egami, H. Sumiya, J. Amada and M. Kanematsu

近年，環境・エネルギー問題の対策としてプラグインハイブリッド車や電気自動車が注目されているが，我々の視点はその先の「制御技術」にある。モータの制御応答はエンジンよりも 100 倍程度速いことから，高速なフィードバック制御をかけることができ，例えば雪道のような低μ路でも安定に走行する自動車を作る事ができる。また電流値から路面状態を正確に推定することも可能。究極的な制御性能を追求するために，4 輪にインホイールモータや横力センサ，アクティブ 4 輪操舵システムを搭載した世界で唯一の電気自動車を開発し，その成果は論文のみならず各種報道でも紹介されている。最近は，最適な制駆動力配分・操舵制御や回生ブレーキ制御による航続距離延長制御システム(RECS)の研究開発を開始し，安全でより環境性能が高い次世代の電気自動車の研究に取り組んでいる。自動車メーカとの共同研究によるテストコースでの制御実験により実用化検討を進める一方で，高性能インバータ制御の基礎研究も進めている。

Electric vehicles (EVs) are considered a promising solution to energy and environmental problems. They also have potential applications in control engineering. Since electric motors and inverters are used in drive systems, quick and accurate torque response is available. Moreover, by using in-wheel motors, all the wheels can be controlled independently. We developed an original EV (`FPEV2-Kanon') which has direct-drive in-wheel motors, active front and rear steering systems, and tire side-force sensors. Novel control methods for the EV have been proposed, such as advanced safety control, driving comfort enhancement, and range extension control systems. Currently, we are developing a next-generation test EV and conducting many collaboration projects with car industries. Moreover, advanced control methods of motor and inverters are also studied.

論文・著書一覧（2010 年度）
Publications List

研究論文

[1] 佐藤公彦, 藤本博志マルチレート PWM に基づく単相アクティブフィルタの電流制御法,電気学会論文誌D, Vol.130no.2,pp113-118(2010).

[2] Kazuaki Saiki, Atsushi Hara, Koichi Sakata, and Hiroshi Fujimoto: A Study on High-Speed and High-Precision Tracking Control of Large-Scale Stage Using Perfect Tracking Control Method Based on Multirate Feedforward Control, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.57no.4,pp1393-1400(2010)

[3] 鈴木亨, 藤本博志:車体速度と加速度検出不要な電気自動車の減速時におけるスリップ率推定と回生ブレーキ制御, 電気学会論文誌D ,Vol.130no.4,pp512-517(2010).

[4] 小原尭史,楠木岳之,山田努,鈴木享,藤本博志,竹村泰司,阿部晋,河野志郎,糸井宏明,金子文夫:磁性ワイヤ・コイル分離型回転センサの試作とその実態 ,Journal of the Magnetics Society of Japan,Vol.34.no.3,pp347-351 (2010).

[5] 山内雄哉, 藤本博志:電気自動車におけるヨーモーメントオブザーバとラテラルフォースオブザーバを用いた車両姿勢制御法, 電気学会論文誌D,Vol.130.no.8,pp939-944 (2010).

[6] 佐伯和明, 下山隆司, 坂田晃一, 藤本博志:完全追従制御法を用いた大型ステージのモデルの妥当性検証と精密位置決め制御, 電気学会論文誌D,Vol.130.no.8,pp1022-1029 (2010).

[7] 宮島孝幸, 藤本博志, 藤綱雅己:完全追従制御法とPWM ホールドモデルに基づく過変調領域でのIPMSM の制御法, 電気学会論文誌D,Vol.130.no.10,pp1153-1160 (2010).

[8] 中村建太, 藤本博志, 藤綱雅己:トルクメータの帯域を考慮した PM モータのトルクリプル抑制制御法,電気学会論文誌 D,Vol.130.no.11,p1241-1247 (2010).

[9] 遠藤弘之, 藤本博志:学習型 PTC を用いた磁気ディスク装置のショートスパンシーク制御におけるフィルタ設計に関する検討,電気学会論文誌D,Vol.131.no.3,pp350-356 (2011).

[10] 安藤直樹, 藤本博志:電気自動車の後輪独立制駆動力配分とアクティブ前後輪操舵を用いたヨーレート制御”, 電気学会論文誌 D,Vol.131.no.4,pp616-623 (2011).

[11] 吉村雅貴,藤本博志:インホイールモータを搭載した電気自動車の駆動トルク制御法,電気学会論文誌D,Vol.131.no.5,pp 721-728(2011).

国際会議論文

[12] Masataka Yoshimura and Hiroshi Fujimoto:Slip Ratio Control of Electric Vehicle with Singlerate PWM Considering Driving Force,The 11th International Workshop on Advanced Motion Control, Niigata, pp.738-743 (2010).

[13] Hiroyuki Endo and Hiroshi Fujimoto:Short-Span Seeking Control of Hard Disk Drive Based on Integral Type Learning PTC,The 11th International Workshop on Advanced Motion Contro, Niigata, pp.554-559 (2010).

[14] Toru Suzuki and Hiroshi Fujimoto:Slip Ratio Estimation and Regenerative Brake Control without Detection of Vehicle Velocity and Acceleration for Electric Vehicle at Urgent Brake-turning,The 11th International Workshop on Advanced Motion Control ,Niigata,pp.273-278(2010).

[15] Naoki Ando and Hiroshi Fujimoto:Yaw-rate Control for Electric Vehicle with Active Front/Rear Steering and Driving/Braking Force Distribution of Rear Wheels, The 11th International Workshop on Advanced Motion Control, Nigata,, pp.726 -731 (2010).

[16] Koichi Sakata and Hiroshi Fujimoto:Design Fabrication and Control of 4-DOF High-Precision Stage,The 11th International Workshop on Advanced Motion Control, Nigatan, pp.366-370 (2010).

[17] Takayuki Miyajima, Hiroshi Fujimoto and Masami Fujitsuna: Control Method for IPMSM Based on Perfect Tracking Control and PWM Hold Model in Overmodulation Range,The 2010 International Power ElectronicsConference,Sapporo, pp.593-598(2010).

[18] Kento Nakamura ,Hiroshi Fujimoto and Masami Fujitsuna:Polarization-independent, Torque Ripple Suppression Control for PM Motor Considering the Bandwidth of Torque Meter , The 2010 International PowerElectronicsConference,Sapporo,pp1077-1082(2010).

[19] Koishi Sakata,and Hiroshi Fujimoto , L. Peretti, and M. Zigliotto:Enhanced Speed and Current Control of PMSM Drives by Perfect Tracking Algorithms, The 2010 International Power Electronics Conference Sapporo, pp.587-592(2010).

[20] Hiroshi Fujimoto and Shinsuke Sato: Pitching Control Method Based on Quick Torque Response for Electric Vehicle,International Power Electronics Conference -ECCE ASIA-,Sapporo,pp.801-806(2010).

[21] Takayuki Shiraishi and Hiroshi Fujimoto: Proposal of Surface Topography Observer considering Z-scanner for High-speed AFM, 2010 American Control conference, Baltimore USA,pp.2784-2759(2010).

[22] Koichi Sakata and Hiroshi Fujimoto:Proposal of Long Sampling Short Cycle Observer for Quantization Error Reduction, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.1919-1924, Bari Italy(2010).

[23] Takayuki Shiraishi and Hiroshi Fujimoto:Positioning Control for Piezo Scanner using Multirate Perfect Inverse Model Based Iterative Learning Control" ACC/AIM, Montreal,pp. 993-998(2010).

[24] Hiroshi Fujimoto and Yuya Yamauchi:Advanced Motion Control of Electric VehicleBased on Lateral Force Observer with Active Steering" IEEE International Symposium on Industrial Electronics, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Bari Italy,pp.3627-3632(2010).

[25] H. Fujimoto, K. Sakata and K. Saiki:Application of Perfect Tracking Control to Large-Scale High-Precision Stage" The 5th IFAC Symposium on Mechatronic Systems,in BostonUSA,pp. 188-193(2010).

[26] Takayuki Miyajima, Hiroshi Fujimoto and Masami Fujitsuna:Control Method for IPMSM Based on PTC and PWM Hold Model in Overmodulation Range -Study on Robustness and Comparison with Anti-Windup Control-"The 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Atlanta USA,pp. 2844-2850 (2010).

[27] Tadashi Takemuraand Hiroshi Fujimoto:Proposal of Novel Rolling Friction Compensationwith Data-based Friction Model for Ball Screw Driven Stage" 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Arizona,pp.1926-1931(2010).

[28] Yushi Seki, Hiroshi Fujimoto, Atushi Hara, Takahiro Yamanaka and Kazuaki Saiki:Basic Examination of Simultaneous Optimization in
Mechanism and Control for Gantry-Type Precision
Stage as Two-Mass and Four-Degree-of-Freedom
Model" 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Arizona,pp. 1872-1877(2010).

[29] Hayato Sumiya and Hiroshi Fujimoto:Range Extension Control System for Electric Vehicle with Active Front Steering and Driving/Braking Force Distribution on Curving Road,", 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Arizona, pp. 2346-2351(2010).

[30] Binh Minh Nguyen, Kanghyou Nam, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori, Minh Ta Cao: Modeling of lateral dynamics for motion control of electric vehicle, The 5th SETUC Symposium, Hanoi,pp. 615-620(2011).

[31] Hayato Sumiya and Hiroshi Fujimoto: Distribution Method of Front/Rear Wheel Side-Slip Angles and Left/Right Motor Torques for Range Extension Control System of Electric Vehicle on Curving Road, 1st Internatinal Electric Vehicle Technology Conference, Yokohama,No.20117208,CDROM(6pages papar)(2011).

[32] Hiroshi Fujimoto: Regenerative Brake and Slip Angle Control of Electric Vehicle with In-wheel Motor and Active Front Steering, 1st Internatinal Electric Vehicle TechnologConference,Yokohama,,No.20117208, CDROM (7pages papar), (2011).

著書

[33] **藤本博志:自動車技術ハンドブックＥＶ･ハイブリッド編**,自動車技術会（**堀洋一他編**,）,pp.290-295 (2011)

総説・解説論文

[34] 藤本　博志:インホイールモータとタイヤ横力センサを用いた電気自動車の運動制御,自動車技術(計測自動制御学会と共同企画), pp. 91-97 (2011).

[35] 藤本　博志:インホイールモータとタイヤ横力センサを用いた電気自動車の運動制御,計測と制御(自動車技術会と協同企画),pp.189-194(2011).

シンポジウム・研究会・大会等発表

[36] 宮島孝幸, 藤本博志, 藤綱雅己:PWM ホールドモデルに基づく過変調領域での IPMSM の制御法　―ロバスト性の検討とアンチワインドアップ制御との比較―,平成 22 年電気学会半導体電力変換研究会, pp. 53-58 (2010).

[37] 中村建太, 藤本博志, 藤綱雅己:速度変動を考慮した PM モータのトルクリプル抑制制御法,平成 22 年電気学会半導体電力変換研究会, pp. 59-64 (2010).

[38] 竹村征, 藤本博志: NC 工作機械用ボールねじ駆動ステージにおける RPTC 法を用いた反復学習制御の適用,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 1-6 (2010).

[39] 関優志, 藤本博志: 2 質点 4 自由度モデルを用いたガントリ型精密位置決めステージの機構と制御における同時最適化の基礎検討,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 3-6 (2010).

[40] 角谷勇人, 藤本博志:アクティブ前輪操舵と制駆動力配分を用いた電気自動車の旋回時における航続距離延長制御システムの提案,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 1-6 (2010).

[41] 大多和恭行, 藤本博志:左右の前輪横力差とアクティブ前輪操舵を用いた電気自動車の横すべり角の推定と制御,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会, pp. 35-40 (2010).

[42] Le Tien Nam, 藤本博志:視野外オブザーバを用いたマルチレートビジュアルサーボ法の提案,平成 22 年

電気学会産業計測制御研究会, pp1-6(.2010).

[43] 吉村雅貴, 藤本博志:スプリットμ路上におけるインホイールモータを搭載した電気自動車のスリップ率制御法の提案,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 23-28 (2010).

[44] 遠藤弘之, 藤本博志:制振型学習 PTC を用いた磁気ディスク装置におけるショートスパンシーク制御, 平成 22 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 7-12 (2010).

[45] 鈴木亨, 藤本博志: 電気自動車のモータ効率特性を考慮した力行回生配分による航続距離延長制御システムの提案,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会, pp. 23-28 (2010).

[46] 安藤直樹, 藤本博志:四輪にタイヤ横力センサとインホイールモータを搭載した電気自動車のスリップ率制御法の提案,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会, pp. 29-34 (2010).

[47] 白石貴行, 藤本博志: PTC に基づく繰返し学習制御を用いたピエゾスキャナの位置決め制御,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会, pp. 37-42 (2010).

[48] 藤本博志, 安藤直樹:タイヤ横力センサを搭載する電気自動車の各輪独立制駆動力配分とアクティブ操舵を用いた車両運動制御,自動車技術会 2010 年春季学術講演会,pp. 9-12(2010).

[49] 藤本博志, 鈴木亨, 角谷勇人:電気自動車の航続距離延長制御システム,自動車技術会 2010 年春季学術講演会,pp. 11-14(2010).

[50] 宮島孝幸, 藤本博志, 藤綱雅己:SPMSM の電圧位相操作型トルクフィードフォワード制御の提案,平成 22 年電気学会自動車研究会, pp. 17-22 (2010).

[51] 関優志, 藤本博志, 原篤史, 山中貴裕, 佐伯和明: 並進および回転運動を有する剛体モデルを用いた超精密位置決めステージの機構と制御における同時最適化の基礎検討,平成 22 年電気学会産業応用部門大会, 芝浦工業大学, Vol. 2,pp.Ⅱ-473--Ⅱ-476 (2010).

[52] 角谷勇人, 藤本博志:前後輪アクティブ操舵と制駆動力配分を用いた電気自動車の旋回時における航続距離延長制御システム,平成 22 年電気学会産業応用部門全国大会,芝浦工業大学, Vol. 2,pp. Ⅱ-229--Ⅱ-302 (2010).

[53] 吉村雅貴:インホイールモータを搭載した電気自動車の駆動トルク制御法の提案,平成 22 年電気学会産業応用部門全国大会,pp. Ⅱ-315--Ⅱ-320 (2010).

[54] 竹村征, 白石貴行, 藤本博志:工作機械用ボールねじ駆動ステージにおける摩擦補償の検討～数式ベース摩擦モデルとデータベース摩擦モデルの比較～, 平成 22 年電気学会産業計測制御研究会「ナノスケールサーボのための制御」,pp. 7-12 (2010).

[55] 遠藤弘之,藤本博志:学習型 PTC を用いた磁気ディスク装置のショートスパンシーク制御における過渡応答に関する検討,,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会「ナノスケールサーボのための制御技術」, pp. 67-72 (2010).

[56] 白石貴行, 藤本博志:完全追従制御を用いたモード切り換え型制御系の一設計法,平成 22 年電気学会産業計測制御研究会「ナノスケールサーボのための制御技術」,pp. 19-24 (2010).

[57] 坂田晃一, 藤本博志, 佐伯和明:大型超精密ステージの位置決め制御のための完全追従制御法の応用, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会,pp.RSJ2010AC1F1-3 (2010).

[58] 坂田晃一, 藤本博志:超精密ステージにおける複数センサを用いたフィードバック制御系の高帯域化, 第 39 回制御理論シンポジウム, pp.285-290,(2010).

[59] Le Tien Nam, 藤本博志:視野外オブザーバを用いた 6 自由度ビジュアルサーボ法, 平成 22 年電気学会制御研究会, pp. 15-20(2010).

[60] 宮島孝幸, 藤本博志, 藤綱雅己:電圧飽和を考慮した終端状態制御に基づく SPMSM の弱め界磁制御の提案,平成 23 年電気学会半導体電力変換研究会,pp. 19-24(2010).

[61] 前田健太, 藤本博志, 堀洋一:電気自動車の操舵安定性向上を目的としたヨーモーメントオブザーバの設計法に関する基礎検討,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 43-48 (2011).

[62] 清水拓,藤本博志,堀洋一:NC 工作機械における応答曲面法を用いた力センサレス切削抵抗制御法,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会, pp .23-28(2011).

[63] 五十嵐渉, 呉世訓, 藤本博志, 堀洋一:電動ドアにおける衝撃力制御のための電流制御系の提案,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 77-82(2011).

[64] 竹村征, 藤本博志, 山本浩司:ボールねじ駆動ステージにおける線形パラメータと非線形転がり摩擦の同時同定,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会, pp. 13-18(2011).

[65] 関優志, 藤本博志, 有松孟:ガルバノスキャナにおける機構と制御の同時最適化に関する基礎検討,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 17-22 (2011) .

[66] 角谷勇人, 藤本博志:電気自動車の航続距離延長制御システムに対する前後輪横滑り角と左右トルク配分方の提案,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会, pp. 1-6(2011).

[67] 江上奨, 藤本博志:電気自動車の荷重変動を考慮した前後輪駆動力配分による航続距離延長制御システムの提案,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 13-18(2011).

[68] Le Tien Nam, 藤本博志:イメージモーメント法に基づく視野外オブザーバを用いたビジュアルサーボ法,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 59-64(2011).

[69] 吉村雅貴，藤本博志: 車載モータとデファレンシャルギヤを搭載した電気自動車におけるスリップ率制御に基づく駆動力制御法,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会, pp. 19-24(2011).

[70] 遠藤弘之，藤本博志:規範モデル学習型完全追従制御法を用いた磁気ディスク装置のショートスパンシーク制御,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 25-30(2011).

[71] 坂田晃一，藤本博志，佐伯和明:超精密ガントリステージにおける複数センサを用いた共振モードにロバストなフィードバック制御器設計,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会, pp. 83-88(2011).

[72] 白石貴行，藤本博志:非最小位相系に対する軌道追従制御の一方法,平成 23 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 43-48(2011).

[73] 王亜飛，南康鉉，藤本博志，堀洋一: 4WS を用いた外乱オブザーバに基づくロールとヨー運動統合化制御，平成 23 年電気学会産業計測制御研究会,pp. 25-30(2011).

[74] 阮平明，南康鉉，藤本博志，堀洋一: 車体横滑り角の情報が不要なタイヤ横力センサを用いたコーナリングスティフネスステイ法の提案，平成 23 年電気学会産業計測制御研究会,pp.37-42(2011).

その他（招待講演）

[75] 藤本博志:インホイールモータを用いた電気自動車の新しいモーションコントロール,社会人のための ITS 専門講座(東京大学先モビリティ研究センター主催)（2010）

[76] 藤本博志:電気自動車の運動制御とナノスケールサーボ,京都大学機械システム制御研究招待講演（2010）

[77] Hiroshi Fujimoto:Advanced Motion Control of Electric Vehicle,Invited Lecture,University of Padova, Italy（2010）

[78] Hiroshi Fujimoto:Advanced Motion Control of Electric Vehicle,Invited Lecture, University of Trento, Italy（2010）.

[79] 藤本博志:インホイールモータを用いた電気自動車の車両運動制御,電気自動車開発技術展 2010(電気自動車開発技術展　実行委員会主催)（2010）

[80] 藤本博志:制御がもたらすＥＶの可能性"モータと制御の改良によるＥＶのモビリティとしての魅力拡大の可能性に関する紹介,自動車技術会中部支部技術交流会(自動車技術会中部支部主催)（2010）

[81] 藤本博志:インホイールモータを用いた電気自動車の新しい運動制御,自動車技術会関東支部講演会,（2010）.

[82] 藤本博志:電気自動車の運動制御における制御理論と制御技術,第３９回制御理論シンポジウム(計測自動制御学会制御部門)（2010）

[83] Makoto Iwasaki, Hiroshi Fujimoto:High Speed and High Precision Motion Control for Mechatronic Systems, IECON2010(IEEE Industrial Electronics Society), Tutorials（2010）.

[84] 藤本博志:電気自動車の運動制御におけるモデリングと制御，とことんわかる自動車のモデリングと制御 2010（日本機械学会主催）(2010)

[85] 藤本博志 : 安全性／快適性／航続距離を改善する電気自動車の運動制御,社会人のための ITS 専門講座（2011）