

## 博士論文概要

### 【課程博士一覧】

河村 拓馬	「粒子ベースボリュームレンダリングによる大規模不規則格子ボリュームデータ向け可視化手法に関する研究」	平成 23 年 3 月 23 日
横井 裕一	「Energy Conversion and its Control by Synchronization of Pendulum」 (振子の同期現象によるエネルギー変換とその制御)	平成 23 年 3 月 23 日
Netra Gyawali	「Development of Control and Operational Strategies for Wind Power Based Microgrid with Integrated Energy Storage」 (風力発電とエネルギー貯蔵システムを用いたマイクログリッドの運用制御方式の開発)	平成 23 年 3 月 23 日
馬淵 雄一	A Study on Electromagnetic Interferences Related to Power Supplies for Micro-controllers in Electronic Control Units」 (電子機器に実装されたマイコンの電源系における電磁干渉に関する研究)	平成 23 年 3 月 23 日
鎌田 雄大	「酸化亜鉛薄膜トランジスタの電気特性と透明エレクトロニクス応用に関する研究」	平成 23 年 3 月 23 日
北村 恭子	「フォトリソニック結晶レーザーによる径偏光ビームの生成とその集光特性」	平成 23 年 3 月 23 日
玉山 泰宏	「No-Reflection Phenomena for Isotropic and Chiral Metamaterials」 (等方性および旋光性メタマテリアルに対する無反射現象)	平成 23 年 3 月 23 日
常見 英加	デュアルプローブ原子間力顕微鏡の開発及びナノスケール電気特性評価への応用	平成 23 年 3 月 23 日
Upham Jeremy	「Dynamic photon control by photonic crystals」 (フォトリソニック結晶による光子の動的制御)	平成 23 年 3 月 23 日
中尾 正悟	「Study of Uplink Control Channel for LTE and LTE-Advanced」 (LTE と LTE-Advanced における上り制御チャンネルに関する研究)	平成 23 年 3 月 23 日
久保 広行	「モバイルマルチキャストのための心理要因と物理要因の補償技術」	平成 23 年 3 月 23 日
金岡 泰弘	「光ファイバを用いた電力通信網の高度化の研究」	平成 23 年 3 月 23 日
Fabien Cromieres	「Using Scalable Run-Time Methods and Syntactic Structure in Corpus-Based Machine Translation」 (スケーラブルな実行時手法と構文木に基づくコーパスベース機械翻訳)	平成 23 年 3 月 23 日

村 脇 有 吾	「Automatic Acquisition of Japanese Unknown Morphemes」 (日本語未知語の自動獲得)	平成 23 年 3 月 23 日
植 野 剛	「General Approach to Policy Evaluation via Statistical Learning」 (統計学習による方策評価法の考察)	平成 23 年 3 月 23 日
小 林 弘 和	「Geometric phases in optical interferometry」 (光学的干渉における幾何学的位相)	平成 23 年 5 月 23 日
田 畑 悦 和	「Observational study on diurnal precipitation cycle over Indonesia using 1.3-GHz wind profiling radar network」 (1.3 GHz ウィンドプロファイラネットワークを用いたインドネシアにおける降水日変化の観測的研究)	平成 23 年 5 月 23 日
細 川 義 浩	「周波数変調原子間力顕微鏡 (FM-AFM) の高感度化と赤外応答像測定への応用」	平成 23 年 9 月 26 日
Suketu Naik	「Investigation of Synchronization in a Ring of Coupled MEMS Resonators」 (リング結合した MEMS 共振器の同期に関する研究)	平成 23 年 9 月 26 日
青 山 秀 紀	「作業支援システムのためのユーザ状態の認識と支援選択に関する研究」	平成 23 年 9 月 26 日
橋 本 力	「Knowledge Acquisition from the Web for Text Understanding」 (テキスト理解のための Web からの知識獲得)	平成 23 年 9 月 26 日
I Wayan Mustika	「Distributed Radio Resource Management for Self-Organizing Wireless Networks」 (自己組織化無線ネットワークのための分散無線資源管理)	平成 23 年 9 月 26 日

### 【論文博士一覧】

伊 藤 義 道	「Frequency Domain Studies on Sampled-Data Systems Using FR-Operators」 (FR オペレータによるサンプル値系の周波数領域における研究)	平成 23 年 3 月 23 日
平 松 孝 浩	「酸化亜鉛薄膜の物性制御とその薄膜トランジスタ応用に関する研究」	平成 23 年 3 月 23 日
上 田 哲 三	「Light-Emitting Devices Using GaN Separated from Sapphire Substrates by Laser Lift-off Technique」 (レーザーリフトオフによりサファイア基板から分離した GaN を用いた発光デバイスに関する研究)	平成 23 年 3 月 23 日

河村 拓馬 (小山田教授)

「粒子ベースボリュームレンダリングによる大規模不規則格子ボリュームデータ向け可視化手法に関する研究」

平成 23 年 3 月 23 日授与

可視化は、人に気付きを与え、思考を深め、対話を促進するという効能について多くの事例が紹介されています。特に、ボリュームレンダリングによる可視化は医療や工学の分野で有効性が示されています。工学でよく利用される有限要素法から出力される計算結果は、有限差分法と違って格子の配列に構造的な性質がなく、非構造格子データと呼ばれています。ボリュームレンダリングでは、視点からの距離の順番で格子を処理する手法が採用されており、見る場所を変えるたびに格子の並べ替え処理（ソート処理）が必要になります。すなわち、このソート処理は、回転・移動・拡大縮小時に必要になります。

スパコンで計算されるような大規模な非構造格子データでは、格子の数が膨大となり、そのボリュームレンダリング手法においては、格子のソート処理がボトルネックとなります。このため、大規模な非構造格子データ向けボリュームレンダリングは、可視化研究者にとって、挑戦的な問題と認識されています。粒子ベースボリュームレンダリング (Particle-based volume rendering, PBVR) は、データと不透明度との関係を表現する伝達関数から粒子の密度関数を推定し、この密度関数に従って、不透明粒子を生成します。密度関数は、粒子の半径の関数になっており、半径を大きくすると粒子数が少なくなりますが、粒子形状が可視化画像に表出するために画質が劣化します。画質を損なわない程度に粒子数をうまく設定できれば、大規模な非構造格子データに対して効率の良いボリュームレンダリング処理が可能となります。

本博士研究では、このような粒子ボリュームレンダリングに対して、画質・計算速度の観点で新しい提案を行いその有効性を評価しました。まず、粒子ボリュームレンダリング処理において、粒子を複数回に分けて生成し、その画面への投影結果を重ね合わせ、平均画像を最終画像とする、いわゆるアンサンブル平均の考え方を取り入れました。この結果、生成回数を変化させることにより、画質の詳細度制御を実現することができました。次に、事前粒子生成処理の導入です。伝達関数が単調でなく、いくつかピークをもつような場合、格子内での粒子生成では、うまく生成が行われず、結果として、ところどころ穴のあいたような可視化画像が得られることがあります。この問題を解決するために、伝達関数におけるスカラデータにおいて、あらかじめ決めた区間ごとに粒子を事前生成して格子での粒子生成ではこの事前粒子を参照する手法を提案し、その有効性を検証しました。

図 1 は、7000 万もの六面体格子から構成される非構造格子データを提案手法を用いて可視化したものです。このデータは、口腔領域を数値流体力学計算ソフトで計算された圧力場で、この可視化により、ヒトの無声摩擦音の生成メカニズムの解明に役立っています。図 2 は、2 億のもの四面体格子から構成される非構造データを提案手法を用いて可視化したものです。このデータは、高温流体の通過するポンプ形状を数値流体力学計算ソフトで計算された応力場で、この可視化により、破断の起る可能性の高い領域を特定することに役立っています。

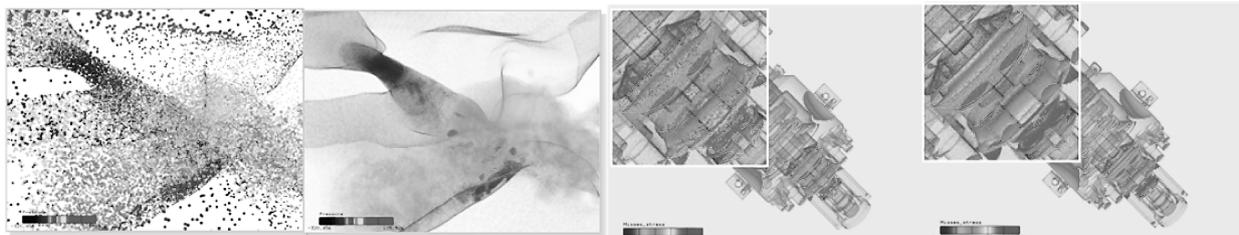


図 1：口腔領域の可視化 (左アンサンブル平均回数 1 回, 右同 144 回)

図 2：自重ポンプの可視化 (左：従来法, 右：提案手法)

横井 裕一 (引原教授)

「Energy Conversion and its Control by Synchronization of Pendulum」

(振子の同期現象によるエネルギー変換とその制御)

平成 23 年 3 月 23 日授与

現代の人間社会を支える電力送電技術と情報通信技術の根底には、同期と呼ばれる現象が大きく関わっている。一般的に同期とは、固有のリズムを有した複数の振動体が弱い相互作用によって同じリズムで振動する現象と理解される。これは同期現象の信号としての側面を言い表したものであり、これまでの情報通信技術の発展に貢献している。一方、電力送電技術は同期現象のもう一つの側面であるエネルギー変換に由来する。成熟した電力送電技術を背景に、同期現象のエネルギー変換の側面は研究対象から忘れ去られてきた。近年のエネルギー問題に起因して電力送電技術が改めて注目される中、情報通信技術が電力送電技術を内包しようとする流れがある。これは同期現象の信号としての側面のみを考慮した議論である。そこで本論文では同期現象のエネルギー変換の側面に再度着目し、その重要性を再確認する。振動体としてよく扱われる振子の同期現象に対し、基礎理論に基づくエネルギー的側面の検討や同期引込みのメカニズムの制御への適用、並びにその工学的応用としてパラメトリック振子を用いたエネルギースキャベンジングの提案など、同期現象のエネルギー変換作用の工学的有用性を明らかにしている。主要な内容は以下の通りである。

1. 振子に現れる 2 種類の典型的な運動である振動と回転に関して、同期に分類される最も基礎的な現象の一つである周波数引込み現象を理論的に示した。運動に関係なく周波数引込み現象は同一のメカニズムで発生するものの、現象に伴うエネルギー変換作用は異なることを明らかにした。
2. 特に回転に対して、周波数引込み現象を記述する方程式を導出した。これにより、回転の同期に関して、現象とエネルギー変換の関係を記述することが可能になった。具体的には、エネルギーの偏差量と、同期現象の進展を表す位相と呼ばれる状態量の時間変化が比例することを見出した。この結果は、エネルギー変換により位相調整が可能であることを示唆するものである。
3. 工学的応用の観点から振動および回転が共存するパラメトリック振子に着目し、応用上有用な周期回転を初期状態に依存することなく発現させる制御手法を提案した。この制御は、理論的検討で得られたエネルギー授受による位相調整を具体化するものである。実際に機械振子装置を設計・製作し、提案手法の妥当性を検証した。同時に提案手法の応用上の有効性も実験的、数値的に確認し、制御を適用したパラメトリック振子を波動発電機構に適用できる可能性を示した。
4. エネルギー的に異なる特性を有する共存する複数の運動に対して、提案した制御手法を適用し、各運動を選択的に発現可能であることを数値的および実験的に検証した。この結果から、提案手法を同様の位相構造を有する系に適用可能であることを示した。

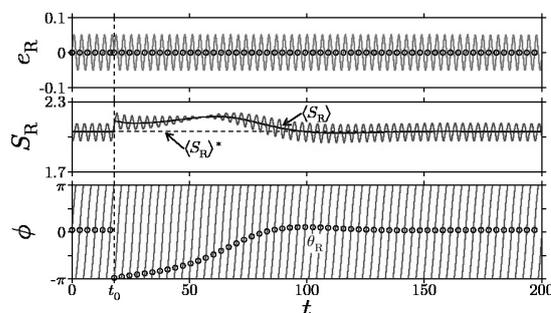


図 1. エネルギー (中) と位相 (下) の関係

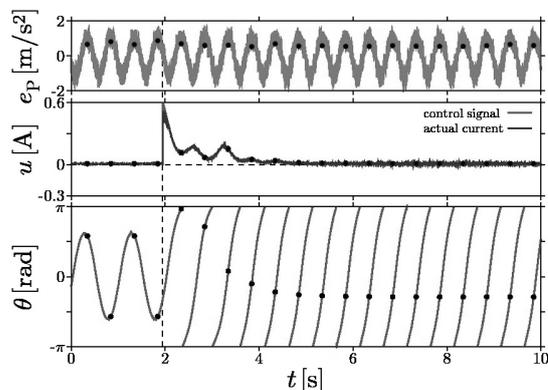


図 2. 周期回転を発現させる制御 (実験)

Netra Gyawali (引原教授)

## [Development of Control and Operational Strategies for Wind Power Based Microgrid with Integrated Energy Storage]

(風力発電とエネルギー貯蔵システムを用いたマイクログリッドの運用制御方式の開発)

平成 23 年 3 月 23 日授与

### I. Introduction

While the grid integration of wind-power continues to grow worldwide, the industries and the utilities will confront the associative challenges of its intermittency, such as frequency regulation, voltage/reactive power regulation, sporadic tripping to the upstream power network etc. Wind power is further insufficient in islanded operation, where the frequency and voltage regulation are the main issues beside the load-following. Scrutiny of these challenges reveals that their root cause is the intermittent power output, owing to its dependability on varying wind speed; and the best solution, despite its high cost, is to deploy electrical energy storage technologies. In either case, incorporation of an energy storage system can provide an effective mean to address the issues. Our research, in this context, is related to the integration of long-term/short-term energy storage mix, consisting of fuel-cell (FC)/electrolyzer (ELZ) and Ultracapacitor (UC), into a variable speed wind-power system. Considering  $H_2$  as energy exchange medium, the FC/ELZ unit of storage system is utilized for the long-term/steady power balance, while UC unit is applied for the transient power compensation. Fig. 1 comprises the schematic layout of the proposed scheme. To validate the applicability of proposed scheme, the study is related to the development of the mathematical models, control system design and the observation of the dynamic response, considering several operational and loading situations.

### II. Simulation and Results

Fig. 2 shows the simulation responses of few variables involved in the system dynamics. When the disturbances are introduced in the system at  $t=5, 15$  and  $20$  s, the UC is operated to compensate the transient part and the SOFC/ELZ is operated to supply the steady state part of power-imbalance, regulating the frequency and the voltage of the ac network. By doing so, the compensating steady state power can effectively be tracked by SOFC/ELZ system, while forcing the steady-state charge flow from UC to zero. Thus, assuming wind-power as negative load, FC/UC/ELZ system acts as the dedicated power supplying source such that the surplus power is consumed by ELZ to produce  $H_2$ , whereas the deficit power is supplied by the FC by re-utilizing  $H_2$  produced by ELZ.

### III. Applications

The results of the research can be utilized in renewable generators based microgrid, in which the transient mitigation and the steady-state power balance can be provided by the integrated storage system. By using the proposed control and operational schemes, the transient power from the FC is strategically avoided; thereby protecting the FC from the possible fuel-starvation. Consequently, the overall microgrid evolves into a self-sustainable and dispatchable entity, paving the way to integrate renewable sources in a greater penetration level.

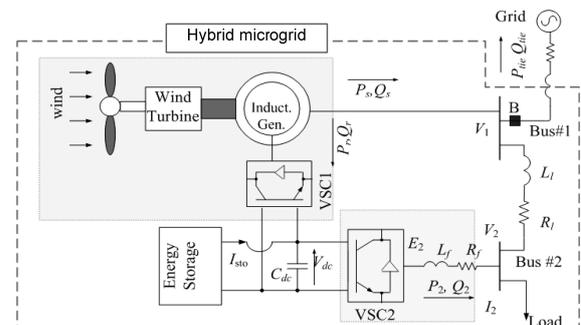


Fig. 1 Schematic diagram of proposed system. The symbols  $I, V, P, Q, L$  and  $R$  represent the current, voltage, active power, reactive power, inductance and resistance, respectively. VSC1 and VSC2 are the rotor-side and grid-side converter, respectively

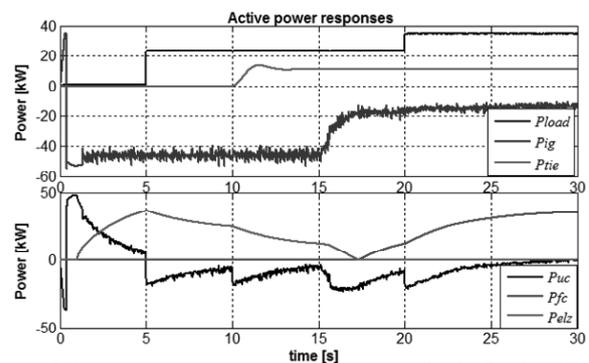


Fig. 2 Power flow responses from different sources;  $P_{uc}$ ,  $P_{fc}$ ,  $P_{elz}$ ,  $P_{load}$ ,  $P_{tie}$  and  $P_{ig}$  represent power from UC, FC, ELZ, tie-line and wind turbine, respectively.

馬 淵 雄 一 (和田教授)

「A Study on Electromagnetic Interferences Related to Power Supplies for Micro-controllers in Electronic Control Units」

(電子機器に実装されたマイコンの電源系における電磁干渉に関する研究)

平成 23 年 3 月 23 日授与

今日、パソコンやデジタル家電機器だけではなく、自動車などにもエンジン制御や各種制御・通信などにマイクロコントローラ (Micro-controller : マイコン) などの多くの半導体集積回路 (LSI) が使用されている。本論文は、電子機器に搭載される LSI の動作が原因で生じる電源系高周波雑音による電磁干渉 (Electromagnetic Interference : EMI) の発生機構を明らかにするとともに、その解析および測定による効率的な評価・低減手法を提案した結果をまとめたものである。

まず、機能の異なる複数の半導体チップを内蔵するマルチチップモジュール (Multi-chip Module : MCM) の同時切り替えノイズ (Simultaneous Switching Noise: SSN) の解析評価技術として、パッケージおよびプリント回路基板 (Printed Circuit Board : PCB) の新しい等価回路モデル化手法を提案した。

次に、マイコン搭載 PCB の電源系高周波電流ノイズの解析評価のために、複数の電源端子を有するマイコンのチップ単体マクロモデルを抽出し、これと前項で提案した手法による PCB およびパッケージの等価回路モデルと組み合わせ、図 1 に示すように、製品レベルの電子機器設計の際にバイパスコンデンサの実装位置・個数や PCB の配線形状に依存する高周波電流の伝導量を十分な精度で予測可能なモデル化手法を提案した。

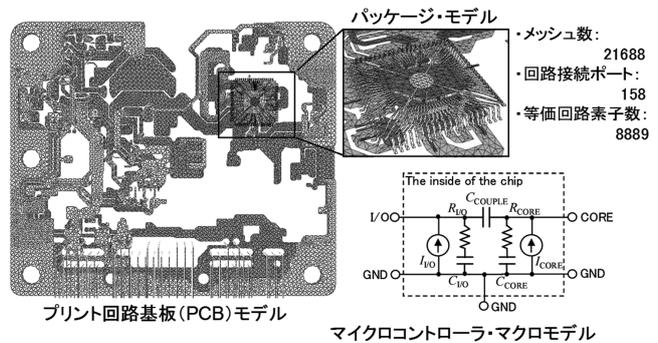


図 1 LSI パッケージ・PCB の高周波電流解析モデル

電子機器からの不要電磁放射の主要因の 1 つは機器のケーブル (ワイヤハーネス) を流れるコモンモードノイズであるが、これに対して、Workbench Faraday Cage と Hybrid Balun を組み合わせた評価手法を提案し、従来手法である CISPR25 で問題であったワイヤハーネスの共振・反共振による影響を受けないことを示した。

車載電子機器で特に重要となる FM ラジオ周波数帯域において、2 層基板を用いた低コスト電子機器に対しても、回路のインピーダンス・バランスを効果的に利用するコモンモードノイズ低減手法を提案した。これは、図 2 に示すように、PCB 電源系配線が参照グラウンドに対する寄生容量とインダクタンスからなるブリッジ回路に近似できることを見出し、理論的かつ実験的に示した成果である。さらにこのバランス制御をマイクロコントローラのパッケージ上で実現する方法を提案し、パッケージ内でコモンモードノイズを最小化できることを実験的に示した。

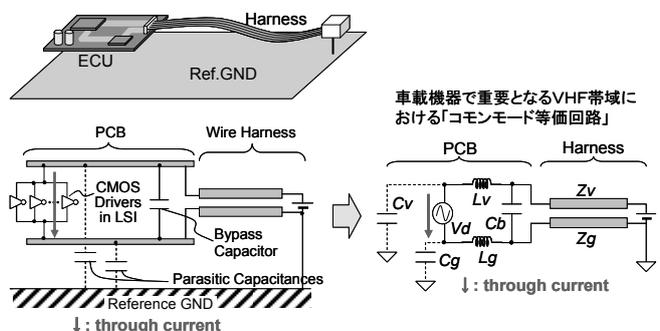


図 2 バランス制御によるコモンモードノイズ低減法

鎌田雄大(藤田教授)

「酸化亜鉛薄膜トランジスタの電気特性と透明エレクトロニクス応用に関する研究」

平成 23 年 3 月 23 日授与

酸化亜鉛 (ZnO) を活性層に用いた薄膜トランジスタ (TFT) は、可視域に透明なデバイスとして、有機撮像素子やディスプレイなどへの応用が進んでいる。しかし、これまでの研究は成膜条件の最適化によるトランジスタ特性の改善に力が注がれており、化学量論比や欠陥といった ZnO 薄膜の微視的な構造とトランジスタ特性の関係は明確でなかった。また、裾準位やギャップ内準位の影響で、TFT が可視域の光に応答するという問題があった。本研究は、高知工科大学および龍谷大学との共同研究を主体に、トランジスタ特性に与える要因を ZnO の微視的な構造をもとに実験・シミュレーションの双方から検討し、また光誘起電流の発生機構を調べることで、それを低減しうる新しいデバイス構造を提案し、透明エレクトロニクスの進展に寄与することを目指したものである。

研究では、まず TFT への応用に適した ZnO 薄膜の成膜条件を求め、ZnO の化学量論比の違いが欠陥構造に大きく影響することから、化学量論比の正確な制御が必要であることを示した。この結果をもとに、有機膜の機能と複合させた縦型撮像素子を作製し、撮像の原理実証を行った。

また、ZnOTFT への可視光照射下での光誘起電流を実験・シミュレーションの双方から解析し、その発生機構を考察した。図 1 のように TFT の上部に Cr マスクを設けて活性層内の特定の領域を照射し、同時にシミュレーションの結果を踏まえ、TFT のソース・ドレイン電極がショットキー接合をなすモデルで記述可能であることを示した。また、TFT が禁制帯幅より長波長の光照射に対しても感度を持つ理由は、裾準位を介して生成したキャリアの影響でソース領域のポテンシャルが変化することが主因であることを明確にした。これらの結果をもとに、図 2 のようなデュアルゲート構造を用いソース領域のポテンシャルを制御することで光感度の低減が可能で、透明デバイスとして応用範囲の広いデバイスが得られることを実証した。

さらに、主に暗状態での ZnOTFT について、伝達特性の測定温度依存性・チャネル長依存性・活性層膜厚依存性を評価することで電気伝導を制限している電流機構を明らかにし、また InZnO と ZnO を積層させた構造のチャネルを用いて、移動度を 3 倍超に向上することにも成功した。

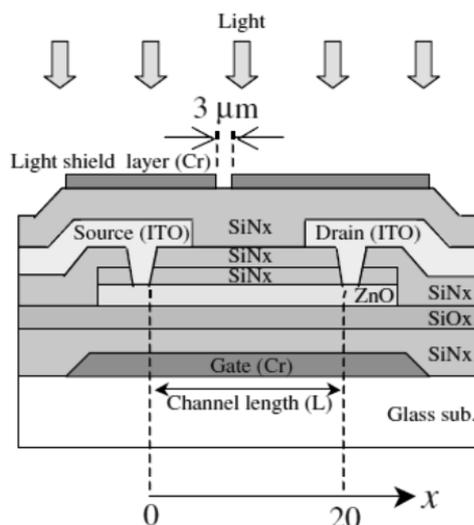


図 1 活性層の一部を光照射する TFT 構造

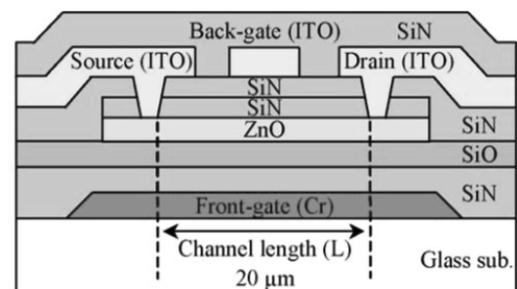


図 2 デュアルゲート TFT 構造

北村 恭子 (野田教授)

「フォトニック結晶レーザによる径偏光ビームの生成とその集光特性」

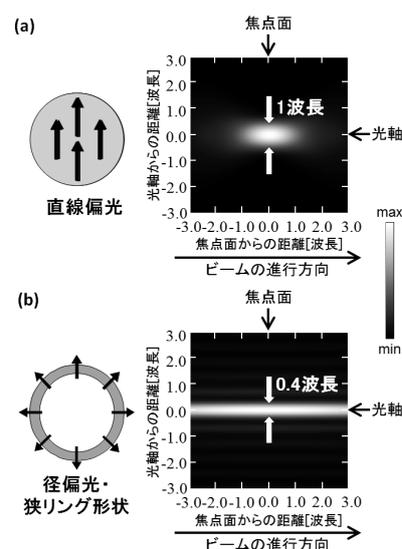
平成 23 年 3 月 23 日授与

本論文は、ビーム断面内で放射状に電界の偏光が制御された径偏光ビームを用いて、微小かつ焦点深度の深い集光点を実現し、その集光点を得るのに最適なビームの生成、その集光点での光と物質の相互作用について検討した結果をまとめたものである。

CD や DVD などの光記録媒体、レーザ顕微鏡、半導体微細加工技術など多くの光技術において、高密度化・高分解能化・高精度化を導くためには、微小な集光点を得ることが、大変重要である。しかし、通常、光は波長以下に集光できず、またその焦点深度も 1 波長程度と浅い。そのため、例えば光ディスクは、CD からブルーレイディスクのように、光の短波長化によってその容量を増加させ、焦点深度に対しては、ディスク揺らぎに対して、光源の位置を制御するような光学系を導入するといった工夫がなされてきた。

本論文では、レーザビームのビーム形状と偏光を制御するという新しいアプローチで、上記の課題を解決する方法を見出した。径偏光ビームと呼ばれる、ビーム断面内で偏光分布を有するビームを用い、偏光の特長を生かすよう、ビーム形状をドーナツ状から幅の狭いリング形状にして、集光することで、従来よりも小さな集光点を形成できることを理論・実験の双方から実証した。またこの小さな集光点において、従来のビームでは成し得なかった焦点深度を深くすることも実現した (図)。次に、このような集光点を得るのに最適な径偏光・狭リング形状ビームを、リングの円周上に作製したフォトニック結晶構造と電流狭窄構造を用いた、新たなフォトニック結晶レーザ構造によって、直接生成することに成功した。また、この新たなデバイスから発せられたビームを用いて、焦点深度の伸長を実験により示した。加えて、このような集光点における光と物質の相互作用を理論的に検討し、その集光点が、金属と強く相互作用しながらも、遠隔場的なエネルギーの観点からは、あたかも透明のように振舞う、といった、新奇な特性を示すことも見出した。

以上の成果は、光ディスクの高密度化や、高精度な素子加工、高分解能での顕微鏡観察を可能にするだけでなく、その新奇な集光特性を用いた新たなデバイスの創生も大いに期待される。



図：通常の直線偏光ビーム (a) と径偏光・狭リング形状ビーム (b) の焦点近傍の光高度分布

玉山泰宏 (北野教授)

「No-Reflection Phenomena for Isotropic and Chiral Metamaterials」

(等方性および旋光性メタマテリアルに対する無反射現象)

平成 23 年 3 月 23 日授与

電磁波の波長に比べて十分小さい構造の集合体であるメタマテリアルによる電磁波伝搬の制御が盛んに研究されている。メタマテリアルを用いると比誘電率や比透磁率といった媒質パラメータを自由に設計できるため、電磁波伝搬の性質を決める量である波数と波動インピーダンスを独立に制御することが可能になる。本研究では、メタマテリアルにおけるブリュースタの無反射現象に着目し、これまでに実証実験が行われていない TE 波に対する無反射現象の実験的な観測と旋光性媒質に対する無反射条件の理論の確立を目的として研究を行った。

まず、メタマテリアルにおける波数と波動インピーダンスについて詳しく解析した。これらの量は媒質パラメータの積や商の平方根で記述される。複素平方根関数は 2 価の関数であるため、適切な分枝を選ぶ必要がある。しかし、従来用いられてきた分枝選択法では、メタマテリアルに対して適用できない場合がある。この問題を解決するために、マクスウェル方程式を対角化し電磁波伝搬の解析を行った。その結果、電磁波のエネルギー伝搬方向と波数の向きとの関係に着目することにより適切な分枝を選ぶことを見出した。

次に、磁気的メタマテリアルを用いて TE 波に対する無反射現象を観測した。磁気的メタマテリアルとしては図 1 (b) のような分割リング共振器 (Split-ring resonator, SRR) アレイを用いた。FDTD 法を用いて SRR アレイの比誘電率と比透磁率を解析したところ、SRR の共振周波数付近において、TE 波に対する無反射条件を満たす媒質パラメータが存在することがわかった。SRR アレイを作製し、図 1 (a) に示した実験系で TE 波に対する反射率の入射角依存性を測定したところ、図 1 (c) のようにある特定の入射角に対して反射率が非常に小さくなる現象が観測された。すなわち、TE 波に対する無反射現象の実証に成功した。

最後に、電磁波が真空から旋光性媒質に入射する場合の無反射現象について解析した。無反射条件は反射

ジョーンズ行列の零固有値条件から導出した。導出の結果、旋光性媒質における一方の円偏光に対する波数と波動インピーダンスが真空での値に等しい場合には、図 2 のように対応する円偏光に対して任意の入射角において反射も屈折もせずに透過するという特異な無反射現象が生じることを発見した。さらに、円偏光に対する無反射現象を実現しうる旋光性メタマテリアルの構造についても考察した。

以上のとおり、本研究では等方性および旋光性メタマテリアルに対するブリュースタの無反射現象の観測および理論の構築を行った。これらの結果は、従来は実現できなかった偏光制御デバイスの実現につながると考える。

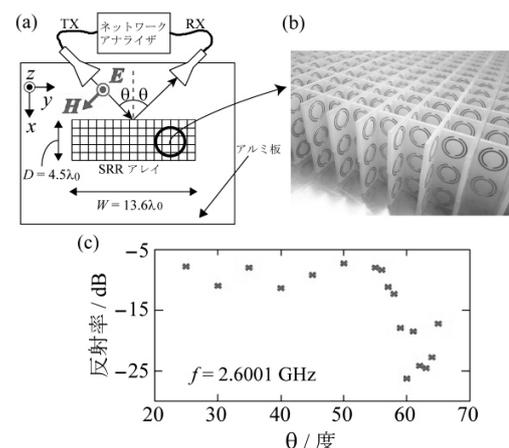


図 1: (a) TE 波に対するブリュースタ現象観測の実験系, (b) SRR アレイ, および (c) 反射率 - 入射角特性の測定結果.

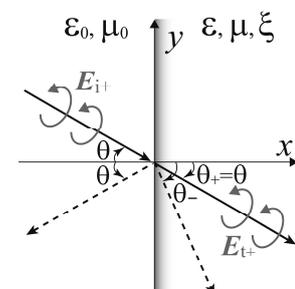


図 2: 円偏光に対する無反射現象.

## 常見 英 加 (松重教授)

### 「デュアルプローブ原子間力顕微鏡の開発及びナノスケール電気特性評価への応用」

平成 23 年 3 月 23 日授与

近年、電子デバイスの微細化が限界を迎えつつあるなか、単一／少数の原子分子からなる新たな素子開発を目指した研究が盛んである。そのような新たな素子開発のためにはまず、原子分子レベルで材料の物性を知る必要があり、ナノスケールの計測技術の確立が求められている。現在のナノサイエンス分野での主要な計測手法のひとつに原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscopy: AFM) 技術がある。AFM は先鋭な探針 (プローブ) で観察対象の表面を走査し対象との相互作用を検出する顕微装置であり、高分解能な形状観察に留まらず、表面電位や磁気力、圧電性や導電性の計測、更には微細加工など多様な機能を有している。しかし、対象にアプローチできるプローブが1つのみであるため、その適用範囲が限られている。

プローブを複数本にし、それらが独立に動作出来れば、多端子電気計測、局所刺激と同時の応答計測、微細加工とその場評価など、AFM の応用分野が更に広がる。このような背景のもと、ナノ計測の新たなツールとしてのデュアルプローブ原子間力顕微鏡 (DP-AFM) の開発、およびナノ材料の電気計測への応用を目的として研究を行った。

AFM の開発にあたっては、探針—試料間相互作用力 (探針変位量) の検出手法が装置構成や感度、応用範囲に関わる特に重要な要素である。本開発装置では、検出法として最も一般的な光てこ法を採用した。光てこ法は比較的複雑な装置構成を必要とするが、検出感度が高く、多様な応用実績があるなどの利点があり、上記のような多様なアプリケーションを実現するためには導入が不可欠である。開発した DP-AFM の写真を図 1 に示す。大気中の酸素・水の影響を受けやすい試料や、液体中の生きた生体試料も測定対象とするため、真空下、大気下、液中での動作が可能なものとした。

装置の基本性能およびナノ電気計測への適応可能性評価の例として、導電コートを施した2つの探針をナノテスターとして用い、図 2 のような長さ約  $1\mu\text{m}$ 、直径約  $20\text{nm}$  の金ナノロッドの抵抗計測を行った。絶縁性基板の上に分散させた金ナノロッドを各探針で観察したうえでナノロッド上へ探針を配置し、接触させた。2つの探針間の電流—電圧特性を取得し、図 3 に示すように探針間隔  $970\text{nm}$  において  $442\Omega$  の抵抗値を得た。また、2つの探針間隔を  $300\text{nm}$  程度まで任意に接近させて測定を行うことができた。

本研究ではこのほかに、DP-AFM を用いて異方的導電性を有する高分子単結晶に対する電荷注入と電荷拡散マッピング、有機半導体薄膜の電界効果トランジスタ特性計測に成功した。



図 1 : 開発した多環境動作 DP-AFM 装置の写真

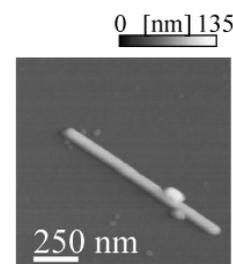


図 2 : DP-AFM で観察した金ナノロッドの形状像

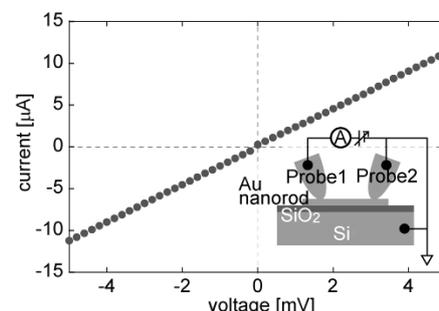


図 3 : DP-AFM で測定した金ナノロッドの電流 - 電圧特性

Upham Jeremy (野田教授)  
 「Dynamic photon control by photonic crystals」  
 (フォトニック結晶による光子の動的制御)  
 平成 23 年 3 月 23 日授与

Photonic crystals (PC) are artificially fabricated structures with periodic refractive indices of optical wavelength-order. Analogous to electrons in a semiconductor, this periodicity provides the spatial symmetry necessary to dictate the allowed states of photons in the PC as dispersion relationships between their frequency and wavevector. Particular PC geometries develop photonic band gaps: ranges of frequency where photons are completely forbidden from existing in the medium. Designing breaks to this symmetry can create defect states where designated frequencies can couple to resonant or propagating optical modes with wavelength-order precision, providing the ultimate spatial control over photons. This work demonstrates that by combining the robust spatial control offered by silicon PCs with equivalent temporal control, the behaviour and characteristics of photons can be manipulated. This drives us to conceive, demonstrate and critically evaluate techniques for temporal control over light as it interacts with PC devices.

1-On-the-fly wavelength conversion is based on an equivalency between the spatial and temporal dimensions of the wave equation. It is well understood that if light travels through a medium with spatial variation of the dielectric constant, then there will be a corresponding change to the field's wavenumber. However, by that same reasoning a temporal change of the dielectric constant results in a variation of the light's frequency. This is demonstrated by the spectrum of an optical pulse propagating through a PC line defect waveguide experiencing a sudden, localized change of the refractive index. The spectrum shifts proportionally to the magnitude of refractive index change witnessed by the pulse (Fig. 1) and is highly time sensitive. Frequency shifts of up to 2.8 nm have been observed and can be integrated with other PC devices to provide dynamic functionality.

2- Another form of dynamic photon control is dynamic  $Q$  factor control of resonant nanocavities for the catch and release of optical pulses. By dynamically manipulating the phase relationship of interference between optical paths coupling between the nanocavity and a nearby waveguide (Fig. 2 (a)), photons can be dynamically encouraged or forbidden to couple between these structures, catching and releasing photons from the resonant mode on-demand. Time-resolved observation of the nanocavity field shows clear manipulation of the photon lifetime during capture and release (Fig. 2 (b)). Independently controllable input and output ports have also been devised, showing successful release of a 4 ps pulse up to 327 ps after capture.

In addition to controlling the carrier frequency and lifetime of photons in these silicon PCs, further investigation could lead to improved performance by harnessing the characteristic properties of different semiconductor media and the development of dynamic control over strong coupling.

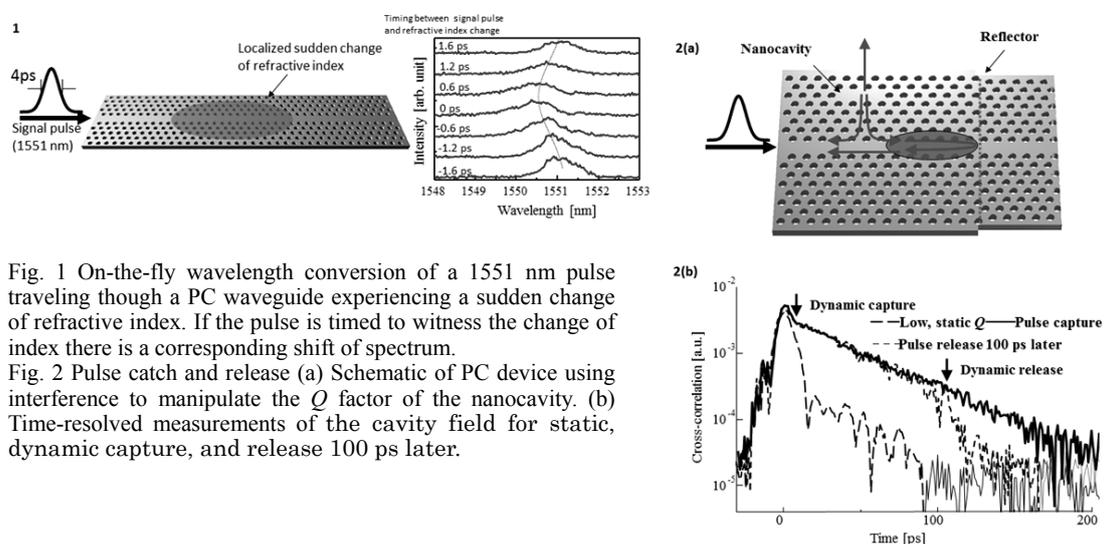


Fig. 1 On-the-fly wavelength conversion of a 1551 nm pulse traveling through a PC waveguide experiencing a sudden change of refractive index. If the pulse is timed to witness the change of index there is a corresponding shift of spectrum.  
 Fig. 2 Pulse catch and release (a) Schematic of PC device using interference to manipulate the  $Q$  factor of the nanocavity. (b) Time-resolved measurements of the cavity field for static, dynamic capture, and release 100 ps later.

中 尾 正 悟 (吉田教授)

「Study of Uplink Control Channel for LTE and LTE-Advanced」

(LTE と LTE-Advanced における上り制御チャンネルに関する研究)

平成 23 年 3 月 23 日授与

平成 22 年末、第 3.9 世代の無線通信システムである Long Term Evolution (LTE) の商用サービスが開始された。また、第 4 世代の無線通信システムである LTE-Advanced の標準化もほぼ完了しており、近い将来に商用サービスが開始される見込みである。本論文は、著者の LTE 及び LTE-Advanced システムにおける上り制御チャンネルに関する研究をまとめたものである。

LTE 及び LTE-Advanced における上り制御チャンネルは、下りデータに対する Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) を制御する上り応答信号 (ACK 信号 / NACK 信号) を伝送するためのチャンネルであり、異なる端末からの応答信号同士は符号分割多元接続 (Code Division Multiple Access : CDMA) によって多重化されている。

この上り制御チャンネルの安定性向上やキャパシティ改善は、LTE 及び LTE-Advanced を利用するユーザの体感速度を向上する上で重要であり、著者は、この上り制御チャンネルに着目して研究を行ってきた。また、この研究成果の一部は標準化団体である 3rd Generation Partnership Project (3GPP) に提案され、一部が実際の規格として採用されている。

本論文で纏められている研究成果は以下の通りである。

- 1) 端末の高速移動時にも安定した通信を実現するための上り制御チャンネルの構成に関する研究及びその評価結果
- 2) 端末の送信タイミング制御誤差に起因する符号間干渉が、上り制御チャンネル伝送特性に与える影響の検証、及びその影響を軽減できる手法の研究
- 3) 上り制御チャンネルにおける符号間干渉が、基地局側での上り応答信号有無の検出に与える影響の検証、及びその影響を軽減できる手法の研究
- 4) 上り制御チャンネルのマルチアンテナ化に関する研究、及びマルチアンテナ化に伴うリソースオーバーヘッド増加を抑える技術の研究

1) の研究では、従来の上り制御チャンネルの問題であった、端末の高速移動時における応答信号の伝送特性劣化を、新たな符号設計手法を導入することによって解決し、計算機シミュレーションによってその効果を確認している。

2) の研究は、実運用環境において発生し得る、送信タイミング制御誤差に起因する符号間干渉による影響を低減するために取り組んだものである。ここでは、ACK 信号と NACK 信号の発生頻度の違いに着眼し、実質上、符号間干渉がシステム全体に与える影響を最小化する手法を提案し、シミュレーションを通してその効果を確認した。

3) の研究は 2) に関連して行ったものであり、下り HARQ 制御手法の一つである「Incremental Redundancy」を適用するために必要な、上り応答信号有無の検出に関するものである。ここでは、従来の応答信号有無検出アルゴリズムに対して、解析的な考察を通して問題点を明らかにし、2) の手法と組み合わせることによってその精度を大幅に向上できることを示している。

4) は上り制御チャンネルに送信ダイバーシチ (Spatial Orthogonal Resource Transmit Diversity) を適用する場合のオーバーヘッド削減に関する検討である。ここでは、オーバーヘッドの増加を最小限に抑えつつ、なるべくダイバーシチ利得を得るための手法の提案及び評価を行っている。

久保 広行 (高橋教授)

「モバイルマルチキャストのための心理要因と物理要因の補償技術」

平成 23 年 3 月 23 日授与

本論文は、ユビキタス時代におけるインターネットサービスの主役となるモバイル環境において、情報コンテンツを複数の端末に配信するマルチキャスト技術を実現させるためのアーキテクチャについて、電波や電力などの物理的要因と利用者の心理要因の両面から検討したものである。

一般に、モバイル環境では電波や電力などの物理的制約のために高品質でサービスを楽しむことが困難である。そこで、複数の端末がリソースを共有することでサービス品質を向上させるアプローチが注目を集めている。本論文では、リソースを共有してマルチキャストサービスを実現するための課題をとりあげ、それを解消する技術を提案した。本論文で提案する技術群を用いることで、モバイル環境でデータストリーミングなどの高品質コンテンツを楽しむことが可能になる (図 1 参照)。

1. モバイル端末が論理ネットワーク上でコンテンツを中継転送することでコンテンツを配信するオーバーレイマルチキャストにおいて、物理要因を限定し、心理要因に着目してそれを補償する技術を提案した。コンテンツの中継相手が自身の友人であるときに心理コストを低減させることができることに着目し、ユーザの人間関係を表したソーシャルネットワーク上でコンテンツ配信トポロジを作成することで心理要因を補償しサービス品質を向上させた (図 2 参照)。

2. オーレイマルチキャストにおいて、考慮される物理要因を整理し、それを考慮して最適なトポロジをどのように構築するかを検討した。コンテンツ中継に影響を及ぼす複数の物理要因を、統計処理により集約して単一の指標にし、それを元にトポロジを構築することでトポロジ全体の品質を高めることができた。

3. 単一の基地局から電波を受信可能な複数の端末にコンテンツを同報配信する Point-to-Point マルチキャストに着目し、複数の無線基地局が存在する環境を想定し、基地局から離れている端末の受信ロスが大きくなるが、提案手法では所望コンテンツを受信した端末からの再送信によってその受信ロスを補償する。更に、異なる無線基地局の配下にある端末同士での再送信による補償を実現することで、その効率を更に高めることができた。

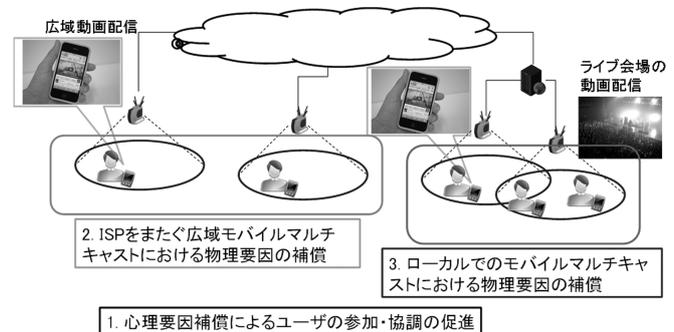


図 1 提案アーキテクチャ概要

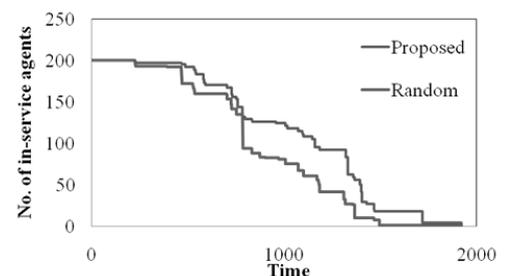


図 2 サービス時間に対する参加ユーザ数の推移

金 岡 泰 弘 (吉田教授)

「光ファイバを用いた電力通信網の高度化の研究」

平成 23 年 3 月 23 日授与

スマートグリッドに代表される将来の電力供給システムにおいては、太陽光発電や風力発電等、いわゆる多数の小規模な再生可能エネルギーが組み込まれることになると予想されます。安定して電力の供給を維持するためには、これらの発電制御や運転状況の把握等を行う必要があります、そのためには、既存の電力通信網に加えて、広範囲に分布する機器と電力供給システムの制御拠点間での通信が必要となります。さらにこの新たな通信需要の発生は、現在の電力供給システム用の拠点間の通信網を伝送する情報量の増大をもたらします。そこで、変電所や発電所等の電力供給拠点間の既存通信網を伝送する情報量の増大に対応するための波長分割多重伝送を用いた光ファイバ伝送の大容量化と、新たに発生する多数の小規模発電機器等との通信を収容可能な、無線伝送と光ファイバ伝送を組み合わせた光電波融合技術に基づく無線システムに関する成果を取りまとめました。

電力会社における大規模な発電所や変電所等、電力供給のための重要拠点間は電力会社に固有の光ファイバ設置形態である OPGW (Optical Ground Wire: 送電線最上部のアース線に光ファイバを内蔵したもの) で結ばれています。しかし OPGW は送電線と同じルートに敷設されるため、通信拠点として利用できる変電所等の数が少ない上に、比較的距離をおいて存在しています。また、中継を行うために送電線ルートの途上に局舎を設置することは難しく、OPGW を張替えて芯線数を増加させることも容易ではありません。このような電力会社の通信網の特徴を考慮した伝送モデルにおいて、波長分割多重伝送による大容量化のため、波長間隔や光ファイバ入力強度を伝送実験により明らかにしました。また、実際に敷設されている OPGW を用いた伝送実験により、不平等波長配置による伝送特性を明らかにしました。

次に、将来新たに発生する可能性のある小規模発電装置等の数多くの通信対象を前提として、足回り部分を無線で伝送し、光ファイバで拠点へ情報を集約する光電波融合技術を用いた無線システムについて、実際に 2.4GHz 帯と 5GHz 帯の無線装置を試作して基本特性を確認するとともに、低コスト化の検討を行いました。従来は光-電気変換部に高価な DFB-LD (Distributed Feed Back Laser Diode) を用いることが一般的であったのに対して、安価な FP-LD (Fabry Perot Laser Diode) を用い、さらにこれと光検出器を一体化した双方向モジュールの開発を行いました。その結果、伝送特性は従来方式に比べてわずかな劣化にとどまり、FP-LD を組込んだ双方向モジュールを使うことが実用的であることを明らかにしました。

また、光電波融合技術を利用して無線システムを効率的に構築できるマルチセルシステムの検討を行いました。1 台の無線機に複数の子局を接続して、無線機当たりのサービスエリアを拡大する場合のセルの重なり部分での干渉問題を解決するため MIMO (Multi-Input Multi-Output) 技術を適用する手法を提案しました。次に、市販の MIMO 対応無線 LAN を用いて、光電波融合技術を用いた伝送装置により隣接セルを無線機の異なるアンテナポートと結んだマルチセル環境を構成し、1 つのアンテナポートを分岐した場合と比較評価を行いました。実際に野外伝送実験を行い、複数子局からの電波で干渉が生じるエリアにおいて MIMO を適用することにより特性が改善されることを明らかにしました。

以上のように、実験による検討結果が大きな割合を占める論文となりました。実際に敷設されている光ファイバを用いた実験や、屋外での無線の伝送実験等、限られた時間や場所のもとで苦労しながらデータを取得したことが、今では良い思い出となっております。

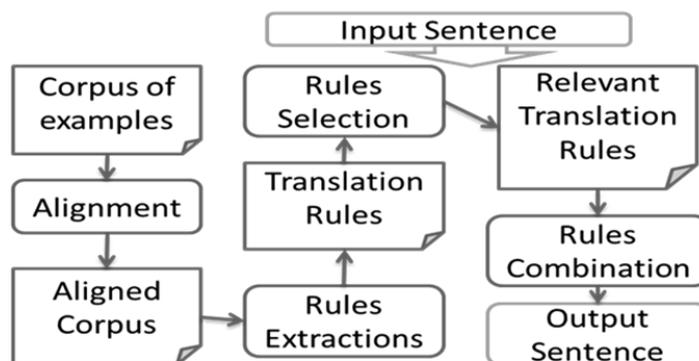
Fabien Cromieres (黒橋教授)

「Using Scalable Run-Time Methods and Syntactic Structure in Corpus-Based Machine Translation」

(スケーラブルな実行時手法と構文木に基づくコーパスベース機械翻訳)

平成 23 年 3 月 23 日授与

With the development of Internet and Globalization, Machine Translation of natural languages has become a more strategic topic than ever. In the past decade, increase in processing power and available resources have led many researchers to shift focus from heavily linguistic and expert knowledge-based systems to corpus-based approaches. The principle of the corpus-based approach is to use



existing corpora of translations to automatically learn how to create new translations. This approach started to develop in the 1980s, and it actually originated in Kyoto University with Professor Makoto Nagao, who proposed some of the initial ideas as early as 1984. The general framework for Corpus-Based machine translation is as follows. First, a large corpus of translation examples (consisting of sentences in source and target languages) is collected. These examples are then aligned: links are established between subparts of the source and target side that are translations of each others. The aligned corpus can then be used to extract translation rules that will be used for translating an input sentence. In this general framework, many differences exist between systems, depending on which type of translation rules are used and which amount of syntactic information is used.

This thesis explores several issues concerning use of syntactic structure in large-scale Corpus-Based Machine Translation. In particular, we emphasize the need to move towards methods that are scalable (applicable to systems using millions of examples) and if possible relying on run-time computations (avoiding the need to pre-compute and store too many informations). We also emphasize the need to take into account the syntactic structures of the examples and their differences across language.

More specifically, the contributions of this theses cover several aspects of corpus-based machine translation. As for the alignment aspect, we propose a new framework for alignment making use of graphical models. This framework allows specifying new alignment algorithms in a flexible way. We also propose an approach to alignment where the alignment can be done on a per-sentence basis, allowing to do the alignment step at run-time, on an on-demand basis. As for the rules extraction and selection aspect, we develop a method for efficiently retrieving translation examples in the corpus that are pertinent to the translation of a query sentence. This method is based on retrieving examples whose part of the syntactic structure match that of the sentence. Several challenges, such as keeping the processing time and memory used manageable, require the use of innovative algorithms, such as an adaptation of the concept of Suffix Arrays to trees. Finally, motivated by the facts that some of the simpler type of translations rules cannot capture some translation phenomenon happening during translation, we also propose some new type of rules that can handle more complex transformation phenomenon while still being time-efficient to use.

村 脇 有 吾 (黒橋教授)

「Automatic Acquisition of Japanese Unknown Morphemes」

(日本語未知語の自動獲得)

平成 23 年 3 月 23 日授与

日本語のテキストを対象に情報検索や機械翻訳といった応用処理を実現しようとしたとき、まず問題となるのは、世界の多くの言語と異なり、日本語では語を空白によって区切らないことである。そのため、テキストを語に自動分割するという処理（形態素解析）が前処理として広く用いられている。形態素解析には長い研究の歴史があり、現在主流となっている手法は辞書を用いるものである。辞書には、(1) 動詞「書く」が「書か-ない」、「書き-ます」、「書く」と活用するといった文法知識、および (2) 「書く」、「話す」などの個々の語が人手により記述される。この方式は新聞記事を対象とした従来の評価実験では高い精度を達成している。

辞書に基づく形態素解析は、テキスト中に出現する語があらかじめ辞書登録されていることを前提としており、辞書にない語（未知語）の解析を誤りやすいという欠点がある。新聞記事向けに人手で整備した辞書を用いると、例えば、「とう痛」、「卵黄囊」といった専門用語が頻出する論文や、「ググる」、「ようつべ」といった俗語がでてくるウェブテキストに対して、満足な解析結果が得られない。この問題への対処法として、新たな分野のテキストを解析する際、あらかじめ人手で辞書に語彙登録するということが現在でも広く行われている。本論文は、このようなコストのかかる語彙登録を計算機により自動化する手法を提案している。具体的には、人手により文法規則と基本的な語彙は整備済みという設定のもと、解析対象のテキスト中出现する未知語を獲得し、人手の介在なしに直接解析にフィードバックする。

本論文では、テキストからの未知語の自動獲得という課題を、未知語検出、未知語同定、自動獲得した名詞の意味分類という3つのサブタスクに整理し、それぞれに対して解法を提示した。未知語検出タスクは、テキスト中出现する未知語を検出するタスクである。基本的な語彙は人手により登録済みのため、テキスト中の未知語は一般に低頻度だが、効率的に、しかも高い再現率で発見する手法を提案した。次に、検出された未知語に対して、(1) 形態レベルでの同定と (2) 意味分類という2段階の問題への切り分けを行った。形態レベルの同定では、日本語が持つ形態論（文法的）が利用できることに着目し、従来手法が統計的に信頼できないとして無視していたほどの少数の用例から高精度に同定できることを示した。一方、明確な文法的区別に基づかない意味分類では、構文情報を含めたより広い手がかりを利用する分類手法を提案した。

本論文が自動獲得の対象としたのは、語（形態素）という言語の最小単位である。しかし、言語処理を用いた応用処理を実現するうえで、語だけでなく、より長い意味的まとまりである複合語の認識も重要である。今後は、複合語についても計算機が自動認識できるように研究を進展させたい。

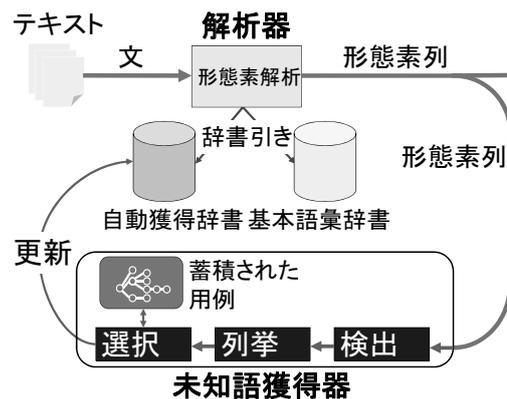


図1 未知語獲得システム

植 野 剛 (石井教授)

「General Approach to Reinforcement Learning via Statistical Learning」

(統計学習による方策評価法の考察)

平成 23 年 3 月 23 日授与

強化学習は未知の環境に置かれた学習エージェントが自律的に行動方策を学習する方法論である。近年、強化学習は自律エージェント学習問題におけるスタンダードな手法とされるまで発展を遂げ、様々な実問題に応用され、大きな成果を挙げている。それら成功で中心的な役割を担っているのは TD 学習に代表されるモデルフリー方策評価法を組み込んだ強化学習法である。この手法は方策の“価値”（期待累積報酬和）の推定を行う、(モデルフリー) 方策評価と、推定した価値に基づく方策の改善、方策改善を交互に行うことで方策の学習を行う枠組みである。この学習法の最大の特長は方策評価時にタスク環境の推定せずに現在の方策の“価値”を推定する点である。つまりタスク環境のダイナミクスを知ることなく、方策の学習を行うことができる。この望ましい性質により、多くの研究者が魅了され、新しいモデルフリー方策評価法とそれを組み込んだ強化学習法が次々と誕生した。しかし一方で、これまでモデルフリー方策評価アルゴリズムの理論解析、特に価値推定の推定精度に関してはほとんど検証されておらず、アルゴリズム間の推定精度による比較など理論的な考察は十分に行われていない。

本学位論文では、モデルフリー方策評価問題における価値関数推定の性質を統計学習の観点から解明する。本研究の独創的な点は、セミパラメトリック統計推論をもとにした価値関数推定の新しい枠組みを提案している点である。この枠組みは、セミパラメトリックモデルによりモデルフリー方策評価をより一般的な統計問題に変換し、統計学習分野で確立されている様々な解析手法をモデルフリー方策評価の統計解析に応用することが可能となる。この枠組みより、これまで明らかにされてこなかったモデルフリー方策評価の重要な統計的な事実を多数発見した。

さらに本研究では理論研究では、モデルフリー方策評価法の実応用として 2 足歩行ロボットの歩容の学習に挑戦した。不安定な歩容の 2 足歩行ロボットに強化学習を適用し、安定した歩容を獲得することを狙いとしているが、学習中 2 足歩行ロボットはすぐに転倒するため、サンプルが潤沢に得ることができない。この困難に対処するため、本論文では、過去に獲得したサンプルを再利用することが可能な強化学習アルゴリズムを用いた。これにより、計算機実験、並びに実機実験においても 2 足歩行ロボットの安定した歩容を高速に学習することに成功した。

小林 弘 和 (北野教授)  
 「Geometric phases in optical interferometry」  
 (光学的干渉における幾何学的位相)  
 平成 23 年 5 月 23 日授与

図1のように球面上の接線の平行移動を考える。移動中は回転が起きていないにもかかわらず、平行移動後に元の場所に戻ってくると、接線の通った閉経路の面積に比例した角度だけ接線の向きがずれてしまう。これは球面が歪曲していることに起因する現象である。1984年にBerryは同様の現象を起源とする位相量を発見した。彼は量子状態を断熱的に時間発展させて元の状態に戻ってきたときに生じる位相の中に、状態空間の歪曲を反映した位相量が含まれていることを示した。この位相量は時間発展の経路で囲まれる面積という幾何的な量に比例するため、「幾何学的位相」と名付けられた。幾何学的位相は多岐に渡る物理系で観測される普遍的な位相量である。本研究では特に光の偏光状態に着目し、光学的干渉に内在する幾何学的位相を明らかにした。さらに、幾何学的位相の非線形な変化を利用した高感度測定への応用を考えた。以下に本研究で得られた成果を示す。

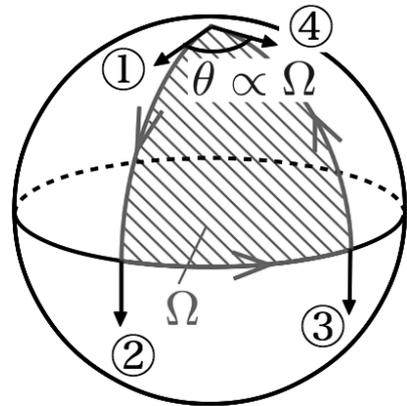


図1：球面上の接線の平行移動。

1. 3 光束干渉を用いた幾何学的位相の直接観測

3つの偏光状態で決まる幾何学的位相を、簡易に観測する新たな手法を考案した。この手法に従えば、3つの偏光状態を準備して干渉させるだけで、それらの干渉模様から幾何学的位相の情報を抽出することができる(図2参照)。

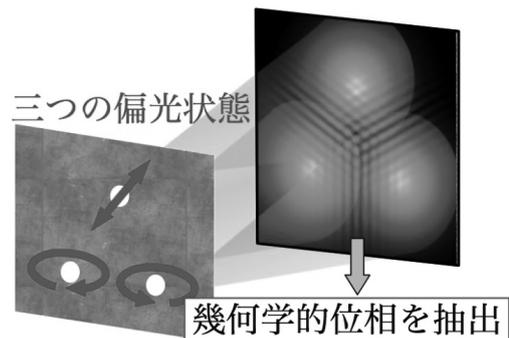


図2：3 光束干渉計。

2. 量子消去系における幾何学的位相

ヤングの二重スリット干渉計において、偏光状態を利用することで、干渉縞の消去と復活を観測できる(図3参照)。このような実験系を量子消去系と呼ぶ。本研究では量子消去系の原理と幾何学的位相が密接に関係していることを明らかにし、さらに量子消去系において幾何学的位相が急激に変化する様子を観測した。

3. 2 光子に対する幾何学的位相と高感度測定

1光子ではなく2光子分の位相を取得し、幾何学的位相の変化量が2倍に増大されることを実験的に示した。また、この位相変化を利用した高感度測定を提案し、その評価を行なった。

以上の成果はいずれも非常にシンプルな構成の実験系を用いているが、量子消去や幾何学的位相、またその非線形性といった量子論の基礎に関する効果や概念を直接確認できるという意味で非常に重要な役割を果たすものである。

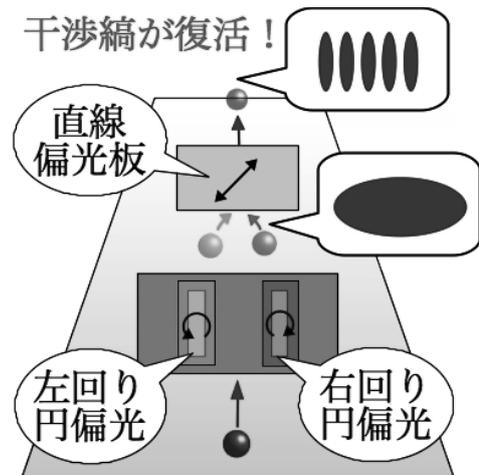


図3：偏光を利用した量子消去。直線偏光板で経路の情報を消去すると干渉縞が復活する。

田 畑 悦 和 (橋口浩之准教授)

「Observational study on diurnal precipitation cycle over Indonesia using 1.3-GHz wind profiling radar network」

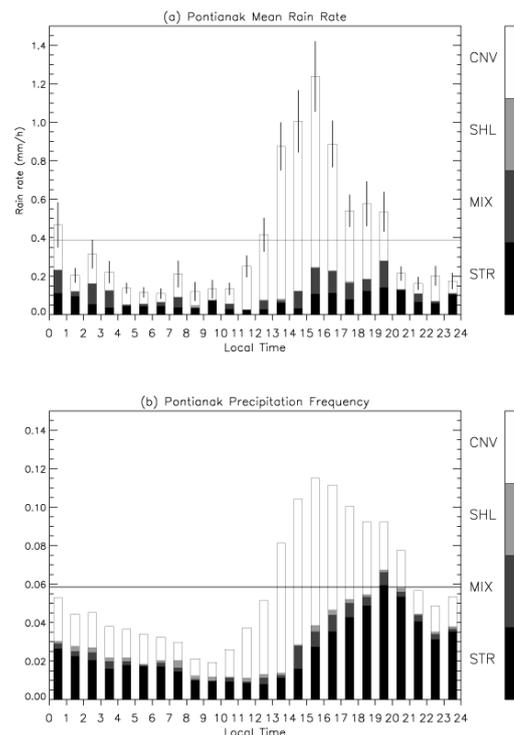
(1.3 GHz ウィンドプロファイラネットワークを用いたインドネシアにおける降水日変化の観測的研究)

平成 23 年 5 月 23 日授与

インドネシアは世界有数の多雨地域で降水に伴う潜熱加熱は大気大循環に重要な役割を果たしている。そのインドネシアにおける降水変化で最も卓越するのが日変化である。「海大陸レーダーネットワーク構築」プロジェクトによって、晴天乱流エコーから風速三成分の高度プロファイルを高時間・高度分解能で測定可能な1.3GHzウィンドプロファイラがインドネシアの3地点、西カリマンタン州ポンティアナ、北スラウェシ州マナド、及びパプア州ビアクに設置された。本論文では、降雨エコーに対しても高い感度を持つ1.3GHzウィンドプロファイラの特長を生かして降水雲タイプの分類を行い、雨量計データも利用して各地点の異なる地形的特徴に伴う降水日変化の特徴を明らかにした。さらに、ラジオゾンデ観測、衛星観測データなどの利用により、降水日変化に対する季節内変動や陸塊スケールの影響について考察した。本論文により得られた主要な成果は次の通りである。

1. ポンティアナ、マナド、ビアクの3地点とも午後の早い時間帯に降水ピークを持つが、ポンティアナとマナド、ビアクの間にはその降水の特徴に差異が見られる。すなわちポンティアナでは対流性降水雲が組織化して層状性降水雲に移行するのに対して、マナド、ビアクではそれが見られない。これは、陸塊の大きさが、日中に生成される対流性雲群の水平スケールを決めており、日中から夕方にかけての降水の特徴に大きく影響することを表している。(ポンティアナにおける観測結果を図に示す。)
2. 3地点とも季節内変動に依らず午後の降水が卓越する。ポンティアナにおける対流性降水雲から層状性降水雲への移行も季節内変動に依らない。一方、層状性降水の頻度は季節内変動活発期に増加し、特にビアクにおける夜中から朝方にかけての層状性降水は季節内変動活発期に卓越する。
3. 上昇流の頻度分布から、日中の強い太陽放射に伴って発生した活発なブルームが地表付近の水蒸気を上方に輸送するのに重要な役割を果たしており、これが日中の対流性降水をもたらす。また、3地点とも海陸風が下層で卓越し、特にビアクにおける午前中の降水は、ニューギニア島からの陸風が重要な役割を果たしている。

以上、各種観測データに基づき、インドネシアの各地点における、それぞれの地形特有の降水日変化やそれに関連する諸現象を初めて明らかにした。



1.3GHz ウィンドプロファイラと地上雨量計で観測された(a)降水強度と(b)降水頻度の平均日変化特性。降水雲タイプを深い対流性(CNV)、浅い対流性(SHL)、対流・層状混合性(MIX)、層状性(STR)に分類している。横線は平均値を示す。

細川 義浩 (松重教授)

「周波数変調原子間力顕微鏡 (FM-AFM) の高感度化と赤外応答像測定への応用」

平成 23 年 9 月 26 日授与

周波数変調原子間顕微鏡 (FM-AFM) は高い精度や分解能を持ち、また試料への影響が非常に小さく、幅広い環境での観察が可能のため、分子エレクトロニクスなど次世代デバイス開発に向け大変有用な技術である。しかし、分子の官能基の識別や生体反応計測などを行うためにはさらなる高感度化・高分解能化が必要である。本論文は、次世代エレクトロニクスの有力な候補とされる単一分子エレクトロニクスの実現に向け、FM-AFM の測定において、分子薄膜表面を従来よりも高感度に検出するための最適な実験パラメーターを導出し、また、この FM-AFM を用いた高い空間分解能をもつ赤外分光技術の確立を目指した基礎的研究の結果について記述したものである。

はじめに、従来の研究で用いられてきた FM-AFM の安定動作条件のうち、「探針振動エネルギー散逸に関係する関係式」が必ずしも適切で無かったことを示し、より正確な関係式を導出した。また、この新しい関係式の妥当性を数値演算や実験から確認した。さらに、分子 / 原子分解能を持つ FM-AFM の等価信号雑音比 (ESNR: effective signal-to-noise ratio) について定義するとともに、計算により得られた最適な実験パラメーターを用いた実験を行うことにより、図 1 に示すように分子内構造が確認出来る程度の高空間分解能の鉛フタロシアニン (PbPc) 像観察が可能であることを実証した。

また、この結果を踏まえ FM-AFM を用いた赤外応答像測定への応用として、探針直下に外部から赤外光を照射し、試料の赤外応答を AFM で直接検出する、新規高位置分解能赤外分光技術の実現に向けた基礎実験を行った。実験の概念図を図 2 に示す。ドレスデン工科大学の Lukas Eng 教授らと行った共同研究では、自然酸化膜付きのシリコン (Si) 基板上的 polydimethylsiloxane (PDMS) 試料上において、FM-AFM を用いて赤外吸収信号の検出に成功した。また、ブロックポリマーを用いた実験では試料の赤外吸収を反映した FM-AFM 像を取得できる事を実証し、10nm 程度の空間分解能で試料の赤外吸収差異の観察に成功した。

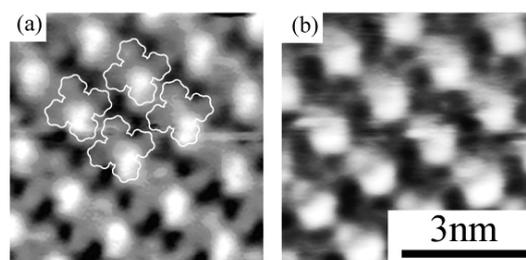


図 1. MoS<sub>2</sub>(0001) 基板上 PbPc 多層膜の二次共振モードによる微小振動振幅 FM-AFM 像. (a) 表面形状像. (b) エネルギー散逸像.

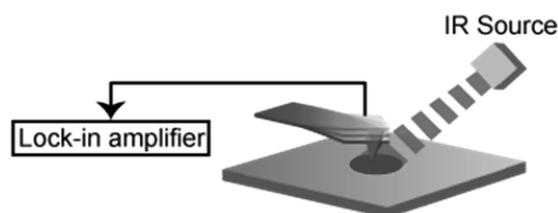


図 2. 新規高位置分解能赤外分光技術の概念図. 照射する赤外光を強度変調し、ロックインアンプを用いて信号検出を行った.

Suketu Naik (引原教授)

「Investigation of Synchronization in a Ring of Coupled MEMS Resonators」

(リング結合した MEMS 共振器の同期に関する研究)

平成 23 年 9 月 26 日授与

MEMS devices are normally targeted to achieve a specific range within its linear mode of operation. At higher vibration amplitude, the devices exhibit nonlinear response. MEMS resonators, shown in Fig. 1 (a) that exhibit the hard-spring behavior as shown in Fig. 1 (b) were the focus of this study.

Devices such as the one shown in Fig. 1 (a) were fabricated in SOIMUMPs process. The device utilizes laterally driven comb-drive. The electrostatic force that is generated through this mechanism does not depend on the displacement in x-direction. Large force creates large deformation in the suspension springs

and this creates hard-spring response when the excitation frequency is swept. The devices were designed to be asymmetric such that the lengths of the inner beams and the outer beams of the suspension springs have a ratio. This creates asymmetric expansion and contraction of the beams during peak displacement. This mechanism further enhanced the hard-spring effect and exhibited an extension of the hysteresis during upswing and downswing of the excitation frequency as shown in Fig. 1 (b).

These individual resonators were then utilized in a coupled system to demonstrate the application of nonlinearity for sensing applications. The resonators were coupled together electronically via current to voltage converters, amplifiers and other necessary signal processing electronic components. Changing the gain of the amplifiers changes the overall coupling strength between two individual resonators. As confirmed in the simulation

study, the resonators exhibit oscillations without an ac excitation signal when the coupling strengths are changed to the critical values. The resonators were biased at dc voltage. The experiments further revealed that the extension of hysteresis may play a crucial role in the range of the vibrations of the coupled system. Additionally by changing the coupling topology, the system exhibited in-phase and out-of-phase vibrations such as the ones shown in Fig. 2 (a). In nonautonomous mode with ac excitation signal, the coupled system exhibited a clear transition from stable periodic vibrations to unstable quasiperiodic vibrations. Regions of synchronization were characterized for various

autonomous states as shown in Fig. 2 (b). The coupled system showed sensitivity in regards the coupling strength, pressure, excitation amplitude, and excitation frequency. The coupled system is a good candidate as a sensor to be utilized in various application areas including energy harvesting, inertial sensing, and MEMS frequency synthesis.

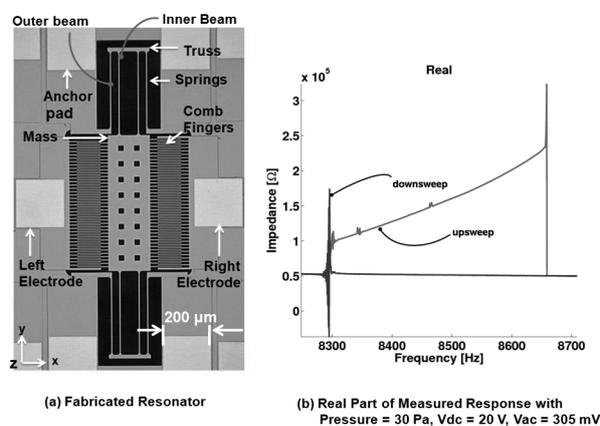


Fig. 1 (a) MEMS device with asymmetric suspension beam lengths and (b) measured response of the device which shows hard-spring behavior and extension of hysteresis

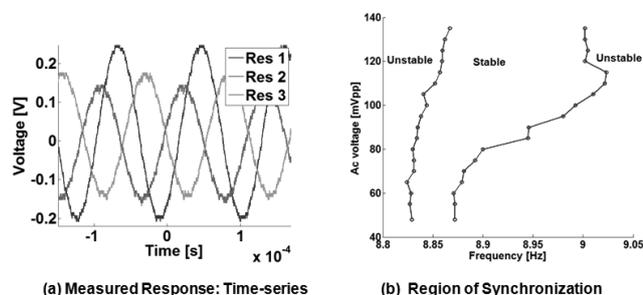


Fig. 2 Coupled resonators: (a) autonomous system with out-of-phase vibrations and (b) region of synchronization with ac excitation amplitude and ac excitation

## 青山 秀 紀 (中村裕一教授)

### 「作業支援システムのためのユーザ状態の認識と支援選択に関する研究」

平成 23 年 9 月 26 日授与

近年、様々な場面で人間をサポートする情報機器の研究が行われており、その一つに、調理や工作等の様々な作業を行う際に、作業段階に合わせてその方法やコツ等を教示したり、機器の自動操作を行ったりすることで、作業の補助を行う作業支援システムがあります。本研究は、図1のように、知識量や興味や環境の状態といったユーザの状態や環境の状態に応じて適切な支援を行うシステムの実現を目的としており、そのために以下の4つの手法を提案しました。

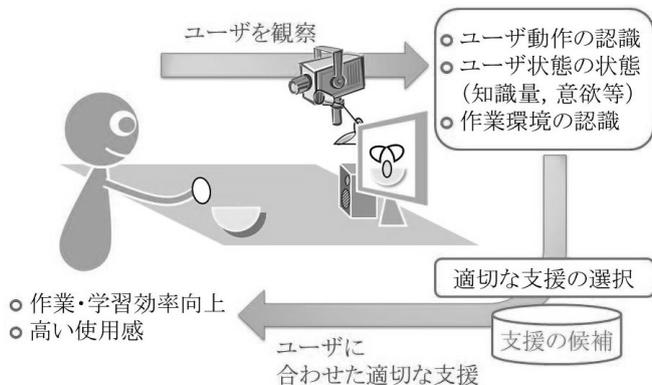


図1：適切な支援を行う作業支援システム

#### 1. ユーザ状態に適応した支援を行うためのインタラクションモデル

従来のようにユーザだけの行動をパターン化するのではなく、ユーザとシステムの行動を合わせたインタラクションのパターンを利用してシステムの行動を決定する手法を提案しました。熟練した人間がシステムを操作して支援を行った際のインタラクションのパターンを予め学習しておき、自動操作中には、その中から現在のインタラクションパターンに最も近いパターンを再現するようにシステムを動作させることで、現在の状況に適した支援行動を実現します。

#### 2. 協調フィルタリングを利用した支援の選択手法

上記の手法より時間的に長いスパンで見ても適切な支援を選択するための手法として、e-コマース等で利用されている推薦アルゴリズムを利用した手法を提案しました。この枠組では、各支援を行った際にその支援がユーザにとって良かったかどうかをシステムが判断する必要がありますが、この判断には比較的多くの誤差が含まれるため、このような誤差に頑健な推薦アルゴリズムを提案しました。また、これに組み合わせて使用できるアルゴリズムとして、一つ一つの支援を最適に選択するのではなく、作業全体を通して考えた場合に最適となる支援を選択するためのアルゴリズムを提案しました。

#### 3. 筋電位計測と画像計測を利用した手動作と操作物体の認識手法

筋電による動作認識には、細かい動作や速い動作の認識に強い、陰に隠れることが無い、早い時点での認識が可能、込められた力の大きさの認識であるといった利点があり、作業において重要な手動作の認識に適しています。しかし、認識対象とする動作が増えるに従って認識精度は低下します。そこで、手の周辺に存在する物体を、頭部等に装着したカメラからの画像によって認識し、その物体に対して行う動作を考慮に入れることで、多数の動作を認識対象としつつ、認識精度を維持・向上させる手法を提案しました。

#### 4. 筋電位計測と画像計測を利用した把持行動の予測手法

物体を把持する際の手の開き方の性質を利用し、実際に物体に触れる前に、いつ、どこにある、どの物体を、どのような掴み方で把持するのかを予測する手法を提案しました。これにより、支援の事前準備や危険予測が可能になります。また、このとき、筋電位計測を用いることで指の小さな動きを早い時点で認識し、筋電位からは認識の難しい手の位置を画像計測を用いて認識するという手法を提案しました。

橋本 力 (黒橋教授)

「Knowledge Acquisition from the Web for Text Understanding」

(テキスト理解のための Web からの知識獲得)

平成 23 年 9 月 26 日授与

人間と言葉で通じ合うことのできる機械を作ることは人類の夢の一つであると言える。計算機科学の黎明期から取り組まれてきた、計算機によるテキスト理解の研究は、まさにその夢の実現を目指している。我々は当面のゴールとして、あるテキストの対が与えられた時、一方のテキストがもう一方のテキストを意味的に含意するかどうかを判定するシステムの実現を目指している。例えば図 1 では、1 行目の文が 2 行目と 4 行目の文を含意するが、3 行目の文は含意しない。

計算機によるテキスト理解を実現する上での難問の一つに知識獲得ボトルネックと呼ばれる問題がある。これは、人間がテキストを理解する上で無意識のうちに使いこなしている膨大な量の知識を、現実的なコストで、計算機に教え込むにはどうすればよいか、という問題である。テキスト理解研究の初期の段階では、テキスト理解に必要な知識を人間の手で一つ一つ計算機に入力していたが、これではコストがかかりすぎるのが分かり、近年では、大量の文書集合から (半) 自動で知識を獲得する研究が盛んになった。

本研究では、テキスト理解にとって重要でありながら獲得技術が発展途上にある 3 種類の知識を対象に知識獲得技術を開発した。1 つは我々がドメイン知識と呼ぶ、単語とそれが属するドメインに関する知識である。例えば「テキスト理解研究」と「Association for Computational Linguistics」、「自然言語処理」は<科学・技術>ドメインだが、「AFC Champions League」は<スポーツ>ドメインである。2 つ目は動詞含意知識で、例えば「学会発表した、ということは、研究した、ということを含意する」というような知識を獲得した。3 つ目は言い換え知識で、「ACL で発表する」と「Association for Computational Linguistics で発表する」のような言い換え関係にあるフレーズ対を獲得した。本研究の知識獲得手法はいずれも、Web という世界最大の文書集合を獲得源とし、Web の特性を活かしたものとなっている。ドメイン知識獲得では Web 検索エンジンを徹底活用した。動詞含意知識獲得では、低頻度かもしれないが多くのドメインの動詞をカバーしていると考えられる Web の「ロングテール」の部分からも高精度に知識を獲得する工夫をした。言い換え知識獲得では Web の冗長性を利用した。具体的には、Web 上ではある 1 つの概念について、複数の人々が異なる表現で定義を与えているが、それらの定義文から言い換えを獲得した。本手法で獲得した知識は、人手によるチェックを経て、世の中に広く配布されている (言い換え知識は今年度末配布予定)。つまり本研究は社会的貢献も果たしている。

文書集合から知識を獲得するパラダイムは過去 20 年にわたって研究コミュニティを支配し、一定の成果を上げてきた。しかし、必要な知識の全てが文書に書かれているとは限らない。常識的な知識ほどテキスト理解に重要だが、常識的であればあるほど文書に書かれることは少ない。今後の課題は、文書に明示的に書かれていない、あるいは全く書かれていない知識を如何にして獲得するか、である。

学生が ACL でテキスト含意認識について発表した。

✓ 学生が Association for Computational Linguistics で発表した。

✗ 学生が Asia Champions League で発表した。

✓ 学生が自然言語処理技術の研究をした。



図 1 テキスト理解の例

I Wayan Mustika (吉田教授)

「Distributed Radio Resource Management for Self-Organizing Wireless Networks」  
(自己組織化無線ネットワークのための分散無線資源管理)

平成 23 年 9 月 26 日授与

The rapid growth of wireless technologies has led to high demand of radio spectrum. However, the static spectrum allocation policy can be very inefficient due to under-utilized spectrum in spatial and temporal way. In addition, the tremendous growth of the number of applications in wireless devices or smart phones has led to a significant increase in mobile data usage, which can be a major challenge by network operators for supporting this growth in the near future. In this paper, decentralized radio resource management schemes are proposed in order to enhance the spectrum utilization and improve the system throughput in ad hoc networks and next-generation cellular systems.

First, the spectrum utilization in ad hoc networks can be enhanced by allowing lower-priority users (LUs), which are equipped with cognitive radio capability, to spatially reuse the spectrum of higher-priority users (HUs). Joint channel selection and power allocation for spectrum sharing is proposed and analyzed using a game-theoretic approach. In the proposed scheme, each LU attempts to select the most appropriate channel and transmit power in a decentralized manner. In particular, an adaptive coefficient adjustment is proposed in the defined utility function for the purpose of adaptively controlling the interference based on the quality of service (QoS) specified by the HUs. The simulation results show that the proposed scheme improves the network throughput of the LUs, while minimizing the outage probability of the HUs.

Then, a self-organized interference management in closed access femtocells is proposed to improve the throughput of femtocell networks, while minimizing the interference to macrocell networks. In the proposed scheme, each femto base station allocates the subset of resource blocks (RBs) in a decentralized manner. The proposed scheme can be formulated as a potential game, which is guaranteed to converge to a Nash equilibrium. The simulation results show that the proposed scheme improves the throughput of femtocell networks. In addition, a self-organization scheme for joint base station and RB selection in open access picocell networks is proposed to improve the system throughput. In the learning phase of the proposed scheme, a game-theoretic approach is used to model the interactions among users in selecting the most appropriate base station and subset of RBs. The simulation results reveal the effectiveness of the proposed scheme in offloading the macrocell traffic and improving the system capacity in open access heterogeneous networks.

WiFi access points (APs) are also considered as an alternative solution to offload the macrocell data traffic. To improve the throughput of WiFi users, a self-configuration of WiFi networks is proposed where each WiFi user attempts to select the most appropriate WiFi AP that offers a minimum potential delay and that the delay experienced by the other WiFi users can be minimized. The simulation results show the stability of the proposed scheme and reveal the trade-off between the average macrocell offload and throughput performance of WiFi users.