

Title	内容の要旨；論文審査の要旨
Sub Title	
Author	
Publisher	慶應義塾大学工学部
Publication year	2015
Jtitle	慶應義塾大学工学部研究報告別冊 Vol.80, (2015.) ,p.1- 108
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50002003-20150002-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4332	Name	Hsu Li-Chung
Thesis Title			
Design Automation and Optimization of Inductive Coupling Interface			
<p>As manufacturing cost in keeping up with the Moore’s Law grows exponentially, the idea of three-dimensional (3-D) integrated circuit (IC) technologies become promising solutions in facing the ultimate physical challenges. In recent years, the ThruChip interface (TCI) becomes one of emerging 3-D stacking technologies. TCI is a wireless interface for stacking chips vertically. Due to its wireless nature, TCI can integrate IC products with low fabrication cost in comparing to wiring solution while offering good communication reliability and high data bandwidth. Although TCI has been researched in diverse applications for years, the TCI design automation and influences of physical structures, such as power mesh and dummy metal fill, have not been explored. Without this information, designers may design TCI too conservatively and CAD engineers are unable to realize design automation. As a result, in order to enrich TCI design methodologies, this thesis focuses on discussing TCI extensive design automation and optimization topics in physical design guidelines, inductive coupling coil, and 3-D FPGA system.</p> <p>Chapter 1 introduces the background of challenges in modern semiconductor industry, the potential solutions in wiring/wireless 3-D IC integration technology, the basic concept of TCI, and the scope of this thesis.</p> <p>Chapter 2 presents TCI physical design guideline experiments in exploring the dependence between power consumption and D/Z ratio, power mesh impact, and dummy metal impact. The experiment results show that keeping the TCI coil diameter (D) and communication distance (Z) ratio to three is the optimal ratio and enlarging D/Z to six can further reduce total power by 20%. The eddy current on power mesh can cause TCI to fail. Creating a minimum space chop on power mesh can effectively recover TCI communication from eddy current impact with only additional 0.6% voltage drop. Dummy metal fill structure has no impact on TCI.</p> <p>Chapter 3 introduces an analytical TCI inductive coupling coil design optimization methodology. The optimization results show that the proposed flow can improve mutual inductance value by 17% on average in comparing to baseline cases in chapter 2 and save the design time from days to minutes.</p> <p>Chapter 4 presents the novel TCI based 3-D field programmable gate array (FPGA) architecture exploration framework. This chapter gives an overview of placement, routing, timing optimization, and noise avoidance design flow in TCI based 3-D FPGA system and raises issues that the architecture may encounter while adopting TCI. The experimental results show the proposed 3-D FPGA architecture can reduce delay by 25% on average over 2-D FPGA. Although the performance of TCI based 3-D FPGA architecture is 8% worse than through-silicon-via (TSV) based 3-D FPGA on average, TCI based architecture can reduce active area consumed by vertical communication channels by 42% on average and thus lead to better area and delay product.</p> <p>Chapter 5 summarizes this thesis and revisits the objectives of this study. An overview of future work is also given.</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4332 号	氏 名	Hsu Li-Chung
論文審査担当者：			
	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 黒田 忠広
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 天野 英晴
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 石黒 仁揮
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 中野 誠彦
<p>学士（工学）、修士（工学）Hsu Li-Chung 君提出の学位請求論文は「Design Automation and Optimization of Inductive Coupling Interface（誘導結合インタフェースの設計自動化と最適化）」と題し、5章から構成されている。</p> <p>ムーアの法則の終焉が近づき、微細化に代わる集積の手段が求められる中で、三次元集積が注目されている。誘導結合インタフェースは、三次元集積されたチップを広帯域に無線接続でき、低コストに生産できるのが特長である。ところが、その設計自動化に関してはこれまでに研究報告がない。また、微細加工のために挿入される金属片（ダミーメタル）や電源配線網が磁界結合に与える影響についても研究報告がなく、コイル径や送信電力の設計および電源配線網の配置に関する設計基準がない。本論文は、誘導結合インタフェースの設計自動化と最適化に関する研究成果をまとめたものであり、その実用化に貢献するものである。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の背景と目的を述べている。</p> <p>第2章では、電力とレイアウト面積の効率を最大にするコイルと送信回路の設計を論じ、さらに電源配線網やダミーメタルが磁界結合に与える影響を調べている。コイル径と送信電力および通信距離を変えたときの通信品質を評価して、電力効率と面積効率を最大にするコイルと送信回路の設計基準を導いている。さらに電源配線網やダミーメタルとコイルの配置を変えたときの磁界干渉を調べて、渦電流効果による磁界結合を評価している。0.18 μm CMOS 技術で試作したチップを実測し、電磁界シミュレーションの結果と併せて検討した結果、コイル径を通信距離の3倍にすると面積効率が最も良くなり、通信距離の6倍にすると送信電力をさらに20%削減できることを確認している。また、電源配線網の一部を切断して渦電流効果を低減し、磁界の減衰をおよそ半減できることも見出している。さらにダミーメタルは磁界結合に影響を与えないことも実証している。</p> <p>第3章では、第2章で求めた最適設計を実現するコイルの自動設計手法を検討している。コイルのパラメータ（直径、巻き数、配線幅、配線間隔）と通信性能（転送速度、消費電力）の間には複雑な関係が内在するが、その設計空間をスプレッドシートで可視化することにより見通し良く最適設計ができるようにしている。さらにコイルのレイアウトを自動生成し、電磁界シミュレータと回路シミュレータをつないで性能評価ができる設計手順を構築している。その結果、従来の設計に比べて送信電力を17%削減できることを例示している。</p> <p>第4章では、誘導結合インタフェースを用いて三次元 Field-Programmable Gate Array (FPGA) のチャンネルを効率良く作るアーキテクチャを検討している。具体的には、ルーティング構造に基づいた時分割制御とノイズ回避のためのタイミング制御のアルゴリズムを提案している。その結果、従来の二次元 FPGA と比較して、データ転送遅延を25%削減できることを回路シミュレーションで確認している。また、Through-Silicon Via (TSV) を用いた三次元 FPGA と比較して、データ転送遅延は8%増えるが、チャンネルの占有面積を42%削減できることを検証している。</p> <p>第5章は結論であり、各章で得られた内容をまとめ、本研究によって得られた成果を要約している。</p> <p>以上要するに、本論文は、誘導結合インタフェースの設計自動化と最適化を研究し、その有効性を実証し、実際に設計ツールを構築したものであり、集積回路工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4335 号	氏 名	市田 悠
主論文題目： レトロウイルスベクターの抑制性因子である ZFP809 の機能および特徴解析			
<p>Moloney murine leukemia virus (MoMLV) 型 LTR (long terminal repeat) は、胚性幹細胞のような未熟細胞においてその活性が強力に抑制され、その抑制因子としてマウスにおいては zinc finger protein 809 (ZFP809) が同定されている。ZFP809 は Kruppel associated box containing zinc finger proteins (KRAB-ZFPs) ファミリーのメンバーで、N 末端に KRAB ドメイン、C 末端に 7 個の zinc finger (ZF) ドメインを有し、マウス未熟細胞において高発現していることが知られている。ZFP809 の機能としては、LTR 下流にある 18 塩基対のプライマー結合部位 (PBS : primer binding site) に ZF ドメインを介して結合し、同時に KRAB ドメインを介して KRAB associated protein 1 (KAP1) と相互作用することで他の核内転写抑制因子と複合体を形成し、LTR 周囲のヒストン修飾や DNA メチル化を促し、LTR 活性を抑制する。本研究では、ZFP809 の遺伝子発現抑制効果の経時的な解析を可能とする蛍光タンパク質の発現とフローサイトメトリー解析を併用した実験系を構築し、さらに、ZFP809 が遺伝子発現抑制効果を発揮する上で重要なドメインを明らかにした。</p> <p>第一章 レトロウイルスベクターの利点および問題点について述べ、さらに ZFP809 の構造、機能および発現パターンについてまとめ、本研究を行うことの目的と意義について述べた。</p> <p>第二章 本章では、ZFP809 によるレトロウイルスベクターの発現抑制効果を経時的に解析する実験系を構築した。蛍光タンパク質の発現とフローサイトメトリーを併用した経時的な解析により、細胞を破壊することなく生細胞を用いて長期的に発現抑制効果をモニタリングすることが可能となった。さらに、ZFP809 により発現抑制されたプロモーターにおけるエピジェネティクス解析を行うことで、ZFP809 によって誘導されるエピジェネティクス修飾において、ヒストンのメチル化はプロモーターに関係なく共通して起こる一方で、DNA のメチル化はプロモーターの種類に依存して起こることが示された。</p> <p>第三章 本章では、ZFP809 が遺伝子発現抑制効果を発揮する上でどのドメインが重要であるのかを検証した。ZFP809 の欠損変異体を作製し、細胞内局在、遺伝子発現抑制効果および PBS 配列への結合能について解析した結果、ZFP809 の核局在化には KRAB ドメインと 2 個以上の ZF ドメイン、遺伝子発現抑制効果には KRAB ドメインと 5 個以上の ZF ドメイン、そして、PBS への結合には 5 個以上の ZF ドメインが必要であることが明らかとなった。</p> <p>第四章 本研究の結論をまとめた。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4335 号	氏 名	市田 悠
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授 工学博士	佐藤 智典
	副査	慶應義塾大学教授 農学博士	井本 正哉
		慶應義塾大学准教授 博士(地球環境科学)	土居 信英
		慶應義塾大学准教授 博士(工学)	清水 史郎
		国立成育医療研究センター研究所部長 博士(医学)	小野寺 雅史
<p>学士(応用生物科学)・修士(工学)市田 悠君提出の学位請求論文は「レトロウイルスベクターの抑制性因子である ZFP809 の機能および特徴解析」と題して、4章で構成されている。モロニーマウス白血病レトロウイルス MoMLV は遺伝子導入実験や遺伝子治療におけるウイルスベクターとして利用されている。ところが、MoMLV は胚性幹細胞のような未熟細胞においてその遺伝子発現活性が強力に抑制されており、その抑制因子としてマウスでは未熟細胞に高発現している Zn フィンガー (ZF) タンパク質 809 (ZFP809) が同定されている。ZFP809 は Kruppel associated box (KRAB) と呼ばれるドメインを N 末端に有し、C 末端に 7 個の ZF ドメインを有している。これまでの ZFP809 の機能解析から、ZF ドメインが MoMLV の末端の長い反復配列である LTR 下流にあるプライマー結合サイト (PBS) に結合し、同時に KRAB ドメインが他の核内転写抑制因子と複合体を形成することで、LTR 周辺のヒストンのメチル化と LTR DNA のメチル化を促し、MoMLV 由来の遺伝子発現を抑制していると考えられている。しかしながら、遺伝子発現を抑制するために必要な ZFP809 の結合ドメインは十分に解析されていない。そこで本論文では、ZFP809 の遺伝子発現抑制効果を経時的に解析するためにフローサイトメトリーや蛍光顕微鏡を併用した実験系が構築され、これを用いて、遺伝子発現抑制効果に寄与する ZFP809 ドメインの解明が行われている。</p> <p>第一章では、レトロウイルスベクターの利点と問題点および ZFP809 の構造と機能についての知見が総括的にまとめられており、本研究を行うことの意義と目的が述べられている。</p> <p>第二章では、ZFP809 によるレトロウイルスベクターの発現抑制効果を経時的に解析するための実験系が構築されている。2種類の蛍光タンパク質を用いることで、ZFP809 の発現に依存した MoMLV 由来の蛍光タンパク質の発現推移が経時的にモニタリングされ、長期間に亘る発現抑制効果が可視的に解析されている。さらに、蛍光タンパク質発現が ZFP809 により抑制された細胞を用いて、エピジェネティクス解析が行われ、ヒストンへのメチル化は使用するプロモーターに依存しなかったが、DNA のメチル化はレトロウイルスを使用した細胞でのみ検出されることを見いだしている。このことから、レトロウイルスベクターでは 2 段階の発現抑制が起きており、これにより強固な防御機構が働いていると述べている。</p> <p>第三章では、遺伝子発現抑制効果に関与する ZFP809 のドメイン解析が行われている。ZFP809 の欠損変異体が作製され、細胞内局在、遺伝子発現抑制効果および PBS への結合能の解析が行われている。その結果、ZFP809 が核内に局在するには KRAB ドメインと 2 個以上の ZF ドメイン、遺伝子発現抑制効果には KRAB ドメインと 5 個以上の ZF ドメイン、さらに PBS への結合には 5 個以上の ZF ドメインが必要であることを明らかにしている。</p> <p>第四章では本研究の結論が述べられている。</p> <p>本論文では、未熟細胞におけるレトロウイルスベクターの遺伝子発現抑制に関わる ZFP809 の新たな性質を見いだしており、これらの知見は遺伝子治療や再生医療において有効なウイルスベクターの開発に貢献するものと考えられる。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4339 号	氏 名	角井 泰之
主論文題目： ナノ秒パルス光の機械的・音響的作用を用いた 薬剤輸送および薬剤動態観測一体型技術の開発			
<p>薬剤療法で所望の治療結果を得るためには、生体内の薬剤分布を制御・観測するシステムの実現が望まれる。特に、これら両機能を同一システムで得られれば、標的部位の薬剤分布を観測しながら、薬剤を望ましい時間に最適な濃度で輸送可能になり、高効率・低副作用の治療を実現しうる。</p> <p>固体材料にパルス光を照射すると、光吸収体で熱弾性波（光音響波）が発生し、同吸収体の深さ分解イメージングが可能である。この光音響イメージング法は、励起光波長の選択により血管と薬剤を可視化できる。一方、一定閾値以上の高パワーパルス光を照射するとプラズマが生成し、その膨張に伴いフォトメカニカル波（PMW: photomechanical wave）が発生する。PMW は血管壁透過性亢進作用を有し、経血管的薬剤輸送に応用可能である。本研究は、光音響波と PMW がともにナノ秒パルス光により発生可能であることに着目し、同一システムによる薬剤輸送と薬剤動態観測、すなわち診断・治療一体型技術の実現を目的とした。本論文は以下の 5 章から成る。</p> <p>第 1 章は序論である。薬剤の輸送経路である血管、そして血液と組織の物質交換について概説し、各種血管観測技術と薬剤輸送技術の研究動向と課題を述べている。そして診断・治療一体化の概念と意義を説明し、本研究の目的と意義を述べている。</p> <p>第 2 章では、薬剤輸送経路である血管のイメージングに向けた光音響イメージング装置の開発について述べている。本研究で採用した音響学的分解能光音響イメージング法に焦点を当てて理論を説明し、開発した小型・軽量の装置の性能をファントムとラット皮膚および皮下組織中の血管のイメージング結果より述べている。</p> <p>第 3 章では、血中の薬剤の運搬体であるアルブミンと結合した模擬薬剤（エバンスブルー）と光音響イメージング法の造影剤かつ光線力学的治療の光感受性薬剤として機能するインドシアニンググリーン内包ナノ薬剤のイメージング結果から、上記の装置により組織中の薬剤のイメージングが可能であることとその有用性を示している。</p> <p>第 4 章では、上記イメージング装置に PMW による薬剤輸送機能を融合させた診断・治療一体型システムについて述べている。同装置によるマウス皮下腫瘍へのエバンスブルーの輸送とその動態観測により、システムの有用性を示している。</p> <p>第 5 章は本研究の結論であり、本研究の成果を総括し、今後の展望を述べている。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4339 号	氏 名	角井 泰之
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 齋木 敏治
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 荒井 恒憲
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 博士（医学） 塚田 孝祐
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 木下 岳司
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 寺川 光洋

学士（工学）、修士（工学）角井泰之君提出の学位請求論文は「ナノ秒パルス光の機械的・音響的作用を用いた薬剤輸送および薬剤動態観測一体型技術の開発」と題し、5章から構成されている。

薬剤療法の治療結果は、標的部位における薬剤分布とその送達に大きく依存する。生体内の標的部位における薬剤を観測し、その結果に応じた薬剤輸送が可能となれば、高効率かつ副作用の小さい治療が期待できる。本論文の著者は、生体もしくは固体材料へのパルス光照射によりエネルギー依存的に生じる光音響的作用と光機械的作用に着目し、薬剤動態観測と経血管的薬剤輸送を技術的に統合させた診断・治療一体型システムを提案している。光ファイバ照射式の一体型装置を開発し、低エネルギーパルス光を照射することにより発生する熱弾性波（光音響波）を用いて薬剤輸送経路である血管と薬剤分布のイメージングを、高エネルギーパルス光を照射することで発生するフォトメカニカル波（**photomechanical wave, PMW**）を用いて経血管的薬剤輸送を行っている。

第1章は序論である。薬剤の輸送経路である血管とそのイメージング技術を概説し、光音響イメージング法の特徴を述べている。さらに、薬剤輸送の研究動向と課題を述べるとともに、診断・治療一体型装置の必要性を説明し、本研究の目的と意義を述べている。

第2章では、光音響イメージング法の原理を解説した後、音響学的分解能光音響イメージング法について詳述することで本研究における観測技術の理論的基礎を与えている。続いて、小型かつ軽量の光ファイバ照射式の音響学的分解能光音響イメージング装置の設計について述べ、本装置の性能評価および生体組織を対象とした薬剤輸送経路である血管のイメージング結果を示している。

第3章では、血中における薬剤の運搬体であるアルブミンと結合した模擬薬剤（エバンスブルー）の生体内分布観測について述べている。ラット熱傷皮膚をアルブミン漏出モデルとして用い、開発した装置により生体内の薬剤動態を観測可能であることを実験実証している。さらに、光音響イメージング法における造影剤および光線力学的治療の光感受性薬剤として機能するインドシアニングリーン内包生分解性ナノ粒子のイメージング実験の結果を示している。

第4章では、上述したイメージング装置に **PMW** による薬剤輸送機能を一体化したシステムの設計とその有用性検証について述べている。マウス皮下腫瘍を対象とし、高エネルギーパルス光により発生させた **PMW** を用いて経血管的薬剤輸送を行うとともに、低エネルギーパルス光を用いて輸送した薬剤の分布観測の結果を示している。

第5章は本研究の結論であり、得られた成果を総括し、今後の展望について述べている。

以上要するに、本論文はパルスレーザー照射によりエネルギー依存的に生じる光音響的作用と光機械的作用に着目し、薬剤動態観測と経血管的薬剤輸送を一体型装置により実現するための技術を開発したもので、生体応用光学分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No. 4349	Name	Vermot des Roches Thibaud
Thesis Title			
<p>Failure Prediction of Membrane Electrode Assemblies for Proton Exchange Membrane Fuel Cells</p>			
<p>In Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs), the Membrane Electrode Assembly (MEA) remains the limiting factor for both cost and durability. While the chemical and thermal behavior of the MEA has been well studied, there is still a lack of data on the mechanical behavior and failure mechanism of its components. The objective of this dissertation is to develop the mechanical model to predict the failure of MEA. On top of that, numerical models are developed to complement the experimental results.</p> <p>Chapter 1 summarizes the background and previous studies.</p> <p>Chapter 2 gives a detailed overview of the structure of a PEMFC stack, and of the state of knowledge of the materials that compose it. The constraints faced by each component are discussed, and the importance of focusing on the mechanical failure of the MEA is clarified.</p> <p>In Chapter 3, the crack initiation inside the MEA is investigated. A numerical scheme is proposed in order to corroborate experimental results. A failure criterion for determining the failure from fatigue of the catalyst layer is introduced and shown to accurately predict the onset of failure in the catalyst layer. Finally, using insights from the numerical model, the mechanism of Nafion slippage is introduced as a possible explanation for the origin of cracks in the catalyst layer.</p> <p>In Chapter 4, the constitutive model of proton exchange membrane is discussed based on the phenomenological analysis of molecular chain deformation. A least square optimization is conducted in order to ensure the best possible fit of experimental stress-strain curve throughout the entire range of strains. The resulting constitutive model is shown to be of satisfying accuracy for the purpose of fracture modeling.</p> <p>In Chapter 5, the fracture resistance of proton exchange membrane is investigated. The results of a double-edge notch tensile (DENT) test are shown for different environmental conditions, giving insights on the fracture resistance of the membrane. The essential work of fracture is shown to be heavily dependent on both temperature and humidity, with temperature being the dominant factor, as is further demonstrated by observing the fracture surfaces on a scanning electron microscope.</p> <p>In Chapter 6, a numerical model aimed at reproducing the result of the DENT test is introduced. The model is shown to be able to accurately estimate the essential work of fracture of proton exchange membrane. The analysis of the data allows to confirm the results of the previous chapter, as well as to further clarify the mechanisms of fracture.</p> <p>Chapter 7 summarizes the conclusion of this dissertation.</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4349 号	氏 名	Vermot des Roches Thibaud
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	大宮 正毅
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	小茂鳥 潤
	慶應義塾大学教授	Ph. D.	堀田 篤
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	宮田 昌悟
<p>修士（工学）Vermot des Roches Thibaud 君提出の学位請求論文は、「Failure Prediction of Membrane Electrode Assemblies for Proton Exchange Membrane Fuel Cells（プロトン交換膜型燃料電池におけるイオン交換膜電極接合体の破壊予測手法の構築）」と題し、7章から構成されている。</p> <p>固体高分子形燃料電池は、比較的低温度で動作することから、水素自動車用燃料電池として採用されている。今後、大衆車への普及を考えた場合、燃料電池部材の低コスト化が課題となっており、特に、触媒層とイオン交換膜から構成される膜電極接合体（Membrane Electrode Assembly, MEA）の薄膜化、長寿命化が課題となっている。これまで、MEAにおける熱力学および電気化学的評価に関する研究は数多くなされてきたが、機械的特性や損傷・劣化機構についてはほとんど検討されていない。そこで、本論文の著者は、MEAの静的引張試験および疲労試験を行い、触媒層における損傷メカニズムの解明とき裂発生クライテリアを明らかにしている。そして、損傷パラメータを導入し、触媒層におけるき裂発生を数値シミュレーションで予測する手法を提案している。また、MEAを構成するイオン交換膜はガスリークを防ぐ役割を担い、き裂に対する破壊強度を把握することが設計上重要である。本論文の著者は、種々の温度・湿度下での両側切欠き引張試験から破壊強度を測定し、さらに、数値シミュレーションからイオン交換膜の破壊を予測する手法を提案している。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景、問題点および本研究の目的について述べている。</p> <p>第2章では、固体高分子形燃料電池の構成部材について説明し、本研究で対象とするMEAについての詳細を述べている。</p> <p>第3章では、MEAの静的引張試験および疲労試験について述べている。そして、実験から触媒層におけるき裂発生クライテリアを明らかにしている。さらに、損傷パラメータを導入し、き裂発生クライテリアを損傷パラメータで表すことで、数値シミュレーションにより触媒層におけるき裂発生を予測する手法を構築している。</p> <p>第4章では、イオン交換膜の構成式について述べている。分子鎖の変形挙動を現象論的にモデル化した構成式について述べ、実験から得られた応力-ひずみ線図と一致するように、構成式に含まれる複数のパラメータを最小二乗法により同定している。</p> <p>第5章では、イオン交換膜における破壊強度について述べている。両側切欠き付き試験片の引張試験を行い、破壊抵抗に及ぼす温度・湿度の影響を明らかにしている。</p> <p>第6章では、イオン交換膜の破壊試験の数値シミュレーションを行っている。第4章で述べた構成式を導入することで、解析結果は実験結果を精度よく再現している。さらに、提案する解析モデルを用いることで、イオン交換膜の破壊を予測することが可能であることを示している。また、高温状態では、き裂長さとの関係が非線形になることを新たに見出し、その原因について、き裂先端に形成される塑性域形状の変化から説明している。</p> <p>第7章は本論文の結論であり、得られた成果を総括し、今後の展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本論文は固体高分子形燃料電池の主要構成部材であるMEAにおける破壊発生と最終破壊のクライテリアを構築し、数値シミュレーションにより、それぞれの破壊を予測する手法を構築したものであり、機械工学および自動車工学分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4350 号	氏 名	佐藤 丈博
主論文題目： Energy-efficient Reliable Optical Metro/Access Integrated Network Using Virtualization Technology (仮想化技術を用いた省エネルギー・高信頼な光メトロ/アクセス統合型ネットワーク)			
<p>有線/無線通信におけるブロードバンドサービス加入者数の増加、映像配信等のアプリケーションの普及により、ネットワークトラヒックは増加を続けている。これに伴い、ネットワーク機器の総消費電力量は年率 12% の速度で増加しており、そのうち 60~80% をアクセスネットワークが占めると推計されている。アクセスネットワークでは、複数の加入者で設備を共有することにより安価にブロードバンドアクセスを実現する Passive Optical Network (PON) が一般家庭向けに普及している。仮想専用線やモバイルフロントホールといった事業系サービスを既存の光アクセスネットワーク上で提供する研究も行われており、費用対効果を考慮した高信頼性の確保が必須となる。</p> <p>上記の背景より、次世代光アクセスネットワークでは、大容量化・低コスト化に加えて省電力性・高信頼性・マルチサービス収容が必要である。これらの要求を同時に達成するため、光アクセスネットワークの規模を現在のメトロネットワークの領域まで拡張する、光メトロ/アクセス統合型ネットワークの検討が行われている。本ネットワークでは局側装置あたりの収容加入者数を増加させることにより、トラヒックの集約効率を高めるとともに電気スイッチ等の装置数を削減し、省電力化の達成を目指す。また、予備系装置を多数の加入者で共有することにより、低コストでの耐障害性の向上が期待される。我々が提案する Elastic Lambda Aggregation Network (ELAN) では、各サービスの収容に必要な機能を提供するプログラマブルな局側装置や加入者側装置、および経路や割当帯域を柔軟に変更可能な光ネットワークにより、マルチサービス収容の実現を検討している。</p> <p>本論文では、ELAN においてネットワーク仮想化技術を活用し、さらなる省電力性および高信頼性を達成する手法を提案する。各サービスの収容に必要な機能をトラヒックの変動に応じて少数の局側装置に集約し選択的スリープを行うことにより、局舎における消費電力の削減を実現する。また、大規模障害の発生時に 1 台の局側装置が収容する加入者群を時間的に切り替えることにより、加入者に対して最低限の接続性を確保する。</p> <p>本論文は以下のように構成される。第 1 章では現在の光ネットワークにおける課題を整理し、本論文の目的を明確化する。第 2 章では関連する光ネットワーク技術、省電力化および高信頼化の手法を示す。第 3 章では省電力化について提案を行う。局側装置の選択的スリープを実現するために、各サービスの提供に必要な機能を局側装置間でマイグレーションする手法を提案する。また、稼働する局側装置数が最小となる機能配置方法を求める問題を整数線形計画法によりモデル化する。計算機シミュレーションにより、スリープ可能な局側装置の数が平均 16.7%、最大 35.8% 向上することを示す。第 4 章では高信頼化について提案を行う。プロテクションおよび収容加入者群の時間的切り替えが可能な物理ネットワークの構成手法として、マツハツェンダ型 2×2 光スイッチを用いた光スイッチネットワークを提案する。さらに、1 台の局側装置から通常時を超える数の加入者側装置を収容する通信方式を提案する。本通信方式では、通信間隔の増大による影響を軽減するため、トラヒックシェーピング等の機能を提供するプロキシを生成する。プロトタイプシステムを用いた実測により、プロキシによる UDP パケット損失率および TCP スループットの改善効果を示す。最後に、第 5 章において論文全体の結論を述べる。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4350 号	氏 名	佐藤 丈博
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授 工学博士	山中 直明
	副査	慶應義塾大学教授 工学博士	笹瀬 巖
		慶應義塾大学教授 工学博士	天野 英晴
		慶應義塾大学教授 博士（工学）	津田 裕之
		University of Virginia Ph.D. in Electrical Engineering	Malathi Veeraraghavan
		University of Texas at Dallas Ph.D. in Electrical Engineering	Andrea Fumagalli

学士（工学）、修士（工学）佐藤丈博君の学位請求論文は、「Energy-efficient Reliable Optical Metro/Access Integrated Network Using Virtualization Technology（仮想化技術を用いた省エネルギー・高信頼な光メトロ/アクセス統合型ネットワーク）」と題し、全5章から構成される。

ブロードバンドインターネットユーザ数の増加、および広帯域を必要とするアプリケーションの普及により、ネットワークトラフィック量は増加の一途をたどっている。これに伴いネットワーク機器の消費電力量も急速に増加し続けており、その60～80%を占めるアクセスネットワーク領域の低消費電力化が急務である。一方、現在の光アクセスネットワークでは低コスト化のために専用線やモバイルバックホールといった複数のサービスを収容する研究が行われている。このような事業系サービスの収容にあたり、高信頼性の確保が必要となる。

本論文では上記の要求を実現するため、メトロエリアネットワークとアクセスネットワークの統合、およびネットワーク仮想化技術に焦点を当てている。プログラマブルな局側装置および再構成可能な光ネットワークの導入により複数サービスを収容するエラスティック光アグリゲーションネットワーク（E λ AN）をベースに、仮想化技術を活用し省電力化および高信頼化を達成する研究を行っている。本論文は以下のように構成される。

第1章は序論であり、本研究の背景および課題を明らかにし、論文の概要を説明している。

第2章では現在実用化されている光アクセスネットワークの基盤技術、光メトロ/アクセス統合型ネットワークの既存研究、省電力化および高信頼化の関連技術を提示し、これらに対する本研究の位置づけを明確化している。

第3章および第4章は具体的な研究内容について述べている。第3章ではE λ ANにおけるトラフィック変動に応じた局側装置の選択的スリープ手法を提案している。トラフィック集約後もサービスの提供を継続するために、局側装置間で各サービスの提供に必要な機能をマイグレーションする手法を提示している。稼働する局側装置の数が最小となるような機能配置を求める問題を線形整数計画法によりモデル化し、計算機シミュレーションにより省電力効果を評価することによって、提案手法の有効性を示している。さらに、実デバイスのパラメータを用いてマイグレーションに伴う通信瞬断時間について検討を行い、提案方式の妥当性を確認している。

第4章では、E λ ANにおいて高信頼化を達成するため、散発的障害と大規模障害のそれぞれのケースに対応する手法を提案している。前半では、散発的障害への対策として、プロテクションにより高可用性を実現する光ネットワークトポロジを提案している。2x2光スイッチを用いることにより、少数のデバイスで各加入者にノードディスジョイントな2経路を提供可能であることを示している。後半では、局舎機能停止などの大規模障害が発生した際に、多数の加入者に対して最低限の接続性を確保する通信方式を提案している。1台の局側装置が通常時の上限を超える数の加入者装置を収容するために、ネットワーク機能仮想化（NFV）技術の利用によりプロキシを生成し、トラフィック平滑化などの機能を提供することで、狭帯域ながら安定した通信を実現する。プロトタイプシステムを用いた実装実験によりスループットの測定を行い、本提案方式の有効性を示している。

第5章は結論であり、本研究により得られた結果を総括している。

以上要するに、本論文は低消費電力かつ高い耐障害性を備えた光アクセスネットワーク技術の確立のために、局側装置機能のマイグレーション技術およびその配置計算手法、高可用性ネットワークトポロジ設計手法、大規模障害発生時の通信方式について提示している。これらの研究内容は、将来の社会インフラストラクチャとしての光ネットワークの継続的発展を実現する上で、工学上寄与する所が大きいと評価される。

よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4351 号	氏 名	林 昌希
主論文題目： Human Body Pose Estimation Framework for Team Sports Videos Integrated with Tracking-by-Detection (Tracking-by-Detection に統合されたチームスポーツ映像向け人物姿勢推定フレームワーク)			
<p>戦術分析を目的とした、チームスポーツ映像からの複数選手の追跡技術が盛んに研究されている。試合中の各選手の位置情報は最も基本的でかつ重要な情報であり、サッカーなど実際のプロスポーツの現場でも活用されている。この追跡した選手軌跡に加えて、各選手の「姿勢」まで自動的に推定できるようになれば、行動認識や注視解析などより高次の戦略解析への展開が期待できる。しかし従来の動画像を用いた人物姿勢推定技術は、限定的な姿勢パターンでのみ通用し、姿勢変化が非常に多いスポーツ映像中の選手に対しては、ロバストな姿勢推定が実現されていない。</p> <p>本論文では、チームスポーツ映像向けの人物姿勢推定フレームワークを、標準的な人物追跡手法である Tracking-by-Detection に統合された形で提案する。単眼の入力映像から選手の 1 フレームの頭部領域を追跡したのちに、下半身姿勢(両膝両足 4 つの関節の位置)の推定モジュールと、上半身姿勢(身体の方向、背骨の姿勢)の推定モジュールが、それぞれ独立に姿勢を推定する。また、それら 2 つのモジュールを統合した手法も提案する。</p> <p>本フレームワークは、時系列情報を用いることなく、追跡された 1 フレームの位置合わせ済み人画像のみから姿勢推定を行う。従って、動画から追跡された窓画像群、もしくは 1 枚の入力画像から検出された窓の、どちらに対しても姿勢を推定できる利点を有する。また、全身領域もしくは半身領域の Global な HOG(Histograms of Oriented Gradients)特徴量のうち、Random Forests で選択した特徴を推定に用いることで、Local な歪みや姿勢変化、未知の姿勢画像パターンに頑健である特徴も有する。</p> <p>第 1 章では本論文の導入である。スポーツ映像からのデータ化と解析の現状を元に、提案手法が切り開く可能性について述べる。チームスポーツの文脈から「姿勢」の各種類とその意味を定義し、提案するフレームワークの要旨と貢献をまとめる。</p> <p>第 2 章では、先行研究として古典的なモーションキャプチャと、近年の機械学習を基にした姿勢推定の発展を紹介する。</p> <p>第 3 章では、下半身姿勢推定手法を提案する。窓中心が骨盤中心位置となる人物領域追跡の後、その追跡窓に対して関節位置をグリッド構造特徴(HOG 特徴)のグリッド位置として学習・推定する Label-Grid 識別器を用いた姿勢推定を提案する。実験では、従来手法では推定しづらい横向き視点での姿勢推定精度も検証することで、提案手法の有効性を示す。</p> <p>第 4 章では、上半身姿勢推定手法を提案する。追跡した頭部領域中心に位置合わせされた上半身 HOG 特徴から、頭部中心に対する相対的な骨盤中心の回帰を行う Poselets-Regressor の提案を行う。また、推定した背骨の傾き範囲ごとの画像群でそれぞれ学習した 5 つの識別器を用いた、上半身方向の推定手法も提案する。実験により、従来の歩行者向け手法では精度よく推定しづらい、上半身が傾いている時の体方向推定が、提案手法によって頑健に行えることを示す。</p> <p>第 5 章では、上記 2 モジュールの統合により、頭部領域追跡後に Poselets-Regressor を 2 回用いることで、頭部中心に対する相対的な骨盤中心位置、および骨盤中心位置に対する相対的な下半身関節位置、を推定する手法を提案する。実験を通じて、統合版が更に高解像度で下半身の関節位置を推定できることを示す。また HOG 特徴領域の追跡による位置合わせを行う本手法が、その仕組みから想定される通りの挙動をしていることを確かめるための追加実験も行う。</p> <p>第 6 章では、本論文を総括した上で、今後の課題と展望を述べる。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4351 号	氏 名	林 昌 希
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学准教授	博士（工学）	青木 義満
	副査 慶應義塾大学教授	工学博士	池原 雅章
	慶應義塾大学教授	工学博士	岡田 英史
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	斎藤 英雄
	中部大学教授	博士（工学）	藤吉 弘亘
<p>学士(工学)、修士(工学)林昌希君提出の学位請求論文は、「Human Body Pose Estimation Framework for Team Sports Videos Integrated with Tracking-by-Detection (Tracking-by-Detection に統合されたチームスポーツ映像向け人物姿勢推定フレームワーク)」と題し、6章から構成されている。</p> <p>近年、スポーツ映像からの選手の追跡技術が盛んに研究されている。試合中の各選手の位置情報は最も基本的かつ重要な情報であり、実際のスポーツの現場でも活用されている。追跡して得られた選手軌跡に加えて、各選手の「姿勢」まで自動的に推定できるようになれば、プレー判別や注視解析など、より高次の戦略解析への展開が期待できる。しかし、従来の人物姿勢推定技術は、推定可能な姿勢が限定的であり、スポーツ映像に対する頑健な人物姿勢推定は実現されていない。</p> <p>本論文では、チームスポーツ映像向けの人物姿勢推定フレームワークを、標準的な人物追跡手法であるTracking-by-Detectionに統合する形で提案している。選手の頭部領域を追跡した後に、下半身姿勢の推定モジュールと、上半身姿勢の推定モジュールが独立に姿勢を推定する。最後に2つの結果を統合することで、全身の姿勢を頑健に推定している。時系列情報を用いず、追跡された1フレームの位置合わせ済み人検出窓のみから姿勢推定を行うため、動画から追跡された窓画像群、もしくは1枚の入力画像から検出された窓のどちらに対しても姿勢を推定できる利点がある。また、全身もしくは半身のグローバルなHOG(Histograms of Oriented Gradients)特徴量のうち、Random Forestsで選択した特徴を推定に用いることで、ローカルな歪みや姿勢変化、未知の姿勢パターンに対して頑健であるという特長がある。</p> <p>第1章では、スポーツ映像解析の現状と背景を概説し、チームスポーツにおける人物姿勢推定の意義を述べ、本論文の意義と目的を示している。</p> <p>第2章では、先行研究として古典的なモーションキャプチャと、近年の機械学習を基にした姿勢推定技術の発展について述べ、本論文の位置付けを明らかにしている。</p> <p>第3章では、下半身姿勢推定手法を提案している。窓中心が骨盤中心位置となる追跡の後、その追跡窓に対して関節位置をグリッド構造特徴(HOG特徴)のグリッド位置として学習・推定するLabel-Grid識別器を用いた姿勢推定を提案している。実際のスポーツ映像を用いた実験により、従来手法よりも高精度に下半身姿勢を推定できることを示している。</p> <p>第4章では、上半身姿勢推定手法を提案している。追跡した頭部中心に位置合わせされた上半身HOG特徴から、頭部中心に対する相対的な骨盤中心の回帰を行うPoselets-Regressorの提案を行っている。また、推定した背骨の傾きの範囲ごとに分類した画像群について、それぞれ学習した5つの識別器を用いた上半身方向の推定手法も提案している。性能評価を行った結果、従来手法よりも高精度かつ頑健に頭部と骨盤を結ぶ上半身姿勢を推定可能なことを示している。上半身方向の推定精度についても定量的に評価を行い、有効性を示している。</p> <p>第5章では、上半身、下半身姿勢推定の統合によりPoselets-Regressorを用いることで、頭部中心に対する相対的な骨盤中心位置、骨盤中心位置に対する相対的な下半身関節位置を同時に推定する手法を提案し、実験によって統合手法の有効性を示している。</p> <p>第6章では、本論文をまとめ、今後の課題と展望を示している。</p> <p>以上要するに、本論文は、Tracking-by-Detection手法とHOG特徴を用いたLabel-Grid識別器、Poselets-Regressorを統合することによって、スポーツ映像中の選手の頑健な姿勢推定を実現可能であることを示したもので、画像工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4352 号	氏 名	前田 知貴
主論文題目： Gel Characteristics and Viscoelasticity of Semi-crystalline Polymers and Copolymers for the Fabrications of Nanofibers and Hydrogels (結晶性および共重合ポリマー溶液のゲル特性と粘弾性評価による ナノファイバーおよびハイドロゲルの作製)			
<p>3次元ネットワーク構造を有するナノファイバーシートやハイドロゲルは、次世代の複合材料や医療デバイスの開発に向けて有用な材料であることから、国内外で盛んに研究されている。</p> <p>ナノファイバーシートは、ナノファイバーの3次元ネットワークにより構成される。このナノファイバーの有力な作製手法として、エレクトロスピンニング (ES) 法と呼ばれる静電気力を利用した紡糸方法がある。しかし、結晶性および共重合ポリマーでは溶液がゲル化してしまうため、ES法において、それら有用な材料により直径 300 nm 以下という微細なナノファイバーを作製することが困難であった。</p> <p>ハイドロゲルは、ポリマー分子鎖の3次元ネットワークに水を含ませた材料である。特に、再生医療用途を目指したハイドロゲルでは、温度応答性 (25°Cから37°Cで昇温ゾル-ゲル転移すること) が重要なファクターである。このような温度応答性ハイドロゲルの現状の課題として、10 wt%以下という低濃度の溶液を用いて、ハイドロゲルを作製できないことが挙げられる。</p> <p>そこで、本論文では、溶液のゲル特性と粘弾性を制御することで上記課題に取り組んだ結果をまとめている。すなわち、ナノファイバー作製では、溶媒選定により溶液のゲル化を抑えることでファイバーを微細化した。また、温度応答性ハイドロゲル形成では、クレイナノシート (ラポナイト) の添加により疎水性相互作用を高めることで低濃度溶液を実現した。以下に、本論文の具体的な内容を示す。</p> <p>第1章では、ナノファイバーシートおよびハイドロゲルの現状と課題について述べている。第2章では、ポリマー溶液、エレクトロスピンニング法、ゲルに関する基礎原理および背景について述べている。第3章では、結晶を架橋点としてゲル化する結晶性ポリマーのナノファイバー化を実施している。具体的には、溶媒としてメチルシクロヘキサンを用いて、ポリプロピレン (PP) の相互作用を抑制した溶液を用意し、直径約 230 nm の PP ナノファイバーを作製した。第4章では、分子鎖中に2種のモノマーがランダムに存在するランダムコポリマーのナノファイバー化を実施している。その結果として、直径約 160 nm の生体適合性の高い2-メタクリロイルオキシエチルホスホリルコリン (MPC) コポリマーナノファイバーを作製した。第5章では、分子鎖中に2種のモノマーがブロック状に存在するブロックコポリマーのナノファイバー化を実施している。具体的には、一方のブロックの相互作用を抑制することでゲル特性を制御し、直径約 350 nm のスチレン系エラストマー (SIS) ナノファイバーを作製した。第6章では、温度応答性を示すブロックコポリマー水溶液に対して、ラポナイトを添加することで、低濃度でありながら温度応答性を示すハイドロゲルを作製している。その結果、2.75 wt%という低溶質濃度の温度応答性ハイドロゲルを得た。第7章では、各章の結果をまとめるとともに、今後の展望を述べている。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4352 号	氏 名	前田 知貴
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授 Ph.D. 堀田 篤	副査 慶應義塾大学教授 工学博士 鈴木 哲也	慶應義塾大学専任講師 博士(工学) 藤岡 沙都子
			慶應義塾大学専任講師 博士(情報理工学) 尾上 弘晃
<p>修士(工学)前田知貴君提出の学位請求論文は「Gel Characteristics and Viscoelasticity of Semi-crystalline Polymers and Copolymers for the Fabrications of Nanofibers and Hydrogels (結晶性および共重合ポリマー溶液のゲル特性と粘弾性評価によるナノファイバーおよびハイドロゲルの作製)」と題し、全7章より構成されている。本論文をもって、2015年11月より主査と副査による専修予備審査がとり行われ、さらには個別のディスカッションを幾度か経て予備審査を通過し、専攻にて受理申請が承認されるに至った。その後、2015年12月8日に公聴会が開催され、最終審査会において論文審査と学識確認が無事になされて認められ、本報告に至った。前田知貴君の研究成果につき以下に述べる。</p> <p>3次元ネットワーク構造を有するナノファイバーシートやハイドロゲルは、次世代の複合材料や医療デバイスの開発に向けて有用な材料であることから、国内外で盛んに研究されている。ナノファイバーシートは、ナノファイバーの3次元ネットワークにより構成される。このナノファイバーの有力な作製手法として、エレクトロスピンニング(ES)法と呼ばれる静電気力を利用した紡糸方法がある。しかし、結晶性および共重合ポリマーでは溶液がゲル化してしまうため、ES法において、それら有用な材料により直径300nm以下という微細なナノファイバーを作製することが困難であった。ハイドロゲルは、ポリマー分子鎖の3次元ネットワークに水を含ませた材料である。特に、再生医療用途を目指したハイドロゲルでは、温度応答性(25°Cから37°Cで昇温ゾル-ゲル転移すること)が重要なファクターである。このような温度応答性ハイドロゲルの現状の課題として、10wt%以下という低濃度の溶液を用いて、ハイドロゲルを作製できないことが挙げられる。</p> <p>そこで、本論文では、溶液のゲル特性と粘弾性を制御することで上記課題に取り組んだ結果をまとめている。すなわち、ナノファイバー作製では、溶媒選定により溶液のゲル化を抑えることでファイバーを微細化した。また、温度応答性ハイドロゲル形成では、クレイナノシート(ラポナイト)の添加により疎水性相互作用を高めることで低濃度溶液を実現した。以下に、本論文の具体的な内容を示す。</p> <p>第1章では、ナノファイバーシートおよびハイドロゲルの現状と課題について述べている。第2章では、ポリマー溶液、エレクトロスピンニング法、ゲルに関する基礎原理および背景について述べている。第3章では、結晶を架橋点としてゲル化する結晶性ポリマーのナノファイバー化を実施している。具体的には、溶媒としてメチルシクロヘキサンを用いて、ポリプロピレン(PP)の相互作用を抑制した溶液を用意し、直径約230nmのPPナノファイバーを作製した。第4章では、分子鎖中に2種のモノマーがランダムに存在するランダムコポリマーのナノファイバー化を実施している。その結果として、直径約160nmの生体適合性の高い2-メタクリロイルオキシエチルホスホリルコリン(MPC)コポリマーナノファイバーを作製した。第5章では、分子鎖中に2種のモノマーがブロック状に存在するブロックコポリマーのナノファイバー化を実施している。具体的には、一方のブロックの相互作用を抑制することでゲル特性を制御し、直径約350nmのスチレン系エラストマー(SIS)ナノファイバーを作製した。第6章では、温度応答性を示すブロックコポリマー水溶液に対して、ラポナイトを添加することで、低濃度でありながら温度応答性を示すハイドロゲルを作製している。その結果、2.75wt%という低溶質濃度の温度応答性ハイドロゲルを得た。第7章に、各章の結果をまとめ、今後の展望を述べている。</p> <p>以上要するに、著者はナノファイバーシートおよびハイドロゲルを次世代の複合材料や医療デバイスとしての実用化の観点から整理し、直径300nmという微細なナノファイバーおよび10wt%以下という低濃度の溶液を用いた温度応答性ハイドロゲルを作製する目的で、結晶性および共重合ポリマー溶液のゲル特性と粘弾性を評価し、得られた結果をまとめている。これより、今日まで未解決であった、1)直径300nm以下の微細な結晶性および共重合ポリマーのナノファイバーの作製、2)溶液濃度10wt%以下の低濃度温度応答性ハイドロゲルの作製について、溶媒選定やクレイナノシートの添加により溶液のゲル特性と粘弾性を制御することで実現できるという1つの大きな知見を得た。本論文の成果は国際誌論文・国際学会・国内学会で発表され、工学上寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4353 号	氏 名	中村 宝弘
主論文題目： マルチモード・マルチバンド対応の無線通信用 RF 送信機の研究			
<p>本研究は、複数の無線通信方式に対応可能な移動体端末向けの無線通信モジュール実現に向けて RFIC (Radio Frequency Integrated Circuit) に求められる技術開発を目的に、特にマルチモード・マルチバンド対応のために必要な技術と、消費電力削減のために必要な技術に関して検討した。前者については、最新の移動体通信方式である LTE (Long Term Evolution) 方式のフルバンド対応のために必要な技術について検討し、周波数シンセサイザの広帯域化と、部品点数削減に必須の送信信号の低雑音特性と高線形性の両立のための技術を提案し、試作・評価を通じて有効性を確認した。後者については周波数シンセサイザの低消費電力化技術について検討し、低消費電力の電圧制御発振回路と、周波数分周回路を提案し、試作・評価を通じて有効性を確認した。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の対象であるモバイル端末の無線通信を取り巻く近年の状況や必要とされる技術などの背景を述べる。</p> <p>第 2 章では、LTE フルバンド対応に向けた VCO (Voltage Controlled Oscillator) の広帯域化と、それに伴う課題である周波数変換利得変動の抑圧技術の詳細について述べる。トランスフォーマ結合を介した周波数制御技術を導入した結果、試作した VCO では従来の 1/3 まで周波数変換利得変動を抑圧することに成功した。</p> <p>第 3 章では、マルチモード化で問題となる部品点数の増大による無線通信モジュールの大型化に対して、SAW (Surface Acoustic Wave) フィルタとバランを削減可能な送信回路の技術の詳細を述べる。部品点数削減に向けて、低雑音・高線形の直交変調器と小型のバラン技術を提案し、有効性を確認した。</p> <p>第 4 章では、周波数シンセサイザの低消費電力化に向け、2つのトランスフォーマによる出力を用いた VCO と、シングル・バランス・ミキサを用いたダイナミック周波数分周回路を提案し、有効性を確認した。</p> <p>第 5 章は結論であり、第 1 章から第 4 章までで得られた内容から結論と今後の展望を述べた。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4353 号	氏 名	中村 宝弘
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 石黒 仁揮
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 黒田 忠広
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 中野 誠彦
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 松本 佳宣
<p>学士（理学）、修士（理学）中村宝弘君提出の学位請求論文は「マルチモード・マルチバンド対応の無線通信用 RF 送信機の研究」と題し、5 章から構成されている。</p> <p>近年、無線通信規格の多様化にともない、ひとつの送受信機 RFIC（Radio Frequency Integrated Circuit）で複数の無線通信方式、周波数バンドに対応できる送受信機回路が重要となってきた。複数の無線通信方式および周波数バンドに対応するための回路技術の研究が盛んになされているが、単一規格用に専用に設計された回路に対して、性能劣化や消費電力増大の問題がある。</p> <p>本研究では、複数の規格に対応可能な移動体端末向けの無線通信モジュール実現を目的とし、RFIC に求められる技術、特にマルチモード・マルチバンド対応のために必要な技術と、消費電力削減のための技術に関して、提案および試作チップによる有効性の検証をしている。前者については、最新の移動体通信方式である LTE（Long Term Evolution）規格のフルバンド対応のために必要な技術について検討している。周波数シンセサイザの広帯域化と、部品点数削減で必須となる送信信号の低雑音特性と高線形性の両立のための技術を提案し、テストチップの試作・評価を通じて有効性を確認している。後者については周波数シンセサイザの低消費電力化技術について検討し、低電力動作が可能な VCO（Voltage Controlled Oscillator）と周波数分周回路を提案し、テストチップの試作・評価により有効性を実証している。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の対象である移動体端末の無線通信を取り巻く近年の状況や必要とされる技術などの背景を述べている。</p> <p>第 2 章では、LTE フルバンド対応に向けた VCO の広帯域化と、それに伴う課題である位相雑音特性劣化および周波数変換利得変動の抑制技術の詳細について述べている。トランスフォーマ結合を介した周波数制御技術を提案し、0.18 μm BiCMOS プロセスで試作した VCO テストチップの評価により、従来技術と同等の位相雑音性能を維持しつつ、周波数変換利得変動を従来の 1/3 に抑制できることを実証している。</p> <p>第 3 章では、マルチモード・マルチバンド化で問題となる部品点数の増大による無線通信モジュールの大型化に対して、SAW（Surface Acoustic Wave）フィルタおよび外付けのバランを削減できる送信回路技術を提案している。インピーダンスの周波数領域における相互変換の原理を用いることで、低雑音・高線形の直交変調器を実現し、SAW フィルタを削減することを可能にしている。また、3 層マーチャンド型バランを提案し、バランの小型化によりチップ内蔵を実現している。65 nm CMOS プロセスで試作したテストチップにより提案技術の有効性を実証している。</p> <p>第 4 章では、周波数シンセサイザの低消費電力化に向け、ふたつのトランスフォーマによる出力を用いた VCO と、シングル・バランス・ミキサを用いたダイナミック周波数分周回路を提案し、0.18μm SiGe-BiCMOS プロセスで試作したテストチップの評価において、20 GHz 帯の VCO として世界トップレベルの 20.6 %の周波数可変比および-191.7 dBc/Hz の性能指標を達成している。</p> <p>第 5 章は結論であり、第 1 章から第 4 章までで得られた内容から、結論と今後の展望を述べている。</p> <p>以上要するに、本研究はマルチモード・マルチバンド用無線通信用送信機の回路設計において必要となる広帯域送信機への応用を可能とするもので、工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4360 号	氏 名	山田 道洋
主論文題目： ゲルマニウム基板上の極薄・高濃度リンドナー活性層の作製と評価			
<p>ゲルマニウム (Ge) は電子、ホール共にシリコン (Si) よりも速い移動度を有し、次世代金属-酸化膜半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) のチャネル材料として注目を集めている。しかし、高性能 n 型 Ge-MOSFET の実現に向け、低抵抗・極浅オーミック接合の作製が課題となっている。Ge 上に金属薄膜を蒸着した場合、金属の種類に関係なく電子に対して高いショットキー障壁 (0.5~0.6 eV) が形成される。そのため、低抵抗・極浅オーミック接触を得るために基板に高濃度かつ極薄の活性化した不純物分布が必要である。これまでは、イオン注入法を用いて不純物の導入が行なわれてきた。しかし、Ge 中に n 型不純物を導入した場合に、活性化熱処理中に、増速拡散が観測される。そのため、浅い接合を実現することは困難である。そこで、本研究では位置制御が正確に可能で、成長後熱処理の必要ない δ-ドーピング法を用いた。さらに、δ-ドーピング法において不純物分布拡がりの要因である成長中の表面偏析を防ぐ新規手法の開発に取り組んだ。カーボン (C) やシリコン (Si) をリン (P) の δ-ドーブ層に挿入することで、高い活性化に必要な高温での成長でも表面偏析を防ぐことを示した。その結果、高濃度・極薄の活性化した不純物濃度分布を実現した。</p> <p>本論文は6章で構成される。第1章は、導入で、これまでの先行研究における取り組みや、本研究の意義について概観する。第2章では、本研究で用いた δ-ドーピング法について説明し、δ-ドーピング法における成長中の表面偏析について述べる。第3章では、本研究で用いた試料作製装置、測定手法について説明を行う。第4章では、δ-ドーブされた P に C を供給した場合と P のみが δ-ドーブされた試料を比較し、C により P の偏析が著しく抑制されることを示す。C による P の偏析の抑制により、C 導入のないものと比べてピーク濃度は 10 倍程度大きくなり、不純物の拡がりを表す偏析長は数十分の一になった。次に、C の導入と δ-ドーピングを行い急峻な濃度分布の得られた試料に対する電気特性の評価を示す。P のドーピング濃度が $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 以上の試料においてオーミック特性が観測された。閉じ込め層の膜厚を薄くした場合には、5 nm の試料においてもオーミック接触が得られた。その結果、高濃度な活性化 P を数 nm に閉じ込められることを示す。第5章においては、Si を用いた P の偏析抑制効果について議論する。Si は Ge と格子定数が近く、P の固溶度も大きい。Si の膜厚を変化させた時に、3.3 Å (~2 原子層) で最も急峻なプロファイルが得られる。次に、膜厚に対する偏析長の変化から、Si 含有量だけでなく、Si 層に導入された歪みの影響が P の偏析の抑制に寄与していることを明らかにする。さらに、Si と Ge の格子定数に違いにより導入される転位の透過型電子顕微鏡による観測結果を示す。Si 膜厚 3.3 Å (~2 原子層) では、それよりも厚い Si 層の試料と比べて欠陥の導入がなく高品質な膜の成長が可能であることを示す。3.3 Å の Si 層を挿入した試料では、C より強い偏析抑制効果が得られる。急峻な濃度分布が実現した Si 挿入試料に対して電流-電圧特性や、その温度特性の評価を行い、Si 挿入試料ではトンネル伝導が支配的であることを示す。第6章は、本論文のまとめで、本研究において示された P の δ-ドーピング法と Si、C の偏析抑制効果が、Ge 基板上への極薄・高濃度 P ドナー活性の作製に有効な手法であることを述べる。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4360 号	氏 名	山田 道洋	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D.	伊藤 公平
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	松本 佳宣
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	石樽 崇明
	副査	慶應義塾大学名誉教授	工学博士	太田 英二

学士（工学）、修士（工学）山田道洋君の学位請求論文は「ゲルマニウム基板上的の極薄・高濃度リンドナー活性層の作製と評価」と題し、全6章より構成される。

半導体集積回路の発展はシリコン基板上に製作される MOSFET の微細化によって得られてきた。しかし微細化による発展が限界を迎えつつある現在、電子がより高速に移動できるゲルマニウム半導体を用いて更なる性能向上を得る技術が注目されている。Nチャネル・ゲルマニウム MOSFET の実用化に向けては、良好なソース・ドレイン電極の作製が必須である。そこで同君は、ゲルマニウム上に n 型電極を形成するために必要な極薄・高濃度リンドナー添加技術の開発に取り組んだ。

本論文の第1章は導入で、これまでのシリコン半導体集積回路の発展と、ゲルマニウムを用いた先行研究の試みが概観される。第2章では、本研究の電極作製に用いた δ -ドーピング法の基礎が紹介される。第3章では、本研究で用いた実験手法の詳細が紹介される。第4章では、 δ -ドーピング中に生じるリンドナーのゲルマニウム基板垂直方向の拡がり（偏析）が定量的に調べられる。特にリンのみを添加した場合と、リンと炭素を共添加した場合を比較し、炭素の存在によってリンの偏析が著しく抑制され、ゲルマニウム表面近傍にリンが極薄・高濃度添加できることを示す。さらにその上に金属電極を蒸着することで低抵抗なオーミック電極を得る事に成功する。第5章においては、ゲルマニウムに対するリンの δ -ドーピングにおいて、シリコンを原子層単位で挿入することによって、リンの偏析が抑制できることを示す。この試料の電流-電圧特性の評価から、シリコン原子層の挿入によって低抵抗のオーミック電極が得られることが示される。第6章では、本論文の結論が示される。

以上要するに、学位申請者はゲルマニウム基板に対して極薄で高濃度のリンドナー添加層を形成する手法を開発した。この添加層の上に金属電極を付着させることで、低抵抗なオーミック電極が形成できることを示した。これらの技術は、nチャネル・ゲルマニウム MOSFET のソース・ドレイン電極形成に通じるもので、工学的寄与が少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4361 号	氏 名	豊田 健太郎
主論文題目： A Study on Security and Privacy for Ad-hoc Network, VoIP Service and RFID-enabled Supply Chains System (アドホックネットワーク、VoIPサービス、およびRFIDサプライチェーンシステムにおけるセキュリティとプライバシーに関する研究)			
<p>パーソナルコンピュータや携帯電話によるインターネットの利用者増大に伴い、ネットワークを介した様々な攻撃が問題となっている。これまで、これらの攻撃を防止するために共通鍵および公開鍵暗号方式、認証、デジタル署名技術などのセキュリティ技術が確立されてきた。一方、無線センサデバイス、スマートフォン、RFID (Radio Frequency Identification) といった多様な無線通信可能なデバイスの技術的進歩に伴い、我々の生活をより豊かにするような新しいシステムおよびサービスが急速に普及し始めている。しかしながら、これらのデバイスを用いたシステムやサービスには、アドホックネットワークにおいて信頼できる第三者機関を用いた認証ができないこと、VoIP サービスでは格安な通話料金を悪用した迷惑電話を発信する行為、RFID に書き込まれた情報の不正読取によるプライバシー侵害などといった既存のセキュリティ技術だけでは対処できない問題が存在する。したがって、これらに対する対策および防御策を講じることは喫緊の課題となっている。</p> <p>本論文では、より安全・安心なシステムおよびサービスの実現に向け、アドホックネットワークにおける認証、VoIP サービス、およびRFID サプライチェーンシステムにおけるセキュリティおよびプライバシー保護手法を提案し、理論計算、計算機シミュレーションおよび実験によりその有効性を示す。本論文の構成を以下に示す。</p> <p>第1章では、無線センサデバイス、スマートフォン、RFID を用いたシステムおよびサービス、またそれらに対する脅威および対策について概観し、本研究の目的および位置付けを明確にする。</p> <p>第2章では、無線センサデバイスおよびスマートフォンがアドホックネットワークにおいて、端末間通信のひとつである FFS (Feige-Fiat-Shamir) プロトコルの演算量を低減する方法として、認証における検証時に 1,024 ビットの変数の乗算が演算の負荷となっていることに着目し、乗算回数を低減しつつも、従来求められている安全性を確保する方式を提案する。そして安全性証明、理論計算および Android デバイスを用いた実測により、計算時間を低減可能であることを示す。</p> <p>第3章では、IP 電話を始めとする音声通話サービスにおいて、複数の通話に関する特徴量を基に、発信者を 2 つのクラスタに分類することで学習を必要としない迷惑電話発信者手法を提案する。そして実通話データセットおよび生成したデータセットを用いたシミュレーションにより本方式の有効性を示す。</p> <p>第4章では、RFID を用いた物流管理システムにおいてタグに書き込まれた製品情報 (EPC: Electronic Product Code) を漏洩させることなく商品を配送する方法として、タグの EPC に乱数をマスクした上でその乱数を認証サーバに置き、認証が成功した場合に正しい EPC を復元できる仕組みを提案する。提案方式では認証に必要な情報を閾値秘密分散法により商品のタグに書き込んだ上で、ダミーの情報を付加したタグを一緒に配送することで安全な認証情報の配送を可能とする。そして安全性証明、理論計算および市販されている RFID デバイスを用いた実験により有効性を示す。</p> <p>第5章は、結論であり、本論文の内容および今後の課題を総括している。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4361 号	氏 名	豊田 健太郎
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬 巖
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 山中 直明
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 大槻 知明
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 眞田 幸俊
		アテネ大学教授	Ph. D. MATHIOPOULOS Panagiotis
<p>工学士、修士（工学）、豊田健太郎君提出の学位請求論文は、「A Study on Security and Privacy for Ad-hoc Network, VoIP Service and RFID-enabled Supply Chains System（アドホックネットワーク、VoIP サービス、および RFID サプライチェーンシステムにおけるセキュリティとプライバシーに関する研究）」と題し、全 5 章から構成される。</p> <p>パーソナルコンピュータや携帯電話によるインターネット接続の普及に伴い、ネットワークを介した様々な攻撃を防止するために、共通鍵および公開鍵暗号方式、認証、デジタル署名技術などのセキュリティ技術が確立されてきた。一方、無線センサデバイス、スマートフォン、RFID (Radio Frequency Identification) 等の無線通信可能なデバイスの技術的進歩に伴い、新たなシステムやサービスが急速に普及し始めている。しかしながら、アドホックネットワークでは信頼できる第三者機関を用いた認証が困難、VoIP サービスでは格安な通話料金を悪用した迷惑電話発信が増加、RFID では書き込まれた情報の不正読取によるプライバシー侵害等、既存のセキュリティ技術だけでは対処できない問題がある。したがって、これらに対する対策および防御策を講じることは、喫緊の課題となっている。</p> <p>本論文では、アドホックネットワークにおける認証、VoIP サービス、および RFID サプライチェーンシステムにおけるセキュリティおよびプライバシー保護手法を提案し、理論計算、計算機シミュレーションおよび実験により、提案方式の有効性を示している。</p> <p>第 1 章では、無線センサデバイス、スマートフォン、RFID を用いたシステムおよびサービスにおけるセキュリティとプライバシーに対する課題を示し、本論文の目的と位置付けを述べている。</p> <p>第 2 章では、無線センサデバイスやスマートフォンを用いるアドホックネットワークにおいて、端末間認証のひとつである Feige-Fiat-Shamir プロトコルの演算量を低減する方法として、検証時に 1024 ビットの変数の乗算が演算の負荷となっていることに着目し、乗算回数を低減しつつ、要求される安全性を確保できる方式を提案している。そして、安全性証明、理論計算および Android デバイスを用いた実測により、提案方式が計算時間を低減可能であることを示している。</p> <p>第 3 章では、IP 電話を始めとする音声通話サービスにおいて、複数の通話に関する特徴量を基に発信者を 2 つのクラスに分類することにより、学習を必要としない迷惑電話発信者検出手法を提案し、実際の通話履歴および生成したデータセットを用いて、提案方式の有効性を示している。</p> <p>第 4 章では、RFID を用いた物流管理システムにおいて、タグに書き込まれた製品情報 (EPC: Electronic Product Code) を漏洩させることなく商品を配送する方法として、タグの EPC に乱数をマスクした上でその乱数を認証サーバに置き、認証が成功した場合に正しい EPC を復元できる仕組みを提案している。提案方式では、認証に必要な情報を、閾値秘密分散法により商品のタグに書き込み、ダミーの情報を付加したタグと一緒に配送することで、安全な認証情報の配送を可能としている。そして、安全性証明、理論計算および市販 RFID デバイスを用いた実験により、提案方式の有効性を示している。</p> <p>第 5 章は結論であり、本論文の内容および今後の課題を総括している。</p> <p>以上、本論文の著者は、アドホックネットワークにおける認証、VoIP サービス、および RFID サプライチェーンシステムにおけるセキュリティおよびプライバシー保護手法を提案し、それらの有効性を明らかにしており、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4362 号	氏 名	丹羽 祐貴
主 論 文 題 目： 分泌型タンパク質における糖鎖修飾の解析とその機能評価			
<p>糖鎖修飾は、タンパク質の翻訳後修飾の一種であり、主にタンパク質の安定性、フォールディング、分泌などに関与している。多くのタンパク質は、正しく糖鎖修飾を受けることでその機能を発揮することから、糖鎖修飾の状態を解析し、その機能を理解することは糖タンパク質を理解する上で非常に重要である。本論文では、三種類の分泌タンパク質に関して、糖鎖修飾の解析とその機能評価を行った。</p> <p>(1) Cathepsin V の <i>N</i>-glycosylation とその役割の解析 ヒト Cathepsin V (CTSV) の <i>N</i>-glycosylation について解析を行った。<i>N</i>-glycosylation 阻害剤であるツニカマイシンを用いた実験や、MALDI-TOF MS による解析の結果から、CTSV が Asn²²¹ と Asn²⁹² の 2ヶ所で <i>N</i>-glycosylation されていることを初めて明らかにした。さらに、CTSV の <i>N</i>-glycosylation が CTSV の細胞内輸送、細胞外への分泌、酵素活性に重要であることを示し、CTSV の <i>N</i>-glycosylation の重要性を明らかにした。</p> <p>(2) CCN1 の <i>O</i>-fucosylation とその役割の解析 ヒト CCN1 の <i>O</i>-fucosylation について解析を行った。CCN1 過剰発現細胞より精製したりコンビナント CCN1 の MALDI-TOF MS による解析から、分泌された CCN1 は Thr²⁴² で <i>O</i>-fucosylation されていることを初めて明らかにした。さらに、CCN1 の <i>O</i>-fucosylation が CCN1 のヘパラン硫酸を介した細胞膜への結合、細胞外への分泌に重要であることを明らかにした。また、CCN1 の <i>O</i>-fucosylation を触媒すると予想された Pofut2 をノックダウンすると、CCN1 の分泌量は顕著に減少した。従って、CCN1 の <i>O</i>-fucosylation は Pofut2 により触媒され、Thr²⁴² における <i>O</i>-fucosylation が CCN1 の分泌を制御していることを明らかにした。</p> <p>(3) R-spondin1 の <i>C</i>-mannosylation の役割と責任酵素の解析 ヒト R-spondin1 (Rspo1) の <i>C</i>-mannosylation について解析を行った。Rspo1 過剰発現細胞より精製したりコンビナント Rspo1 の LC-MS による解析から、分泌された Rspo1 は、Trp¹⁵³ と Trp¹⁵⁶ の 2ヶ所で <i>C</i>-mannosylation されることを初めて明らかにした。また、Rspo1 の <i>C</i>-mannosylation が、Rspo1 の細胞内輸送、細胞外への分泌、Wnt シグナルの増強活性に重要であることを明らかにした。さらに、Rspo1 の Trp¹⁵³ 及び Trp¹⁵⁶ の <i>C</i>-mannose 転移酵素の検討を行った結果、ヒト Rspo1 の Trp¹⁵⁶ に対する <i>C</i>-mannose 転移酵素として DPY19L3 を同定した。DPY19L3 をノックダウンした際の Rspo1 の分泌量を評価した結果、Rspo1 の分泌は顕著に減少した。従って、Rspo1 の Trp¹⁵⁶ の <i>C</i>-mannosylation は DPY19L3 により触媒され、<i>C</i>-mannosylation が Rspo1 の分泌を制御していることを明らかにした。</p> <p>本研究により、分泌タンパク質における糖鎖修飾の重要性が明らかとなり、今後の糖鎖生物学の研究発展につながることを期待される。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4362 号	氏 名	丹羽 祐貴
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 清水 史郎
	副査	慶應義塾大学教授	農学博士 井本 正哉
		慶應義塾大学教授	工学博士 佐藤 智典
		慶應義塾大学教授	博士(理学) 藤本 ゆかり

学士(工学)、修士(理学)の丹羽祐貴君提出の学位請求論文は、「分泌型タンパク質における糖鎖修飾の解析とその機能評価」と題し、全5章から構成される。タンパク質の翻訳後修飾の理解は、様々な細胞現象を分子レベルで理解する上で必要不可欠であり、近年になり、より一層その重要性を増してきている。本論文では、それぞれ癌の悪性化への関与が示唆されているタンパク質である

「cathepsin V (CTSV)」、「CCN1」、「R-spondin1 (Rspo1)」の3つのタンパク質に対し、糖鎖修飾の存在を示し、それぞれの機能に与える影響を評価した。

第1章は序論であり、タンパク質の機能を理解する上での翻訳後修飾、特に糖鎖修飾の重要性と本研究で注目したタンパク質について概説し、本研究の目的を述べている。

第2章では、CTSVのN型糖鎖修飾とその役割の解析を行っている。CTSVはAsn²²¹とAsn²⁹²の2ヶ所のN型糖鎖修飾が予測されていたが、その存在は示されておらず、機能解明も行われていなかった。著者は、CTSVの過剰発現細胞を樹立し、精製したCTSVをMALDI-TOF MS解析することで、CTSVのAsn²²¹とAsn²⁹²のN型糖鎖修飾を明らかにした。さらに、N型糖鎖修飾が起こらない変異体CTSVの過剰発現細胞を樹立し、野生型発現細胞と比較解析を行うことで、CTSVのN型糖鎖修飾がCTSVの分泌や酵素活性に重要であることを示した。

第3章では、CCN1のO型糖鎖修飾とその役割の解析を行っている。CCN1はThr²⁴²にO型糖鎖修飾が予測された。そこで著者は、CCN1の過剰発現細胞を樹立し、精製したCCN1をMALDI-TOF MS解析することで、CCN1のThr²⁴²のO型糖鎖修飾を明らかにした。さらに、O型糖鎖修飾が起こらない変異体CCN1を用いた比較実験や、CCN1のO型糖鎖修飾を触媒すると考えられた酵素であるPofut2のノックダウン実験から、CCN1のO型糖鎖修飾がCCN1の分泌を制御していることを明らかにした。

第4章では、Rspo1のC型糖修飾の役割と責任酵素の解析を行っている。Rspo1はTrp¹⁵³とTrp¹⁵⁶の2ヶ所でC型糖修飾が予測された。そこで著者は、Rspo1の過剰発現細胞を樹立し、精製したRspo1をLC-MS解析することで、Rspo1のTrp¹⁵³とTrp¹⁵⁶のC型糖修飾を明らかにした。さらに、C型糖修飾が起こらない変異体Rspo1を作製し、野生型と比較実験を行うことで、Rspo1のC型糖修飾が分泌やWntシグナル増強活性に重要であることを示した。また、ヒトにおいては未同定であったC型糖転移酵素の同定も試みた。機能欠損及び機能獲得の実験から、Rspo1のTrp¹⁵⁶に対するC型糖転移酵素としてDPY19L3を初めて同定し、またRspo1のTrp¹⁵³に対するC型糖転移酵素としてDPY19ファミリー以外のタンパク質が関与している可能性を示唆した。同時に、同定したDPY19L3をノックダウンすることで、Rspo1の分泌が抑制されることを見出した。以上より、DPY19L3によるRspo1のTrp¹⁵⁶のC型糖修飾が、Rspo1の分泌を制御していることを明らかにした。

第5章では総括として、各章により得られた成果のまとめについて記述するとともに、糖鎖修飾研究の展望について述べている。

本論文の成果は、各タンパク質の糖鎖修飾の重要性を示しただけでなく、糖鎖修飾の疾患治療標的やバイオマーカーとしての可能性について言及し、今後の糖鎖修飾を指標とした癌の治療法や診断法の開発に貢献することが期待される。さらにC型糖修飾の解析では、ヒトで初めてC型糖転移酵素の同定に至り、新たなC型糖転移酵素の存在を示唆するなど、学術的にも極めて意義深い貢献を含んでいる。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4363 号	氏 名	根本 啓一
主論文題目：			
内発的動機づけに基づく自発的コラボレーション支援に関する研究			
<p>近年、一部の専門家による取り組みや従来の組織の枠組みでは解決できない社会課題が増加してきている。社会課題は、その範囲や関与者が特定の組織や個人に限定されず、課題に関わる当事者も多岐にわたるため、課題の定義や解決方法を一意に定めることが難しい。社会課題の本質的な課題解決に向けては、課題当事者によるコラボレーションが必要になる。</p> <p>しかし、立場の違いなどから、課題の捉え方や解決方法が異なるため、当事者が自ら課題解決に向けたコラボレーションを行うことは容易ではない。また、あらかじめ解決方法が決められていないため、設計された活動を支援する従来のコラボレーション支援システムをそのまま利用することができない。課題解決を支援するためには、立場の異なる当事者により、課題認識の共有を支援し、解決に向けたコラボレーションを支援する仕組みが必要である。</p> <p>そこで、本論文では、課題を共有する当事者が起点となり、課題解決に向けた活動を協調して行う自己組織的なコラボレーションを自発的コラボレーションと呼び、その支援方法を明らかにすることを目的とした。当事者が自発的に参加し活動することを支援するアプローチとして、金銭などの外部報酬を用いず、活動のそのものが動機づけ要因となる内発的動機づけに着目した。</p> <p>支援モデルの策定のため、多様なテーマの記事を参加者が自発的なコラボレーションにより作成するウィキペディアに着目し、その成功要因の調査を行った。活動の目的を質の高い記事の作成と考え、同一の記事編集に関与する参加者を仮想のグループとし、そのコラボレーションを分析した。その結果、記事編集に関わる参加者間の密な社会ネットワークが、良質な記事を短時間で作成するというパフォーマンスに寄与していることがわかった。</p> <p>ウィキペディアの調査から得られた社会ネットワークの要件と、先行研究から得られた動機づけモデルを参照し、活動目的の共有、活動の設計と意味付け、社会ネットワークの構築という3つから構成される自発的コラボレーションの支援モデルを策定した。支援モデルに基づき、具体的な支援方法の設計指針として、目的の共有を行う参加型の対話ワークショップ、課題解決プロセスをゲームルールとして設計する参加型の活動設計、そして、設計したゲームルールに基づき活動をゲーム化する機能を実装した非同期分散環境のプラットフォームの3つを導出した。そして、設計指針に基づく支援方法の検証を行った。</p> <p>1つ目の支援方法は、当事者が対話を通じて目的の共有を行う対話型ワークショップを対象とした。従来、調査票でしか得られなかった対話プロセスの計測に対して、対話によって形成される参加者間の社会ネットワークに着目した定量評価指標を提案した。実ケースを対象とした分析を通じて提案指標を検証し、調査票による対話プロセスの評価と提案指標との相関を確認した。これにより、対話のプロセスの工学的な支援の可能性を見出した。</p> <p>2つ目の支援方法は、課題解決活動をゲームとして設計し、ウェブシステムにより活動を支援するプロセスを対象とした。はじめに当事者が具体的な活動内容を策定し、活動の実施と、実施した活動へのフィードバックから得点が得られるように構成されたゲームルールを設計した。次に設計したゲームルールに基づき、活動とフィードバックから得られた得点を集計する機能を持つウェブシステムを用いて課題解決活動の支援を行った。実ケースを対象とした検証の結果、9件のテーマに対して、活動設計と実践行動が確認された。行動ログと参加者へのインタビュー調査の結果から、対話ワークショップにより活動目的の共有や理解を行うことが動機づけとして機能していること、そして、ゲームとして活動を設計し、参加者間の社会ネットワークを通じて行われた行動の共有やフィードバックを行うことが、活動の意味付けと行動の促進につながることを示された。</p> <p>以上の結果から、本論文で提案した支援モデルに基づく、課題を共有する当事者による自発的コラボレーションの支援方法が有効であることが示された。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4363 号	氏 名	根元 啓一		
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学	教授	工学博士	岡田 謙一
	副査	慶應義塾大学	教授	工学博士	萩原 将文
		慶應義塾大学	教授	博士(工学)	重野 寛
		慶應義塾大学	教授	博士(工学)	櫻井 彰人

学士（工学）、修士（工学）根本啓一君提出の博士学位請求論文は「内発的動機づけに基づく自発的コラボレーション支援に関する研究」と題し、全6章より構成されている。

根本君の研究の目的は、特定の組織に限定されない様々な立場の当事者が関与する課題に対し、当事者が自己組織的に課題解決を行う自発的コラボレーションの支援方法を提供することである。支援のアプローチとして、活動そのものが動機づけ要因となる内発的動機づけに着目している。

具体的には、対話型ワークショップにより課題当事者が自ら目的の共有を行い、課題解決に向けた活動内容の設計を行う参加型のプロセスを用いる。そして、設計した活動をゲームとして実施可能とする機能を実装したウェブシステムにより活動の支援を行う。実証実験により目的を共有する対話型ワークショップの支援方法と、ゲーム化による活動支援の2つの支援方法の検証を行った。

1つ目の支援方法は、当事者が対話を通じて目的の共有を行う対話型ワークショップを対象としている。従来、調査票でしか得られなかった対話プロセスの計測に対して、対話によって形成される参加者間の社会ネットワークに着目した定量評価指標を提案している。実ケースを対象とした分析を通じて提案指標を検証し、調査票による対話プロセスの評価と提案指標との相関を確認した。

2つ目の支援方法は、課題解決活動をゲームとして設計し、ウェブシステムにより活動を支援するプロセスを対象としている。始めに当事者が具体的な活動内容を策定し、活動の実施と、実施した活動へのフィードバックから得点が得られるように構成されたゲームルールを設計する。次に設計したゲームルールに基づき、活動とフィードバックから得られた得点を集計する機能を持つウェブシステムを用いて課題解決活動の支援を行う。検証の結果、提案方法により当事者が自ら課題解決に向けた活動に基づくルールを設計し、持続的な解決活動の実施を支援できることを確認した。

本論文の構成を以下に示す。本論文は全6章から構成され、第1章では本研究の目的と背景について述べている。

第2章では、本論文で扱うコラボレーションについて定義し、コラボレーション支援の課題を述べている。次に、コラボレーションへの参加動機づけに関する先行研究を整理し、内発的動機づけに必要な要件を示している。最後に、本論文の位置付けを述べている。

第3章では、自発的コラボレーションの実態調査として、Wikipediaを対象とした分析を実施している。分析の結果から、質の高い記事を短期間に作成するグループでは、参加者の間に密な社会ネットワークが構築されていることを明らかにしている。この知見と第2章で述べた動機づけ要件をもとに、自発的コラボレーションの支援モデルを策定し、設計指針を示している。

第4章では、設計指針に基づき、当事者自身が目的の共有を行う対話型ワークショップの支援に向け、対話プロセスを計測する指標を提案している。提案指標は参加者間の発話順序から抽出した社会ネットワークに基づき算出される。具体的なテーマを設定した対話型のワークショップを実施する実証実験により、提案指標の有効性と課題について述べている。

第5章では、設計指針に基づき、活動を集計し得点化するゲーム化により活動への参加を促進する支援方法を検証している。支援方法では、活動の設計と得点化のためのゲームルール作りを行う参加型のワークショップと、ルールに基づき活動を集計し得点化するゲーム化機能を実装したウェブシステムを用いている。具体的な課題を設定した実証実験の結果から支援方法の効果と課題について述べている。

第6章にて、本論文の結論を述べている。

以上のとおり、本研究により、自発的コラボレーションの支援方法が示された。これらの研究成果は、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は、博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4364 号	氏 名	森 貴則
主論文題目： 大気圧プラズマCVD法による高硬度薄膜の作製と大面積化			
<p>材料表面への薄膜被覆技術は、既存材料を有効活用でき、コスト的にも優れることから多くの分野で開発が進められている。大気圧プラズマ法は従来の真空による被覆技術に比べ、低コストかつ大面積への薄膜被覆を可能である。本論文では、この大気圧プラズマ法を用い、非晶質炭素薄膜およびシリカ系薄膜の高硬度化に取り組んでいる。大気圧下での薄膜合成は、気相中での粒子が合成し、また原料密度が高いことから分解していないガスが多く存在し、真空環境で合成した薄膜に比べ硬度が低くなる。また従来の大気圧プラズマ法では、電極間距離が数ミリメートルで、立体形状の基材への被覆が困難であった。本論文の目的は、独自の大気圧プラズマ装置を作製するとともに、薄膜の合成条件を制御し、上記の問題点を解決することである。また、合成した非晶質炭素薄膜およびシリカ系薄膜の膜物性を詳細に解析し、その結果をまとめている。</p> <p>第1章では、大気圧プラズマ技術の現状や課題について述べている。第2章では、大気圧プラズマ法により非晶質炭素薄膜を作製する際に導入する希釈ガス種効果に関して述べている。第3章では、原料ガス種および放電形態に着目し、プラズマ中のイオン密度を変化させて非晶質炭素薄膜を合成し、薄膜の硬質化を目指している。具体的には、電極間距離を変化し、放電形態をグローからストリーマに遷移させ、またペニング電離によりイオン密度を増加させることで非晶質炭素薄膜内部の水素含有量比率を低下させ、従来の薄膜よりも硬質な非晶質炭素薄膜を室温下で合成した。第4章では、ポリマー材料への合成を念頭に室温下でシリカ系薄膜を合成し、希釈ガス種と酸素流量が硬度に及ぼす効果を明らかにしている。第5章では、大気圧プラズマ技術を用いてポリエチレンテレフタレート上にシリカ系薄膜を合成し、ガスバリア性を評価している。また基板の表面状態とシリカ系薄膜の構造との関係を明らかにしている。第6章では、自動車の樹脂窓の応用のために、大面積でしかも曲面にも被覆可能なリモート式大気圧プラズマCVD装置を作製し、硬質シリカ系薄膜を合成している。この装置により従来のダイレクト式の誘電体バリア放電では困難であった、立体かつ厚みのある形状への合成が可能となった。また薄膜内部の結合状態分析から薄膜の有機物および末端結合の除去とシリカ系薄膜の硬度との関係を明らかにしている。第7章では研究成果の総括を今後の展望とともにまとめている。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4364 号	氏 名	森 貴則
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授 工学博士	鈴木 哲也
	副査	慶應義塾大学教授 工学博士	小茂鳥 潤
		慶應義塾大学教授 工学博士	朝倉 浩一
		慶應義塾大学教授 Ph.D.	堀田 篤
<p>修士（工学）森貴則君提出の学位請求論文は「大気圧プラズマ CVD 法による高硬度薄膜の作製と大面積化」と題し、全 7 章より構成されている。</p> <p>材料表面への薄膜被覆技術は、既存材料を有効活用でき、コスト的にも優れることから多くの分野で開発が進められている。大気圧プラズマ法は従来の真空による被覆技術に比べ、低コストかつ大面積への薄膜被覆を可能である。本論文では、この大気圧プラズマ法を用い、非晶質炭素薄膜およびシリカ系薄膜の高硬度化に取り組んでいる。大気圧下での薄膜合成は、気相中で粒子が生成し、また原料密度が高いことから分解していないガスが多く存在し、真空環境で合成した薄膜に比べ硬度が低くなる。また従来の大気圧プラズマ法では、電極間距離が数ミリメートルで、立体形状の基材への被覆が困難であった。本論文の目的は、独自の大気圧プラズマ装置を作製するとともに、薄膜の合成条件を制御し、上記の問題点を解決することである。また、合成した非晶質炭素薄膜およびシリカ系薄膜の膜物性を詳細に解析し、その結果をまとめている。</p> <p>第1章では、大気圧プラズマ技術の現状や課題について述べている。第2章では、大気圧プラズマ法により非晶質炭素薄膜を作製する際に導入する希釈ガス種に関して述べている。第3章では、原料ガス種および放電形態に着目し、プラズマ中のイオン密度を変化させ、非晶質炭素薄膜を合成し、薄膜の硬質化を目指している。具体的には、電極間距離を変化させ、放電形態をグローからストリーマに遷移させ、またペニング電離によりイオン密度を増加させた。それにより、非晶質炭素薄膜内部の水素含有量比率を低下し、従来の薄膜よりも硬質な非晶質炭素薄膜を室温下で合成可能となった。第4章では、ポリマー材料表面上へ被覆するために、室温下でシリカ系薄膜を作製し、希釈ガス種と酸素流量が硬度に及ぼす効果を調べている。第5章では、大気圧プラズマ技術を用いて、ポリエチレンテレフタレート上にシリカ系薄膜を作製し、ガスバリア性を評価している。また基板の表面状態とシリカ系薄膜の構造との関係を明らかにしている。第6章では、自動車の樹脂窓への応用を目指し、大面積かつ曲面にも被覆可能なリモート式大気圧プラズマCVD装置を作製し、硬質シリカ系薄膜を作製している。この装置により従来のダイレクト式の誘電体バリア放電では困難であった、立体かつ厚みのある形状への合成が可能となった。また薄膜内部の結合状態分析から薄膜の有機物および末端結合の除去とシリカ系薄膜の硬度との関係を明らかにしている。第7章では研究成果の総括を今後の展望とともにまとめている。</p> <p>以上、要するに、著者は高機能の非晶質炭素膜およびシリカ系膜を大気圧下で、大面積に被覆するための装置を設計・製作し、薄膜を合成し、その微構造を解析し、得られた結果をまとめている。これより、今日まで不可能であった、1) 大気圧プラズマ下での高硬度非晶質炭素薄膜の合成、2) 高硬度のシリカ系薄膜の曲率を有したプラスチック基板上への大面積合成を実施し、新たな知見を得た。本論文の結果は工学上寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位の資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4365 号	氏 名	関根 康平
主論文題目： 銀触媒によるアルキンの活性化を基軸とする二酸化炭素利用法の開発			
<p>本論文では、銀触媒によるアルキンの活性化を基軸とする二酸化炭素との炭素-炭素結合形成反応に引き続く環化反応およびプロパルギルアミンへの二酸化炭素と官能基の連続的導入反応について報告する。</p> <p>第1章では、エノラートを二酸化炭素に対する求核剤としてラクトン誘導体およびジヒドロイソベンゾフラン誘導体の合成反応について述べた。筆者は、熱的に不安定なβ-ケトカルボン酸をアルキンへの環化反応を連続させれば、より安定なラクトン誘導体へワンポットで誘導できると考えた。反応条件を検討した結果、触媒量の安息香酸銀、塩基に7-メチル-トリアザビシクロ[4.4.0]-5-デカエンを用いると、目的とする反応が種々の基質に対して円滑に進行し、対応する5員環ラクトンが高収率で得られることを見出した。また、^{13}C NMRによる実験から、銀触媒はアルキンを活性化するだけでなく、カルボニル基を活性化しエノラートを生成する過程にもルイス酸として機能していることが示唆された(第1節)。上述の反応において脂肪族ケトンに対しては、副生成物としてカルボキシル基を有するフラン誘導体が得られることがわかった。フラン誘導体の生成機構の考察から、オルト位にアルキンをもつアセトフェノンを出発原料とすれば、カルボキシル基をもつジヒドロイソベンゾフラン誘導体が得られると想定した。二酸化炭素雰囲気下、触媒量の酢酸銀と1,8-ジアザビシクロ[5.4.0]-7-ウンデセンを作用させると、カルボキシル基をもつジヒドロイソベンゾフランが高収率で生成することを明らかにした(第2節)。</p> <p>第2章では、銀触媒によるプロパルギルアミンへの二酸化炭素とヨード基の連続的導入反応について述べた。この反応では、カーバメートの環化反応後に生成するビニル銀中間体がヨウ素カチオンにより捕捉され、(E)-ヨードビニルオキサゾリジノンが得られると期待した。最適化した反応条件は、様々な第一級および第二級アミンに対して適用可能であることを示した。</p> <p>第3章では、アリル位にトリメチルシリル基をもつ共役エンイン化合物を出発原料として、カルボアニオン等価体の二酸化炭素への求核付加により生成するカルボキシレートが銀触媒により活性化されたアルキンにより捕捉され、5員環の2-フランオンおよび6員環の2-ピロンが得られる反応について述べた。アルキン末端の置換基により生成物の選択性が変化し、芳香環置換の場合は2-フランオンに高い選択性を示し、アルキル置換の場合は2-ピロンが優先的に得られることを明らかにした。この位置選択性は出発原料のアルキン炭素の電子状態の違いに起因していることが示唆された。</p> <p>以上、銀触媒によるアルキンの活性化を基軸とする新規二酸化炭素利用法の開発に成功した。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4365 号	氏 名	関根 康平
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 山田 徹
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 垣内 史敏
		慶應義塾大学教授	工学博士 戸嶋 一敦
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 高尾 賢一

学士（理学）、修士（理学） 関根 康平 君の学位請求論文は、「銀触媒によるアルキンの活性化を基軸とする二酸化炭素利用法の開発」と題し、3章8節から構成されている。

二酸化炭素は高い酸化状態にあり熱力学的に安定で、低毒性で取扱いが容易であり、また工業的には廃棄物として大量に供給可能であることから、特に有機化学的には炭素資源として魅力的な化合物である。二酸化炭素の有機合成化学的利用の研究が古くから進められてきたが、多くの場合、二酸化炭素の化学的安定性から高温高压の厳しい反応条件の適用が必要であった。著者が所属する研究グループはこれまでに、銀触媒によりカーボナートのアルキンに対する求核的環化工程が効果的に促進され、プロパルギルアルコールが二酸化炭素と温和な条件で反応することを見出した。しかし、求核種はアミンやアルコールに限定され、有機合成化学上有用な炭素-炭素結合形成反応への展開が望まれていた。また、高付加価値化合物への誘導も解決すべき課題であり、著者は、生成が示唆されるビニル銀中間体の捕捉反応により、ヨードビニルオキサゾリジノンへの誘導に成功した。

第1章では、エノラートを二酸化炭素に対する炭素求核剤として用いる炭素-炭素結合形成反応について述べている。反応の結果、熱的に不安定なβ-ケトカルボン酸が生成するが、これを銀触媒によるアルキンへの環化反応を連続的に行わせ、安定なラクトン誘導体に誘導できると考えた。詳細な検討の結果、触媒量の安息香酸銀、塩基として7-メチル-トリアザピシクロ[4.4.0]-5-デカエンを用いると、目的とする反応が種々の基質に対して円滑に進行し、対応する5員環ラクトンが高収率で得られることを見出した。また、¹³C NMRによる実験から、銀触媒はルイス酸としてアルキンを活性化するほかに、エノラート生成過程にもルイス酸としてカルボニル基を活性化していることが示唆された（第1節）。またこの反応を脂肪族ケトンに対して適用すると、副生成物としてカルボキシル基を有するフラン誘導体が見出された。フラン誘導体の生成機構に関する考察から、オルト位にアルキンを持つアセトフェノンを出発原料とすれば、カルボキシル基を有するジヒドロイソベンゾフラン誘導体が見出されると想定した。検討の結果、二酸化炭素雰囲気下、触媒量の酢酸銀と1,8-ジアザピシクロ[5.4.0]-7-ウンデセンを塩基として作用させると、種々の基質からカルボキシル基を有するジヒドロイソベンゾフランが高収率で得られることを明らかにした（第2節）。

第2章では、銀触媒により、プロパルギルアミンに対する二酸化炭素とヨード基の連続導入反応について述べている。アミノ基により二酸化炭素が捕捉された結果生じるカーバメートがアルキンに対して環化すれば、反応後にビニル銀中間体が生成し、これがヨウ素カチオンにより捕捉され、(E)-ヨードビニルオキサゾリジノンが見出されると想定した。詳細な検討の結果、様々の第一級および第二級アミンに対して目的化合物が立体選択的に得られることを見出した。

第3章では、銀触媒を用いる炭素-炭素結合形成反応に連続する環化反応の展開について述べている。アリル位にトリメチルシリル基をもつ共役エンイン化合物を出発原料とし、カルボアニオン等価体の二酸化炭素への求核付加により生成するカルボキシラートが、銀触媒により活性化されたアルキンにより捕捉され、5員環の2-フラノンおよび6員環の2-ピロンが見出された。アルキン末端の置換基により生成物の選択性が変化し、芳香環置換の場合は2-フラノンに高い選択性を示し、アルキル置換の場合は2-ピロンが優先的に得られることを明らかにした。

以上のように本論文の著者は、有機合成化学的な二酸化炭素の炭素資源としての利用に関して、新しい触媒反応の開発研究に多大の貢献が認められる。

よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4366 号	氏 名	花井 亮
主論文題目： 質量インバランスを有する極低温フェルミ原子気体を記述する強結合理論と成分に依存する擬ギャップ現象の研究			
<p>本論文では、${}^6\text{Li}$-${}^{40}\text{K}$ 混合フェルミ原子気体といった「質量インバランスを有する極低温フェルミ原子気体」を理論的に研究し、弱結合領域から強結合領域までの全相互作用強度において、任意の質量差がある状況を統一的に扱える強結合理論を構築する。さらに、この理論を用い、BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer)-BEC (Bose-Einstein condensation) クロスオーバー領域での超流動転移温度に対する質量インバランスの効果、および、超流動転移温度近傍に現れる擬ギャップ現象を明らかにする。</p> <p>本論文の前半では、異なる質量を有する 2 種類のフェルミ原子で構成された混合フェルミ原子気体に対し、任意の引力相互作用強度、質量差がある場合を全て扱うことができる強結合理論の構築を行う。質量インバランスがない場合の強結合フェルミ原子気体の研究で大きな成功を収めてきた (非自己無撞着) T 行列近似 (TMA) を、質量差がある場合に適用すると、超流動転移温度が 2 価になるなどの非物理的な結果を与えることを示し、その原因がやはりこの理論が破綻することが知られている「スピンインバランスを有するフェルミ原子気体」の場合と類似していることを指摘する。しかし、スピンインバランス系に対し有効とされる「拡張 T 行列近似 (ETMA)」を質量インバランス系に適用すると、質量差が小さい領域では超流動転移温度の 2 価性はなくなるものの、質量差がある程度大きくなると、弱結合領域で超流動転移温度が消失するという新たな困難が生じる。本論文では、その原因が、軽い原子と重い原子それぞれのフェルミ面に対する強結合補正の不備に因ることであると突き止め、それを克服するために拡張 T 行列近似をさらに拡張し、1 粒子スペクトルに対する強結合補正を完全に自己無撞着に取り入れることでこの問題が解決されることを明らかにする。</p> <p>本論文後半では、この「自己無撞着 T 行列近似 (SCTMA)」を用い、常流動相の 1 粒子状態に対する強結合効果とそれに対する質量インバランス効果を研究する。強い粒子間引力相互作用が働く系では、超流動転移温度以上でもクーパー対が形成される結果、1 粒子励起スペクトルに擬ギャップと呼ばれる窪み構造が現れることが知られているが、質量インバランスが存在する場合、軽い成分も重い成分も等しくクーパー対形成に関与するにも係らず、擬ギャップの現れ方に顕著な違いがあることを示す。${}^6\text{Li}$-${}^{40}\text{K}$ 混合フェルミ原子気体では ${}^6\text{Li}$、${}^{40}\text{K}$ 両成分に擬ギャップ現象が現れる領域だけでなく、${}^6\text{Li}$ 成分のみに擬ギャップが現れるというこれまで知られていない擬ギャップ現象が現れる領域があることを理論的に明らかにする。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4366 号	氏 名	花井 亮
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 大橋 洋士
	副査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 伊藤 公平
		慶應義塾大学教授	理学博士 白濱 圭也
		慶應義塾大学准教授	博士(理学) 齊藤 圭司

学士（理学）、修士（理学）花井亮君の学位請求論文は、「質量インバランスを有する極低温フェルミ原子気体を記述する強結合理論と成分に依存する擬ギャップ現象の研究」と題し、全5章より構成されている。

^{40}K フェルミ原子ガス、および、 ^6Li フェルミ原子ガスの超流動化が 2004 年に達成されて以降、当該研究分野における次なる大きな目標の一つが、異なる質量を持つ異種フェルミ粒子間の Cooper 対形成による超流動（質量インバランス系フェルミ超流動）の実現である。なかでも、 ^{40}K フェルミ原子と ^6Li フェルミ原子の混合気体が有力候補となっている。この系は、Feshbach 共鳴と呼ばれる機構により対形成に必要な引力相互作用の強さを自在に制御することができ、超流動化が達成されれば、その物性を弱結合領域から強結合極限まで統一的に解明できると期待されている。しかし、この系の超流動化は未だ成功しておらず、超流動転移温度を定量的に予測することが、現在、理論に強く求められている。ところが、従来のフェルミ原子ガス超流動の研究で大きな成功を収めた非自己無撞着 T 行列近似（TMA）と呼ばれる強結合理論をこのような質量インバランスを有する系に適用すると、非物理的な超流動転移温度を与えてしまい、この要請に応えることができなかった。本研究は、TMA が抱えるこの致命的欠陥の原因を明らかにし、それを克服した強結合理論の構築に成功、 ^{40}K - ^6Li 混合フェルミ気体の場合を含む、任意の質量差、および、任意の引力相互作用強度に対する超流動転移温度を定量的に予測するという、非常に重要な成果を挙げている。また、質量インバランスを有するフェルミ粒子系特有の強結合現象を明らかにするという成果も挙げている。

第 1 章は序論である。 ^{40}K や ^6Li といったフェルミ原子ガスで実現する強結合現象と、 ^{40}K - ^6Li 混合フェルミ気体の研究の現状についての説明の後、本研究の目的が述べられている。

第 2 章では、TMA が説明されている。この強結合理論が、質量インバランスがないバランス系における擬ギャップ現象や BCS-BEC クロスオーバー現象をよく説明する一方、質量インバランスが存在すると忽ち破綻してしまうことが、超流動転移温度の計算結果を示しながら述べられている。

第 3 章では、TMA で無視されている強結合補正を加味することで、上述の困難が克服されることが示されている。ここで構築された自己無撞着 T 行列近似（SCTMA）では、散乱に関与する粒子の強結合補正と、対形成に関与する粒子の強結合補正が共に自己無撞着に考慮されている。この強結合理論で計算された超流動転移温度は、任意の質量差、任意の引力相互作用強度に対し常に有限な値となる。これに基づき、 ^{40}K - ^6Li 混合フェルミ気体は、粒子間引力相互作用があれば常に有限な超流動転移温度を有すること、そして、バランス系と同様に BCS-BEC クロスオーバーが起こることを明らかにしている。

第 4 章では、SCTMA を用い、擬ギャップに対する質量インバランスの影響を研究している。 ^{40}K - ^6Li 混合フェルミ気体程度の質量差があると、軽い粒子の状態密度には超流動転移温度近傍で擬ギャップが現れるのに対し、重い粒子の状態密度中には擬ギャップはほとんど現れないことを明らかにしている。これは、対形成に関与する 2 成分両方の状態密度に擬ギャップが現れるバランス系の場合とは大きく異なる結果である。

第 5 章では、結論として、本研究の成果がまとめられている。

本研究は、これまでの強結合理論では困難であった、質量インバランスを有するフェルミ原子気体の超流動転移温度を、任意の質量差、任意の引力相互作用強度で理論的に決定することに初めて成功、特に、 ^{40}K - ^6Li 混合フェルミ気体では、それが実験的に十分到達可能な温度であることを明らかにした。これは、質量インバランス系におけるフェルミ超流動実現に向けた研究の発展に大いに貢献するものである。また、本研究により明らかにされた、成分に依存する擬ギャップ現象は、強結合現象に対する質量インバランスの効果を理解するうえで非常に重要である。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第4367号	氏名	木村 勝彦
主論文題目： 光ディスク装置の対物レンズアクチュエータにおける駆動系の高精度化			
<p>光ディスク装置の記録容量と転送速度の向上のために、光スポットの高精度位置決めを実現する対物レンズアクチュエータが必須である。対物レンズアクチュエータの動作特性は、加速度感度、振動特性、対物レンズ光軸精度に集約される。本研究では、対物レンズアクチュエータの動作特性を表す解析モデルと、動作特性向上を実現する機構技術を提案し、量産製品に適用可能な構造を具現化することを目的としている。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的を示している。</p> <p>第2章では、光ディスク装置の仕様に基づき、対物レンズアクチュエータに求められる動作特性である加速度感度、振動特性、対物レンズ光軸精度の目標値を示している。</p> <p>第3章では、光ディスク装置の高速化に直接関わる対物レンズアクチュエータの加速度感度について、従来用いられてきた電流加速度感度と電圧加速度感度に加えて、それらの相乗平均で定義された電力加速度感度を新たに導入している。電力加速度感度を指標とすることで、駆動コイルの質量が可動部の質量の 1/2 の場合に、電力加速度感度を最大化できることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、対物レンズアクチュエータのサスペンションワイヤ支持系を対象として、減衰材として付加するシリコンゲルを粘弾性体のばねとして表した振動モデルを用いて、一次の振動モードの主共振特性を導出している。解析と実験の結果から、本モデルを用いることで主共振特性を簡便に精度良く設計できることを示している。</p> <p>第5章では、可動部の弾性変形モードによる高次の振動モードについて、振動モードと駆動力分布を組み合わせた高次共振振幅の低減手法を提案している。駆動点における駆動力と振動モードの積で定義される駆動力成分の総和をゼロに近づけるように駆動コイルとマグネットを配置することで、高次共振振幅を抑制できることを示している。</p> <p>第6章では、光ディスクの高密度化時に必要となる、並進動作時の対物レンズ光軸傾きの低減手法を提案している。駆動コイルに作用する磁束密度分布の解析結果を基に、コイルの一方で増加する磁束密度分布と、コイルの他方で減少する磁束密度分布を組み合わせることで、ローリングモーメントを低減できることを明らかにしている。この指針に基づいて、トラッキングコイルのクロス配置およびインナーマグネットの配置という従来にない系を考案し、これによって対物レンズの静的傾きとローリング共振時の動的傾きを効果的に低減できることを示している。</p> <p>第7章では、各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約している。</p> <p>以上によって、光ディスク装置の対物レンズアクチュエータにおいて、動作特性の向上が可能な駆動系の設計方法を提案し、光ディスク装置の大容量化と高速化の実現を検証している。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4367 号	氏 名	木村 勝彦
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	工学博士	杉浦 壽彦
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	澤田 達男
	慶應義塾大学教授	工学博士	小茂鳥 潤
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	竹村研治郎
	早稲田大学教授	工学博士	川本 広行
<p>工学士，工学修士 木村勝彦君提出の学位請求論文は「光ディスク装置の対物レンズアクチュエータにおける駆動系の高精度化」と題し，7章から構成されている。</p> <p>光ディスク装置の高速化，大容量化に対応して，装置の記録容量と転送速度を向上させるためには，光スポットを位置決め駆動する対物レンズアクチュエータにおける駆動系の高精度化が必要である．対物レンズアクチュエータの動作特性は，加速度感度，振動特性，対物レンズ光軸精度に集約される．本論文の著者は，対物レンズアクチュエータのこれらの動作特性を表す解析モデルを構築して，これに基づいて，動作特性向上を可能とする駆動系の設計方法を提案し，これを量産型光ディスク装置に適用して高速化と大容量化の実現を検証している。</p> <p>第1章では，光ディスク装置の主要機構である対物レンズアクチュエータに関する課題と従来技術を説明し，本研究の目的および本論文の構成を示している。</p> <p>第2章では，光ディスク装置の仕様に基づき，対物レンズアクチュエータに求められる動作特性である加速度感度，振動特性，対物レンズ光軸精度の目標値を示している。</p> <p>第3章では，光ディスク装置の高速化に直接関わる対物レンズアクチュエータの加速度感度について，従来用いられてきた電流加速度感度と電圧加速度感度に加えて，それらの相乗平均で定義された電力加速度感度を新たに導入している．電力加速度感度を指標とすることで，駆動コイルの質量が可動部の質量の1/2の場合に，電力加速度感度を最大化できることを明らかにしている。</p> <p>第4章では，対物レンズアクチュエータのサスペンションワイヤ支持系を対象として，減衰材として付加するシリコーンゲルを粘弾性体のばねとして表した振動モデルを用いて，一次の振動モードの主共振特性を導出している．解析と実験の結果から，本モデルを用いることで主共振特性を簡便に精度良く設計できることを示している。</p> <p>第5章では，可動部の弾性変形による高次の振動モードについて，振動モードと駆動力分布を組み合わせた高次共振振幅の低減手法を提案している．駆動点における駆動力と振動モードの積で定義される駆動力成分の総和をゼロに近づけるように駆動コイルとマグネットを配置することで，高次共振振幅を抑制できることを示している。</p> <p>第6章では，光ディスクの高密度化時に必要となる，並進動作時の対物レンズ光軸傾きの低減手法を提案している．駆動コイルに作用する磁束密度分布の解析結果を基に，コイルの一方で増加する磁束密度分布と，コイルの他方で減少する磁束密度分布を組み合わせることで，ローリングモーメントを低減できることを明らかにしている．この指針に基づいて，トラッキングコイルのクロス配置およびインナーマグネットの配置という従来にない系を考案し，これによって対物レンズの静的傾きとローリング共振時の動的傾きを効果的に低減できることを示している。</p> <p>第7章では，各章で得られた内容をまとめ，本研究の成果を要約している。</p> <p>以上要するに，本論文は，光ディスク装置の対物レンズアクチュエータにおいて，動作特性の向上が可能な駆動系の設計方法を提案し，光ディスク装置の大容量化と高速化の実現を検証したものであり，機械工学分野において，工学上，工業上寄与するところが少なくない．よって，本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4368 号	氏 名	原 英之
<p style="text-align: center;">主論文題目：</p> <p style="text-align: center;">分子鎖塑性論を用いた延性ポリマの大変形挙動 および微視的損傷進展のモデル化とマルチスケール FEM 解析</p>			
<p>延性ポリマは構造材料としての過酷な力学的環境下での利用が急速に拡大しており、その大変形および破壊挙動を正確に予測可能な構成モデルの構築に期待が寄せられている。近年、様々な材料のマクロな力学特性を精度よく予測するため、材料組織の不均一性の影響を陽に考慮することが重要視されている。一方、ポリマの引張試験では変形の集中領域ではなく、くびれ進行端部から延性破壊が生じる。これはポリマ特有の微視的損傷であるクレーズの集積に起因する。しかしながら、ポリマの微視的不均一性に加え、損傷進展までを考慮した構成モデルは現在までに提案されていない。そこで、本研究ではポリマの非弾性変形を分子鎖塑性論および結晶塑性論によって記述し、微視的損傷の発展式を新たに構築するとともに、得られたモデルに均質化法を適用して延性ポリマのマルチスケール FEM 解析を実施することで、ポリマの大変形・破壊挙動を数値解析的に予測する。</p> <p>第 1 章は緒言であり、本研究の背景と先行研究を紹介し、本論文の目的と構成を述べている。</p> <p>第 2 章ではまず、変形を記述するために必要となる配置の概念を導入している。また、分子鎖塑性論および結晶塑性論における各すべり系で定義される量を用いて容易に非弾性変形速度および非弾性スピンが得られることを示すとともに非晶相の分子鎖基底ベクトルおよび結晶相の結晶基底ベクトルの更新方法の相違についても言及している。</p> <p>第 3 章では、弱形式の釣合い方程式である Updated Lagrange 形式の速度形仮想仕事の原理を有限変形理論の範疇で定式化している。</p> <p>第 4 章では、損傷依存形弾性構成式と 2 章で得た非弾性変形速度の運動学的関係式を統合することにより、弾粘塑性構成式を導出している。さらに、ポリマの各相の特徴をより適切に表現するために、非晶相には多絡み点モデルを適用し、結晶相には分子鎖方向の非延伸拘束を導入している。</p> <p>第 5 章では、弾粘塑性構成式の非弾性特性を決定する材料応答則について述べている。非晶相にはポリマ内部の自由体積変化に基づく非弾性応答則を採用するとともにポリマ特有の除荷時の非線形ひずみ回復ならびに降伏応力の静水圧応力依存性を表せるよう非弾性応答則を拡張している。結晶相については Eyring の反応速度論に基づく材料応答則を採用し、さらに、従来の Pan-Rice 形硬化則で用いられていた材料定数から反応速度論の材料定数を決定する手法を提案している。</p> <p>第 6 章では、ポリマ特有の損傷であるクレーズの発生および成長を表す発展式を反応速度論の観点から新たに構築しており、クレーズ進展に要する活性化エネルギーを自由体積の変化と関連づけることで、クレーズ発展式にひずみ速度依存性を導入している。</p> <p>第 7 章では、3 章で得た釣合い方程式に 4 章で構築した構成式を代入することによって得られる支配方程式を、漸近展開法に基づく均質化理論を用いてミクロ構造およびマクロ構造の支配方程式に分離している。</p> <p>第 8 章では、7 章で得た支配方程式を有限要素法によって離散化するとともに上述のモデルに基づく延性ポリマのミクロ-マクロ連成解析スキームについて述べている。</p> <p>第 9 章では、非晶性ポリマであるメタクリル酸メチル平板および結晶性ポリマであるポリプロピレン平板に対する大変形 FEM 解析を平面ひずみ条件下で実施し、ポリマの単軸引張試験の特徴、すなわち、マクロ試験片における引張方向へのくびれおよびクレーズ集中領域の伝ばならびに分子鎖配向を再現するとともにユニットセルの応答との相関について議論している。また、非線形ひずみ回復や降伏応力のひずみ速度依存性、静水圧応力依存性などが本モデルによって再現されることを示すとともにフィブリング強度およびクレーズ密度に基づく破断予測条件を構築することでひずみ速度に依存したポリマの延性の変化を予測している。最後に、本モデルの三次元 FEM 解析における妥当性についても検討している。</p> <p>第 10 章は結言であり、本研究で行ったモデル化と FEM 解析から得られた知見を要約している。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4368 号	氏 名	原 英之
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 志澤 一之
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 大宮 正毅
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 宮田 昌悟
		慶應義塾大学教授	Ph. D. 堀田 篤
<p>学士(工学), 修士(工学) 原英之君の学位請求論文は「分子鎖塑性論を用いた延性ポリマの大変形挙動および微視的損傷進展のモデル化とマルチスケール FEM 解析」と題し, 10 章から構成されている。</p> <p>近年, 延性ポリマは構造材料としての過酷な力学的環境下での利用が拡大しており, その大変形および破壊挙動を正確に予測可能な構成モデルの構築に期待が寄せられている。しかしながら, ポリマの微視的不均一性やクレーズ(ポリマ特有の微視的損傷)進展までを考慮し, 分子鎖挙動に基づいて構築したマルチスケール構成モデルは提案されていないのが現状である。そこで, 本研究では延性ポリマの非弾性変形を分子鎖塑性論および結晶塑性論によって記述し, 微視的損傷の発展式を新たに構築するとともに, 得られたモデルに均質化法を適用して結晶性ポリマのマルチスケール FEM 解析を実施し, ポリマの大変形および破壊挙動を数値解析的に予測することを試みている。</p> <p>第 1 章は緒言であり, 本研究の背景と先行研究を紹介し, 本論文の目的と構成を述べている。</p> <p>第 2 章では運動学について論じており, 分子鎖塑性論および結晶塑性論における各すべり系のすべり速度を用いて非弾性変形速度および非弾性スピンが運動学的に求められることを示している。</p> <p>第 3 章では, 弱形式の釣合い方程式である Updated Lagrange 形式の速度形仮想仕事の原理を有限変形理論の範疇で定式化している。</p> <p>第 4 章では, 損傷依存形弾性構成式と 2 章で得た非弾性変形速度の運動学的関係式を統合することにより, 弾粘塑性構成式を導出している。さらに, ポリマの非晶相と結晶相の特徴をより適切に表現するために, 前者では多絡み点モデルを, また後者では分子鎖方向の非延伸性を導入している。</p> <p>第 5 章では, 弾粘塑性構成式の非弾性特性を決定する材料応答則について述べている。非晶相にはポリマ内部の自由体積変化に基づく非弾性応答則を採用するとともにポリマ特有の除荷時の非線形ひずみ回復ならびに降伏応力の静水圧応力依存性を表せるよう非弾性応答則を拡張している。</p> <p>第 6 章では, クレーズの発生および成長を表す発展式を反応速度論の観点から新たに構築しており, クレーズ進展に要する活性化エネルギーを自由体積変化と関連づけている。</p> <p>第 7 章では, 前述の釣合い方程式に構成式を適用して得られる基礎方程式を, 漸近展開法に基づく均質化理論を用いてミクロ構造およびマクロ構造の支配方程式に分離している。</p> <p>第 8 章では, 前章で得た支配方程式の離散化およびミクロ-マクロ連成解析について述べている。</p> <p>第 9 章では, 非晶性ポリマであるメタクリル酸メチル平板および結晶性ポリマであるポリプロピレン平板に対する大変形 FEM 解析を平面ひずみ条件下で実施し, ポリマの単軸引張試験の特徴, すなわちマクロ試験片における引張方向へのくびれおよびクレーズ集中領域の伝ばならびに分子鎖配向を再現するとともにユニットセルの応答との相関について議論している。また, 非線形ひずみ回復や降伏応力のひずみ速度依存性, 静水圧応力依存性などが本モデルによって再現されることを示すとともにフィブリル強度およびクレーズ密度に基づく破断予測条件を構築することでひずみ速度に依存したポリマの延性変化を予測している。最後に, 本モデルの三次元 FEM 解析における妥当性についても検討している。</p> <p>第 10 章は結言であり, 本研究で得られた知見を要約している。</p> <p>以上要するに本研究では, 結晶性ポリマの分子鎖挙動に基づく損傷発展式を反応速度論的に構築するとともに, 分子鎖塑性論および結晶塑性論に均質化法を適用して FEM 解析を実施し, 破壊を伴う大変形挙動を数値解析的に予測しており, マルチスケール計算固体力学の分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第4369号	氏名	小池 綾
主論文題目： Realtime Monitoring and Stability Diagnosis of Cutting Process by Applying Disturbance Observer (外乱オブザーバを応用した切削プロセスの実時間監視と安定性診断)			
<p>数値制御工作機械は、あらかじめ作成された数値プログラムを忠実に実行できるため、それまで作業者の技量に大きく依存してきた加工精度や能率を大幅に向上させた。一方で、加工プロセスが自動化されたために、加工中に生じ得る異常を感覚的に検知することが困難になった。これまでに様々な異常検知手法や安定加工条件予測手法が提案されたものの、付加的なセンサを必要とするこれらの手法は導入・維持管理の手間やコストが加工現場の需要と相反するため実用化に至る例は少ない。</p> <p>本研究では、数値制御工作機械の稼働中に生じ得る問題に対して、付加的なセンサを必要としない加工状態監視手法および安定加工条件同定手法を提案している。具体的には制御工学における外乱オブザーバの外乱推定理論を工作機械制御系に適用し、サーボ情報から推定した切削負荷に基づき加工状態を解析している。特に加工中に生じ得る異常として、工具摩耗、工具衝突、工具欠損、びびり振動の4種類の問題を対象にした検知手法と、びびり振動を対象とした安定加工条件同定手法を開発し、その有用性を実験的に示している。</p> <p>第1章では、工作機械技術の発展と問題点を説明し、本研究の目的を示している。</p> <p>第2章では、本研究を理解する上で必要となる基礎事項を概説している。また、工具欠損の検知精度向上のために二次元平面上を時計回りに動く信号のみを抽出する「回転デジタルフィルタ」と、推定切削負荷からびびり振動を少ない計算回数で検知するための「移動分散値と移動フーリエ変換の併用手法」を提案している。</p> <p>第3章では、加工実験のための実験装置と加工シミュレータ用の並列計算システムを説明している。</p> <p>第4章では、主軸・各送り軸制御系のサーボ情報から切削負荷を推定する手法を示し、ドリルとタップの摩耗検知が可能であることを実験的に明らかにしている。</p> <p>第5章では、工具衝突実験を通して、各送り軸の推定切削負荷の一階微分値を監視することで、工具衝突を高応答に検知できることを示している。</p> <p>第6章では、x方向とy方向の推定切削負荷を回転デジタルフィルタで解析することで、ドリル刃先の欠損を検知できることを示している。</p> <p>第7章では、移動分散値と移動フーリエ変換の併用手法を提案し、主軸の推定切削負荷からびびり振動と強制振動を種類別に実時間検知できることを示している。</p> <p>第8章では、びびり振動に対する安定主軸回転数同定手法として、加工中に主軸回転数を徐々に減速させる診断加工法を提案している。側面加工実験および時間領域フライス加工シミュレータによって、急激なびびり周波数遷移が生じる主軸回転数が安定主軸回転数となることを実験的かつ理論的に示している。</p> <p>第9章は本研究で得られた成果を総括し、加工状態監視手法および安定加工条件同定手法における今後の展望について触れ、結論を述べている。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4369 号	氏 名	小池 綾
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 柿沼 康弘
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 村上 俊之
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 閻 紀旺
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 高橋 正樹

学士(工学)、修士(工学)小池綾君提出の学位請求論文は「**Realtime Monitoring and Stability Diagnosis of Cutting Process by Applying Disturbance Observer (外乱オブザーバを応用した切削プロセスの実時間監視と安定性診断)**」と題し、9章から構成されている。

数値制御工作機械は、数値プログラムにより生成された工具軌跡に対する動作性の向上に伴い、加工精度や加工能率は一層高まっている。一方で、加工プロセスの自動化により、加工中に生じ得る異常を感覚的に検知することが困難となり、有用な異常検知手法の開発が求められている。これまでに付加的なセンサを用いた様々な異常検知手法や安定加工条件予測手法が提案されたものの、導入費用や維持管理の点から実用化に至る例は少ない。そこで本論文の著者は、数値制御工作機械の稼働中に生じ得る問題に対して、付加的なセンサを必要としない加工状態監視手法および安定加工条件同定手法を提案し、その有用性を明らかにしている。具体的には制御工学における外乱オブザーバの外乱推定理論を工作機械制御系に適用し、サーボ情報から推定した切削負荷に基づき工具摩耗、工具衝突、工具欠損、びびり振動の検知手法を提案し、それぞれ高精度に検知できることを示している。また、びびり振動を対象とした安定加工条件同定手法を開発し、その有用性を示している。

第1章は序論であり、工作機械技術の発展と問題点を説明し、本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究を理解する上で必要となる基礎事項を概説している。また、工具欠損の検知精度向上のために二次元平面上を時計回りに動く信号のみを抽出する「回転デジタルフィルタ」と、推定切削負荷からびびり振動を少ない計算回数で検知するための「移動分散値と移動フーリエ変換の併用手法」を提案している。

第3章では、加工実験装置と加工シミュレータ用の並列計算システムを説明している。

第4章では、主軸・各送り軸制御系のサーボ情報から切削負荷を推定する手法を示し、ドリルとタップの摩耗検知が可能であることを実験的に明らかにしている。

第5章では、工具衝突実験を通して、各送り軸の推定切削負荷の一階微分値を監視することで、工具衝突を高応答に検知できることを示している。

第6章では、x方向とy方向の推定切削負荷を回転デジタルフィルタで解析することで、ドリル刃先の欠損を検知できることを示している。

第7章では、移動分散値と移動フーリエ変換の併用手法を提案し、主軸の推定切削負荷からびびり振動と強制振動を種類別に実時間検知できることを示している。

第8章では、びびり振動に対する安定主軸回転数同定手法として、加工中に主軸回転数を徐々に減少させる加工診断方法を提案している。側面加工実験および時間領域フライス加工シミュレータによって、急激なびびり周波数遷移が生じる主軸回転数が安定主軸回転数となることを理論的かつ実験的に示している。

第9章は本論文の結論であり、得られた成果を総括し、今後の展望について述べている。

以上要するに、本論文は、付加的なセンサを用いることなくサーボ情報から異常加工状態を検知する手法および安定加工条件を同定する手法を開発したものであり、生産工学分野において工學上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4370	Name	Wan Mohd Aizuddin Bin Wan Mohamad
Thesis Title Theoretical studies on device structure and material design for high performance graphene nanoribbon devices and interconnects towards future LSI applications			
<p>Recently found in 2004, graphene is a two-dimensional material consisting of carbon atoms being bonded in a honeycomb lattice structure. Its exceptional electrical and thermal properties such as high carrier mobility and high breakdown current make graphene a highly promising candidate to replace silicon and copper for future electronics application including in electron device and interconnect technologies in LSIs. Although there are advancements in the development of graphene devices and interconnects, there are critical issues that need to be solved in order to realize such applications. To date no solution is being realized to solve the issue of graphene device having no bandgap without having to compromise the high speed performance of the device. In interconnects, edge scattering leads to high resistivity graphene nanoribbon (GNR) wire while doping such as by intercalation can reduce its resistivity. However the stability of intercalated GNR interconnects has not been studied systematically. Accordingly, the main objective of this thesis is to provide solution to these crucial issues by theoretically studying the feasibility of graphene structural modification both in graphene electron devices and interconnects. A novel Graphene Field Effect Transistor (GFET) structure is proposed in which high velocity property enhancement and bandgap opening are possible. The feasibility of intercalated GNR interconnects is also investigated by simulating its stability for the first time. The estimation can provide a guideline to achieve stable intercalated GNR structures for low resistivity interconnect applications.</p> <p>Chapter 1 provides the general background of current LSI technologies and summarizes the issues of conventional silicon FETs and copper interconnects, and the objectives of this study.</p> <p>Chapter 2 describes the theoretical framework that is used in this study which consists of Monte Carlo, ab-initio and molecular dynamics simulation methods.</p> <p>In Chapter 3, in order to enhance the high speed performance of GFET, a new structure of GFET, a Modulation Channel Width-GFET (MCW-GFET), is proposed where the channel is locally modulated by narrowing the width. A Monte Carlo device simulation method is used to simulate electron transport and electrical properties of MCW-GFETs. The electron mean velocity profile shows an abrupt increase near the source side of the channel where the electric field becomes very high, which is because the channel width is narrowed. This leads to a 54% and 30% faster local transit time in bilayer and monolayer graphene channel, respectively.</p> <p>In Chapter 4, an advanced structure of MCW-GFET is proposed by introducing GNR stripes at the modulated region in order to enable a bandgap opening and enhance its high speed properties. The bandgap opening in GNR is calculated using ab-initio method while device simulation is run using Monte Carlo device simulation. The velocity of the MCW-GFET is comparable to of a conventional GFET despite having a 100 meV bandgap opening. When compared to of an InP-based High Electron Mobility Transistors with the same channel length, a 100-nm-long channel MCW-GFET has approximately 1/3 shorter transit time.</p> <p>Chapter 5 describes the study of intercalated GNR interconnect stability. Calculation is done using ab-initio and molecular dynamics methods. In both calculations, it is found that there is a width dependency to the stability of the GNR. The results also suggest that there is an optimum intercalation ratio.</p> <p>Chapter 6 is the conclusion and the future perspectives of this thesis.</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4370 号	氏 名	Wan Mohd Aizuddin Bin Wan Mohamad
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	工学博士	栗野 祐二
副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	齋木 敏治
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	牧 英之
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	野田 啓
<p>学士(工学)、修士(工学) Wan Mohd Aizuddin Bin Wan Mohamad (ワン モハマド アイズディン ビンワン モハマド)君の学位請求論文は「Theoretical studies on device structure and material design for high performance graphene nanoribbon devices and interconnects towards future LSI applications (次世代 LSI 応用に向けた高性能グラフェンナノリボンデバイス・配線のためのデバイス構造および材料デザインに関する理論的研究)」と題し、6 章から構成されている。</p> <p>大規模集積回路(LSI)の高速化・高集積化は、IoT (Internet of Things)社会の到来とともに増々重要となっているが、現在の Si 電界効果トランジスタ(Si-FET)と Cu 配線は、それぞれが性能限界に近く、新材料導入が期待されている。炭素の 2 次元原子状薄膜であるグラフェンは、高電子移動度や高電流密度耐性などで Si や Cu を凌ぐことが報告されている。しかしながらグラフェンは元々バンドギャップがない材料であるため、バンドギャップ導入法が複数提案されてはいるものの、そのどれもがバンドギャップと高速電子輸送とがトレードオフの関係になっている。一方、グラフェンをナノメートル幅配線に適用するには、電気抵抗のさらなる低減が必要であり、インターカレーション等によるグラフェンへのドーピングが望まれるが、インターカレーションしたグラフェンナノリボン(GNR)の構造安定性については全く調べられたことがない。そこで本論文では、バンドギャップ導入と高速キャリア輸送を同時に達成できるチャンネル幅変調構造(Modulation Channel Width, MCW)という新構造グラフェン FET (GFET)を提案し、その性能を理論的に明らかにしている。さらにインターカレーションを施した GNR の構造安定性について理論的に明らかにしている。</p> <p>第 1 章は、序論であり、現在の LSI における Si-FET および Cu 配線の課題について述べ、それらをグラフェンの適用によって解決できる可能性を示し、本研究の目的を述べている。</p> <p>第 2 章では、本研究で用いる理論計算法について説明している。</p> <p>第 3 章では、グラフェンの高速キャリア輸送を最大限に引き出すため、チャンネル幅をソース近傍だけ局所的に狭めた MCW-GFET 構造を提案し、この新構造 FET のモンテカルロシミュレーションを行い、その高速性能を明らかにしている。MCW 構造では、局所的な加速電界によってキャリア速度が大幅に向上し、例えば、2 層(1 層)グラフェンチャンネル MCW-GFET では、従来型の GFET に比べて、キャリア走行時間で 54%(30%)改善されることを明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、キャリア速度を高いままに維持しながら、バンドギャップを導入する方法として、MCW-GFET のチャンネル幅変調領域を GNR のアレイにする構造を提案している。GNR のバンドギャップは第一原理計算によって求めている。この新構造 FET のモンテカルロシミュレーションから、100 meV のバンドギャップが発現し、キャリアの平均速度は MCW-GFET と比べて遜色ないことを示している。また同じチャンネル長を持つ InP 高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor, HEMT)と比較しても、キャリア走行時間が 1/3 になることを示している。</p> <p>第 5 章では、インターカレーションを施した GNR の構造安定性に関して、第一原理および分子動力学計算によって解析している。その結果、構造安定性は GNR の幅に依存することを明らかにしている。これにより最適なインターカレーション率が存在することを理論的に予測している。</p> <p>第 6 章は本研究の結論であり、本研究の成果を総括し、今後の展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本研究は GNR により高速かつバンドギャップを有する新構造トランジスタを提案し、またインターカレーションした配線用 GNR の構造安定性を理論的に明らかにするものであり、半導体デバイス・集積回路分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4408 号	氏 名	岩崎 有紘
主論文題目： 海洋シアノバクテリア由来ペプチド性化合物の構造と生物活性			
<p>特異な構造や生物活性を有する天然物の発見は、有機合成化学や生物学の飛躍的な発展や、難病の治療薬開発に結び付く可能性がある。特に近年は海洋天然物が注目を集めており、シアノバクテリアを始めとする海洋微細藻類が有用な海洋天然物の真の生産者であると考えられている。このような背景のもと、新規天然物の発見を通じた科学への貢献を目的として、海洋シアノバクテリアに含まれる新規生物活性物質の探索研究を行った。</p> <p>第一章は序論であり、新規天然物探索の重要性や、海洋シアノバクテリアの生物活性物質探索源としての有望性を概説している。</p> <p>第二章では、沖縄県久良波で採集した <i>Lyngbya</i> 属海洋シアノバクテリア集合体から発見した 3 種の新規ペプチド化合物の単離、構造決定、生物活性について述べている。第一の化合物 kurahamide は、dolastatin 13 の新規類縁体であり、強力なセリンプロテアーゼ阻害活性を有することを明らかにした。第二の化合物 kurahyne は、末端アセチレンを有する鎖状リポペプチドであり、HeLa 細胞に対するアポトーシス誘導活性と破骨細胞分化阻害活性を有することを明らかにした。第三の化合物 maedamide は、鎖状デブシペプチドであり、HeLa 細胞に対するアポトーシス誘導活性とキモトリプシンの阻害活性を有することを明らかにした。</p> <p>第三章では、沖縄県謝花で採集した <i>Okeania</i> 属海洋シアノバクテリアから発見した jahanyne の単離、構造決定、生物活性について述べている。分光学的手法と有機合成的手法を組み合わせて解析を行い、jahanyne の絶対立体配置を解明した。結果として、本化合物は末端アセチレンを有する鎖状リポペプチドであることがわかった。また、HeLa 細胞に対するアポトーシス誘導活性を示すことを明らかにした。</p> <p>第四章では、kurahyne の細胞内標的分子の同定と作用機序解明について述べている。ケミカルバイオロジー的手法を駆使し、kurahyne が小胞体膜上に存在する Ca^{2+} ポンプ (SERCA) を阻害し、小胞体ストレスを誘導し、アポトーシスを引き起こすことを明らかにした。Kurahyne がターゲットとする SERCA は、Ca^{2+} シグナリングに関わる重要な創薬標的であり、今後の詳細な研究によって、抗がん剤や抗アラリア薬開発に対する kurahyne の貢献が期待される。</p> <p>第五章では、これらの研究の総括を述べている。本研究を通じて、著者は海洋シアノバクテリアから 4 種の新規ペプチド性化合物を発見し、その構造と生物活性を明らかにした。さらに kurahyne に関しては生体内標的分子と作用機序を解明し、SERCA 阻害剤としての特性を明らかにした。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4408 号	氏 名	岩崎 有紘
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 末永 聖武
	副査	慶應義塾大学教授	農学博士 井本 正哉
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 藤本ゆかり
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 犀川 陽子
<p>学士（理学）、修士（理学）岩崎有紘君提出の学位請求論文は「海洋シアノバクテリア由来ペプチド性化合物の構造と生物活性」と題し、序論、本論 5 章、総括および実験項より構成されている。</p> <p>特異な構造や生物活性を有する天然物の発見は、有機合成化学や生物学の飛躍的な発展や、難病の治療薬開発に結びつく可能性がある。特に近年は海洋天然物が注目を集めており、シアノバクテリアを始めとする海洋微細藻類が有用な海洋天然物の真の生産者であると考えられている。このような背景のもと、新規天然物の発見を通じた科学への貢献を目的として、海洋シアノバクテリアに含まれる新規生物活性物質の探索研究を行った。</p> <p>第一章は序論であり、新規天然物探索の重要性や、海洋シアノバクテリアの生物活性物質探索源としての有望性を概説している。</p> <p>第二章では、沖縄県久良波で採集した <i>Lyngbya</i> 属海洋シアノバクテリア集合体から発見した 3 種の新規ペプチド化合物の単離、構造決定、生物活性について述べている。第一の化合物 <i>kurahamide</i> は、<i>dolastatin 13</i> の新規類縁体であり、強力なセリンプロテアーゼ阻害活性を有することを明らかにした。第二の化合物 <i>kurahyne</i> は、末端アセチレンを有する鎖状リポペプチドであり、HeLa 細胞に対するアポトーシス誘導活性と破骨細胞分化阻害活性を有することを明らかにした。第三の化合物 <i>maedamide</i> は、鎖状デブシペプチドであり、HeLa 細胞に対するアポトーシス誘導活性とキモトリプシンの阻害活性を有することを明らかにした。</p> <p>第三章では、沖縄県謝花で採集した <i>Lyngbya</i> 属海洋シアノバクテリアから発見した <i>jahanyne</i> の単離、構造決定、生物活性について述べている。分光学的手法と有機合成的手法を組み合わせる解析を行い、<i>jahanyne</i> の絶対立体配置を解明した。結果として、本化合物は末端アセチレンを有する鎖状リポペプチドであることがわかった。また、HeLa 細胞に対するアポトーシス誘導活性を示すことを明らかにした。</p> <p>第四章では、<i>kurahyne</i> の細胞内標的分子の同定と作用機序解明について述べている。ケミカルバイオロジー的手法を駆使し、<i>kurahyne</i> が小胞体膜上に存在する Ca^{2+} ポンプ (SERCA) を阻害し、小胞体ストレスを誘導し、アポトーシスを引き起こすことを明らかにした。<i>Kurahyne</i> がターゲットとする SERCA は、Ca^{2+} シグナリングに関わる重要な創薬標的であり、今後の詳細な研究によって、抗がん剤や抗アラリア薬開発に対する <i>kurahyne</i> の貢献が期待される。</p> <p>第五章では、これらの研究の総括を述べている。本研究を通じて、著者は海洋シアノバクテリアから 4 種の新規ペプチド性化合物を発見し、その構造と生物活性を明らかにした。さらに <i>kurahyne</i> に関しては生体内標的分子と作用機序を解明し、SERCA 阻害剤としての特性を明らかにした。</p> <p>以上、本研究で得られた知見は、小胞体ストレスやカルシウム依存性シグナル制御機構の研究に関連する研究用試薬や医薬品リード化合物の開発につながるものと考えられ、本研究成果は天然物化学のみならず関連分野の創薬化学・生命科学にも貢献するものである。よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4409 号	氏 名	伊勢 隆太
主論文題目： 高分子マトリクス中の結晶の成長制御によるマイクロパターン形成			
<p>自然界には様々な機能を有する微細構造が無数に存在し、生物を模倣した機能材料合成の観点から大きな注目が集まっている。自然界ではこれらの構造が非平衡系における自己組織化を通して形成されており、自己組織化によるパターン形成は学術的な興味もたれている。高分子マトリクスにより生じる拡散律速場では多様な結晶パターンが報告され、生体内と類似な高粘性環境での自発的な構造制御が新規な材料合成法として期待されている。本研究では、高分子マトリクス中で得られる結晶の多様なマイクロパターンの形成について詳細に検討するとともに、結晶成長制御にかかわる諸条件を調査し、高分子マトリクス中の結晶の成長制御によって多様なマイクロパターンを形成する方法の確立と形成のメカニズムの解明を目的とした。また、得られたマイクロパターンの光学的な特性の評価により、応用に向けた機能の調査を行った。</p> <p>第1章では、本研究の背景となるマイクロパターン形成や結晶成長の概要、および本論文の目的・概要について述べている。</p> <p>第2章では、本研究を進めるうえで必要となる結晶成長理論、多様な結晶成長に関する先行研究およびマイクロパターン形成に向けて解決すべき課題について述べている。</p> <p>第3章では、結晶成長で形成する樹枝状パターンが最も単純な立方晶の硝酸バリウムをモデル物質として用いて、溶液濃度や液相の膜厚及び乾燥速度と、得られる結晶の形態およびサイズの関係性を調査している。さらに、形成された様々なパターンについて詳細な構造解析および形成メカニズムの検討を行った。結晶成長によってマイクロメータスケールの構造をもつマイクロパターンを形成するためには比較的速い成長速度を厳密に制御する必要があり、そのためにはディップ法が有用であることを見出した。塗布溶液の厚さや乾燥の進行速度、高分子濃度などのバランスによって結晶成長の制御が可能であり、結晶成長時の過飽和度や高分子濃度が低く、拡散律速条件が弱くなる試料では、方位を揃えた4回対称の単結晶樹枝状パターンが得られ、拡散律速条件が強くなるにつれて、湾曲形態やランダム分岐をもつ樹枝状結晶が形成された。各パターンを構成する結晶はすべて基板に対して平行な面を{100}面としており、成長方向も<100>で共通していたが、湾曲を伴う形態では、濃度場の非対称性から成長方向が逐次的に変化することが半明した。</p> <p>第4章では、先行研究においてらせん状成長が確認されている三斜晶について、成長モードに「ねじれ」が加わった場合の樹枝状結晶パターンについて調査している。高分子マトリクス中で二クロム酸カリウムおよび硫酸銅五水和物の結晶を成長させることによって、ねじれ結晶の成長制御による新規なマイクロパターンの作製を行った。ここでは、ポリアクリル酸を高分子マトリクスとして二クロム酸カリウムをディップ法により基板上に成長させることで、ねじれを含む樹枝状パターンを形成した。この時、成長速度を制御することで、バンド状周期構造の形成が可能であった。ねじれ成長において分岐と結晶の微細化・高密度化が進行した場合、成長先端の濃度場が合一し、ねじれの位相と周期が一致するためにバンド状の周期構造が実現されると考えられる。硫酸銅五水和物では、結晶ユニットの傾きが大きいことから、同期成長により波打ったような蛇行を含む樹枝状パターンやらせん構造と側面分岐によって形成される格子状パターンが確認された。これらの結果は、「ねじれ」という成長モードが加わることで様々なパターンが実現できることを示している。このような特徴的なマイクロパターンは可視光の回折を引き起こし、構造色を発現することが明らかとなった。これにより、ねじれを伴う二次元パターンにおける構造色の発現により、新たな光学材料としての可能性が示された。</p> <p>第5章では、結論として本論の総括を述べている。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4409 号	氏 名	伊勢 隆太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 今井 宏明
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 志澤 一之
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 藤原 忍
		慶應義塾大学専任講師	博士(工学) 緒明 佑哉

学士(工学), 修士(工学) 伊勢隆太君提出の学位請求論文は, 「高分子マトリクス中の結晶の成長制御によるマイクロパターン形成」と題し, 5章より構成されている。

高分子マトリクスにより生じる拡散律速場における多様な結晶パターンの形成は, 生体内と類似した高粘性環境での自己組織化現象として興味深い。本論文は, 基板上の薄層高分子マトリクス中で得られる結晶のマイクロパターンについて詳細に検討するとともに, 結晶成長にかかわる諸条件を調査し, 任意なマイクロパターンを形成する方法の確立と形成メカニズムの解明および応用に向けたマイクロパターンの機能開拓を目的としている。

第1章では, 本研究の背景となるマイクロパターン形成や結晶成長に関するこれまでの研究概要と問題点および本論文の目的が述べられている。

第2章では, 本研究を進めるうえで必要となる結晶成長理論, 多様な結晶成長に関する先行研究およびマイクロパターン形成に向けて解決すべき課題について示されている。

第3章では, 過飽和溶液からの結晶成長によって最も単純な樹枝状パターンが得られる立方晶の硝酸バリウムをモデル物質として用い, 高分子濃度・溶質濃度や液相の膜厚および乾燥速度と結晶の形態およびサイズの関係が論じられている。基板上的高分子マトリクス中で形成された様々なパターンについて詳細な構造解析および形成メカニズムの検討を行った結果, 10~数百 μm のサイズをもつ2次元のマイクロパターンを形成するためには100 $\mu\text{m/s}$ 以上の成長速度が必要で, そのためにはディップコート法が有用であることが見出されている。成長条件の変化によって, 4回対称の直交分岐パターン, 湾曲をともなう分岐パターン, ランダム分岐パターンなどを任意に作り出すことに成功するとともに, 濃度場の非対称性から湾曲成長モードが生じることが示されている。

第4章では, 対称性の低い三斜晶系結晶を用いて, 成長モードに「ねじれ」が加わる場合の新規なマイクロパターンの形成について検討されている。ここでは, 三斜晶系の二クロム酸カリウムをディップ法により基板上的高分子マトリクス中で成長させ, ねじれ成長の位相と周期を一致させることによってバンド状周期構造の形成に成功している。さらに, ユニットセルの傾きが大きな三斜晶系結晶の硫酸銅五水和物では, 同期成長により蛇行パターンや格子パターンの形成が確認され, 「ねじれ」という成長モードが加わることで様々な2次元パターンが実現できることが示されている。このようなマイクロパターンは特定波長の可視光の回折によって構造色を発現し, 新たな光学材料としての可能性が示唆されている。

第5章では, 本研究で得られた知見が総括され, 高分子マトリクス中の結晶の成長制御によるマイクロパターン形成の優位性と今後の発展性が述べられている。

以上要するに, 本論文では, 結晶成長における多様な条件検討によって多様なマイクロパターンの形成に成功するとともに, その光学材料への応用の可能性を示し, 新たなパターン形成技術としての指針を与えている。これらの知見は, 結晶成長学および材料プロセス工学分野において, 工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4410 号	氏 名	濱崎 太郎
主論文題目： パラジウム触媒によるチェーンウォーキングを利用した ジエン類の環化異性化反応に関する研究			
<p>本研究はパラジウム触媒によるチェーンウォーキング機構を経るジエン類の環化異性化反応の開発とその反応機構に関する知見を得ることを目的としている。</p> <p>炭素-炭素結合は有機分子の骨格を形成する最も重要な結合の一つである。一般的に炭素-炭素結合は基質の反応活性点どうしを連結することにより構築される。一方、オレフィン重合において広く知られているチェーンウォーキング機構においては、アルキル金属種がβ-ヒドリド脱離とオレフィンの挿入を繰り返すことで、途中で解離することなく金属に炭素鎖上を移動させることができる。この機構を利用することにより通常不活性な位置での結合構築が可能となるが、チェーンウォーキングのこのような特長を有機合成反応に利用した報告は少ない。そこで、チェーンウォーキングを活用した有機合成における新しい形式の炭素-炭素結合構築法の開拓とその反応機構解明を目的として研究を行った。本研究において著者はパラジウム触媒を用いたジエン類の環化異性化反応を開発し、その反応を用いることにより五員環骨格をもつ様々な化合物を合成した。</p> <p>まず 1,10-フェナントロリン配位子をもつパラジウム錯体を触媒として用いてシクロヘキセン環と末端アルケン部位を併せもつ 1,n-ジエンと反応させると、五員環化合物が高選択的に生成し、主生成物は硝酸銀シリカゲルカラムクロマトグラフィーにより効率的に単離できることを見出した。また重水素標識実験などの反応機構に関する検討から、本反応が当初の推定通りチェーンウォーキング機構で進行していることを示唆する結果を得た。</p> <p>次に、環状アルケン部位と末端アルケン部位を併せもつ様々な 1,n-ジエンのチェーンウォーキングを経る環化異性化反応を行った後、白金触媒を用いる水素添加反応を行う手法により、飽和生成物への変換を行った。本手法を用いることにより内部アルケン部位がシクロヘキセンである 1,n-ジエンを、対応するビシクロ[4.3.0]ノナン誘導体に変換することが可能になった。さらに、シクロペンテン部位をもつジエンからはビシクロ[3.3.0]オクタン骨格をもつ化合物が得られた。また三級炭素上のチェーンウォーキングを経る反応や窒素原子を含む五員環化合物の合成も達成した。</p> <p>また本反応が非環状内部アルケン部位とおよび末端アルケン部位を併せもつ様々な 1,n-ジエンにも適用可能であることを見出し、シクロペンタンおよびピロリジン誘導体を得た。非環状三置換アルケン部位をもつジエンの環化異性化反応も効率的に反応は進行し、五員環生成物を与えた。さらにプロスタグランジン類の基本骨格をもつ炭化水素であるプロスタンを、本反応を利用して 1,12-ジエンより 7 工程で合成した。</p> <p>最後にピリジン-オキサゾリン配位子をもつパラジウム錯体を触媒として用いた場合にも、同様の環化異性化反応が進行し、様々な 1,n-ジエンに適用可能であることを見出した。また、非環状内部アルケン部位をもつジエンの環化異性化反応において、光学活性なピリジン-オキサゾリン配位子を用いることにより、本手法を不斉反応へと展開することにも成功した。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4410 号	氏 名	濱崎 太郎
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 垣内 史敏
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 千田 憲孝
		慶應義塾大学教授	理学博士 山田 徹
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 高尾 賢一
		学習院大学教授	博士（理学） 草間 博之
<p>学士（理学）、修士（理学）濱崎太郎君提出の学位請求論文は、「パラジウム触媒によるチェーンウォーキングを利用したジエン類の環化異性化反応に関する研究」と題し、序論、本論4章、結論、および実験項より構成されている。</p> <p>炭素-炭素結合は有機分子の骨格を形成する最も重要な結合の一つである。一般的に炭素-炭素結合は基質の反応活性点どうしを連結することにより構築される。一方、オレフィン重合において広く知られているチェーンウォーキング機構においては、アルキル金属種がβ-ヒドリド脱離とオレフィンの挿入を繰り返すことで、途中で解離することなく金属が炭素鎖上を移動することにより最初の反応点と異なる炭素上へ移動できる。この機構を利用することにより出発物質がもつ反応活性な位置とは異なる炭素上での結合構築が可能となるが、このようなチェーンウォーキングの特長を有機合成反応に利用した報告は少ない。そこで、チェーンウォーキングを活用した有機合成における新しい形式の炭素-炭素結合構築法の開拓とその反応機構解明を目的として研究を行った。本研究において著者はパラジウム触媒を用いたジエン類の環化異性化反応を開発し、その反応を用いることにより五員環骨格をもつ様々な化合物を合成した。</p> <p>序論では、チェーンウォーキング機構を利用したポリマー合成反応の例を示し、それら反応の特徴について述べるとともに、チェーンウォーキング機構で進行すると提唱されている触媒反応の有機合成反応における有用性について述べている。また、それら触媒反応に関する報告はほとんど無く、詳細な反応機構に関する知見が必要とされていることについて述べている。</p> <p>第1章では、1,10-フェナントロリン配位子をもつパラジウム錯体を触媒として使い、シクロヘキセン環と末端アルケン部位を併せもつ1,n-ジエンと反応させると、五員環化合物が高選択的に生成することを述べている。この反応における主生成物は、反応混合物を硝酸銀シリカゲルカラムクロマトグラフィーで精製することにより効率的に単離できることを述べている。また重水素標識実験などの反応機構に関する検討から、本反応が当初の推定通りチェーンウォーキング機構で進行していることを示唆する結果を得た。</p> <p>第2章では、環状アルケン部位と末端アルケン部位を併せもつ様々な1,n-ジエンのチェーンウォーキングを経る環化異性化反応を行った後、酸化白金を触媒に用いる水素添加反応を行うことにより飽和生成物への変換を行った結果について述べている。本手法を利用することにより内部アルケン部位がシクロヘキセンである1,n-ジエンを、対応するビシクロ[4.3.0]ノナン誘導体に変換可能となった。さらに、シクロペンテン部位をもつジエンからは、ビシクロ[3.3.0]オクタン骨格をもつ化合物が合成できることも述べている。また炭素鎖上に第三級炭素をもつ化合物や分子鎖上に窒素原子をもつ化合物を用いた場合でも、目的とする環化異性化生成物が得られることを述べている。</p> <p>第3章では、本反応が非環状内部アルケン部位と末端アルケン部位を併せもつ様々な1,n-ジエンにも適用可能であり、対応するシクロペンタンおよびピロリジン誘導体を得られることを述べている。非環状三置換アルケン部位をもつジエンの環化異性化反応も効率的に進行し、五員環生成物を与えた。さらにプロスタグランジン類の基本骨格をもつ炭化水素であるプロスタンを、本反応を利用して1,12-ジエンより7工程で合成できることについても述べている。</p> <p>第4章では、ピリジン-オキサゾリン配位子をもつパラジウム錯体を触媒として用いた場合にも、同様の環化異性化反応が進行し、様々な1,n-ジエンに適用可能であることを述べている。また、非環状内部アルケン部位をもつジエンの環化異性化反応において、光学活性なピリジン-オキサゾリン配位子を用いることにより、本手法を不斉反応へと展開できることも明らかにしている。</p> <p>以上、本研究成果は、パラジウム触媒によるチェーンウォーキング機構を経るジエン類の環化異性化反応を経る新規分子変換法の開発に重要な新しい知見を提供した。上記の研究成果は、有機金属化学分野のみならず有機化学分野の発展に貢献し、理化学上寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4411 号	氏 名	山本 正明
主論文題目： Indoor Positioning System Utilizing Mobile Device with Built-in Wireless Communication Module and Sensor (無線モジュール及びセンサ内蔵携帯端末を活用した屋内測位システム)			
<p>近年, GPS(Global positioning system)デバイスの内蔵されたスマートフォンや携帯電話の普及により, GPS を活用した様々な位置情報サービスが提供されている. しかしながら, GPS は, 屋内環境において GPS デバイスの位置を推定することが困難という問題がある. 屋内環境における位置情報サービスとしては, 大規模商業施設内における経路案内サービスと大規模製造工場内における作業員位置管理サービス等の実現が期待されている. そこで, 主論文においては, 大規模屋内環境における位置情報サービス提供の実現に向けて, 長距離通信可能な無線モジュール(WLAN, RFID)とセンサデバイスを内蔵した携帯端末を活用した屋内測位システムを提案した.</p> <p>1章では, 研究の動機および目的について説明する. そして, 携帯端末を活用した屋内測位システムを開発する為, 想定する位置情報サービスの要求仕様を抽出及び明確化する.</p> <p>2章では, 屋内測位システムの既存研究に関する調査内容を報告する. そして, 想定する位置情報サービスに対して, 既存の屋内測位システムを実適用する際の課題について述べる. 経路案内サービスとしては, システム構築の低コスト化と高精度測位の両立が期待される. そこで, アクセスポイント(AP)の設置間隔を長くして, 安価にシステム構築可能な WLAN 屋内測位システムを採用する. そして, WLAN 屋内測位システムの高精度測位を実現する方法を3章及び4章で提案する.</p> <p>製造工場の作業員位置管理サービスとしては, 作業エリア (20m 程度)レベルで作業員位置を把握することが期待される. よって, 屋内測位システムを作業員位置管理サービスに実適用する際の主な課題は, システム構築の低コスト化と考えられる. そこで, 常設の基地局を不要にする安価な RFID 測位システムを5章で提案する.</p> <p>3章及び4章では, スパースな AP 配置の WLAN 屋内測位システムでスマートフォンを保持したサービス利用者を高精度測位する為, 測位誤差の要因となるサービス利用者の人体電力損失を推定及び補正可能な人体電力損失モデルを提案する. 尚, 人体電力損失の発生する方位については, スマートフォン内蔵地磁気センサで測定する. さらにマルチパスフェージングに起因した測位誤差を低減する為, 2つの周波数帯(2.4GHz, 5.2GHz)の信号を活用した測位方式を提案する. そして, 会議室及び講義室における測位実験により, 提案方式が, スパースな AP 配置間隔(9m)と高精度測位(Root-means-square error : 2.11m)の両立を達成することを確認した.</p> <p>5章では, 携帯電話に内蔵可能な小型 RFID モジュール(24×57×4 mm)を開発する. RFID モジュールの通信機能としては, パッシブタグのリーダー機能, アクティブタグ機能, 基地局機能がある. そして, RFID モジュールの全機能を活用する RFID 測位システムを提案する. 製造工場内における測位実験により, 提案システムが, 常設基地局を不要であり, かつ作業員の作業エリア(20m)を測位可能となること確認した.</p> <p>6章では, 2章から5章を総括した結言と今後の課題について述べる.</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4411 号	氏 名	山本 正明
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 大槻 知明
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬 巖
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 重野 寛
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 眞田 幸俊
<p>学士(工学), 修士(工学), 山本正明君提出の学位請求論文は, 「Indoor Positioning System Utilizing Mobile Device with Built-in Wireless Communication Module and Sensor (無線モジュール及びセンサ内蔵携帯端末を活用した屋内測位システム)」と題し, 全6章から構成されている。</p> <p>近年, GPS (Global Positioning System) デバイスが内蔵されたスマートフォンや携帯電話の普及により, GPS を活用した様々な位置情報サービスが提供されている。屋内環境における位置情報サービスとしては, 大規模商業施設内における経路案内サービスや大規模製造工場内における作業員位置管理サービス等の実現が期待されている。しかし, GPS には, 屋内環境では位置推定が困難という問題がある。</p> <p>本論文では, 大規模屋内環境における位置情報サービス提供の実現に向けて, 無線通信モジュール (WLAN : Wireless Local Area Network, RFID : Radio Frequency Identification) とセンサデバイスを内蔵した携帯端末を活用した屋内測位システムを提案している。</p> <p>第1章は序論であり, 本研究の背景, 並びに本研究の目的と意義を述べている。そして, 携帯端末を活用した屋内測位システムの開発に向けて, 想定する位置情報サービスの要求仕様を抽出し, 明確化している。</p> <p>第2章では, 屋内測位システムの既存研究に関する調査内容を報告している。そして, 想定する位置情報サービスに対して, 既存の屋内測位システムを実適用する際の課題について述べている。経路案内サービスは, システム構築の低コスト化と高精度測位の両立が期待される。そこで, アクセスポイント (AP) の設置間隔を長くして, 安価にシステム構築可能な WLAN 屋内測位システムを採用している。</p> <p>第3章では, 疎な AP 配置の WLAN 屋内測位システムでスマートフォンを保持したサービス利用者を高精度に測位するため, 測位誤差の要因となるサービス利用者の人体電力損失を推定及び補正可能な人体電力損失モデルを提案している。提案人体電力損失モデルを用いた測位システムは, 人体電力損失の発生する方位をスマートフォン内蔵地磁気センサで測定し, その方位情報と提案人体電力損失モデルを用いて位置を推定する。実験室及び講義室における測位実験により, 提案方式が, 疎な AP 配置間隔 (6m) で高精度測位 (自乗平均平方根誤差 : 1.94m) を達成することを示している。</p> <p>第4章では, 第3章で提案した WLAN 屋内測位システムにおいてマルチパスフェージングに起因する測位誤差を低減するため, 2つの周波数帯 (2.4GHz, 5.2GHz) の信号を活用した測位システムを提案している。そして, 会議室における測位実験により, 提案システムが, 疎な AP 配置間隔 (9m) で高精度測位 (自乗平均平方根誤差: 2.11m) を達成することを示している。</p> <p>第5章では, 携帯電話に内蔵可能な小型 RFID モジュール (24 mm × 57 mm × 4 mm) の開発について報告している。RFID モジュールの通信機能には, パッシブタグのリーダー機能, アクティブタグ機能, 基地局機能がある。これら RFID モジュールの全通信機能を活用する, 常設基地局が不要な RFID 測位システムを提案している。製造工場内における測位実験により, 提案システムが, 作業員の作業エリア (20m×20m) を測位可能なことを示している。</p> <p>第6章は結論であり, 本論文で得られた結果を総括している。</p> <p>以上, 本論文の著者は, 無線通信モジュール (WLAN, RFID) とセンサデバイスを内蔵した携帯端末を活用した屋内測位システムを提案し, その有効性を明らかにしており, 工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4412 号	氏 名	関口 陽介
主論文題目： Game Theoretical Models on Networks and Discrete Structures (ネットワーク上のゲーム理論的モデルと離散構造)			
<p>本論文では、取引ネットワークモデルとマーキングゲームという 2 つのネットワーク (グラフ) 上のモデルについて考察する。これらのモデルはゲーム理論的な側面をもっており、複数のプレイヤーの戦略を考える必要があるため、一般の最適化問題に比べて状況が複雑になりやすい。しかし、離散数学や組合せ最適化の分野の知見はモデルを解析するうえで非常に有用である。</p> <p>取引ネットワークモデルは経済学の分野でよく知られている安定マッチングモデルの拡張であり、流通網を模式化したモデルである。特に、本論文では Hatfield らが提唱したモデルを、同種の取引を同価格で複数行うという状況を考えることができるように拡張し、それを離散凸解析という手法を用いて解析する。</p> <p>Hatfield らは経済主体の選好が全代替性をみたすならば、競争均衡が存在することを示した。この結果は離散凸解析を使わずに証明がなされている。それに対し本論文では、全代替性が歪 M_h 凹性と等価であることを示し、離散凸解析を利用して全代替性のもとでの競争均衡の存在を証明する。さらに、競争均衡価格ベクトルが束構造をもつことを離散凸解析における共役定理を利用して示す。経済モデルと離散凸解析の相性が良いことは以前から知られているが、取引ネットワークモデルに離散凸解析の手法を適用しているという点は、今までにない新しいものである。</p> <p>また、取引ネットワークモデルにおける安定性についても考察を行う。全代替性をみたす状況下において、強グループ安定性、鎖安定性がともに一般の安定性と等価であることを証明する。また、安定性と競争均衡の間には明確なギャップが存在することも示す。</p> <p>マーキングゲームは 2 人のプレイヤーがグラフ上の頂点を交互にマークしていくゲームで、ゲーム染色数と呼ばれる指標の上界評価のために Zhu によって導入された。マーキングゲームにおいて先手必勝になるスコアの最小値をゲームカラーリング数と呼び、この値はゲーム染色数の上界を与えている。</p> <p>いくつかのクラスのグラフについてはゲームカラーリング数の値が確定しているが、平面グラフのゲームカラーリング数の値は 17 以下ということしかわかっていない。本論文では、グラフの内周を制限した平面グラフのゲームカラーリング数を評価する。グラフのもつ構造に着目すると、内周が 4 以上の平面グラフのゲームカラーリング数が 13 以下であることを証明できる。また、内周が 4 以上、5 以上の平面グラフのゲームカラーリング数がそれぞれ 7 以上、6 以上になることも示す。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4412 号	氏 名	関口 陽介
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 田村 明久
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 太田 克弘
		慶應義塾大学教授	工学博士 野寺 隆
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 松林 伸生
<p>学士(工学) 修士(理学) 関口陽介君提出の学位申請論文は「Game Theoretical Models on Networks and Discrete Structures (ネットワーク上のゲーム理論的モデルと離散構造)」と題し、全4章より構成されている。</p> <p>本論文では、離散数学や組合せ最適化の知見を適用し、取引ネットワークモデルとマーキングゲームという2つのネットワーク上のモデルの解析を行っている。</p> <p>第1章では本論文で扱う2つのモデルに関連する背景や既存の結果が述べられている。第2章では、グラフ理論の基礎概念の説明や、第3章で必要となる離散凸解析と数理経済学の基礎概念の概説を行っている。</p> <p>第3章では取引ネットワークモデルを解析している。取引ネットワークモデルは、安定マッチングや割当ゲームという2部グラフ上で定義されるモデルの一般グラフへの拡張であり、また流通網を模式化したものである。このモデルにおいては、プレイヤーを頂点とみなし、各取引を売り手から買い手への有向辺とみなす。このモデルに対する既存研究として、各取引において1つの不可分財を1単位しか扱えないというモデルが提案され、競争均衡の存在等が示されている。しかし同種の不可分財を複数単位扱う場合にはそれぞれ1単位ごとに異なるIDを割り振り、仮想的に異種の財として扱うしかなく、同一財同一価格という経済原理をモデルとして実現することができない。本章の貢献は、離散凸解析という数学的道具を利用することで、各取引において同種の不可分財を同一価格で複数単位扱えるように拡張した点である。本章では、まず全代替性という経済学的な性質を提案し、これが離散数学的性質である歪M凹性と等価であることを示している。これは全代替性の下では離散凸解析を利用できることを意味する。各プレイヤーの選好が全代替性を満たすならば、競争均衡が存在すること、および競争均衡価格ベクトル全体が束構造を成すことを証明している。競争均衡は全体的な調和を要請する性質であるが、安定性という局所的な性質を導入し解析を行っている。一般に競争均衡は安定性を満たすが、安定性を満たす財ベクトルと価格ベクトルの組は競争均衡とはならない。全代替性の下では、安定なものから価格ベクトルだけを変更するだけで競争均衡が得られることを証明し、またこの変更法において既存の1単位モデルと複数単位モデルでは明確な違いが現れることを示している。さらに安定性よりも強い性質と弱い性質である強グループ安定性と鎖安定性という2種類の概念を考察している。これら3種類の安定性の概念は一般的には等価ではないが、全代替性の下ではすべて等価となることを証明している。</p> <p>第4章ではマーキングゲームの解析を行っている。マーキングゲームではグラフGと自然数kが与えられ、2人のプレイヤーが与えられたGの頂点を交互にマーク付けしていくゲームである。頂点をマーク付けした際に、その頂点の近傍で既にマーク付けされている頂点数+1をその頂点のスコアと定め、最大スコアがk以下であるとき先手が勝利する。Gのゲームカラーリング数を先手が必勝戦略を有するkの最小値と定義する。幾つかのグラフクラスについては、ゲームカラーリング数が確定しているが、例えば平面グラフについては17以下ということしか分かっていない。著者は、グラフの内周という構造に着目し、内周が4以上の平面グラフのゲームカラーリング数が13以下であることを証明した。また内周が4以上と5以上の平面グラフについてのゲームカラーリング数はそれぞれ7以上と6以上になることも示した。</p> <p>以上、著者は2つのゲーム理論的モデルに対して新たな知見を与えており、離散数学および数理経済学において寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第4413号	氏名	山崎 洋人
主論文題目： DNA シリコンナノポア通過過程及び通過後挙動の光学的観察			
<p>遺伝子解析情報に基づく個別化医療への期待とともに、それを支える基盤技術としてナノポア DNA シーケンサが注目されている。ナノポアシーケンサとは、外部印加電場を駆動力として DNA を直径数 nm の孔に通過させながらイオン電流計測により塩基配列を順次読み出す技術である。大量の DNA サンプルを必要とする現行のシーケンサと比べ、DNA 一分子を対象として高速、安価、簡便な遺伝子情報取得が可能となり、大きな市場も見込まれている。</p> <p>ナノポアシーケンサにおいて、高精度な塩基識別を実現するためには、通過速度の低速化と安定化が求められている。DNA をナノポアに引き込む駆動力としてナノポア内部の電場のみならず、ナノポア近傍の電場が同程度に寄与することが予想されるが、その機構を定量的に理解し速度制御に活用する試みはこれまでに報告されていない。そのためには、ナノポア通過直前・直後の DNA の形態やそれに依存したドリフト運動と拡散運動の競合等を明らかにする必要がある。既存のイオン電流測定や光学的測定によってナノポア通過前後を含む DNA 通過挙動を観察する試みはあるが、必要とされる空間・時間分解能を満たした観測の事例はない。このような背景のもと本論文では、ナノポア通過中、ならびに通過後の DNA コイル形成と空間的移動の観測に必要な 100 nm、100 μs の空間・時間分解能を有する光学的観察手法を開発し、その動作実証をおこなっている。さらにナノポア近傍の電場に起因する特徴的な DNA 通過挙動を見出している。</p> <p>第 1 章は序論であり、ナノポアシーケンサの技術的背景、特にナノポアの種類と塩基配列読み取り手法について説明している。ナノポアシーケンサ実現に向けた課題を明確にし、本研究の目的を述べている。</p> <p>第 2 章では、ナノポア内部とその近傍における電解質溶液の流動特性と DNA ダイナミクスについて概説している。</p> <p>第 3 章では、本研究で使用する蛍光標識 DNA 試料とポーラスシリコン薄膜、ならびに実験装置と実験手順の概要を説明している。</p> <p>第 4 章では、高空間分解能・高 S/N 観察を実現するための集光スポットの形成方法について述べている。紫外光を蛍光励起光として使用することにより、シリコンが有する高い屈折率・消費係数を活かした 100 nm スポットの形成と背景信号の低減が可能であることを、電磁場解析と DNA ナノポア通過にともなうバースト信号検出により示している。</p> <p>第 5 章では、本研究で新たに構築した時間分解フォトンカウンティングシステムとそれによる検出波形の解釈について述べている。既知の蛍光ビーズのブラウン運動を本システムで観察することにより動作確認をおこなっている。また先行研究から得られる知見をもとに、DNA ナノポア通過観察時の検出波形には、ナノポア通過中だけでなく、ナノポア通過直後の DNA 挙動の情報が含まれると結論付けている。</p> <p>第 6 章では、ナノポア通過波形の DNA 長、印加電圧、膜特性依存性を測定し、ナノポア近傍の電場に起因する DNA 通過挙動を議論している。長さ 10 kbp と 48 kbp の二本鎖 DNA のナノポア通過波形の比較から、ナノポア近傍における非一様な電場強度分布に起因して長い DNA ほどナノポア通過後の電気泳動速度が遅いことを示している。また、アルミナをスパッタリング成膜した薄膜を用いた実験では、表面電荷と高い空孔率の影響によるナノポア通過速度の低速化を確認している。</p> <p>第 7 章は結論であり、本研究を総括し、集光スポットを用いた DNA 通過挙動観察に関する今後の展望について述べている。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第4413号	氏 名	山崎 洋人
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 齋木 敏治
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 津田 裕之
		慶應義塾大学教授	工学博士 栗野 祐二
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 泰岡 顕治

学士(工学)、修士(工学)山崎洋人君提出の学位請求論文は「DNAシリコンナノポア通過過程及び通過後挙動の光学的観察」と題し、7章から構成されている。

遺伝子情報に基づく個別医療を実現する基盤技術としてナノポアシーケンサが注目されている。ナノポアシーケンサは外部印加電場を駆動力としてDNAを直径数nmの孔に通過させながら塩基配列を順次読み出す技術であり、DNA一分子を対象とした高速、安価、簡便な遺伝子情報取得を可能にする。しかし高精度な塩基識別を実現するためには、通過速度の低速化と安定化が求められている。ナノポア通過の駆動力としてナノポア内部の電場のみならず、ナノポア近傍の電場が同程度に寄与することが予想されるが、その機構を定量的に理解し、速度制御に活用する試みはこれまでに報告されていない。そのためには、ナノポア通過中だけではなく、通過後のDNAの形態やそれに依存したドリフト運動と拡散運動の競合等を明らかにする必要がある。

このような背景のもと本論文では、ナノポア通過中、ならびに通過後のDNAコイル形成と空間的移動の観測に必要な100 nm、100 μ sの空間・時間分解能を有する光学的観察手法を開発し、その動作実証を行っている。さらにナノポア近傍の電場に起因する特徴的なDNA通過挙動を見出している。

第1章は序論であり、ナノポアシーケンサの技術的背景、特にナノポアの種類と電氣的・光学的塩基配列読み取り手法について説明している。実用的なナノポアシーケンサの実現に向けた課題を明確にし、本研究の目的を述べている。

第2章では、ナノポア内部とその近傍における電解質溶液の流動特性とDNAダイナミクスについて概説している。

第3章では、本研究で使用する蛍光標識DNA試料とポーラスシリコン薄膜、ならびに実験装置と実験手順の概要を説明している。

第4章では、高空間分解能かつ高S/N観察を実現するための集光スポットの形成方法について述べている。紫外光を蛍光励起光として使用することにより、シリコンが有する高い屈折率・消衰係数を活かした100 nmスポットの形成と背景信号の低減が可能であることを示している。

第5章では、本研究で構築した時間分解フォトンカウンティングシステムとそれによる検出波形の解釈について述べている。動作実証を通じて、DNAナノポア通過観察時の検出波形にはナノポア通過中だけでなく、ナノポア通過直後のDNA挙動の情報が含まれるとする結論を得ている。

第6章では、ナノポア通過波形のDNA長、印加電圧、膜特性依存性を測定し、ナノポア近傍の電場がDNA通過挙動に与える影響を議論している。長さ10 kbp (base pairs)と48 kbpの二本鎖DNAのナノポア通過波形を比較し、その違いがナノポア近傍における非一様な電場強度分布に起因することを見出している。また、Al₂O₃をスパッタリング成膜した薄膜を用いた実験では、表面電荷と高い空孔率の影響によるナノポア通過速度の低速化を確認している。

第7章は結論であり、本研究を総括し、集光スポットを用いたDNA通過挙動観察に関する今後の展望について述べている。

以上要するに、本論文はDNAのナノポア通過過程ならびに通過後の挙動を高時間・空間分解能下で観察するための光学的測定技術を開発し、その動作実証を通じて通過速度制御に有益な知見を得たものであり、医用工学、バイオセンシング工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No. 4414	Name	WONGPHATI, Mahisorn
<p>Thesis Title A study on gestures at a hands occupied situation for manually controlling a helping hand robot</p>			
<p>A helping hand robot is one of the main focuses in human robot collaboration (HRC) research and has high potential in both modern industry and daily living usages. The helping hand robot could be considered as an extra hand that gives helps when both hands of a user are occupied by a task. A multimodal interaction between a human and a robot is an important requirement in HRC because robots are usually working and interacting closely with a user, it is essential to find natural and intuitive user interfaces between a user and a robot in various usage scenarios.</p> <p>From many usage scenarios and multiple interaction possibilities, this thesis studied the use of nonverbal interaction such as hand and body gestures for controlling basic movements (forward/backward, up/down, and left/right) of an end effector of a helping hand robot. We focused mainly on a scenario when both hands are occupied and manually control is needed, therefore explicit gestures such as a waving hand(s) gestures cannot be easily performed by a user.</p> <p>To get an idea about the suitable natural gestures for controlling the movements of an end effector, we conducted a pilot study with laboratory members and found that gestures those the members were asked to freely perform vary substantially. With this cue, we (1) set up a video based experiment to survey gestures for controlling movements of the end effector and (2) developed a real helping hand robot system for evaluating the discovered gestures.</p> <p>To allow the participants to freely use any gestures which they feel suitable, we used a guessability study methodology for extracting gestures from the participants in the gesture surveying experiment. The experiment showed the “effects” of gestures (a set of pre-recorded videos of an end effector movements) to participants and asked them to think about the “causes” or gestures (e.g. tilting body) which they thought suitable and intuitive. Although results from this methodology depend on the background and experiences of each participant, the results led to a set of common gestures which were generic and intuitive for most participants.</p> <p>By conducting the video based experiment with 19 voluntary participants, we captured and categorized 152 gestures. Our findings showed that a hand was a part of body used most often for gesture articulating even when the participants were holding tools and objects with both hands, that gestures for a pair of opposite movements such as up/down were consistently performed by most participants, and that the participants rarely care or aware of using one- or two- handed gestures interchangeable. From 152 gestures, we also found that there were many alternative gestures such as pursing lips, tilting head, and so on which could be useful for other situations such as a use for the handicapped persons.</p> <p>By using results from the gesture surveying experiment, we implemented a helping hand robot using a small industrial robot for validating the discovered gestures. We used Microsoft Kinect sensors for sensing user's hand, and body movements. We implemented a gesture recognition algorithm using a state machine that checks distances of hands, arms, and body from their initial positions. The gestures that were a combination of hand, arm, and body movements could effectively be used to control movements of the helping hand robot by the participants.</p> <p>With the implemented system, we conducted the second experiment with eight participants that used a real robot as a helping hand for a soldering task. The results showed that the selected hand and body gestures were easily accepted by the participants. The outcomes aligned with our expectation on the two most performed gestures from the video based experiment. However, in the real robot experiment, the body gestures were preferred over the hand gestures. This finding was unexpected but helped us confirm our intuition from the pilot study and the need of the real robot system implementation in the human robot interaction study.</p> <p>Our findings could be useful as a guideline for acquiring natural gestures for controlling robots as a complementary for the multimodal interaction with a robot in HRC.</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4414 号	氏 名	WONGPHATI, Mahisorn
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 今井 倫太
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 斎藤 英雄
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 山崎 信行
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 高橋 正樹

学士(工学), 修士(工学), ウォンパーティマヒソン君提出の学位請求論文は **A study on gestures at a hands occupied situation for manually controlling a helping hand robot** (両手が塞がった状況におけるアームロボット制御のためのジェスチャに関する研究)と題し, 全7章, 付録2章からなる。

ロボット技術ならびにコンピュータ技術の発展により, 手軽にロボットを用いることのできる環境が整ってきた。工場内で使用されるロボットから, 一般の誰もがオフィス環境や家庭内で使用可能なロボットになりつつある。本論文では, 一般ユーザでもアームロボットを使用可能な制御手法を目指して, アームロボットを制御するためのジェスチャの研究を行う。特に, タスクによって両腕が塞がった状況においてアームロボットを制御するためのジェスチャの研究について述べる。ハンダ付けや模型工作, 料理など両腕が塞がった状況において, さらに何かを追加で持ったり固定したりしたい状況は存在し, 本論文で提案する手法によって解決を試みる。

本論文の構成は次の通りである。第一章では, 手が塞がった状況においてアームロボットの利用が有用であることを紹介し, 本研究のアプローチと, 本研究が貢献する応用先について述べている。

第2章では, 本研究の背景として, アームロボットによる作業支援システムの現状, 人とロボットのインタラクションのデザインの研究の現状, ジェスチャや発話を用いたマルチモーダルインタラクション研究の現状を紹介し, 本研究に至った背景を述べている。

第3章では, ジェスチャによって制御されるロボットシステムおよび, 人とロボットのインタラクションの研究においてジェスチャを扱う関連研究を紹介し, それらの問題点を述べている。ジェスチャを用いたロボットシステムは数多く研究されており, その多くの研究では, システム設計者によって考案されたジェスチャを採用している。設計者によって提案されたジェスチャは, 必ずしもユーザにとって使いやすい物では無く, 実用的なシステムを構築する上で問題である。また, 人とロボットのインタラクション研究では, ロボットの実機を用いる代わりにロボットの映像を被験者に見せることで行われる事も多い。映像と実機の違いが場合によっては重要な結果の違いをもたらす場合もある。本論文では, 以上の2点の問題点を踏まえて研究をおこなっている。

第4章では, 設計者お仕着せのジェスチャデザインを避けるために慶應テクノモールで行った調査実験について述べている。実験では, コンピュータディスプレイ上に映しだされたロボットの映像を用いており, 制御する際に有用だと考えるジェスチャを回答してもらっている。来場者19名に実験に協力してもらい, 152種類のジェスチャを取得した。さらに, 大枠で分類することで腕で行うジェスチャが主に使用され, 次に体全体を使って行うジェスチャが多いことが明らかになった。

第5章では, 前章の知見を実際のアームロボットに実装し, 映像のみのインタラクション実験では明らかにならない実機での有効性を検証した。具体的には, ハンダ付けの状況において, ロボットの位置決めを大まかに決める際にはジェスチャではなくマウスコントロールが好まれ, 両手で部品を固定しながらロボットを制御する場合には体全体を用いたジェスチャが好まれることが明らかになった。

第6章では, 実験結果を元に, さらなる改善点を具体的に検討しており。第7章では, 本研究の結論を述べている。そして付録A章では, 第4章の調査実験の際に得られたアームロボットの応用先のアンケート結果, 付録B章では, 第4章で観測されたジェスチャの写真一覧が掲載されている。

以上の通り, 本論文は, アームロボットを人が制御する際に有用なジェスチャを明らかにした点で, 工学上寄与するところが少なくない。また, これらの成果は著者が自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力, ならびにその基礎となる豊かな学識を有することを示したといえる。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4415 号	氏 名	大竹 恒平
主論文題目： ボランティアなコミュニティの活性化を目的とするソーシャルネットワーキングサービスを用いたユーザ支援に関する研究			
<p>近年、人と人とのつながりを促進・サポートする機能をもち、ユーザ間のコミュニケーションがサービスの価値の源泉となっている会員専用のウェブサービスである、ソーシャルネットワーキングサービス（SNS）が注目を集めている。現在、SNS 上には、興味・関心が共通するユーザの集合であるコミュニティが多数形成されている。このような状況の下、SNS 上のコミュニティに注目し、コミュニティの活性化を目的とした研究が盛んに行われている。</p> <p>しかしながら、これらのコミュニティが十分に活性化されているとは言い難い。ここで活性化されているとは、コミュニティ構成員同士が活発に意見交換をし、コミュニティの目的を達成する活動が十分に行われている状況を言う。活性化されていない原因には、新たな友人関係の形成が積極的に行われていない、コミュニティ内での活動への動機付けが適切に行われていないという問題点があげられる。そこで本研究では、SNS を対象に、コミュニティの活性化を目的としたユーザ支援に必要な手法並びに機能の提案を行った。</p> <p>新たな友人関係の形成支援に関する研究では、既存の友人関係が少ない環境の一例として、ソーシャルゲームを取り上げ、新たな友人関係の形成を支援する機能並びにそれを実装するシステムの提案を行った。現状分析の結果、ソーシャルゲームにおいて、「友人候補者の推薦理由の不明確さ」と「友人候補者に関する情報の不足」が原因となり、推薦された友人候補者に対し、友人関係を形成しようとする試みが十分には行われていない事が分かった。これらの問題に対し、機能 1：ネットワークグラフを利用した友人候補者との関係表示を行うことにより、推薦理由を明確かつ分かりやすく示し、また、機能 2：友人関係を形成する際の判断材料となる情報の抽出・表示を行うことにより、友人候補者に関する情報を多く分かりやすく提示する、新たな友人関係の形成支援システムの提案を行った。被験者を用いた、機能 1、機能 2 の評価実験並びに、提案システムと既存システムの比較実験を行った結果、提案システムが、新たな友人関係の形成支援に有効であることが示された。</p> <p>コミュニティへの動機付け支援に関する研究では、コミュニティの活性化が必要な、非営利目的で形成されるボランティアなコミュニティの一例として、アマチュアオーケストラを対象に、動機付けの手法として近年注目を集めている、ゲーミフィケーション手法を用いた機能並びに SNS の提案を行った。現状分析の結果、研究対象としたアマチュアオーケストラにおいて、自主練習に対する動機付けが弱いという原因により、活動に対するモチベーションが低いという問題点があることが明らかになった。この問題に対して、自分自身の成長が実感できる表示機能と、他メンバーとの協調作業を提示する機能を設けて自主的に行う活動を増加させ、また、各メンバーの練習状況や達成状況等の情報を可視化する機能を作成しメンバー間の共有する情報量を増加させ、その結果メンバーの活動への動機付けを支援する機能をもった新たな SNS を構築し、運用を行った。3 週間の運用実験の結果、提案機能並びに SNS の有効性が確認された。また、実際の活動量（練習時間）に注目すると、導入前に比べ、全体の活動量が増加していることが分かった。</p> <p>以上から、本論文で提案したコミュニティの活性化を目的としたユーザ支援に必要な手法並びに機能の有効性が示された。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4415 号	氏 名	大竹 恒平
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 櫻井 彰人
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 岡田 有策
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 大門 樹
		慶應義塾大学教授	工学博士 岡田 謙一
		中央大学教授	博士(工学) 生田目 崇

学士（情報学）、修士（情報管理）の大竹恒平君提出の学位請求論文は「ボランティアなコミュニティの活性化を目的とするソーシャルネットワーキングサービスを用いたユーザ支援に関する研究」と題し、全5章より構成されている。

現代社会には様々な形態や大きさのコミュニティが形成され存在している。近年の情報メディア、特にソーシャルネットワーキングサービス（SNS）の発達により、ネットワーク上の世界においてもコミュニティが形成されるようになった。存立目標が明確なコミュニティだけでなく、単に共通の興味・関心を基礎として形成しているボランティアなコミュニティも多く存在している。

しかしながら、実世界においてもまたネットワーク上においてもこうしたコミュニティにおいて活動が活発に行われているとは限らない。ましてや、明確な目標を持たないボランティアなコミュニティにおいても同様である。ここで、コミュニティ構成員同士が活発に意見交換をし、コミュニティの目的を達成する活動が十分に行われている状況を活性化されているとすることにする。

活性化されていない原因は様々にあるが、本研究においてはコミュニティ構成員間に信頼関係（ここではネットワーク上のコミュニティに倣い友人関係と呼ぶ）の形成が積極的に行われにくい点、構成員に対する、コミュニティ内での活動への動機付けが適切に行われていないという点に着目した。

本研究においては、この2つの課題に対し、新たな友人関係の形成支援、および動機付け支援する機能を検討・提案し、実際にSNSを活用してこれらを実装したシステムを作成・適用し、それぞれのコミュニティが活性化されることを確認した。SNSは、ユーザ間のコミュニケーションを促進することを目的としたサービスであり、提案機能を実装するのに適している。

第1章は、本論文の序論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、本論文に記された研究の位置づけと意義について述べている。

第3章では、ボランティアなコミュニティにおける新たな友人関係の形成支援を目的とした取り組みについて述べている。具体的には、近年注目を集めているソーシャルゲームのプレイヤーからなるコミュニティを対象とし、友人候補者の属性や将来行動を示唆する情報を表示することにより、友人候補者像を明確にし、友人関係の形成を試みやすくする機能の検討と提案を行っている。実際に作成したシステムを用いた被験者実験の結果を報告し、効果を確認している。

第4章では、ボランティアなコミュニティにおけるコミュニティ活動参加への動機付けに関する提案と実験について述べている。具体的には、ゲーミフィケーション手法を援用して、内的動機付けを促し、活動への積極的参加を支援する機能の検討・提案を行い、オーケストラサークルを対象とした被験者実験の結果を報告し、その効果を確認している。

最後に第5章で本論文のまとめと今後の課題および展望について述べている。

以上要するに本研究においては、ボランティアなコミュニティを活性化するための重要な施策として2つを取り上げ、新たな手法を提案・実装し、それが効果的であることを示したものであり、工学・工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4416 号	氏 名	柳田 悠太
主論文題目： N-アルコキシアミド基を用いた含窒素四置換炭素構築法の開発および マダンガミン類の合成研究			
<p>本論文は、N-アルコキシアミド基を用いた新規含窒素四置換炭素構築法の開発と、抗腫瘍活性などを示す五環性アルカロイド、マダンガミン類の合成研究について述べたものである。</p> <p>緒論第一章では、これまでに報告されているアミド基に対する求核付加反応を紹介した。第二章では、マダンガミン類の構造、生物活性、そしてこれまでに報告された部分合成例および全合成例を紹介した。</p> <p>本論第一章では、N-アルコキシアミド基を用いた含窒素四置換炭素構築法の開発について述べた。各種有機金属試薬をアミド基に付加してアミナールを合成し、次に酸触媒によりN-オキシイミニウムイオンを発生させ、これに第二の求核剤を付加することにより、含窒素四置換炭素の構築を試みた。その結果、最初の求核剤としては有機リチウム試薬が適していることを見出した。反応条件と基質の構造を精査した結果、第一の求核剤としては、メチル、ブチル、フェニル、フェニルアセチリドなどが適用可能であり、基質としてはN-ベンジルオキシラクタムが好結果を与えることを見出した。N-オキシイミニウムイオン生成には $\text{Sc}(\text{OTf})_3$ や SnCl_4 が有用であることがわかった。2つ目の求核剤としては、アリルスズや TMSCN が使用可能であった。本法により、N-アルコキシアミドのカルボニル基に2種の異なる炭素求核剤をワンポット反応により導入することが可能となり、簡便な含窒素四置換炭素の構築法を確立することができた。</p> <p>本論第二章では、マダンガミン類の合成研究について述べた。出発物質には、安価に入手可能なグリシンを選んだ。グリシンより種々の工程にて合成したアリルアルコールの Johnson-Claisen 転位にてマダンガミン類の9位四級炭素を構築した後、閉環メタセシス反応にてA環を構築した。A環より合成したエンイン誘導体に対し、Trost等によって報告されているパラジウム触媒を用いた環化異性化反応を適用し、シス縮環した二環性骨格AB環の構築に成功した。C環の構築は、エナミンに対する分子内アレニル化にて構築した。すなわち、エナミンに対し酸を添加したとこと、生じたアシルイミニウムに対する分子内アレニル化が進行し、良好な収率でマダンガミン類の三環性骨格ABC環を構築することに成功した。生じたアレンをオゾン分解して生じるケトンに対し、Wittig反応を行い増炭した後、マクロラクタム化にてE環を構築し、マダンガミン類の共通骨格である四環性骨格ABCE環の構築に成功した。さらに、鈴木・宮浦カップリングによる増炭とマクロラクタム化にてD環を構築し、2つのアミド基を同時に還元し、マダンガミンCの全合成を達成した。</p> <p>総括では、本研究の成果を簡潔にまとめた。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4416 号	氏 名	柳田 悠太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 千田 憲孝
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 中田 雅也
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 高尾 賢一
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 末永 聖武

学士（工学）、修士（理学）柳田悠太君提出の学位請求論文は、「*N*-アルコキシアミド基を用いた含窒素四置換炭素構築法の開発およびマダンガミン類の合成研究」と題し、緒論二章、本論二章、総括および実験編より成っている。

薬理作用など有用な生物活性を示す天然有機化合物の多くは窒素原子を含んでいる。これら含窒素化合物、特に含窒素四置換炭素を含む化合物を効率よく化学合成する手法の開発は、現代有機化学分野の重要な課題となっている。著者は本論文において、*N*-アルコキシアミド基に対し、異なる炭素求核剤を2回求核付加させるという新規手法による含窒素四置換炭素構築法の開発、ならびに多環性アルカロイドであるマダンガミン類の合成研究について述べている。

緒論第一章では、これまでに報告されているアミド基に対する求核付加反応に関する研究例が述べられている。また緒論第二章には、本研究の標的化合物としたマダンガミン類の構造、生物活性、過去の合成研究例が記されている。

本論第一章では、著者により展開された、*N*-アルコキシアミド基を用いた含窒素四置換炭素構築法についての詳細が述べられている。*N*-アルコキシラクタムと有機リチウム試薬との反応は、求核付加によりアミナールを与えた。生じたアミナールを酸と処理すると *N*-オキシイミニウムイオンが形成され、これは2個目の炭素求核剤と容易に反応し、含窒素四置換炭素が立体選択的に構築された。1つめの試薬にはメチル、ブチル、フェニル、フェニルエチニルリチウムなどを用いることができ、2つめの求核剤としてはアリルスズやトリメチルシリルシアニドが使用可能であった。本反応は利用できる求核剤の種類が豊富で、一般性が高く、新規かつ簡便な含窒素四置換炭素構築法であることが示された。

本論第二章にはマダンガミン類の合成研究の詳細が記載されている。マダンガミン類は海洋生物由来の五環性化合物であり、大環状アミン構造を有するなど、複雑な構造と興味ある生物活性を有しているが、天然からの供給量が少ないため、効率的な化学合成法の開発が望まれている。入手容易なグリシンから Claisen 転位により四級炭素を構築した後、閉環メタセシス反応により A 環を合成した。これより誘導したエンイン化合物に対し、パラジウム触媒を用いる環化異性化反応を適用したところ、シス縮環した AB 環化合物が得られた。C 環の構築は、エナミンに対する分子内アリル化またはアレニル化にて構築した。すなわち、アリルシランまたはプロパルギルシランを有するエナミンに酸を添加したところ、生じたアシルイミニウムイオンに対する分子内環化が進行し、良好な収率でマダンガミン類の三環性骨格、ABC 環を構築することに成功した。分子内アレニル化により生じたアレンをオゾン分解して生じるケトンに対し、Wittig 反応を行い増炭した後、マクロラクタム化にて E 環を構築し、四環性骨格 ABCE 環の構築に成功した。ここで合成された ABCE 環はマダンガミン類の共通骨格であり、マダンガミン類合成における重要中間体である。この化合物の有用性は、鈴木・宮浦カップリングによる増炭とマクロラクタム化、ついでアミド基の還元により、マダンガミン C の初の全合成を達成したことにより実証された。

総括には、本合成研究の成果がまとめられており、実験編には、本論文における実験操作および反応生成物のスペクトルデータの解析等が詳細に記述されている。

以上、著者は本研究において、*N*-アルコキシアミド基を用いた含窒素四置換炭素構築法開発に成功した。また、マダンガミン類の共通中間体の効率的な合成とマダンガミン C の全合成を達成した。この研究で示された新規反応と複雑な構造を有するアルカロイド合成は、含窒素生物活性化合物合成における重要かつ有用な方法論を提示している。著者のこれらの研究成果は、有機合成化学の進展に貢献し、理學上寄与するところが少なくない。

よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4417 号	氏 名	劉 唐
<p>主論文題目： サプライチェーン途絶リスクマネジメントに関する体系的研究</p>			
<p>海外では9.11同時多発テロ事件以降、また日本では3.11東日本大震災以降、サプライチェーンの途絶を対処するためのサプライチェーン途絶リスクマネジメント(以下SCDRMと略す)に関する研究が注目を浴びようになり、論文数も急増している。しかし、SCDRM分野の研究はまだ黎明期であり、主に実証研究と理論研究を展開するだけであり、体系的な研究はまだ至っていないことが現状である。</p> <p>この背景を踏まえ、本研究では体系的なSCDRM研究を行うことを目的とし、途絶リスクに対する評価、及びマネジメント手法の開発に関する研究を行う。本論文は7つの章で構成されている。</p> <p>第1章では、体系的なSCDRMに関する研究の背景と必要性を述べ、既存研究の概要と本研究の構成を述べている。</p> <p>第2章では、SCDRMに関する文献研究を行い、リスク、サプライチェーンリスク(SCR)、及びSCDRMに関する研究について、その特徴を抽出し、体系化を行っている。本章では、文献レビューを実施し、リスク、SCR、SCDRMの3つのカテゴリーに分け、その定義や分類の特徴を抽出し、体系化を行った。そのうち、特にSCRについては内部、外部、および環境の3つの大分類のもとで、さらに2段階の中分類を加えて独自の分類体系を提案し、既存研究との対応関係も示した。</p> <p>第3章では、途絶リスクによるSC業務停止期間を推定するシミュレーションモデルを構築している。本章ではシナリオ地震を発生させ、東京近辺、太平洋、及び全国に生産施設を配置した3タイプのSCの業務停止期間を其々に算出する。そして、SCの発注方式と連結性が業務停止期間への影響を考察するため、「定期定量の直列型SC」、「定量発注の直列型SC」と「定量発注の並列型SC」の3つケースを分けてシミュレーション実験を行い、その結果、全国に生産施設が配置されている並列型SCは、直列型SCに比べて業務停止期間が短いことを示している。</p> <p>第4章では、途絶リスクに対処するための方法としてSCレジリエンスを体系化することを目的とし、発表されているSCレジリエンスに関する論文100本に対してテキストマイニングを実施し、2階層からなるSCレジリエンスの構造モデル、即ち、俊敏性、柔軟性、冗長性、及び堅牢性を第1階層とし、見える化、速度、SCの情報の共有化、及びSCの協調性を俊敏性の構成要素、SCの協調性、分散型生産、速度、遅延差別化、及び社員へのクロストレーニングを柔軟性の構成要素、SCの協調性、速度、多様性、及びバックアップシステムを冗長性の構成要素、速度、分散型生産、自己組織化、そしてSCの情報共有化を堅牢性の構成要素とした2段階のSCレジリエンスの構造モデルを構築している。</p> <p>第5章では、SCレジリエンスの構成要素である俊敏性を強化するためにSCにおける物流経路と情報を見える化するシステムを構築し、3段階からなるSCを対象に、ロールプレーによる実験を行った。その結果、受発注の経験がない被験者でも本研究で開発したSC見える化システムを用いることにより、調達先や調達先の調達先が被災したために発生する損失を最小限に抑えることができ、SC見える化を用いない時に比べて利益を増やすことができたことを示している。特に、途絶先企業と直接繋がっていない企業も利益を増やすことができたことは、川上と川下双方向の見える化の必要性を強くサポートするものであり、間接被害を防ぐためには調達先の調達先だけでなく、販売先の情報も把握する必要があることを示唆している。</p> <p>第6章では、SCレジリエンスの構成要素である柔軟性、冗長性、及び堅牢性の強化策と柔軟性とその他の2つの強化策との組み合わせを加えた計5つの強化策に対してシミュレーションを行い、システムの平均利益を用いてSC途絶時の効果を分析している。その結果、柔軟性強化策と頑健性強化策の組み合わせが最も有効であることが分かり、代替企業が存在しない外部環境においては頑健性強化策がほかの強化策より1割以上利益を増やすことができ、ダイヤモンドSCの存在が確認できた場合には、生産施設を分散させるなど、2社購買同様な途絶リスクマネジメントの方策を取ることが有効であることを示している。</p> <p>第7章では、各章の内容をまとめ、本研究の成果を要約し、将来の展望に対しても言及した。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4417 号	氏 名	劉 唐
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 松川 弘明
	副査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 増田 靖
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 稲田 周平
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 志田 敬介
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 中野 冠
<p>本論文は、「サプライチェーン途絶リスクマネジメントに関する体系的研究」と題し、第1章の序論から始まり、7章で構成されている。</p> <p>第2章では、サプライチェーン途絶リスクマネジメント（以下、SCDRM）に関する文献研究を行い、リスク、サプライチェーンリスク、及びSCDRMに関する既存研究について、その特徴を抽出し体系化を行っている。</p> <p>第3章では、途絶リスクによるサプライチェーン（以下、SC）業務停止期間を推定するシミュレーションモデルを構築している。このシミュレーションでは過去30年間の地震データをもとに、36のシナリオ地震を発生させ、東京近辺、太平洋ベルト、及び全国配置の3タイプのSCにおける業務停止期間を算出し、既存SCの関連データを入力することでそのSCの業務停止期間を算出できることを示している。</p> <p>第4章では、レジリエンスに関する学術論文102本に対してテキストマイニングを実施し、3階層からなるSCレジリエンスの構造モデルを構築している。本研究で対象とした102本の学術論文からは、俊敏性、柔軟性、冗長性、及び堅牢性を第2階層とし、見える化、速度、SCの情報の共有化、及びSCの協調性を俊敏性の構成要素（第3階層）、SCの協調性、分散型生産、速度、遅延差別化、及び社員へのクロストレーニングを柔軟性の構成要素（第3階層）、SCの協調性、速度、多様性、及びバックアップシステムを冗長性の構成要素（第3階層）、速度、分散型生産、自己組織化、SCの情報共有化を堅牢性の構成要素（第3階層）とした3階層のSCレジリエンスの構造モデルを構築し、因果関係を考慮した体系的なリスクマネジメント計画の策定方法を提案している。</p> <p>第5章では、SCレジリエンスの構成要素である俊敏性に対する強化策としてSC見える化システムを構築し、実験を通じてその有効性を示している。特に、実験では受発注の経験がない被験者でもSC見える化システムを用いることにより、調達先や調達先の調達先が被災したために発生する間接被害（損失）を最小限に抑えることができ、SC見える化を用いない時に比べて利益を増やすことができることを示している。</p> <p>第6章では、SCレジリエンスの構成要素である柔軟性、冗長性、堅牢性の強化策、および柔軟性とその他2つの強化策との組み合わせを加えた計5つの強化策に対してシミュレーションを行い、システムの平均利益を用いてSC途絶時の効果を分析している。その結果、現在多くの企業が検討している冗長性強化策（在庫を増やす方策）は必ずしも最適方策ではないこと、また、システムのパラメータにもよるが、2社購買とバックアップサプライヤーを組み合わせる柔軟性と堅牢性を組み合わせた強化策が比較的有効であることを示している。</p> <p>第7章では、本研究の成果をまとめ、将来の展望と課題を述べている。</p> <p>以上を要するに、本論文はリスクの体系化、リスク対策の体系化、既存SCの途絶リスク（業務停止期間）評価、SC見える化システムの構築とその有効性の検証実験、柔軟性強化策、冗長性強化策、堅牢性強化策、および柔軟性とその他2つの強化策との組み合わせに対する分析を通じて行ったSCDRMに関する体系的な研究であり、学術ならびにサプライチェーン途絶リスクマネジメントの実践における原理原則を明らかにした点において貢献するところが大きい。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4418 号	氏 名	中山 泰彰
主論文題目： 連続的 Overman/Claisen 転位の開発とステモナルカロイド類の合成			
<p>本論文は、アリル-1,2-ジオールに対する連続的 Overman/Claisen 転位の開発と、これを用いたステモナルカロイド類の合成について述べたものである。</p> <p>緒論第一章では、転位を含むカスケード型反応と、これを応用した全合成例について紹介した。第二章では、ステモナルカロイドについて、特にステモアミドとネオステニン、ならびにその類縁体であるステニンの構造、生物活性、これまでに報告された全合成例を紹介した。</p> <p>本論第一章では、アリル-1,2-ジオールに対する Overman/Claisen 転位の開発について述べた。L-酒石酸、D-リボースより、それぞれ <i>syn</i>-, <i>anti</i>-アリル-1,2-ジオールを合成した。ジオールを 0 °C にて小過剰の CCl₃CN、触媒量の DBU、ZnCl₂ で処理すると、良好な収率で環状オルトアミドに変換できた。これを触媒量の BHT 存在下、封管中 180 °C に加熱すると、平衡反応によりアリルイミデートを経由して Overman 転位が 1 回のみ進行し、アリルアルコールを生じた。これを単離せず、ワンポットにて MeC(OMe)₃、2-ニトロフェノール、BHT を添加し加熱すると Johnson–Claisen 転位が進行し、対応する転位体を単一の立体異性体として与えた。以上のように、環状オルトアミドの平衡反応を利用して、保護基の着脱を経由せずワンポットにて 2 種類の異なる転位反応が適用可能なことを見出した。</p> <p>本論第二章では、開発した Overman/Claisen 転位を鍵反応としたステモナルカロイドである(-)ステモアミドの全合成について述べた。</p> <p>第三章では、Overman/Claisen 転位を鍵反応とした、より複雑な構造を有するステモナルカロイド、(+)-ネオステニンの全合成について述べた。出発原料である D-リボース誘導体より合成した Z-アリルアルコールに対し、Johnson–Claisen 転位を適用し 2 連続不斉中心を導入した。種々官能基変換により導いた環状オルトアミドに対し、ワンポット Overman/Claisen 転位を適用した。2 つの転位反応はともに完全な立体選択性で進行し、対応する転位体を単一の異性体として与えた。このように Overman/Claisen 転位を含む 3 回のシグマトロピー転位により、天然物に対応する含窒素 4 連続不斉中心を構築できた。次に、導入した窒素原子を利用して、A・B 環を合成した。オレフィン部を増炭し不飽和エステルとした後、残る水酸基の酸化によりアルデヒドを得た。SmI₂ を用いた分子内環化反応は、THF に対し HMPA を共溶媒として添加すると高立体選択的に進行した。本反応により、C・D 環ならびに 3 連続不斉中心を一挙に構築できた。最後に、ラクトン共存下、Vaska 錯体を用いたラクタム選択的な還元により、初となる(+)-ネオステニンの不斉全合成を達成した。</p> <p>総括では本研究の成果を簡潔にまとめた。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4418 号	氏 名	中山 泰彰
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 千田 憲孝
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 中田 雅也
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 高尾 賢一
		慶應義塾大学教授	工学博士 戸嶋 一敦
<p>学士（工学）、修士（理学）中山泰彰君提出の学位請求論文は、「連続的 Overman/Claisen 転位の開発とステモナルカロイド類の合成」と題し、緒論二章、本論三章、総括および実験編より成っている。</p> <p>生物活性を示す天然有機化合物を効率よく化学合成する手法の開発は、有機合成化学ならびに創薬化学の重要な課題である。著者は本論文において、不斉転写を伴う連続的 Overman/Claisen 転位反応の開発と、同反応を利用したステモナルカロイド類の合成研究について述べている。</p> <p>緒論第一章には、Overman 転位などのシグマトロピー転位反応の一般的特徴、これまで報告されているアリルアルコールへの適用例、アリル 1,2-ジオールへの応用例などが述べられている。緒論第二章では、本研究の標的化合物としたステモナルカロイドについて、特にネオステニンとその類縁体であるステニンの構造、生物活性、これまでに報告された合成研究例などが記されている。</p> <p>本論第一章では、アリル-1,2-ジオールに対する Overman/Claisen 転位の開発について述べている。酒石酸などより合成したアリル-1,2-ジオールを小過剰のトリクロロアセトニトリルと処理すると、良好な収率で環状オルトアミドが生成した。これを触媒量のブチルヒドロキシトルエン存在下、封管中 180 °C に加熱すると、平衡反応によりアリルイミデートが生成し、Overman 転位が 1 回のみ進行したアリルアルコールを与えた。これを同一フラスコ内にて 2-ニトロフェノール存在下、オルト酢酸トリメチルと加熱すると Johnson-Claisen 転位が進行し、対応する転位体が単一の立体異性体として得られた。以上のように、環状オルトアミドの平衡反応を利用して、保護基の着脱を経由せずワンポットにて 2 種類の異なる転位反応が進行することを見出した。ここで開発された連続的 Overman/Claisen 転位反応は、ジオール部の保護・脱保護の工程を必要とせず、かつ転位は完全な不斉転写を伴って進行するので、有用化合物の効率的な新規合成法となる。</p> <p>本論第二章には第一章で開発した連続的 Overman/Claisen 転位反応を用いた、ステモナルカロイドの一つである (-)-ステモアミドの全合成の詳細が記載されている。高立体選択的に得られた転位体に対し、プロラクトン化、分子内環化反応などを施すことにより、(-)-ステモアミドの簡便な合成法を確立した。</p> <p>本論第三章では、より複雑な構造を有するステモナルカロイド、(+)-ネオステニンの全合成に関して述べている。D-リボース誘導体より合成したアリルアルコールに対し、Johnson-Claisen 転位を施し 2 連続不斉中心を導入した。官能基変換により導いた環状オルトアミドに対し、連続的 Overman/Claisen 転位を適用し、対応する転位体を単一の異性体として得た。連続した 3 回のシグマトロピー転位により、天然物に対応する含窒素 4 連続不斉中心を効率的に構築した。次に、導入した窒素原子を利用して、AB 環を合成した。AB 環化合物をアルデヒドを有する不飽和エステルへ誘導した後、ヨウ化サマリウムを作用させると、分子内環化反応ならびにラクトン化が高立体選択的に進行し、ネオステニン骨格が得られた。最後にラクトン共存下、イリジウム錯体を用いたラクタムカルボニル選択的な還元により、(+)-ネオステニンの初の不斉全合成を達成した。</p> <p>総括には本合成研究の成果がまとめられており、実験編には、本論文における実験操作および反応生成物のスペクトルデータの解析等が詳細に記述されている。</p> <p>以上、著者は本研究において、アリル-1,2-ジオールにおける連続的 Overman/Claisen 転位反応を開発した。また、本反応を利用して、(-)-ステモアミドならびに (+)-ネオステニンの全合成を達成した。この研究で示された、保護基の使用を最小限とし、かつ不斉転写を伴う立体選択的な官能基の導入法は、生物活性化合物合成の新規方法論として、今後広く用いられることが期待される。著者のこれらの研究成果は、有機合成化学の進展に貢献し、理學上寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4419 号	氏 名	山中 龍
主論文題目： 蛍光イメージング法を用いた神経細胞における 細胞内マグネシウムイオン濃度調節機構に関する研究			
<p>マグネシウムイオン (Mg^{2+}) は癌, 糖尿病, 心臓病, 呼吸器疾患, 骨粗鬆症, 神経疾患に関わる重要な 2 価陽イオンである。神経疾患に関しては, パーキンソン病, アルツハイマー病, うつ病, 偏頭痛, てんかん, 脳損傷との関わりが知られている。また, 細胞内 Mg^{2+} は約 600 種類の酵素活性の制御, エネルギー代謝, DNA 及び RNA の構造安定化, イオンチャネル活性の制御を行なうことが報告されており, 最近ではセカンドメッセンジャーとしての機能を果たすことも明らかになってきた。しかし, 神経細胞における細胞内 Mg^{2+} の調節機構の詳細は未だ明らかではない。本研究では, 神経細胞内でいつ・どこで・どのように Mg^{2+} 濃度が増加するかを明らかにすることを目的として, 蛍光イメージング法を用いた神経細胞内 Mg^{2+} 動態の解析を行なった。</p> <p>第 1 章は緒言で, 本論文の概要を説明し, 細胞内 Mg^{2+} の調節機構とその役割に関する研究背景について述べ, 続いて研究目的および論文構成について述べた。</p> <p>第 2 章では, 分散培養したラット胎児海馬神経細胞を用いて, 神経伝達物質である一酸化窒素 (NO) によって誘導される細胞内 Mg^{2+} 濃度変化に関して述べた。活性化剤と阻害剤を用いた実験から, NO/cGMP/PKG 経路によるミトコンドリアの ATP 作動性 K^+ チャネル (mitoK_{ATP} チャネル) の開口を介して, ミトコンドリアからの Mg^{2+} 放出を誘導することを示した。また, このミトコンドリアからの Mg^{2+} 放出は mitoK_{ATP} チャネルの開口, ミトコンドリアの脱分極, PKC の活性化から形成されるポジティブフィードバックによって増強されることを明らかにした。mitoK_{ATP} チャネル活性化は細胞ストレスに対する保護機能を持っていることが知られていることから, このポジティブフィードバックは細胞内 Mg^{2+} の細胞保護機能への寄与を示唆する。</p> <p>第 3 章では, 生理的条件下での神経活動時における神経細胞内 Mg^{2+} 濃度変化に関して述べた。蛍光イメージング法を用いた実験によって, 透明ガラス電極 (ITO 電極) を介した電流刺激によって神経細胞内の Mg^{2+} 濃度上昇を誘導できることを示した。また, 神経自発活動に伴って細胞内 Mg^{2+} 濃度上昇が起こることを示した。この細胞内 Mg^{2+} 濃度上昇は, Mg^{2+} を含まない細胞外液中では起こらないため, 細胞外からの Mg^{2+} 流入が原因であることを明らかにした。また, 神経細胞の脱分極誘導剤と阻害剤を用いた実験によって, 神経脱分極による Mg^{2+} 流入の分子メカニズムに関して議論した。生理的条件下における通常の神経活動において細胞内 Mg^{2+} 濃度が増加することは, 細胞内 Mg^{2+} が神経機能の調節を行なっていることを示唆した。</p> <p>第 4 章は本論文の総括で, 第 2・3 章で解明した神経細胞における細胞内 Mg^{2+} 濃度変化が細胞機能に与える影響や, 神経疾患との関連性について展望を含め議論した。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4419 号	氏 名	山中 龍
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡 浩太郎
	副査	慶應義塾大学教授	農学博士 井本 正哉
		慶應義塾大学准教授	博士（地球環境科学） 土居 信英
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 舟橋 啓

学士（理学）、修士（理学）山中龍君提出の博士学位論文は、「蛍光イメージング法を用いた神経細胞における細胞内マグネシウムイオン濃度調節機構に関する研究」と題し、4章より成っている。

マグネシウムイオン (Mg^{2+}) は癌、糖尿病、心臓病、呼吸器疾患、骨粗鬆症、神経疾患に関わる重要な2価陽イオンである。神経疾患では、パーキンソン病、アルツハイマー病、うつ病、偏頭痛、てんかん、脳損傷との関わりが知られている。また、細胞内 Mg^{2+} は約 600 種類の酵素活性の制御、エネルギー代謝、DNA 及び RNA の構造安定化、イオンチャネル活性の制御を行なうことが報告されており、最近ではセカンドメッセンジャーとしての機能を果たすことも明らかになってきている。しかし、神経細胞における細胞内 Mg^{2+} の調節機構の詳細は未だ明らかではない。本研究では、神経細胞内でいつ・どこで・どのように Mg^{2+} 濃度が増加するかを明らかにすることを目的として、蛍光イメージング法を用いた神経細胞内 Mg^{2+} 動態の解析を行なった。

第1章は緒言で、本論文の概要を説明し、細胞内 Mg^{2+} の調節機構とその役割について従来研究をまとめ、研究目的および論文構成について述べている。

第2章では、分散培養したラット胎児海馬神経細胞を用いて、神経修飾物質である一酸化窒素 (NO) によって誘導される細胞内 Mg^{2+} 濃度変化に関して述べている。活性化剤と阻害剤を用いた実験から、NO/cGMP/PKG 経路によるミトコンドリアの ATP 作動性 K^+ チャネル (mitoK_{ATP} チャネル) の開口を介して、ミトコンドリアからの Mg^{2+} 放出を誘導することを示した。このミトコンドリアからの Mg^{2+} 放出は mitoK_{ATP} チャネルの開口、ミトコンドリア内膜の脱分極、PKC の活性化から形成されるポジティブフィードバックによって増強されることを明らかにした。mitoK_{ATP} チャネル活性化は細胞ストレスに対する保護機能が示すことから、このポジティブフィードバックは細胞内 Mg^{2+} の細胞保護機能への寄与を示唆している。

第3章では、生理的条件下での神経活動時における神経細胞内 Mg^{2+} 濃度変化に関して述べている。蛍光イメージング法を用いた実験から、透明ガラス電極 (ITO 電極) を介した電流刺激によって神経細胞内の Mg^{2+} 濃度上昇を誘導できることを示した。次に自発神経活動に伴って細胞内 Mg^{2+} 濃度上昇がおきることを見出した。この細胞内 Mg^{2+} 濃度上昇は、 Mg^{2+} を含まない細胞外液中ではおこらないことから、細胞外からの Mg^{2+} 流入が原因であると考えた。また、神経細胞の脱分極誘導剤と阻害剤を用いた実験によって、神経脱分極による Mg^{2+} 流入の分子メカニズムに関して議論した。生理的条件下における通常の神経活動において細胞内 Mg^{2+} 濃度が増加することは、細胞内 Mg^{2+} が神経機能の調節を行なっていることを示唆していると考えた。

第4章は本論文の総括で、第2、3章で解明した神経細胞における細胞内 Mg^{2+} 濃度変化が細胞機能に与える影響や、神経疾患との関連性について展望を含め議論している。

以上本論文は蛍光イメージング法を利用することにより、神経細胞の情報伝達に関わる Mg^{2+} の動態について詳細に調べたものである。従来注目されてこなかった Mg^{2+} の役割とミトコンドリア機能への関与について新規な知見を見出すことに成功し、神経科学研究に資する新たな知見を得ることに成功した。よって本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4420 号	氏 名	鈴木 良太
主論文題目： ジヒドロアクリジンを基本骨格とする分子機能材料の合成と物性評価			
<p>近年、有機物性の研究はめざましく発展し、様々な分子機能材料が開発されている。特に、共役分子では、π電子系の存在により光、電場、磁場などの外部環境に応答する多様な機能性を発現する。ジヒドロアクリジン骨格は、ジフェニルアミンがσ位でメチレン架橋された構造を有し、剛直なπ-共平面を有するとともに、窒素原子上の非共有電子対による電子供与能が高いため、化学修飾により多様な機能物性を発現する可能性がある。さらに、NH 部位を有するために、酸化により有機ラジカルに変換可能であるため、分子磁性体の構成要素としても活用することができる。</p> <p>本研究では、ジヒドロアクリジン骨格を化学修飾し、分光学的性質に及ぼす効果を明らかにした上で、分子機能材料としての可能性を明らかにすることを目的としている。具体的には、9,10-ジヒドロアクリジン骨格に対する第 14 族元素の置換、フェニル環を導入したπ共役系拡張、スピロ原子を挟んだ二量化を行い、これら一連の化学修飾が、分光学的性質ならびに電気化学的性質に及ぼす効果を電子構造解析と関連づけて議論した。さらに、酸化により生成するニトロキシドラジカル誘導体の電子状態、磁気特性を検討した。</p> <p>第一章では、共役分子の電子状態と分光学的性質についての基礎的事項をまとめた。</p> <p>第二章では、ジヒドロアクリジン骨格の架橋原子を Si および Ge にしたときの置換効果について議論した。2,7-位にメトキシ基を導入した 9,9-ジフェニル-9,10-ジヒドロアクリジン誘導体および対応するニトロキシドラジカルの物理化学的性質について記述した。分子構造および電子構造に及ぼす影響について、各種物理化学的手法を用いて評価した。Si および Ge で置換した誘導体では原子半径の大きさを反映し、分子構造に変化が見られた。紫外吸収スペクトルと酸化電位にシフトが見られた。これは Si および Ge と隣接芳香族炭素との$\sigma^*-\pi^*$相互作用に起因すると考察した。また Si 置換体では蛍光量子収率の増大することを見出した。</p> <p>第三章では、ジヒドロアクリジン骨格に対する化学修飾が、分光学的性質に及ぼす効果を議論した。ジヒドロアクリジンの 2,7-位にフェニル基を導入した誘導体では、蛍光量子収率の増大が、さらにフェニル環 p 位にメトキシカルボニル基を導入した誘導体では、顕著な蛍光ソルバトクロミズムが観測された。これらは、π共役系の拡張ならびに push-pull 型分子の形成による分子内電荷移動相互作用による効果であることを明らかにした。</p> <p>第四章では、スピロ原子を介して 2 つのジヒドロアクリジン骨格を連結したスピロ共役型ジラジカル分子の物理化学的性質について検討した。スピロ原子を Si および Ge とした誘導体を合成し、分子構造および結晶構造を明らかにし、分光学的手法に電子状態について評価した。さらに、磁気測定および計算化学的手法でこれら誘導体の電子構造ならびに磁氣的相互作用を解析した。分光学的測定および計算化学的手法では三重項状態を持つことが示唆されたが、固体状態では、分子間におけるスピン中心間の接近により、反強磁性的な相互作用が支配的であることを明らかにした。</p> <p>以上、本研究では、ジヒドロアクリジンを基本骨格とした一連の共役分子を合成し、その構造とその物理化学的性質を詳細に検討し、有機蛍光材料および分子磁性材料として有用であることを見出した。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4420 号	氏 名	鈴木 良太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 吉岡 直樹
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 藪下 聡
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 栄長 泰明
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 羽曾部 卓

学士（理学）、修士（工学）鈴木良太君提出の学位請求論文は「ジヒドロアクリジンの基本骨格とする分子機能材料の合成と物性評価」と題し、6章から構成されている。共役分子は、 π 電子系の存在により光、電場、磁場などの外部環境に応答し多様な分子機能を発現する。共役分子のひとつであるジヒドロアクリジン骨格は、ジフェニルアミンが σ -位でメチレン架橋された構造を有し、剛直な共平面を有するとともに、窒素原子上の非共有電子対による電子供与能が高いため、化学修飾により多様な機能・物性を発現する可能性がある。さらに、NH部位を有するために、酸化により有機ラジカルに変換可能であるため、分子磁性体の構成要素として活用することができる。本研究では、9,10-ジヒドロアクリジン骨格に対し14族元素の置換、フェニル環を導入した共役系の拡張、スピロ原子を挟んだ二量化などの化学修飾を行い、分光学的性質および物理化学的性質に及ぼす化学修飾の効果を明らかにした上で、電子構造解析を行い、分子機能材料としての可能性を明らかにすることを目的としている。

第1章では、本研究の背景と π 共役分子の電子状態、分光学的性質および物理化学的性質について概説している。

第2章では、ジヒドロアクリジン骨格の架橋原子をSiおよびGeに置換した誘導体の合成方法と機能・物性について記述している。具体的には、2,7-位にメトキシ基を導入した9,9-ジフェニル-9,10-ジヒドロアクリジン誘導体および対応するニトロキシドラジカルを対象として架橋原子の置換が物理化学的性質に及ぼす効果を明らかにしている。SiおよびGeで置換した誘導体では、原子半径の大きさを反映した分子構造の変化、紫外・可視吸収スペクトルおよび酸化電位のシフトを見出している。これらは、SiおよびGeと隣接芳香族炭素との $\sigma^*-\pi^*$ 相互作用に起因すると考察している。さらに、Si置換体では蛍光量子収率の増大を見出している。

第3章では、ジヒドロアクリジン骨格に対する置換基導入が、分光学的性質に及ぼす効果を記述している。ジヒドロアクリジンの2,7-位にフェニル基を導入した誘導体において蛍光量子収率の増大を見出している。さらに、フェニル環*p*-位にメトキシカルボニル基を導入した誘導体を合成し、顕著な蛍光ソルバトクロミズムを観測することに成功している。詳細な解析を行い、これらの分子が代表的な蛍光ソルバトクロミック分子であるPRODANに匹敵する特性を有することを明らかにしている。この特性は、電子供与性基と電子求引性基が π 共役系を挟んで配置された分子内の電荷移動相互作用に起因すると考察している。

第4章では、スピロ原子を介して2つのジヒドロアクリジン骨格を連結したスピロ共役型ジラジカル分子の物理化学的性質について記述している。スピロ原子をSiおよびGeとした誘導体を合成し、分子構造および結晶構造を明らかにしている。さらに、低温ESR測定、SQUID磁気測定の結果から、これら誘導体の電子構造および磁氣的相互作用を定量的に評価し、スピロ共役を介した磁気伝達の可能性について議論している。

第5章では、各章の結論を述べ本研究の成果をまとめている。

第6章では、実験方法ならびに合成方法の詳細を記述している。

以上要するに、本論文は、ジヒドロアクリジン基本骨格とした共役分子を合成し、分子構造と分光学的性質および物理化学的性質の相関を詳細に議論している。これら誘導体は、外部環境応答型有機蛍光分子および分子磁性体の構成要素として極めて有用であり、構造有機化学のみならず有機機能材料化学の発展への寄与が少なくない。よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4421 号	氏 名	豊島 遼
主論文題目： Adsorption and Catalytic Oxidation Reaction on Platinum-Group Metal Surfaces under Near Ambient Pressure Conditions (準大気圧下における白金族金属表面への吸着と触媒的酸化反応)			
<p>白金族金属を用いた触媒反応は現代社会の様々な場面で利用されているが、原子レベルでの触媒反応メカニズムは未だ完全には解明されていない。本研究では触媒の実作動環境の再現を指向した表面科学的アプローチにより、超高真空から準大気圧ガス雰囲気下における白金族金属およびその合金表面への一酸化炭素 (CO) や一酸化窒素 (NO) のような小分子の吸着と触媒的酸化反応をその場観測し、準大気圧環境下で見られる高圧誘起吸着状態や触媒活性相を明らかにした。本論文は以下の 5 章より成る。</p> <p>第 1 章 General Introduction 本研究の背景と目的について述べる。不均一触媒反応に関わるこれまでの表面科学的研究の状況について概観し、特に触媒となる表面とそこに吸着する分子の持つ物理的、化学的性質について説明する。次に表面科学的手法の特徴と実作動環境下測定に対応した最近の手法を紹介した上で、最後に本研究における目的を示す。</p> <p>第 2 章 Research Method 本研究で用いる実験的・理論的手法 (X 線光電子分光, 赤外反射吸収分光, 低速電子線回折, 密度汎関数法) について、それぞれの原理と特徴について述べる。</p> <p>第 3 章 Adsorption of Simple Molecules on Platinum-Group Metal Surfaces 各白金族金属表面(Pt(111)、Rh(111)、Pd(111)・(100)・(110))上に形成される CO または NO の分子吸着状態の圧力依存性について述べる。分子を暴露し圧力を変化させた際の表面状態の変化をその場観測した結果、多くの吸着系において圧力に対して分子吸着構造は可逆的に変化し、圧力が高い領域では高密度の吸着相を形成することを明らかにした。また、Pd-Au 合金表面における CO 分子吸着についても同様の検討を行い、圧力の上昇に従って分子吸着サイトの切替わりが起こり、これがガス雰囲気下での表面自由エネルギーによって説明できることを明らかにした。</p> <p>第 4 章 CO Oxidation Reaction on Low-Index Pd Surfaces: Experimental Evidence of an Alternative View for Active Phases Pd 低指数表面における準大気圧下での CO 酸化反応について述べる。各 Pd 表面に対して、CO と O₂を暴露し、各温度 (圧力) に対する CO₂の生成量と表面状態をその場観測した。その結果、反応活性な条件では表面に高密度な原子状酸素相が形成されていることが分かった。さらにこのような高密度原子状酸素は化学吸着、酸化物いずれの化学状態でも触媒反応に寄与する事を明らかにした。これは実環境下での CO 酸化反応の活性相について、これまで考えられてきたものとは異なる見方が必要なことを示している。</p> <p>第 5 章 Concluding Remarks 本研究で得られた知見について総括し、本論文の結論を述べる。さらに、触媒反応メカニズムの解明を目指す研究の今後の展望について述べる。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4421 号	氏 名	豊島 遼
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(理学) 近藤 寛
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 藪下 聡
		慶應義塾大学教授	理学博士 中嶋 敦
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 栄長 泰明

学士(理学)、修士(理学) 豊島遼君提出の学位請求論文は「Adsorption and Catalytic Oxidation Reaction on Platinum-Group Metal Surfaces under Near Ambient Pressure Conditions (準大気圧下における白金族金属表面への吸着と触媒的酸化反応)」と題し、全5章より構成されている。

白金族金属表面を用いた触媒は現代社会の様々な場で利用されているが、さらに高性能な触媒を開発するためには、原子レベルでの触媒反応メカニズムの解明が必要不可欠である。原子レベルでのメカニズム解明を目指した研究の多くは、分光法や顕微鏡的手法に基づく表面科学的アプローチによって精力的に行われてきたが、その多くが超高真空槽の中の極めて清浄な環境で触媒表面を調べる方法を採用してきた。一方で、実在触媒は大気圧下で作動するものがほとんどであり、これまでのメカニズム研究における試料環境と実在触媒の置かれる環境の隔たりは「圧力ギャップの問題」と呼ばれる解決すべき課題となっており、これを克服するようなアプローチによる研究が求められていた。

本論文の著者はこのような課題を克服するアプローチとして、準大気圧下で表面化学状態に関する情報を得ることができる新しい手法に注目し、優れた排気ガス浄化触媒として実用化されている白金族金属の表面へ反応分子が準大気圧下でどのように吸着し、どのように反応するかをその場観測する研究にこの手法を応用した。このような観測を通して、準大気圧下で初めて見られる反応分子の吸着挙動や触媒が準大気圧下で実際に作動しているときの触媒活性相を明らかにした。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べられている。不均一触媒反応に関わるこれまでの表面科学的研究の状況について概観し、触媒となる金属表面とそこに吸着する分子の特徴がまとめられている。次に実作動環境下測定に対応した最近の表面科学的手法を紹介したうえで、最後に本研究の目的が示されている。

第2章では、本研究で用いる実験的・理論的手法(X線光電子分光、赤外反射吸収分光、低速電子線回折、密度汎関数法)について、それぞれの原理および装置と計算法が述べられている。

第3章では、白金族金属の単結晶表面および合金単結晶表面上に室温で形成される一酸化炭素(CO)または一酸化窒素(NO)の吸着状態の超高真空から準大気圧までの圧力依存性について述べられている。分子を暴露し圧力を変化させた際の吸着状態の変化をその場観測した結果、CO吸着系においては、圧力に対して分子吸着構造が可逆的に変化し、圧力が高い領域では高密度吸着相を形成したり吸着サイトがスイッチすることが明らかにされている。また、NO吸着系においては、高い圧力領域で解離による酸素原子との共吸着相を不可逆的に形成することが見出されている。

第4章では、三つの代表的なPd単結晶表面における準大気圧下でのCO酸化反応について述べられている。各Pd表面に対して、COとO₂を準大気圧で暴露し、種々の条件に対するCO₂の生成速度と表面状態をその場観測した結果、三つのPd表面に共通して、反応活性な条件では表面に高密度な原子状酸素相が形成されていることが見出され、このような高密度原子状酸素は金属、酸化物いずれの表面でも形成しうるということが明らかにされている。この事は、実環境下でのCO酸化反応の活性相については、これまで考えられてきたものとは異なる見方が必要なことを示している。

第5章では、本研究で得られた知見について総括し、本研究の結論と触媒反応メカニズムの解明を目指す研究の今後の展望について述べられている。

以上まとめると、準大気圧下で測定可能な新しい表面分光的手法を用いて、これまで不明であった準大気圧下での白金族金属表面への吸着挙動と触媒活性相を明らかにした。本研究は、実作動条件下での触媒表面の反応メカニズムの理解に貢献するものであり、表面科学および触媒科学への学術的寄与は少なくない。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4422 号	氏 名	山田 崇史
主論文題目： 大津波襲来時の平野部における津波避難施設の選択行動に関する研究			
<p>2011年3月11日の東日本大震災以降、津波避難施設の整備や避難計画の策定が急速に進められている。内閣府（2005）の津波避難施設整備のガイドラインは、「避難者は一番近くの施設に避難し、海方向（津波の襲来方向）には避難しない」という単純なモデルを示している。また多くの避難シミュレーションの研究もこの単純なモデルを用いている。しかし、この仮定は実際の避難行動を正確に反映しているとはいえない。避難者の避難施設選択は、施設の高さや容量、避難者から避難施設までの距離、津波の方向にも影響を受け、避難施設選択の傾向は、年齢や性別、交通手段によって異なると考えられる。本研究は、避難施設の選択行動をより正確に把握できる施設選択モデルを提案する。モデルでは選択行動に影響する要因として、避難施設の階数や収容人数などの規模、避難者の避難方向、避難者の施設までの距離を用いる。</p> <p>第1章では、日本における津波災害とその対策、津波避難行動に関する調査、既往研究、本研究の目的と意義について述べる。</p> <p>第2章では、パソコン画面を用いた避難施設選択の問答方式の調査について分析する。調査では、避難施設選択の選好順位データを取得し、津波避難者による避難施設選択の基礎的な知見を得た。次に避難者の避難方向、避難施設までの距離（移動距離）、避難施設の階数、収容人数を考慮した選択行動モデルを作成した。パラメータ推定の結果、「避難方向」、「移動距離」、「階数」、「収容人数」は避難者の避難施設の選択行動に影響する要因であることを確認した。また選択行動モデルを用いて平面上における避難施設の効用値の広がりを示し、年齢や性別による違いを考察した。結果として、内陸側における高齢者の効用値は、若年者より高いことが示された。</p> <p>第3章では、神奈川県藤沢市の片瀬西浜海水浴場の訪問者を対象として、避難施設選択のインタビュー調査を行い、選択行動モデルを作成した。パラメータ推定の結果、「避難方向」、「移動距離」、「避難経路上の川の有無」、「階数」、「建築面積」は避難者の避難施設の選択行動に影響する要因であることを確認した。そして選択行動モデルを用いて海岸における避難者の避難施設の選択確率を求め、避難者数を推計した。結果として、収容人数を超える推計避難者数の施設があることを示した。</p> <p>第4章では、東日本大震災の避難行動データを用いて、徒歩による避難者と車による避難者それぞれの選択行動モデルを分析した。沿岸地域に平野部が広がる宮城県仙台市、名取市、岩沼市を対象とした。パラメータ推定の結果、「避難方向」、「移動距離」、「階数」、「建築面積」は避難者の避難施設の選択行動に影響する要因であることを確認した。選択行動モデルから複数の施設が配置している場合の避難圏域図を作成した。そして選択行動モデルによる避難圏域図、最近接避難圏域、陸側最近接避難圏域といった既往研究や避難施設整備のガイドラインで示される圏域図を比較した。その結果、選択行動モデルによる圏域図が他よりも避難者の選択行動を精度高く表現可能であることを示した。</p> <p>第5章では、本研究の成果を総括し、津波災害に対応したまちづくりを行うための提言及び今後の課題を述べた。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4422 号	氏 名	山田 崇史
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）岸本 達也
	副査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 三田 彰
		慶應義塾大学教授	学術博士 栗田 治
		東京工業大学大学院教授	博士（工学）大佛 俊泰
<p>本論文は、大津波襲来時の避難場所の選択行動に関する新たなモデルを提案している。従来の避難施設選択のモデルには、内閣府（2005）が避難施設整備のガイドラインで示した代表的なモデルがあり、避難施設整備や避難シミュレーションなどの主要な考え方として参考にされ用いられている。しかし当モデルは、避難者は一番近くの施設に避難し、海方向（津波の襲来方向）には避難しないとの単純な仮定に基づくモデルであり、現実の避難行動とは大きく異なることが考えられる。それに対し、本研究は、地理的な状況と、避難施設の特性を考慮した避難施設の選択モデルを提案している。具体的には、津波の襲来する方向に対する避難者から見た施設の方向、施設までの経路上の河川の有無、施設の大きさ（高さ、建築面積、あるいは収容人数）、場所までの距離などを変数とする効用関数を設定し、多項ロジットモデルを用いたモデル化を行い、観測された避難行動から、効用関数のパラメータを推定し、確率的な選択行動モデルを導出している。</p> <p>まず、仮想的な沿岸部の空間を作成し、様々な大きさ、高さの避難施設が、様々な場所や方向に分布している状況を、パソコン画面に表示し、被験者がそれを見て避難先を回答する問答方式の被験者実験を行っている。そこから、選択の選好順位データを取得して、選択行動モデルを作成している。パラメータ推定の結果、説明力の高い選択行動モデルを導出している。「避難方向」、「移動距離」、「階数」、「収容人数」は避難者の避難施設の選択行動に影響する要因であることを確認し、さらに年齢による違いがみられることを確認している。求めた効用関数を用いて効用値の空間的な値を示しその特徴を明らかにしている。</p> <p>次に、神奈川県藤沢市の片瀬西浜海水浴場の訪問客を対象とした、避難施設選択のインタビュー調査を行っている。インタビュー調査により避難場所選択の選好情報を取得し、選択行動モデルを作成している。パラメータ推定の結果、「避難方向」、「移動距離」、「経路上の川の有無」、「階数」、「建築面積」は避難者の避難施設の選択行動に影響する要因であることを確認している。また、避難施設の選択確率を求め、各避難施設への推定される避難者数を算定している。その結果、選択確率は施設によって異なり、収容人数を超える推計避難者数の施設があることを明らかにしている。</p> <p>最後に、東日本大震災の避難行動データを用いた施設選択モデルの推定を行っている。この避難行動データは、国土交通省によるアンケートおよびインタビューによる世帯単位で行われた震災当日の避難行動の経路データである。平野部の広がる仙台市、名取市、岩沼市の範囲を対象として、徒歩による避難と、車による避難のそれぞれについて、避難場所の選択行動モデルを作成し、その特性を明らかにしている。さらに、提案モデルを用いて、避難場所の圏域図を作成し、内閣府のモデルや、単純な最近隣選択モデルのボロノイ図による圏域との比較を行い、提案モデルでは、従来モデルに比べ、避難者の選択行動を精度高く表現可能であることを確認している。</p> <p>以上のように、本論文は、津波襲来時の避難施設の選択行動において、地理的な要因と施設規模等の要因を考慮する確率的な提案モデルを提案し、説明力の高いモデルであることを確認した。避難者の年齢による違いや交通手段による効用関数の違いを確認し、さらに各施設への避難者数の算定に有効であることや圏域の策定においても有効であることを示唆し、提案モデルの有効性を確認しており、提案モデルを応用することにより、より信頼度の高い、地域の避難計画、施設整備計画が可能になると見込まれ、その成果の意義は大きい。</p> <p>よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4423 号	氏 名	金政 実
主 論 文 題 目： メタヒューリスティクスに対する遺伝的プログラミングによる創発的 パラメータ調整則の自動設計			
<p>最適化問題の計算手法として、大域的探索性能などの高機能を有するメタヒューリスティクスと称する発見的探索手法が数多く提案され、工学的な実問題に盛んに応用されるようになったが、その際に課題となることは、解きたい問題に適した手法の選択と、そのアルゴリズムの更新則中のパラメータの設定である。これは、メタヒューリスティクスが数理的な根拠に基づく手法ではなく、それらの最初の開発者と数多くの研究者による改良が、ベンチマーク問題を用いた計算機実験による経験や試行錯誤によってなされてきたことに大きく起因する。また、これらの改良手法の開発においては、実問題を解くときに許されないような過剰なファンクションコールによって評価が行われることが多く、計算コストが非常に大きい目的関数を有する実問題に適用したときに、かえって効率が悪化することがあり、ユーザの計算機環境に合わせたメタヒューリスティクスの効率的設計が望まれる。</p> <p>そこで本論文では、メタヒューリスティクスの更新則中のパラメータについて、探索状況に応じて動的に調整する調整則を、解きたい問題に適応して自動的に設計する方法論を提唱する。そのうえで、それらがアルゴリズムに与える影響を考察しつつ、その設計法として遺伝的プログラミング(以降 GP と略称)を用いる手法、および、その設計計算から創発される新しいメタヒューリスティクスのアルゴリズムを数種類提案する。すなわち、メタヒューリスティクスのアルゴリズムに対して、数多くの研究者やユーザによる開発と改良の試行錯誤過程を、メタ最適化問題として記述し、このメタ最適化問題を解くことを GP を用いることで自動化するという新しい方法論の提唱である。本論文は以下の構成となっている。</p> <p>第1章は、メタヒューリスティクスの歴史とその課題、および本論文の目的・意義・構成について概説し、第2章において、メタヒューリスティクスとして Particle Swarm Optimization (PSO: 粒子群最適化)、Evolution Strategy (ES: 進化戦略)、Differential Evolution (DE: 差分進化)、Firefly Algorithm (FA: ホタルアルゴリズム)を取り上げ、それらごとに有力な改良手法を網羅し、それらの統計的検定による性能評価を踏まえ、本論文の方法論の適用可能性を論じている。</p> <p>第3章においては、解きたい最適化問題にとって、メタヒューリスティクスのパラメータの最良調整則を求める問題を、メタ最適化問題として定式化し、この問題を GP の進化機能を用いてハイブリッド的に解くことで調整則を自動設計する方法論を説明している。</p> <p>つづく第4章においては、PSO, ES, DE, FA に対して、「メタ最適化」の考え方と手法を適用し、本論文で提案する方法論の有用性をやはり統計的検定によって検証している。とくに、これらの手法ごとに、最良の調整則を GP で獲得したのち、その関数を近似する簡単な表現式の導入によって新たな手法を提案し、それら手法間の壁を越える形で横断的かつ総合的な見地から、本論文で取り上げた手法の中で最高性能のものを選びすぐっており、第5章はその結辞である。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4423 号	氏 名	金政 実
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 相吉 英太郎
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 萩原 将文
		慶應義塾大学教授	工学博士 田中 敏幸
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 内山 孝憲
		首都大学東京教授	工学博士 安田 恵一郎
<p>学士（工学）、修士（工学）金政 実 君の学位請求論文は、「メタヒューリスティクスに対する遺伝的プログラミングによる創発的パラメータ調整則の自動設計」と題し、全 5 章から構成されている。</p> <p>最適化問題の大域的最適解を高い割合と精度でもって探索可能なメタヒューリスティクスと称する発見的最適化手法が近年数多く提案され、工学的な実問題に盛んに応用されるようになったが、解きたい問題に適した手法の選択と、そのアルゴリズムの更新則中のパラメータ設定が課題となっている。これは、メタヒューリスティクスが数理的根拠に基づく手法ではなく、ベンチマーク問題を用いた計算機実験による経験や試行錯誤によって、それらの開発や改良がなされてきたことに起因する。とくにこれらの改良においては、過大なファンクションコールを許容して評価が行われることが多く、計算コストが非常に大きい目的関数を有する実問題に適用したときに、かえって効率が悪化することがあるなど、ユーザが解きたい問題やその計算機環境に合わせたメタヒューリスティクスの設計やパラメータ設定が望まれる。</p> <p>そこで本論文は、メタヒューリスティクスの更新則中のパラメータについて、探索状況に応じて動的に調整する調整則を、解きたい問題に適応して自動的に設計する方法論を提唱したうえで、その設計手法として遺伝的プログラミング（以降 GP と略称）を用いる手法、および GP の適用によって創発される調整則を有する数種の新しいメタヒューリスティクスを提案している。すなわち、解きたい最適化問題や計算機環境に適するようメタヒューリスティクスのアルゴリズムの調整則を設計する問題をメタ最適化問題として定式化し、このメタ問題に対して GP を用いることで、数多くの研究者やユーザによって試行錯誤的になされてきたメタヒューリスティクスの開発や改良を自動化する、という新しい方法論の提唱であり、本論文は以下の構成となっている。</p> <p>第 1 章は、メタヒューリスティクスの歴史とその課題、および本論文の目的・意義・構成について概説し、第 2 章において、メタヒューリスティクスとして Particle Swarm Optimization（PSO：粒子群最適化）、Evolution Strategy（ES：進化戦略）、Differential Evolution（DE：差分進化）、Firefly Algorithm（FA：ホタルアルゴリズム）を取り上げ、それらの有力な改良手法や既存のパラメータ調整法を網羅し、それらの計算性能を統計的検定により検証し、その結果に基づいて本論文の方法論の適用可能性について論じている。そして第 3 章において、解きたい最適化問題や計算機環境に適する調整則を有するメタヒューリスティクスを設計するメタ最適化問題を定式化し、GP の木構造による関数表現機能を用いてメタ問題を進化的に解くことで、その調整則を自動設計する方法の一般論を展開している。つづく第 4 章において、PSO・ES・DE・FA に対してメタ最適化の考え方と手法を適用し、本論文で提唱する方法論の有用性をやはり統計的検定によって検証している。とくに、これらの手法ごとに GP の木構造で創発される最良の調整則をより簡単な関数で近似した新たな手法を提案し、それらの手法間を横断する視点でメタヒューリスティクスとしてもっとも計算性能が良いと見なせる手法を選りすぐっており、第 5 章はその結辞である。</p> <p>以上要するに本論文の著者は、解きたい最適化問題や計算機環境に適するよう、メタヒューリスティクスの調整則を設計することを GP により自動化する、という新しい計算論を提案するとともに、メタヒューリスティクスとして類される代表的な手法に対してこの提案方法を適用することで、より優れた計算性能を有するメタヒューリスティクスへの改良や新たなアルゴリズムの開発をおこない、提案した新たなアルゴリズム設計論の有用性を示している。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4424 号	氏 名	磯田 大河
主論文題目： イオン注入誘起欠陥がシリコン自己拡散に及ぼす影響に関する研究			
<p>MOSFET の性能向上は、これまでスケーリングと呼ばれる微細化によって得られてきた。しかし、チャンネル長の微細化が 0.1 μm 未満まで進むと、短チャンネル効果と知られる現象により、しきい値電圧の降下が深刻化した。この問題を解決するために、ソース・ドレイン領域を囲むようにさらなるドーパントを添加するハロー注入法が開発された。しかし、この工夫においても、チャンネル長が$\sim 20\text{ nm}$ まで短くなると、ドーパント濃度分布の急峻性が短チャンネル効果の抑制に必須となった。そこで、本論文では、ドーパント添加後の活性化熱処理プロセスにおいてソース・ドレイン・ハロー注入領域のドーパント濃度分布の急峻性を劣化させる主要因となるシリコン自己拡散の変化を克明に調べることに取組んだ。</p> <p>第 1 章は導入で、本研究に至った背景と本研究の概要を示す。第 2 章では、シリコン自己拡散機構の基礎と、イオン注入に伴う欠陥の生成と拡散への影響に関するこれまでの理解を紹介する。第 3 章では本研究で用いたシリコン同位体ヘテロ構造、試料作製方法、評価手法を概観する。第 4 章では、イオン注入と活性化熱処理によって形成される End-of-Range (EOR) 欠陥が、シリコン自己拡散に及ぼす影響を、シリコン同位体を用いて明らかにする。同位体 ^{30}Si 濃度の深さ方向分布の変化から、表面からの距離によって変化するシリコンの有効自己拡散係数を定量的に決定した。先行研究では、活性化熱処理により EOR 欠陥からシリコン自己格子間原子欠陥が放出され、シリコン中の拡散が過渡的に増速することが示された。本研究では、EOR 欠陥に起因する母体シリコン格子の歪によって、シリコン自己拡散が増速することを発見し、その現象が数理モデルによって適切に再現できる事を示す。第 5 章では、前章の実験に対して炭素を添加する効果を示す。炭素が EOR 欠陥に捕獲されることにより、EOR 欠陥の Ostwald ripening が抑制され、結果として EOR 欠陥から母体シリコン中に放出されるシリコン自己格子間原子が増加する。このことから EOR 欠陥から離れた領域におけるシリコン自己拡散が、炭素なしの場合と比較して増速する。一方、EOR 欠陥に捕獲された炭素が EOR 欠陥周辺の歪みを緩和することから、炭素なしの場合と比較して、EOR 欠陥周辺のシリコン自己拡散が減速した。ただし、これらの効果は活性化熱処理時間とともに過渡的に変化する。よって、本実験で見出された事象の総合的な理解は、統合的な数理モデルに基づくシミュレーションとの比較によって初めて得られることが示される。第 6 章では、本研究のまとめと、先端 MOSFET において急峻なドーパント分布を得るための道筋が示される。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4424 号	氏 名	磯田 大河
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 伊藤 公平
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 畑山 明聖
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学）・医学博士 藤谷 洋平
	副査	慶應義塾大学名誉教授	工学博士 太田 英二

学士（工学）、修士（工学）磯田大河君の学位請求論文は「イオン注入誘起欠陥がシリコン自己拡散に及ぼす影響に関する研究」と題し、全6章より構成される。

MOSFETの性能向上は、これまでスケーリング則と呼ばれる微細化によって得られてきた。しかし、チャンネル長が数10nmまで短くなるとスイッチオフ時の漏れ電流の増加や、しきい値電圧の降下による性能低下が顕在化した。この問題を回避するために、ソース・ドレイン領域にpn接合を形成するハローイオン注入法が開発された。ここではpn接合が急峻であることが重要となる。そこで学位請求者は、イオン注入後の活性化熱処理において、ドーパント濃度分布の急峻性を劣化させる主要因となるシリコン自己拡散の変化を克明に調べることに取組んだ。

第1章は導入で、本研究の背景と概要が紹介される。第2章では、シリコン自己拡散機構とイオン注入に伴う欠陥の生成に関する基礎概念が紹介される。第3章では本研究で用いる実験手法の詳細が紹介される。第4章は、イオン注入と活性化熱処理により形成されるend-of-range (EOR) 欠陥がシリコン自己拡散に与える影響を明らかにする。シリコン同位体ヘテロ構造中の ^{30}Si を拡散マーカーとして、表面からの距離によって変化するシリコン自己拡散係数が定量的に決定される。EOR欠陥が存在する領域で自己拡散が顕著に増速することが見出され、この実験結果がEOR欠陥による格子歪みを考慮した数理モデルによって定量的に再現される。第5章では、前章の実験に対して炭素を共添加する効果が議論される。EOR欠陥から放出されるシリコン格子間原子が炭素に捕獲されて移動しにくくなる。よって炭素なしの場合と比較してシリコン自己拡散が減速する。またEOR欠陥が炭素を捕獲し、その周辺の格子歪みを緩和する。このこともシリコン自己拡散を減速する。これらの効果は活性化熱処理時間とともに刻々と変化するため、統合的な数理モデルに基づくシミュレーションによって理解が得られる。第6章では、本研究の結論が述べられる。

以上要するに、学位請求者はハローイオン注入においてドーパント分布の急峻性が劣化する要因の一つであるシリコン自己拡散の挙動を丹念に調べた。ここで得られた知見は、先端シリコンMOSFETの製造過程の改良に有益な指針を提供するものであり、工学的寄与が少なくない。よって本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4425 号	氏 名	山本 詠士
主論文題目： Anomalous dynamics of water molecules around cell membranes: Molecular dynamics simulation study (分子動力学シミュレーションによる細胞膜周りの水分子の異常ダイナミクスの解明)			
<p>細胞膜周りの水分子は、膜の安定性や膜タンパク質の機能などに関与しており、細胞膜の機能を維持する上で重要な役割を担っている。また、細胞膜上での生体分子同士の相互作用のための反応場を提供している。本研究では、分子動力学シミュレーションを行い、細胞膜周りの水分子および膜に存在する水チャンネルであるアクアポリンを透過する水分子のダイナミクスについて研究を行った。</p> <p>最初に、細胞膜近傍の水分子は、並進・回転運動の温度依存性が、バルクの水分子とは違うことを明らかにした。膜上では脂質分子との相互作用による影響で、温度低下に従って、水分子の運動の遅延がバルクの水分子よりも強まる。この影響は膜表面から約 1.2 nm の距離内の水分子にまで見られる。また、膜に対する水平方向の運動と垂直方向の運動には相関があることがわかった。</p> <p>次に、細胞膜上での水分子の並進・回転拡散は、遅い拡散（異常拡散）とエイジング現象を示すことを発見した。詳しい解析を行うことで、この異常拡散の原因が、連続時間ランダムウォーク（continuous-time random walk: CTRW）と長期記憶をもつようなランダムな力（ノイズ）によって駆動されるブラウン運動（fractional Brownian motion: FBM）に起因していることを明らかにした。さらに、細胞膜表面に水和している水分子の個数のゆらぎが $1/f$ ゆらぎという長期相関がある特殊なゆらぎを示すことを発見した。個数のゆらぎの時系列から二状態（平均値より多い状態と少ない状態）の時系列を作成し、解析することで、この $1/f$ ゆらぎの原因が、各状態の滞在時間がカットオフのあるべき分布になることと、各状態間に長期相関があることに起因することを明らかにした。</p> <p>最後に、水分子のみを選択的に細胞膜内外に透過させることで細胞内の圧力を調整する膜タンパク質であるアクアポリンの水分子透過について調べた。アクアポリンには膜貫通方向に1つの細孔が空いており、水分子は細孔内を一系列に連なって透過する。アミノ酸のゆらぎと水分子透過の関係を解析することで、細孔内のアミノ酸の $1/f$ ゆらぎが、非ポアソン性の相関のある水分子透過を実現していることを発見した。</p> <p>これら結果は、細胞膜近傍の水分子のダイナミクスに関する新たな知見であり、異常拡散や $1/f$ ゆらぎといった異常なダイナミクスが膜の機能維持に寄与していることを示唆している。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4425 号	氏 名	山本 詠士
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 泰岡 顕治
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学)・TeknD 深淵 康二
		慶應義塾大学専任講師	Ph.D. 安藤 景太
		慶應義塾大学教授	博士(理学)・医学博士 藤谷 洋平

学士（工学）、修士（工学）、山本詠士君提出の学位請求論文は「Anomalous dynamics of water molecules around cell membranes: Molecular dynamics simulation study (分子動力学シミュレーションによる細胞膜周りの水分子の異常ダイナミクスの解明)」と題し、本論7章により構成されている。

細胞膜は細胞の内外を分けイオンやタンパク質等の働きを制御するとともに、細胞膜上での生体分子同士の相互作用のための反応場を提供していることが知られている。生体内には多くの水分子が存在しているが、その中でも細胞膜周りの水分子は、細胞膜の安定性や膜タンパク質の機能などに関与しており、細胞膜の機能を維持する上で重要な役割を担っている。近年多くの研究者が細胞膜や膜タンパク質に関する研究を行っているが、重要な機能を有している細胞膜まわりの水分子に関するダイナミクスはよくわかっていない。

本論文では、細胞膜と水分子に着目して分子レベルでの運動の解析が可能である分子動力学シミュレーションを用い、細胞膜周りの水分子および細胞膜に存在する水チャネルであるアクアポリンを透過する水分子のダイナミクスについて解析を行っている。各章の内容は以下のとおりである。

第1章は序論であり、研究の背景、動機、関連研究、研究目的を述べている。

第2章では、数値シミュレーションに用いた手法である分子動力学法について述べている。

第3章では、細胞膜近傍の水分子に着目して並進・回転運動の温度依存性について解析を行い、バルクの水分子とは異なり、細胞膜近傍から約 1.2 nm の距離内の水分子は脂質分子との相互作用による影響により、温度が低くなるにしたがって、水分子の運動の遅延がバルクの水分子よりも強まることを示している。また、これら細胞膜近傍の水分子は細胞膜に対して水平方向と垂直方向の運動に相関があることを示している。

第4章では、細胞膜表面の水分子の並進・回転拡散は、遅い拡散（異常拡散）とエイジング現象を示すことを明らかにしている。これらの水分子の運動の解析から、この異常拡散の原因が連続時間ランダムウォーク（continuous-time random walk: CTRW）と長期記憶をもちランダムな力（ノイズ）によって駆動されるブラウン運動（fractional Brownian motion: FBM）の両者に起因していることを明らかにしている。

第5章では、細胞膜表面に水和している水分子の個数のゆらぎが、 $1/f$ ゆらぎという長期相関のある特殊なゆらぎを示すことを明らかにしている。この個数のゆらぎの時系列から二状態（平均値より多い状態と少ない状態）の時系列を作成し解析することにより、この $1/f$ ゆらぎの原因が各状態の滞在時間がカットオフのあるべき分布になることと、各状態間に長期相関があることに起因することを示している。

第6章では、水分子のみを選択的に細胞膜内外に透過させることで細胞内の圧力を調整する膜タンパク質であるアクアポリンの水分子透過について述べている。アクアポリンには細胞膜貫通方向に1つの細孔があり、水分子は細孔内を一系列に連なって透過している。アクアポリン内のアミノ酸のゆらぎと水分子透過の関係を解析することで、細孔内のアミノ酸の $1/f$ ゆらぎが、非ポアソン性の相関のある水分子透過を実現していることを示している。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

以上をまとめると、細胞膜近傍の水分子のダイナミクスに関して解析をし、異常拡散や $1/f$ ゆらぎといった異常なダイナミクスの知見を示しており、細胞膜近傍の水分子の運動に関して重要な基礎的知見を与えている。また、これらの成果は著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力および豊かな学識を有することを証したものである。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4426	Name	WINARTO
Thesis Title:			
WATER STRUCTURES AND THE SEPARATION EFFECT ON WATER–ALCOHOL SOLUTIONS IN CARBON NANOTUBES UNDER THE INFLUENCE OF ELECTRIC FIELDS			
<p>Carbon nanotubes (CNTs) are promising for nanofluidic-based applications such as separation membranes and nanopumps. However, a better understanding of the properties of water molecules in CNTs is required to develop such kinds of CNT-based nanofluidic devices, since they can be very different from those in the bulk. Using molecular dynamics simulations, we investigate the effects of axial electric fields on the water molecules in CNTs. Moreover, this work investigates the effect of electric fields for separation of water–methanol solutions and water–ethanol solutions by CNTs. An alternative method for alcohol separation from aqueous solution is urgently needed for production of biofuel because the separation with distillation consumes a large amount of energy.</p> <p>An electric field aligns the dipole moment of water molecules parallel to the direction of the electric field. Water molecules thus have the same orientation in the CNTs. The uniformity of the orientation then facilitates the water molecules to build hydrogen bond network for formation of ordered structures. The structures are solid-like structures or ice nanotubes structures. The electric field induces phase transition from liquid to solid in the CNTs. Although the water structures are like solid but they can flow through CNTs. Formation of the ordered structures strengthens the hydrogen bond (or electrostatic interaction) between the water molecules. This promotes the water structures in the CNTs to be more stable and water molecules prefer to fill CNTs. The preference of water to fill CNTs under the influence of an electric field is an important property to produce a separation effect.</p> <p>Without an electric field, methanol molecules or ethanol molecules fill the CNTs in preference to water molecules. The preference of methanol or ethanol to occupy the CNTs over water results in a separation effect. The van der Waals interaction of CNT–methanol or CNT–ethanol is the main factor for inducing the separation effect without the electric field. However, the van der Waals interaction significantly decreases with the increase of CNT diameter. Consequently, the separation effect without an electric field is strong for small CNT diameters and significantly decreases with the increase of diameter. In contrast, under an electric field, water molecules strongly prefer to occupy the CNTs over methanol molecules or ethanol molecules, resulting in a separation effect for water. The electrostatic interaction within the water molecules structures is the main factor for inducing the separation effect with an electric field. Thus, the formation of water structures in CNTs induced by an electric field has an important role in the separation of water from methanol or ethanol. The electrostatic interaction depends more on the molecules structures rather than the CNT diameter. As the result, the separation effect with an electric field is stronger and does not decrease with the increase of CNT diameter.</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4426 号	氏 名	Winarto
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 泰岡 顕治
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学)・TeknD 深潟 康二
		慶應義塾大学専任講師	Ph.D. 安藤 景太
		慶應義塾大学教授	理学博士 高野 宏

Sarjana Teknik (Bachelor of Engineering), Magister Teknik (Master of Engineering), Winarto 君提出の学位請求論文は「WATER STRUCTURES AND THE SEPARATION EFFECT ON WATER-ALCOHOL SOLUTIONS IN CARBON NANOTUBES UNDER THE INFLUENCE OF ELECTRIC FIELDS (電場影響下でのカーボンナノチューブ内部における水の構造及びアルコール水溶液の分離効果)」と題し、本論 6 章により構成されている。

カーボンナノチューブは、炭素原子からなるチューブ状の材料として良く知られており、水溶液内の溶質と溶媒の分離やナノポンプ等様々な応用が考えられている。カーボンナノチューブを用いて水溶液を分離する研究では、チューブの直径が大きくなると適切に分離ができなくなるという問題点が報告されている。カーボンナノチューブを利用した応用を考える際には、カーボンナノチューブ内の水の特性について分子レベルで知ることは重要であり、水溶液を分離するためには新規な方法の提案が求められている。

本論文では、分子レベルでの解析が可能な分子動力学シミュレーションを用いて、電場影響下でのカーボンナノチューブ内部における水の構造について詳細に解析した。また、アルコール水溶液の分離についても、水の場合と同様の方法で解析した。各章の内容は以下のとおりである。

第 1 章は序論であり、研究の背景、動機、関連研究、研究目的を述べている。

第 2 章では、数値シミュレーションに用いた手法である分子動力学法について述べている。

第 3 章では、電場影響下でのカーボンナノチューブ内部における水の構造について解析している。グラフェンシートを用いて、カーボンナノチューブにリザーバーの液体を結合した系において、電場を印加しない場合と印加した場合のカーボンナノチューブ内部における水の構造について解析している。電場を印加しない場合には液体状態である系が、電場を印加した場合には内部に螺旋状の固体が形成することを示している。それらの固体は、カーボンナノチューブの直径、電場の強さによって構造が異なっていることを示している。

第 4 章では、水/メタノール混合系について、水の場合と同様の系で解析している。電場を印加しない場合は、カーボンナノチューブ内部にはメタノールが優先的に存在するが、電場を印加した場合は水が優先的に存在することを明らかにした。水のみの場合と同様に水/メタノール混合系についても、電場を印加した場合にはカーボンナノチューブ内部に水の螺旋状の固体が形成されることを示し、水のみ、メタノールのみの場合の電場影響下でカーボンナノチューブ内のエネルギーを比較して、本現象を説明している。

第 5 章では、水/エタノール混合系について解析をしている。水/メタノールの場合と同様に、電場を印加しない場合はエタノールが、印加した場合は水がカーボンナノチューブ内部に優先的に存在することを示している。エタノールのみについてのエネルギーの結果と比較することにより、電場影響下での現象を説明している。またエネルギーの比較によって得られた知見から、エタノール/メタノール混合系を解析した場合にも同様の手法が適用可能であることを予測し、実際に解析を行いエタノールとメタノールの分離が可能であることを示している。

第 6 章は、結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

以上をまとめると、電場影響下でのカーボンナノチューブ内部における水の構造について示すとともに、この現象を利用してアルコール水溶液の分離に関する新たな方法を提案しており、電場影響下におけるカーボンナノチューブ内部の分子構造に関して重要な基礎的知見を与えている。また、これらの成果は著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力および豊かな学識を有することを証したものとと言える。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第4427号	氏名	齋藤 俊太
主論文題目： Semantic Segmentation for Aerial Imagery with Convolutional Neural Networks (畳み込みニューラルネットワークを用いた航空画像の意味論的領域分割)			
<p>航空画像は、地図作成や災害規模推定、都市計画など、多岐にわたる応用において重要な情報源として利用されている。しかし多くの応用において専門家の目視による建物や道路の抽出という前処理が必要となり、これには多大な時間とコストが必要であった。そこで、この自動化に向けた研究が数多く行われてきたが、対象地域ごとに個別の画像特徴量設計が必要とされたり、抽出精度が十分でないなどの問題があった。しかし近年、大量の航空画像と地物マスク画像を含む大規模なデータセットを用いて畳み込みニューラルネットワークを訓練することで、特徴量設計の必要がなくなかつ旧来手法よりも高精度な意味論的領域分割による建物・道路の自動抽出が実現可能であることが示されている。ただし、これらの手法は地物の種別ごとに別々に訓練されたネットワークを必要とするため、複数種類の地物を同時に抽出することはできない。</p> <p>そこで本論文では、単一の畳み込みニューラルネットワークを用いて複数種類の地物抽出を同時に行うための意味論的領域分割手法を提案し、さらに分類問題において着目クラス以外のクラスとしてまとめられる「背景」クラスの特異性に注目することで、ネットワークの性能を向上させる新しい出力関数を提案する。また、航空画像からの建物抽出自動化の応用として、シームライン決定と呼ばれる複数の航空画像を繋ぎ合わせるための理想的な繋ぎ目の同定作業が高精度に実現できることを示す。</p> <p>第1章では、研究背景として、航空画像を活用した広範な応用事例の一部と、それらにおいて必要とされる地物抽出のための従来研究が持つ問題点について述べ、本論文でこれを解決するために用いる方法を俯瞰し、本研究の目的を明らかにする。</p> <p>第2章では、本論文と最も関連の深い先行研究について詳説し、本論文との関係を整理した上で本論文において提案される手法の位置づけを明らかにする。</p> <p>第3章では、提案手法について詳説する。本論文では、航空画像および建物・道路のマスク画像を含む大規模なデータセットを用いて、背景クラスの特異性に注目した新しい出力関数を持つ畳み込みニューラルネットワークを訓練することにより、建物・道路双方のマスク画像を同時に、かつ高精度に自動抽出する手法を提案する。</p> <p>第4章では、提案手法の有効性を公開データセットを用いて評価し、従来手法との定量的な比較を行う。</p> <p>第5章では、第4章の評価結果について考察する。また、学習済みネットワークのパラメータ解析および、データセットの規模についての検討を行う。</p> <p>第6章では、建物抽出の自動化によって航空画像のモザイクにおける理想的なシームラインの決定という課題が容易に自動化可能であることを示す。また、従来手法との比較を通し、より望ましいシームラインの決定が可能となることを示す。</p> <p>第7章では、本論文において提案された手法をまとめ、本論文により明らかになった最も重要な知見について俯瞰する。また、今後の課題と展望を示す。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4427 号	氏 名	齋藤 俊太
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学准教授	博士（工学）	青木 義満
	副査 慶應義塾大学教授	博士（工学）	黒田 忠広
	慶應義塾大学教授	工学博士	岡田 英史
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	齋藤 英雄
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	満倉 靖恵
<p>学士（工学）、修士（工学） 齋藤俊太君提出の学位請求論文は、「Semantic Segmentation for Aerial Imagery with Convolutional Neural Networks（畳み込みニューラルネットワークを用いた航空画像の意味論的領域分割）」と題し、7章から構成されている。</p> <p>航空画像は、地図作成や災害規模推定、都市計画など、多岐にわたる応用において重要な情報源として利用されている。しかし多くの応用において専門家の目視による建物や道路の抽出という前処理が必要となり、これには多大な時間とコストが必要であった。この自動化に向けた研究が数多く行われてきたが、対象地域ごとに個別の画像特徴量設計が必要とされたり、抽出精度が十分でないなどの問題があった。しかし近年、大量の航空画像と地物マスク画像を含む大規模なデータセットを用いて畳み込みニューラルネットワークを訓練することで、特徴量設計の必要がなくなかつ旧来手法よりも高精度な意味論的領域分割による建物・道路の自動抽出が実現可能であることが示された。ただし、これらの手法は地物の種別ごとに別々に訓練されたネットワークを必要とするため、複数種類の地物を同時に抽出することはできない。本論文では、単一の畳み込みニューラルネットワークを用いて複数種類の地物抽出を同時に行うための意味論的領域分割手法を提案し、さらに分類問題において着目クラス以外のクラスとしてまとめられる「背景」クラスが、特定の画像特徴を持たないという特殊性に着目することで、ネットワーク性能を向上させる新しい出力関数を提案している。また、航空画像からの建物抽出自動化の応用として、シームライン決定と呼ばれる複数の航空画像を繋ぎ合わせるための理想的な繋ぎ目の同定が高精度に実現できることを示している。</p> <p>第1章では、研究背景として、航空画像を活用した広範な応用事例の一部と、それらにおいて必要とされる地物抽出のための従来研究が持つ問題点について述べ、本論文でこれを解決するために用いる方法を俯瞰し、本研究の目的を明らかにしている。</p> <p>第2章では、本論文と最も関連の深い先行研究について詳説し、本論文との関係を整理した上で本論文において提案される手法の位置づけを明らかにしている。</p> <p>第3章では、提案手法について詳説している。航空画像および建物・道路のマスク画像を含む大規模なデータセットを用いて、背景クラスの特殊性に着目した新しい出力関数を持つ畳み込みニューラルネットワークを訓練することにより、建物・道路双方のマスク画像を同時に、かつ高精度に自動抽出する手法を提案している。</p> <p>第4章では、提案手法の有効性を公開データセットを用いた実験により評価し、従来手法との定量的な比較を行っている。</p> <p>第5章では、第4章の評価結果について考察している。また、学習済みネットワークのパラメータ解析及びデータセットの規模についての検討を行っている。</p> <p>第6章では、建物抽出の自動化によって航空画像のモザイクにおける理想的なシームラインの決定という課題が容易に自動化可能であることを示している。また、従来手法との比較を通し、より望ましいシームラインの決定が可能となることを示している。</p> <p>第7章では、本論文をまとめ、今後の課題と展望を示している。</p> <p>以上要するに、本論文は単一の畳み込みニューラルネットワークにより、背景クラスの特殊性に着目した新規な出力関数を用いることで、複数種類の地物抽出を同時かつ高精度に実現できることを示したもので、画像工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4428 号	氏 名	吉村 剛
主論文題目： A Study on Faults and Error Propagation in the Linux Operating System (Linux オペレーティングシステムにおけるフォールトおよびエラー伝播に関する研究)			
<p>オペレーティングシステムはアプリケーションの信頼性にとって重要である。オペレーティングシステムにおいてフェイラが発生すると全てのアプリケーションのフェイラにつながってしまう。しかし、Android スマートフォンやクラウド基盤、航空管制システムなどの製品で利用されている Linux においても、近年の調査で NULL ポインタ参照のような単純なバグをいまだ発生させていることが明らかになっている。オペレーティングシステムにおけるフェイラを回避する手法の研究は、フォールトの検知とフェイラの回復の方向性に分けられる。フォールトの検知はコードの静的検査やテストなどを利用して運用前に開発者が可能な限りフォールトを修正する手法である。フェイラの回復はソフトウェア若化などを利用して、運用前に修正されなかったフォールトが引き起こすフェイラを回避することや被害を最小限にする手法となる。</p> <p>フォールトの検知手法やフェイラの回復手法の進展に向けて、本論文は Linux を題材としてフォールトおよびエラーの詳細な調査を行う。これまでフォールトの検知やフェイラの回復手法の改良は様々な研究で取り組まれている。しかし、既存研究はフォールトおよびエラー伝播の全体的な傾向に基づかず、オペレーティングシステムの開発者たちの経験や直感に基づく場当たりの対策となってしまう。例えば、NULL ポインタのチェック忘れをするフォールトが多いことを開発者が認識した結果、NULL ポインタのチェック忘れを検査する静的解析が開発されている。フェイラ回復手法はカーネル全体が常に単一エラーによって破壊されることを前提としており、悲観的な方法となっている。</p> <p>Linux におけるフォールトを調査するため、本論文は 37 万件以上に渡る Linux のパッチに含まれる、英語で記述されたコードの変更説明文を分析する。パッチに含まれるトピックを抽出するため、自然言語処理の手法である Latent Dirichlet Allocation を利用し、抽出されたトピックに基づきパッチを 66 のクラスタに分類する。得られたクラスタが先進的なコード検査につながることを示すため、割り込み処理に関するクラスタの詳細な調査を行い、160 件の割り込みハンドラの解放処理のフォールトを抽出する。抽出したフォールトの知識に基づきコード検査器を開発し、Linux 4.1 において未発見のフォールト 5 件を発見した。</p> <p>本論文はさらに Linux におけるエラー伝播を調査する。エラー伝播の調査において、新しい概念としてエラー伝播スコープを導入する。エラー伝播スコープはエラー伝播の距離を示す概念である。本論文では2つのスコープである、プロセスローカルエラーおよびカーネルグローバルエラーを導入する。プロセスローカルエラーはカーネル内のプロセスコンテキストに閉じるエラーであり、カーネルグローバルエラーはプロセスコンテキストを超えて伝播するエラーとなる。本論文は実験において 73% のエラーがプロセスローカルであり、カーネル内のプロセスコンテキストを超えて伝播しないことを示す。この結果はフェイルしたプロセスをキルすることで、フェイラから回復する手法の可能性を示している。</p> <p>本論文の貢献は2つに分かれる。ひとつはフォールトの調査結果により、これまで場当たりの対策をとってきたために、見逃されてきたフォールトを検知するコード検査器の開発を支援することである。さらに、オペレーティングシステムにおける軽量の回復手法の可能性を示し、今後の調査や研究における課題を明らかにする。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4428 号	氏 名	吉村 剛
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(理学) 河野 健二
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 高田 眞吾
		慶應義塾大学准教授	工学博士 斎藤 博昭
		九州工業大学准教授	博士(理学) 光来 健一

学士(工学)、修士(工学)吉村剛君提出の学位請求論文は、「A Study on Faults and Error Propagation in the Linux Operating System (Linux オペレーティングシステムにおけるフォールトおよびエラー伝播に関する研究)」と題し、全 6 章で構成されている。オペレーティングシステムはアプリケーションの信頼性にとって重要である。例えばオペレーティングシステムにおいてフェイラが発生すると全てのアプリケーションのフェイラにつながってしまう。しかし、Android スマートフォンやクラウド基盤、航空管制システムなどの製品で利用されている Linux においても、近年の調査で NULL ポインタ参照のような単純なバグをいまだ発生させていることが明らかになっている。そのためフォールトの対策のためにフォールト検査やフェイラ回避の手法がこれまで研究されてきている。しかし、既存手法は開発者の経験則に依存しており、場当たりの対策となってしまう。フォールトの検知手法やフェイラの回復手法の進展に向けて、本論文は Linux を題材としてフォールトおよびエラーの詳細な調査を行う。

第 1 章では、オペレーティングシステムのフェイラ対策の必要性や現状について論じ、本研究の目的と論文の構成について述べている。

第 2 章の関連研究では、フォールトの回避やフェイラリカバリによるフェイラ対策を行う既存手法について述べている。既存手法におけるフォールトやエラー対策では、それらに関する系統的な調査および分析がなされていないために、経験則に基づく対策となっていることを示している。

第 3 章では、これまでのフォールトやエラーの調査研究で明らかにされてきたことについて述べている。フォールトに関する既存の調査では特定のコンポーネントやパターンに対象を限定する傾向にあり、大規模な調査はなされていないことを示している。

第 4 章では、37 万件に渡る Linux の修正記録であるパッチに対し、自然言語処理を用いたフォールトの調査結果を示している。自然言語処理における Latent Dirichlet Allocation という手法によって抽出されたトピックに基づき、パッチを 66 のクラスタに分類する。さらに、割込み処理に関するクラスタについて詳細な調査を行い、割込みハンドラの解放処理に関する 160 件のフォールトを抽出・分析している。抽出したフォールトから得られた知見に基づきコード検査器を開発し、Linux 4.1 において未発見のフォールト 5 件を発見している。

第 5 章では、エラー伝播の調査のために、新しい概念であるエラー伝播スコープを導入し、プロセスローカルエラーおよびカーネルグローバルエラーというスコープを定義している。フォールトインジェクションを用いた調査の結果、73% のエラーがプロセスローカルエラーであり、カーネル内のプロセスコンテキストを超えて伝播しないことを示している。この調査結果を通じて、フェイラから回復する手法の可能性と課題について議論している。

第 6 章では、本論文で得られた成果をまとめており、第 4 章と第 5 章で得られた結果から明らかとなった、既存のフォールト対策やフェイラリカバリ手法の課題と今後の可能性について述べている。

以上、本論文は、オペレーティングシステムの信頼性を向上させるため、既存のフォールトおよびフェイラ対策手法の今後の進展にとって重要な成果であり、その貢献は工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4429	Name	NAZIRUL AFHAM BIN IDRIS
Thesis Title			
T- and O-band Optical Communication Networks Based on Arrayed Waveguide Gratings			
<p>Although optical communication networks conventionally utilize the C- and L-bands (1530 nm – 1625 nm), the T-band (1000 nm – 1260 nm) has recently been proposed as a possible wavelength resource through recent developments of quantum dot (QD) tunable lasers for this frequency band. The T-band combined with the relatively developed O-band (1260 nm – 1360 nm) offers more than 79 THz of bandwidth, which is 7 times of the C- and L-bands combined, and would be useful in realizing short-reach wavelength division multiplexing (WDM) networks with high capacity using simple transmission formats. In this study, the scalability of arrayed waveguide grating (AWG), which is a key component in WDM systems, is investigated for application in these bands. Highly scalable AWG configurations as well as large scale WDM systems employed in the T-band are proposed and demonstrated.</p> <p>Chapter 1 summarizes the development of optical communications technologies in general, and the prospect of T-band optical communications in particular. The research objectives are also stated.</p> <p>Chapter 2 describes in detail the operating principle of AWGs as well as cyclic AWGs, and summarizes previous works done on improving its performances. The main cause to its scalability limitation is investigated in detail. Calculations for determining the basic parameters in T-band AWG designing are also presented.</p> <p>Chapter 3 explores the approach of engineering a standalone cyclic AWG with enhanced scalability. Several techniques are discussed and AWGs are fabricated and evaluated as proof of concepts.</p> <p>Chapter 4 investigates a WDM access network employed in the T-band using QD lasers, QD semiconductor optical amplifiers (SOAs), and AWGs. Preliminary transmission experiments are presented as a proof of concept, and to confirm the feasibility of T-band communication using QD active devices.</p> <p>Chapter 5 explores the approach of cascading multiple AWGs in realizing a highly scalable wavelength router able to support the entire T- and O-bands. Transmission and wavelength routing demonstration using QD active devices are presented as a proof concept.</p> <p>Chapter 6 summarizes the results of this study and discusses unresolved issues as well as future works to be done on realizing T-band optical communications.</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4429 号	氏 名	NAZIRUL AFHAM BIN IDRIS
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	津田 裕之
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	山中 直明
副査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	田邊 孝純
副査	慶應義塾大学専任講師	博士（工学）	久保 亮吾
副査	University of Bristol 准教授	Ph. D.	Zervas, Georgios
<p>学士（工学）、修士（工学）NAZIRUL AFHAM BIN IDRIS（ナズィルル アフアム ビン イドリス）君提出の学位請求論文は、「T- and O-band Optical Communication Networks Based on Arrayed Waveguide Gratings（T及びO帯におけるアレイ導波路回折格子を有する光通信ネットワーク）」と題し、6章から構成されている。</p> <p>従来の光通信ネットワークはC及びL帯（波長範囲：1530-1625 nm、周波数帯域幅：11 THz）を利用しているが、未使用のT帯（波長範囲：1000-1260 nm、周波数帯域幅：62 THz）を、O帯（波長範囲：1260-1360 nm、周波数帯域幅：17 THz）と組み合わせて短距離通信用の周波数資源として利用することが提案されている。この波長帯において、WDM（Wavelength Division Multiplexing）と強度変調方式を用いた近距離大容量光通信の実現が期待されている。</p> <p>このような背景のもとで、WDMのためのキーデバイスである、AWG（Arrayed Waveguide Grating）をT及びO帯に適用するための設計法を検討し、広帯域周回性AWG設計法を明らかにしている。また、入出力ポート数を飛躍的に増大させるためのAWG多段接続構成を明らかにしている。これらの新しい設計によるAWGを試作し、QD（Quantum Dot）可変波長光源とQD光増幅器を組み込んだ実験系を構築し、大規模アクセスネットワークとT及びO帯をカバーするフルメッシュ波長ルータの動作実証を行っている。</p> <p>第1章では研究背景及び先行研究、T帯光通信の概要を述べ、本研究の目的を提示している。</p> <p>第2章では周回性AWGの動作原理を詳しく述べ、高性能化の手法を提案している。各入出力ポートの透過中心波長（周波数）の波長（周波数）グリッドからのずれが、周回性AWGの広帯域化を制限することを明らかにしている。また、T帯光導波路構成のための設計パラメータを明らかにしている。</p> <p>第3章では広帯域化に有効な単一の回折次数のみで動作する周回性AWGの構成法を明らかにしている。チャンネル数10、チャンネル間隔6.4 THzのAWG、及び、チャンネル数38、チャンネル間隔50 GHzのAWGを試作評価し、提案する広帯域設計の有用性を確認している。</p> <p>第4章ではTDM（Time Division Multiplexing）とWDMを組み合わせた、大規模アクセスネットワークを提案している。ネットワークの一部を構成し、波長範囲1125-1175 nmにおいて、QD可変波長光源とQD光増幅器を用いて伝送実験を行いエラーフリー伝送に成功している。</p> <p>第5章では3段接続されたAWGを用いたフルメッシュ波長ルータを提案している。チャンネル数23のAWGと、チャンネル数47のAWGを接続して、1081×1081フルメッシュ波長ルータの一部を構成している。10 Gbit/s光信号を用いてエラーフリー伝送を行い、数百msの切り替え時間で波長ルーティングを行っている。</p> <p>第6章は本論文の成果をまとめ、今後の課題や将来の展望を述べている。</p> <p>以上要するに、本論文の著者は、T及びO帯を活用する広帯域AWGの構成法を確立し、それを利用したフルメッシュ波長ルータを提案している。また、デバイス試作と光信号伝送実験により、その有用性を明らかにしている。広帯域AWGとフルメッシュ波長ルータ構成技術は、未開拓の波長帯を利用する近距離超大容量光ネットワークの構築に、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4430 号	氏 名	八巻 隼人
主論文題目： アプリケーションルータにおける情報抽出およびテーブル検索のアクセラレーションに関する研究			
<p>近年のインターネット関連技術の急速な進歩によって、IDS (Intrusion Detection System) といった高度な機能を提供するサービスの需要が高まっている。ルータにおいてもパケット解析技術を獲得することで、ネットワーク経路上のパケットに対し、ペイロードまで含めた情報抽出を可能とするアプリケーションルータが広く研究されている。アプリケーションルータは、積極的にパケットのコンテンツ情報を解析し、サービスに用いる機能を持ったルータである。アプリケーションルータによって、ネットワーク型IDSのようなセキュリティ用途のみならず、負荷分散やQoS (Quality of Service) 保証といった様々なサービスを高度に提供することが期待できる。</p> <p>アプリケーションルータは、ペイロードに対する情報抽出を実現するために、GZIP 圧縮された HTTP パケットの展開機構とペイロードに対する文字列探索機構を備える必要がある。既存研究では、これらの処理機構に関して数 Gbps 程度を得ることが限界であった。今後の帯域幅の向上やコアネットワークへの対応を考慮すると、アプリケーションルータにおいてこれらの機構がボトルネックとなりうる。加えて、アプリケーションルータは情報抽出結果をもとにテーブルエントリの追加や変更を頻繁に行う。これによって、テーブル検索機構もボトルネックとなることが懸念される。</p> <p>そこで本論文では、アプリケーションルータにおける GZIP 展開および文字列探索、テーブル検索に焦点を当て、それぞれのボトルネックを解決するアーキテクチャを提案し、評価した。そして、100Gbps ネットワーク環境においても、アプリケーションルータがワイヤレートでパケットを処理可能となったことを示した。</p> <p>第1章では、本研究の目的と本論文の構成について述べた。第2章では、ルータの変遷と、アプリケーションルータの概要および実現されるサービス例に関して述べた。第3章では、一般的なルータおよびアプリケーションルータの処理機構と、それに関する既存研究を紹介し、アプリケーションルータにおける性能ボトルネックを明らかにした。第4章では、GZIP 圧縮された HTTP パケットの展開処理に関して、キャッシュ及び処理並列性を活かしたハードウェアアーキテクチャと、ピギーバックパケットを用いた複数台アプリケーションルータ間の処理高速化手法を提案した。提案アーキテクチャにより GZIP 展開において 100Gbps 以上の実効スループットが得られることを示した。第5章では、ペイロードに対する文字列探索処理に関して、ラビン-カーブ法を基にした処理オフローダのハードウェアアーキテクチャを提案した。提案アーキテクチャにより従来の実装に対し 36%の回路規模で、文字列探索処理負荷を 5%まで削減でき、既存手法により 100Gbps 以上の実効スループットが得られることを示した。第6章では、テーブル検索処理に関して、従来の TCAM 方式に併せてフローキャッシュを用いることで、テーブル検索を高速化、省電力化するアーキテクチャを提案した。加えて、キャッシュミスを適切に削減するエントリ制御手法を実装することで、最短パケット長における 400Gbps 以上のスループットを従来の 17.9%の消費電力で行えることを示した。最後に、第7章において、各章の内容をまとめ、本研究の成果を要約するとともに、研究の発展性について言及した。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4430 号	氏 名	八 卷 隼 人
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 西 宏章
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 山中 直明
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 重野 寛
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 松谷 宏紀
		国立情報学研究所准教授	博士（工学） 鯉 道紘
<p>学士（工学），修士（工学）八卷隼人君提出の学位請求論文は「アプリケーションルータにおける情報抽出およびテーブル検索のアクセラレーションに関する研究」と題し，7章から構成されている。</p> <p>ネットワーク経路上の packets に対し，packet 解析技術を用いてペイロードまで踏み込んだ情報抽出および解析を行い，その結果を用いることで高度なサービスを提供するアプリケーションルータが注目されている。アプリケーションルータは，ペイロードに対する情報抽出を実現するために，GZIP 圧縮データの展開機構とペイロードに対する文字列探索機構を備える必要がある。既存研究では，これらの処理機構に関して数 Gbps 程度を得ることが限界であった。今後の帯域幅の向上やコアネットワークへの対応を考慮すると，アプリケーションルータにおいてこれらの機構がボトルネックとなりうる。加えて，アプリケーションルータは情報抽出結果をもとにテーブルエントリを頻繁に更新する。これによって，テーブル検索機構もボトルネックとなることが懸念される。本論文では，アプリケーションルータにおける GZIP 展開処理および文字列探索処理，テーブル検索処理に焦点を当て，それぞれのボトルネックを解決するアーキテクチャを提案し，評価した。</p> <p>第1章では，現在のネットワークを取り巻く状況を踏まえ，本研究の目的がアプリケーションルータにおける情報抽出およびテーブル検索ボトルネックの解決であることを述べた。</p> <p>第2章では，ルータの変遷と，アプリケーションルータの登場した背景を述べた。そして，アプリケーションルータにより実現される高度な機能を持つサービス例を紹介した。</p> <p>第3章では，一般的なルータと既存のアプリケーションルータの packet 処理アーキテクチャを，それぞれの関連研究と共に詳述した。アプリケーションルータが広帯域ネットワークに対応する上で，GZIP 展開および文字列探索，テーブル検索がボトルネックとなることを明らかにした。</p> <p>第4章では，GZIP 圧縮された HTTP packet の展開処理に関して，キャッシュ及び処理並列性を活かしたハードウェアアーキテクチャと，ピギーバック packet を用いた複数台アプリケーションルータ間の処理高速化手法を提案した。提案アーキテクチャにより 100Gbps ネットワーク環境における HTTP 圧縮 packet の GZIP 展開処理をワイヤレートに行えることを示した。</p> <p>第5章では，ペイロードに対する文字列探索処理に関して，ラビン-カープ法を基にした処理オフロードアーキテクチャを提案した。提案アーキテクチャにより従来の 36% の回路規模で，処理負荷を 5% まで削減でき，既存手法により 100Gbps 以上の実効スループットが得られることを示した。</p> <p>第6章では，テーブル検索処理に関して，従来の TCAM 方式にキャッシュを併用することで，テーブル検索を高速化，省電力化するアーキテクチャを提案した。加えて，キャッシュミスの削減を目的とした適切なエントリ制御手法を実装し，従来の 17.9% の消費電力で最短 packet 長における 448Gbps のテーブル検索性能が得られることを示した。</p> <p>第7章では，本研究の成果をまとめ，アプリケーションルータにおいて 100Gbps ネットワーク環境でのワイヤレートな情報抽出および packet 転送が可能となったことを示した。</p> <p>以上要するに，本研究はこれまで packet の配信に専念してきたインターネットバックボーンルータを高機能化するうえで必要なスループット拡大を図る技術を提案しており，次世代インターネットの研究・開発において，工業上，工学上寄与するところが少なくない。よって，本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4431 号	氏 名	陳 征 宇
<p>主論文題目： Metric Theory of Diophantine Approximations over Imaginary Quadratic Fields (虚二次体におけるディオファントス近似の測度論的研究)</p>			
<p>ディオファントス近似の測度論的研究とは、自然数 n に対して定義された非負実数値関数 $\phi(n)$ が与えられたとき不等式 $\alpha - m/n < \phi(n)/n$ を満たす有理数が無限個存在するような実数 α 全体の集合について、その大きさを測る研究である。ここで、通常は整数 m と n は互いに素である場合のみを考える。この研究は、Khinchine を始めとする多くの数学者により 20 世紀前半より行われている。その中で 1941 年、Duffin と Schaeffer は次のような予想を提出した。即ち、「もし $\sum(\phi(n)\phi(n)/n) = \infty$ ならば、ほとんどの実数 α に対して、上記の不等式は無限個の整数解を持つ」との予想である。この予想は現在でも解かれていない。ここで $\phi(n)$ は Euler 関数で n を超えない n と互いに素な整数の個数を表す。1978 年に部分的な結果として、Vaaler はもし $\phi(n) = O(1/n)$ であれば Duffin-Schaeffer 予想が成り立つことを証明した。</p> <p>ディオファントス近似の問題は、複素数を虚二次体の要素で近似する問題として拡張することができる。ただし、実数の場合と異なり、虚二次体上の整数の素因数分解は一般には一意でないため、虚二次体上の二つの整数が互いに素であることをイデアルの中で考える必要がある。すなわち、r, a を虚二次体上の整数とし、$\Psi(\mathfrak{r})$ はイデアル (\mathfrak{r}) に対して定義された非負関数とすると、不等式 $z - a/r < \Psi(\mathfrak{r})/ r , \text{g.c.d.}(a, r) = (1)$ がほとんどすべての複素数 z に対して無限個の解 (r, a) を持つための Ψ の必要十分条件を決定する問題として定式化できる。ここで $\text{g.c.d.}(a, r) = (1)$ とはイデアル (a) と (r) が互いに素であることを意味する。</p> <p>第1章では、実数の問題も含めて、過去の研究成果について解説している。まず実数の場合の Duffin-Schaeffer 予想をめぐる様々な研究成果について紹介している。続いて、ディオファントス近似の解が無数個存在するような実数の集合が Lebesgue 測度 0 となるような場合についてその Hausdorff 次元に関する Jarnik と Besicovitch の結果やそれらを一般化した Harman の結果、さらに、Duffin-Schaeffer 予想における解が無数個存在する実数全体の集合の Hausdorff 次元について説明している。最後に、これらに対応する複素数の虚二次体に関するディオファントス近似の問題についてこれまで知られている結果を紹介している。特に本研究の結果の証明の中で重要な役割を果たす Nakada と Wagner の複素数上の 0-1 定理について述べている。</p> <p>第2章では、$\Psi(\mathfrak{r}) = O(1/ r)$ であれば不等式 $z - a/r < \Psi(\mathfrak{r})/ r , \text{g.c.d.}(a, r) = (1)$ がほとんどすべての複素数 z に対して無限個の解 (r, a) を持つことを証明している。これは実数の問題における Vaaler による結果の複素数の問題に対する自然な拡張である。証明は確率論の Borel-Cantelli の補題の Renyi-Lamperti による一般化のアイデアに基づいたものであるが、その方法が虚二次体においても有効であることを正当化するための数論的議論が、証明の重要な部分になる。この章ではその過程を詳細に与えている。最後に、Duffin-Schaeffer 予想の発散条件、つまり「$\sum(\Phi(\mathfrak{r})\Psi(\mathfrak{r})^2/ r ^2) = \infty$」が必要であることの合理性を明確にするため、その条件が真に必要なことを示すような関数 Ψ の実例を挙げた。</p> <p>本論文の第3章では、虚二次体上で一般化された Jarnik と Besicovitch 型定理を述べ、その証明を与えている。すなわち、不等式 $z - a/r < r ^{-(1-\rho)}$ が無限個の虚二次体上の整数解 r を持つような複素数 z の集合の Hausdorff 次元を具体的に与え、この結果の証明を詳しく述べている。さらに、この結果を用いて、虚二次体上の Duffin-Schaeffer 予想において「互いに素」の条件を取り除いてとき、解が無数個存在する複素数全体の集合が Hausdorff 次元が 2 となることの証明を与えている。この結果は、複素数の虚二次体の要素による近似問題で Duffin-Schaeffer 型予想が正しいことを示唆する傍証の一つとなる。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4431 号	氏 名	陳 征宇
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 仲田 均
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（理学） 田中 孝明
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（数理科学） 勝良 健史
	副査	慶應義塾大学特別招聘教授（国際）	PhD ベルテ、ヴァレリー
<p>修士（工学）陳 征宇君の学位請求論文は「Metric Theory of Diophantine Approximations over Imaginary Quadratic Fields（虚二次体におけるディオファントス近似の測度論的研究）」と題し全3章よりなる。</p> <p>実数に対するディオファントス近似の測度論的研究はこれまでに持ち多くの結果が知られているが、複素数の虚二次体の要素による近似の問題に関してはこれまでごくわずかな事実しか知られていない。実数の問題においても Duffin-Schaeffer 予想とよばれる問題は 50 年以上に渡って未解決のまま残されている。この問題に関連して、複素数の虚二次体による近似に対して、実数の場合に成立しているような性質がどの程度成り立つかを知ることは複素数の性質を深く理解することのみならず Duffin-Schaeffer 予想の解決に向けた一つの手掛かりを生む可能性も持っている。</p> <p>実数と複素数のもっとも大きな違いは整数の素因数分解の一意性の成立にある。虚二次体の整数の場合、イデアルによる素因数分解の一意性が成立するため、虚二次体の元を分数として表すときの既約性をイデアルで議論することが自然である。しかし、そのため実数の場合と同じ方法論を用いてもディオファントス不等式の解の既約な解の個数の評価が困難になる。もうひとつの困難さは複素数の持つ 2 次元性がある。実数の問題では数の持つ順序性が問題の解析を簡単にしている。複素数の場合にはそれが、sieve method などにおける計算の複雑さを引き起こす。陳君の論文では虚二次体の代数的性質を活用し精密な計算を行うことでこれらの困難さを克服している。特に、複素版の Mertens の第 2、第 3 定理、および Landau の素イデアル定理、イデアルに関するオイラー関数の値に関する評価を用いることが重要なポイントになっている。これらを有効に用いることで、本論文の中で核となる第二章の結果を示すことに成功している。</p> <p>第一章では実数のディオファントス近似のこれまでの研究結果について年代を追って解説し、さらに複素数の場合のこれまでの研究結果の解説を与えている。さらに、必要となる基本的概念の定義を与えている。</p> <p>第二章では虚二次体の元による複素ディオファントス近似問題における Duffin-Schaeffer 型予想を与え、その特別な場合の成立として Vaaler 型定理について述べ、その証明を与えている。実数における Vaaler の定理はディオファントス不等式の評価関数が $O(1/n)$ であれば Duffin-Schaeffer 予想が成立するという命題でこれまで知られている十分条件の中でもっとも単純で一般的なものである。陳君はこの条件が複素数の問題においても十分条件を与えていることを示している。</p> <p>第三章ではディオファントス不等式の評価関数が急速に 0 に収束する場合を主に考え、与えられた虚二次体の中で不等式の解が無限個持つような集合の Hausdorff 次元の値を特徴付けている。この結果は、実数の場合の古典的な Jarnik-Besicovitch の結果を複素数の場合への拡張を含んでおり、さらに解の分母のとりうる整数に制限を与えた場合まで含んでいる。さらに、この結果を Duffin-Schaeffer 型予想に関する条件満たす評価関数について、既約性の条件を付けなければ、解が無限個持つ複素数の集合の Hausdorff 次元が 2 であることを証明している。この結果は複素数の場合の Duffin-Schaeffer 型予想が成立することの傍証になっている。</p> <p>以上、陳君の研究はこれまでの複素ディオファントス近似理論の研究を大きく前進させる結果を与えており、この分野の研究に大きな貢献を与えている。</p> <p>よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4432 号	氏 名	橋本 潔
主論文題目： 統計的人体形状モデルを用いたカメラ位置と姿勢変動に頑健な人物追跡			
<p>近年、インターネットやスマートフォン、監視カメラなどの通信技術や撮影デバイスの普及により、人々が生活の中で画像を利用する機会が増加している。その中で、画像認識により世の中に大量に存在する画像や映像から新たな価値を創出する技術が求められている。特に、人物行動解析は画像認識における重要な課題の一つである。</p> <p>本論文では、監視カメラ映像での人物行動解析を実現するために、カメラの設置環境に依存しない人物追跡手法を提案する。提案手法は、体型や服装、姿勢などの追跡対象の多様性に対し、頑健に追跡するために、統計的に生成した人体形状モデルを用いる。様々なシーンで高精度に追跡するだけでなく、追跡中の姿勢変動を捉えることで、行動認識に適した手法を実現する。従来でも、人物を複数のパーツに分解し、その位置関係を人体モデルとして学習し、人物追跡に適用することは行われているが、提案手法のモデルはより低次元で単純なものであるため、高速な処理が可能となっている。監視カメラ映像での人物追跡で一般的に使われているデータセットや独自に作成したデータセットで精度検証実験をすることで、提案手法の有効性を示した。</p> <p>第1章では、研究背景として、画像認識における人物行動解析の重要性や応用例を紹介し、その現状と可能性について述べる。また、関連する人物追跡手法を挙げて、本研究の位置付けや研究目的を明らかにする。</p> <p>第2章では、統計的人体形状モデルの生成について詳説する。統計的人体形状モデルの生成では、主成分分析により人体形状を大まかに表現する低次元モデルを生成する。主成分分析を適用するための人体形状データは手動で作成する必要があるが、提案手法では、3次元の人体形状モデルを用いることで、この作業を自動化している。このように、より多くのバリエーションを含むデータから、カメラ位置を考慮してモデルを生成する手法について述べる。</p> <p>第3章では、人物検出について詳説する。従来のパターン認識による検出手法は、高精度な識別器を生成するのに大量の学習画像が必要になるが、提案手法では、統計的人体形状モデルを用いた高速かつ高精度な頭部検出について述べる。</p> <p>第4章では、人物追跡について詳説する。事前に生成した統計的人体形状モデルを用いることで、カメラの設置環境に依存せず、追跡対象の多様性に頑健な人物追跡手法を提案する。自由度の高い運動モデルや尤度計算が設計可能なパーティクルフィルタを用いて、自動生成した人体形状モデルを適切に探索して追跡に用いる方法について述べる。</p> <p>第5章では、姿勢状態分類について詳説する。提案手法の追跡結果は、人物の大まかな姿勢情報を含んでいるため、追跡結果を解析することでそこから姿勢状態を分類することが可能である。提案手法で推定される姿勢状態は対象の体向き(水平8方向)や大まかな姿勢(直立, 前傾, しゃがむ)となっており、Random Forestによりこれらを推定する手法について述べる。</p> <p>第6章では本論文をまとめ、今後の課題と展望について述べる。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4432 号	氏 名	橋本 潔
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 青木 義満
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 池原 雅章
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 満倉 靖恵

学士（工学）、修士（工学）橋本潔君提出の学位請求論文は、「統計的人体形状モデルを用いたカメラ位置と姿勢変動に頑健な人物追跡」と題し、6章から構成されている。

近年、インターネットやスマートフォン、監視カメラなどの通信技術や撮影デバイスの普及により、人々が生活の中で画像を利用する機会が増加している。その中で、画像認識により世の中に大量に存在する画像や映像から新たな価値を創出する技術が求められている。特に、人物行動解析は画像認識における重要な課題の一つである。本論文では、監視カメラ映像での人物行動解析を実現するために、カメラの設置環境に依存しない人物追跡手法を提案している。提案手法は、体型や服装、姿勢などの追跡対象の多様性に対して頑健に追跡するために、統計的に生成した人体形状モデルを用いている。様々なシーンで高精度に追跡するだけでなく、追跡中の姿勢変動を捉えることで、行動認識に適した手法を提案している。従来から人物を複数のパーツに分割した上で、その位置関係を学習して人物追跡に適用する手法が存在するが、提案手法では、より低次元で単純なモデリングを行っているため、より高速な処理を可能としている。監視カメラ映像での人物追跡で一般的に使われているデータセットや独自に作成したデータセットで追跡精度検証をすることで、提案手法の有効性を示している。

第1章では、研究背景として、画像認識における人物行動解析の重要性や応用例を紹介し、その現状と可能性について述べている。また、関連する人物追跡手法を挙げて、本研究の位置付けや研究目的を明らかにしている。

第2章では、統計的人体形状モデルの生成手法について述べている。統計的人体形状モデルの生成では、主成分分析により人体形状を大まかに表現する低次元モデルを生成している。主成分分析を適用するための人体形状データを手動で作成する必要があるが、提案手法では、3次元の人体形状モデルを用いることで、この作業を自動化している。これにより、より多くのバリエーションを含むデータから、カメラ位置を考慮したモデルを生成する手法について述べている。

第3章では、人物検出手法について説明している。従来のパターン認識による検出は、高精度な識別器を生成するのに大量の学習画像が必要になるが、提案手法では、統計的人体形状モデルを用いた高速かつ高精度な頭部検出手法を提案し、実験によりその有効性を確認している。

第4章では、人物追跡手法について述べている。事前に生成した統計的人体形状モデルを用いることで、カメラの設置環境に依存せず、追跡対象の多様性に頑健な人物追跡手法を提案している。自由度の高い運動モデルや尤度計算が設計可能なパーティクルフィルタを用いて、自動生成した人体形状モデルを適切に探索して追跡に用いる方法について述べ、様々な姿勢変動を含む映像を用いた追跡実験により従来手法に対する提案手法の優位性を示している。

第5章では、姿勢状態分類の手法について述べている。提案手法の人物追跡では、人物の大まかな姿勢情報を含んでいるため、追跡結果を解析することで容易に姿勢状態を分類することが可能である。提案手法で推定される姿勢状態は対象の体向きや直立、前傾、しゃがむといった大まかな姿勢であり、実験により高精度な姿勢分類が可能であることを示している。

第6章では本論文をまとめ、今後の課題と展望について述べている。

以上要するに、本論文は統計的に生成した人体形状モデルを効率的に用いることで、高速かつ高精度な人物追跡及び姿勢分類を実現できることを示したもので、画像工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4433 号	氏 名	柴田 一栄
主論文題目： エアレーションタンク最適設計のための酸素移動モデルの提案			
<p>大気中の二酸化炭素等の温室効果ガス濃度上昇が地球温暖化の原因と考えられている。二酸化炭素排出量を低減するためには、再生可能エネルギーへの転換や、排出された二酸化炭素の回収や貯留などの対策の他に、電力を使用する機器や設備の省エネルギー化や高効率化が最も現実的な対応策である。公共事業では下水処理用電力は日本の消費電力全体の約0.7%を占めており、とくに下水処理場のエアレーション設備での使用電力が大きく、省エネルギー化が期待されている。エアレーション設備は汚水中の微生物に酸素を供給し生物化学的に有機系廃棄物を分解させるために設置されているため、十分な酸素を水中に溶解させるためには大容量の高エネルギー消費の送風装置が必要である。水中への酸素溶解効率を改善できれば空気送風量を削減でき、省エネルギー化が実現できる。</p> <p>近年、気泡を微細化し気液接触面積の拡大によってより高い酸素溶解効率をもつ散気装置の導入が進んでいる。また散気装置の設置位置やエアレーションタンクの形状の改善も行われている。しかしながら、エアレーションタンクの設計方法は従来、経験的な手法に基づいていることが多く、必ずしも最大の酸素溶解効率を得られるように設計されているとは言えない。</p> <p>そこで本研究では、最適なエアレーションタンクを設計するために、エアレーションタンク内の酸素溶解効率の推算法の確立と設計方針の探求を行った。以下に、本論文の構成を示す。</p> <p>第1章では、日本国内の電力事情と下水道との関係を紹介し、省エネルギー化技術について述べている。</p> <p>第2章では、液中へのガス溶解装置として工業的に広く利用されている気泡塔の設計理論を調査し、エアレーションタンク設計への適用について検討を行った。</p> <p>第3章では、自由表面の波や泡沫によるノイズの影響を最小限にできるガイドパルス式液位計を用いた新しいガスホールドアップ測定技術を開発し、広い自由表面をもつ操業装置スケールのエアレーションタンクに適用して実測値を取得した。実測データの相関をとることより、エアレーションタンク内水相を、散気板より上の気泡群が存在する領域と散気板より下のほぼ気泡が存在しない領域の2つの領域に分け、それぞれのガスホールドアップの合計によってエアレーションタンク全体のガスホールドアップを推定できることを示した。</p> <p>第4章では、操業装置スケールのエアレーションタンクへの酸素移動のモデルの適応性を検証した。水相への酸素移動は気泡群からだけでなく、自由界面からも生じるとした気泡—自由界面同時酸素移動モデルを提案しその妥当性を確認した。</p> <p>第5章では、CFDシミュレーションによるガスホールドアップおよび気泡径の推算方法の検討を行った。適切な乱流モデルの使用により実験結果を良好に再現でき、自由界面での酸素移動モデルの改善により、推算精度が向上させた。</p> <p>第6章では、他の形状のタンクへの気泡—自由界面同時酸素移動モデルの適用性を行い、良好に推算できることを確認した。第7章では、以上本論文の成果を総括した。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4433 号	氏 名	柴田 一栄
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 寺坂 宏一
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(農学) 奥田 知明
		慶應義塾大学専任講師	博士(工学) 藤岡 沙都子
		埼玉大学大学院准教授	博士(工学) 本間 俊司
<p>学士(工学)、修士(工学)柴田一栄君の学位請求論文は「エアレーションタンク最適設計のための酸素移動モデルの提案」と題し、全7章からなる。</p> <p>本論文は、公共下水処理において大きな電力消費を占めるエアレーション設備の省エネルギー化および高効率化に寄与するエアレーションタンクの最適設計法を提案している。</p> <p>エアレーションはタンク内の有機系廃棄物を好気性微生物によって生物化学的に分解させるための酸素供給源である。近年エアレーション気泡の微細化によって水中への酸素溶解効率が改善されてきているが、散気装置の設置位置やエアレーションタンク形状については経験的に決定されていることが多く、必ずしも最大の酸素溶解効率が得られるように設計されていない。そこでエアレーションタンク内の気泡流動および水相への酸素溶解挙動を調べ、酸素溶解効率の推算技術を提案した。</p> <p>第1章では、日本国内の電力事情と下水道との関係を紹介し、省エネルギー化技術について述べている。</p> <p>第2章では、液中へのガス溶解装置として工業的に広く利用されている気泡塔の設計理論を調査し、エアレーションタンク設計への適用について検討している。</p> <p>第3章では、タンク水面の波や泡沫などの外乱を最小化できる新しいガスホールドアップ測定技術を開発し、操業規模のエアレーションタンクに適用して実測値を取得している。エアレーションタンク内水相を気泡群の濃密存在領域と希薄存在領域に分けて推算し、両者よりタンク全域のガスホールドアップ推定に成功したと示している。</p> <p>第4章では、操業規模のエアレーションタンク内水相への酸素移動は散気装置から分散される気泡群からだけでなく、タンク水面からも生じるとした気泡-自由界面同時酸素移動モデルを提案しその妥当性を確認している。</p> <p>第5章では、CFDシミュレーションを利用してガスホールドアップおよび気泡径の推算方法を検討している。適切な乱流モデルの使用により実験結果を良好に再現でき、自由界面での酸素移動モデルの改善により、推算精度が向上させている。</p> <p>第6章では、他の形状のタンクへの気泡-自由界面同時酸素移動モデルの適用性を行い、良好に推算できることを確認している。</p> <p>第7章は、本論文の結論であり、全体の総括を与えている。</p> <p>以上要約すると、本論文では、実用規模のエアレーションタンクでの気泡群および酸素溶解挙動を実測し、酸素溶解性能改善に寄与する理論モデルを提案している。これは既存のエアレーションタンク内の酸素溶解挙動の理解および溶解効率の改善、新規エアレーションタンクの最適設計に寄与し、廃水処理プロセスの高効率化や省エネルギー化にも有益である。</p> <p>これらの成果は工学上寄与するところが極めて大きく、よって、本論文の著者は 博士(工学) の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4434 号	氏 名	萬 礼 応
主論文題目： 追跡対象の状態と運動特性に基づく相関処理を用いた運動・認知機能評価のための歩行計測システム			
<p>監視、高度道路交通システムなど様々な分野において重要な技術である複数対象の追跡 (MTT: Multiple Target Tracking) に関して、追跡性能と計測精度の向上を目的とした追跡対象と観測値の対応付け (相関処理) および更新処理を提案する。追跡対象の見失いや誤追跡の問題に対して、追跡対象の状態 (運動の状態、移動速度、センサからの隠れ) に基づき、追跡対象と対応付けを行う観測値を絞り込むための有効領域を可変に設定するゲート処理を提案した。また、追跡対象の運動の状態が規則的に変化する運動特性を考慮した相関処理を提案した。さらに、追跡対象がセンサから隠れている間に運動が変化する際に計測精度が低下する問題に対して、スプライン曲線に基づき隠れている間の観測値を仮想的に算出し、追跡対象のダイナミクスを考慮して更新処理を行う手法を提案した。MTT の適用事例の一つに歩行計測があり、拡大する高齢化社会において、重要な技術である。高齢者の転倒リスク軽減のために運動・認知機能を同時に評価・訓練する運動課題が提案されている。運動課題実施時の高齢者の両脚は接近や隠れ、ためらい動作が生じやすく、追跡が困難である。本課題におけるレーザレンジセンサ (LRS: Laser Range Sensor) を用いた歩行計測システムに提案手法を適用し、具体的な設計法を示し、両脚の追跡性能と運動・認知機能を評価するための歩行パラメータの計測精度を検証し、本システムが高齢者の転倒予防の一助となることを示す。</p> <p>第1章では、本論文の背景を述べた。</p> <p>第2章では、MTT において、追跡性能や計測精度に寄与するゲート処理、相関処理および更新処理の関連研究について述べた。</p> <p>第3章では、追跡対象の追跡性能および計測精度の改善のため、追跡対象の状態を考慮した可変有効領域によるゲート処理と追跡対象の運動特性を考慮した相関処理およびスプライン補間に基づく更新処理を提案し、その一般式を提示した。</p> <p>第4章では、ステップ動作課題に対して、脚の状態 (支持脚・遊脚、速さ、隠れ) に基づく可変有効領域によるゲート処理を適用し、両脚接近時においても脚の状態に応じて相関処理を行う観測値を絞り込むことで、誤追跡を低減できることを確認した。また、運動・認知機能評価のためにステップ動作の正誤評価やクロスステップを検出する手法を提示した。</p> <p>第5章では、ターン動作を含む歩行課題に対して、歩行中の両脚が加減速を伴う周期的な運動を行うことから、追跡対象の運動特性として歩行位相の周期性を考慮した両脚と観測値の対応付けを適用した。ターン動作時の隠れや両脚の接近、観測値に誤検出が存在する状況においても、誤追跡を低減できることを確認した。また、ターン動作時の隠れに対して、スプライン補間に基づく更新処理を適用することで、計測精度の向上を確認した。</p> <p>第6章では、自己位置推定を行いながら被験者と一定距離を保って先導走行することで、センサの測距範囲に依存しない長距離の計測を実現可能な歩行計測ロボットを提案した。ロボット搭載の移動する LRS に対して、第3章で示した追跡対象の運動特性を考慮した相関処理とスプライン補間に基づく更新処理を適用し、環境固定 LRS と同程度の精度で計測が可能であることを確認した。</p> <p>最後に第7章では、本論文の結論を述べた。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4434 号	氏 名	萬 礼 応
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 高橋 正樹
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 足立 修一
		慶應義塾大学教授	Ph. D. 三田 彰
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 滑川 徹

学士(工学)・修士(工学) 萬 礼 応君提出の学位論文は「追跡対象の状態と運動特性に基づく相関処理を用いた運動・認知機能評価のための歩行計測システム」と題し、全7章から構成される。本論文は、監視、高度道路交通システムなど様々な分野において重要な技術である複数対象の追跡(MTT: Multiple Target Tracking)に関して、追跡性能と計測精度の向上を目的とした追跡対象と観測値の対応付け(ゲート処理と相関処理)および更新処理の設計法を提案している。追跡対象の見失いや誤追跡の問題に対して、追跡対象の状態(運動の状態、移動速度、隠れ)に基づき、追跡対象に相関し得る観測値を絞り込むための有効領域を可変に設定し、相関処理を行う手法を提案している。また、追跡対象が他の追跡対象と位置・速度の関係に応じて運動を変化させる場合に、その運動特性(運動の変化)を考慮した相関処理を提案している。さらに、追跡対象がセンサから隠れた際に計測精度が低下する問題に対して、スプライン曲線に基づき隠れている間の観測値を仮想的に算出し、更新処理を行う手法を提案している。MTTの適用事例の一つに歩行計測があり、拡大する高齢化社会において、重要な技術である。高齢者の転倒リスク軽減のために運動・認知機能を同時に評価・訓練する運動課題が提案されている。運動課題実施時の高齢者の両脚は接近や隠れ、ためらい動作が生じやすく、追跡が困難である。本課題におけるレーザレンジセンサ(LRS: Laser Range Sensor)を用いた歩行計測システムに提案手法を適用し、具体的な設計法を示し、両脚の追跡性能と運動・認知機能を評価するための歩行パラメータの計測精度を検証し、本システムが高齢者の転倒予防の一助となることを示している。

第1章では、本研究に関わる背景を述べ、研究課題と本論文の目的を述べている。

第2章では、MTTにおいて、追跡性能や計測精度に関連する相関処理および更新処理の関連研究について述べている。

第3章では、追跡対象の追跡性能および計測精度の改善のため、追跡対象の状態と運動特性を考慮した相関処理およびスプライン補間に基づく更新処理を提案し、その一般式を提示している。

第4章では、ステップ動作課題に対して、両脚の状態(支持脚・遊脚、速度、隠れ)に基づく可変有効領域を用いた相関処理を適用し、両脚接近時においても脚の状態に応じて対応し得る観測値を限定することで、誤追跡を低減できることを確認している。また、運動・認知機能評価のためにステップ動作の正誤評価やクロスステップを検出する手法を提示している。

第5章では、ターン動作を含む歩行課題に対して、歩行中の両脚が加減速を伴う周期的な運動を行うことから、追跡対象の運動特性として歩行位相の周期性を考慮した両脚と観測値の対応付けを適用している。ターン動作時の隠れや両脚の接近、観測値に誤検出が存在する状況においても、誤追跡を低減できることを確認している。また、ターン動作時の隠れに対して、スプライン補間に基づく更新処理を適用することで、計測精度の向上を確認している。

第6章では、自己位置推定を行いながら被験者と一定距離を保って先導走行することで、センサの測距範囲に依存しない長距離歩行計測を実現可能な歩行計測ロボットを提案している。ロボット搭載の移動するLRSに対して、第3章で示した追跡対象の運動特性を考慮した相関処理とスプライン補間に基づく相関処理を適用し、環境固定LRSと同程度の精度で計測が可能であることを確認している。

第7章では、以上の内容をまとめ、本論文の結論を述べ、最後に今後必要な検討課題について述べられている。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4435 号	氏 名	高橋 博一
主論文題目： XH 伸縮振動の基音及び倍音吸収強度の置換基依存性に関する理論的研究			
<p>XH(X=C,O)伸縮振動の赤外吸収強度は、振動量子数の変化が$0 \rightarrow 1$の基音では置換基の電子求引性の違いに強く依存するのに対し、$0 \rightarrow \nu(\nu \geq 2)$の倍音では置換基依存性が弱くなることが知られ、"Universal Intensity Concept(UIC)"と呼ばれている。UICの成立は実験及び理論計算で確認されているが、物理的解釈は曖昧なままであった。吸収強度は、振動数および遷移モーメントの二乗の積に比例するが、同じ種類の結合の場合、それらのポテンシャル関数はほぼ共通であるため、遷移モーメントの被積分関数である双極子モーメント関数(DMF)の違いが吸収強度の置換基依存性を支配する。倍音吸収に関する従来の研究の多くは、ポテンシャル関数の性質に注目し、XH結合で一般的にみられる性質を研究したものであり、DMFの性質について議論したものは少ない。そこで、本研究ではUICの解析を通して、DMFの置換基依存性に注目することで、分子振動に関する新しい知見を得ることを目的とした。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べた。</p> <p>第2章では基音、倍音を含む赤外吸収強度の一般的な理論と本研究の計算方法について述べた。</p> <p>第3章では酸、アルコールのOH結合と、混成の異なる炭素を含むCH結合の伸縮振動について、量子化学計算で得られたポテンシャル関数とDMFを、それぞれMorse関数及び6次の多項式にフィットして吸収強度を計算し解析を行った。倍音吸収強度の解析でよく用いられるDMFの多項式展開表式と簡単な点電荷モデルを用いて、XH結合の振動に伴って分子内電荷分布が変化の様子、特にその置換基依存性を解析した。さらにMorse関数の解析的固有関数の表式と、それらの商関数を基底関数としてDMFを展開する波動関数展開法を用いてUICの成立条件を数式で表現した。この表現を用いると吸収強度の分子依存性を一般的に理解することが容易になることを、別の3種類の例に適用して示した。</p> <p>第4章ではMarcus, Medvedev, Miller-Goodらによって発展・改良された3種類の半古典的近似(それぞれCorrespondence-Principle(CP)近似, Landau-Lifshitz(LL)法, Uniform WKB近似と呼ばれる)を用いて酸、アルコールのOH伸縮振動の遷移モーメントを計算し、量子論に対するそれぞれの計算精度を比較検討した。また、CP近似ではXH結合の古典的振動運動によって生じる時刻tに依存するDMFのFourier係数が遷移モーメントになるため量子論との比較が困難であったが、古典論におけるFourier展開は商関数展開の1種類であるという新しい視点を示し、この観点から量子論とCP近似の遷移モーメントの違いを議論した。</p> <p>第5章は結論であり、本研究の成果の総括と今後の展望について述べた。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4435 号	氏 名	高橋 博一
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 藪下 聡
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 佐々田 博之
		慶應義塾大学教授	工学博士 畑山 明聖
		慶應義塾大学教授	理学博士 中嶋 敦
		慶應義塾大学教授	博士(理学) 近藤 寛
<p>学士(理学)、修士(理学) 高橋博一君提出の学位請求論文は、「XH伸縮振動の基音及び倍音吸収強度の置換基依存性に関する理論的研究」と題し、全5章からなっている。</p> <p>XH(X=C, O)伸縮振動の赤外吸収強度は、振動量子数の変化が$0 \rightarrow 1$の基音では置換基の電子求引性の違いに強く依存するのに対し、$0 \rightarrow n$ ($n \geq 2$)の倍音では置換基依存性が弱くなるのが古くから知られ、“Universal Intensity Concept (UIC)”と呼ばれている。UICの成立は実験及び理論計算で確認されているが、その物理的解釈は曖昧なままであった。吸収強度は、遷移振動数および遷移モーメントの二乗の積に比例する。同種化学結合の場合、ポテンシャル関数の分子依存性は小さいため、遷移モーメントの被積分関数である Dipole Moment Function (DMF)の違いが吸収強度の置換基依存性を支配する。倍音吸収に関する従来の研究の多くは、XH結合で一般的にみられる性質を研究したものであり、DMFの性質について議論したものは少ない。本論文の著者は、UICの解析のなかで、DMFの置換基依存性に注目して分子振動に関する新しい知見を得ることを目的とした。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。</p> <p>第2章では、基音と倍音を含む赤外吸収強度の一般論と本研究の計算手法について述べている。</p> <p>第3章では、酸とアルコールのOH結合と、混成の異なる炭素を含むCH結合の伸縮振動について、ローカルモード描像を用いた量子化学計算によってポテンシャル関数とDMFを求め、それぞれをMorse関数及び6次の多項式で表現した上で吸収強度を計算し解析している。倍音吸収強度の解析でよく用いられるDMFの多項式展開表式と簡単な点電荷モデルにより、XH結合の振動に伴って分子内電荷分布が変化する様子、特にその置換基依存性を解析している。さらにMorse関数の解析的固有関数の表式と、それらの商関数を基底関数としてDMFを展開する波動関数展開法を用いてUICの成立条件を定式化、図式化している。この表現を用いることで、高次倍音吸収強度に関するいくつかの経験則が一般的かつ容易に理解できることを示している。</p> <p>第4章ではMarcus、Medvedev、MillerとGoodらによって発展・改良されてきた3種類の半古典近似、つまり、Correspondence-Principle(CP)近似、Landau-Lifshitz(LL)法、Uniform WKB近似を用いて、酸とアルコールのOH伸縮振動の遷移モーメントを評価し、量子論に対するこれらの計算精度を比較検討している。XH結合の古典的振動運動におけるDMFのFourier係数が遷移モーメントに比例すると考えるCP近似では、量子論との概念的違いが大きく、その比較は自明ではなかった。本論文の著者はCP近似におけるFourier展開は商関数展開の1種であるという新たな視点を示し、この観点から量子論とCP近似の遷移モーメントの違いを議論している。</p> <p>第5章は結論であり、本論文の総括と今後の展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本論文の著者は、XH(X=C, O)伸縮振動の赤外吸収強度に見られるUICの原因を理論化学の観点から明らかにしている。吸収強度を決定する遷移モーメントの大きさに関して図的理化学の観点を示したこと、半古典論におけるFourier展開と量子論における商関数展開の間の関係を明らかにしたことなど、本論文の成果は一般の分子系にも広く適用可能な概念を含み、今後この分野の研究に重要な指針を与えるものとして、分子科学の発展に寄与するところが少なくない。よって本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4436 号	氏 名	上田 亮
<p>主論文題目：</p> <p style="text-align: center;">Mg 基 LPSO 相におけるキンク帯形成に関する高次応力を考慮した 転位-結晶塑性 FEM 解析</p>			
<p>長周期積層構造(LPSO: Long-Period Stacking Ordered)相を強化相とするマグネシウム合金は軽量、高強度、高耐熱性などの優れた特性を有するため、この合金を輸送機器の構造材料に使用することは地球温暖化対策の有力な一手法になり得ると言われている。特に LPSO 相におけるキンク帯形成は材料強化の主因と考えられており、その形成機構の解明に期待が寄せられている。しかしながら、従来の転位-結晶塑性モデルに基づいたキンク帯形成に関する FEM 解析では、解析結果に顕著なメッシュ依存性が現れるため、キンク帯におけるすべりや方位などの諸量を定量的に評価するうえで望ましくない。これに対して、ひずみこう配にエネルギー共役な高次応力を考慮した理論では、構成式に物質点近傍の非局所性が導入されるため変形のメッシュ依存性が軽減される。そこで本研究では、高次応力を考慮した転位-結晶塑性モデルを構築し、LPSO 相におけるキンク帯形成のマルチスケール FEM 解析を実施することで、本モデルの妥当性および有用性を示すことを試みている。</p> <p>第 1 章は緒言であり、本研究の社会的背景および本論文の意義について述べている。</p> <p>第 2 章では、金属材料の大変形状態を記述するために配置の概念を導入し、各配置におけるひずみを定義している。また、結晶塑性論における諸量の配置変換則を与えている。さらに、材料内に蓄積した転位密度の結晶塑性論的表現方法を紹介し、GN(Geometrically Necessary)転位密度および SS(Statistically Stored)転位密度の発展式をそれぞれすべり速度こう配およびすべり速度に対応する量として定義している。</p> <p>第 3 章では、高次応力を GN 転位密度に共役な力として全自由エネルギーに導入している。また、仮想仕事の原理に基づいて高次理論に関連する各種保存則を導出し、釣合い方程式から高次応力の発散が背応力になることを示している。また、Clausius-Duhem の不等式から応力および高次応力の構成式の一般形を導くとともに、それらの構成式に対する熱力学的制限について述べている。</p> <p>第 4 章では、速度形の弾粘塑性構成式および高次応力の構成式を熱力学的に導出している。その際、高次応力には GN 転位の分布に関連した特性長が含まれることを示している。また、SS 転位密度の表現をすべり面の曲率依存形に拡張することで従来の転位-結晶塑性論における硬化則を高次理論に適する形に修正している。さらに、本モデルに対する従来の転位-結晶塑性モデルの位置づけを説明している。</p> <p>第 5 章では、3 章で示した仮想仕事の原理を速度形に拡張している。また、高次理論において新たに導入される境界条件について言及し、高次応力に対する境界条件が GN 転位密度の境界条件に対応することを述べている。</p> <p>第 6 章では、有限要素法による数値解析を行うために 5 章で導出した仮想仕事の原理を離散化している。加えて、数値計算の低コスト化・安定化を実現するための手法を導入している。</p> <p>第 7 章では、本モデルを用いた Mg 基 LPSO 相に対する FEM 解析の結果およびそれに対する考察について述べている。まず、キンク変形が生じやすい初期方位を設定した短冊状の単結晶に対する解析を行い、キンク帯形成のメッシュ依存性を特性長と試験片寸法比(スケール比)の観点から検討している。そして、高次応力の導入によるキンク帯形成過程について議論するとともに、キンク帯の幅が特性長に応じて変化することを示している。また、本モデルにより寸法効果を表現可能なことを明らかにしている。続いて多結晶に対する解析を実施し、結晶粒界におけるすべり速度の境界条件が変形に及ぼす影響を GN 転位蓄積およびそれにともなう背応力場形成に基づいて検討している。また、粒界における非底面系の活動にも言及している。最後に、キンク帯を特徴づける回位四重極構造の表現方法について述べ、すべりの不適合度を用いて回位密度分布を簡易的に表現できることを示している。</p> <p>第 8 章は結言であり、構築したモデルの性質および FEM 解析から得た知見を要約している。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4436 号	氏 名	上田 亮
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 志澤 一之
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 小茂鳥 潤
		慶應義塾大学専任講師	博士(情報科学) 大家 哲朗
		慶應義塾大学教授	工学博士 鈴木 哲也

学士(工学), 修士(工学) 上田亮君の学位請求論文は「Mg 基 LPSO 相におけるキンク帯形成に関する高次応力を考慮した転位-結晶塑性 FEM 解析」と題し, 8 章から構成されている。

長周期積層構造 (LPSO: Long-Period Stacking Ordered) 相を強化相とするマグネシウム合金は軽量, 高強度, 高耐熱性などの優れた特性を有するため, この合金を輸送機器の構造材料に使用することは地球温暖化対策の有力な一手法になり得ると言われている。特に LPSO 相におけるキンク帯形成は材料強化の主因と考えられており, その形成機構の解明に期待が寄せられている。しかしながら, 従来の転位-結晶塑性モデルに基づいたキンク帯形成に関する FEM 解析では, 解析結果に顕著なメッシュ依存性が現れるため, キンク帯におけるすべりや方位などの諸量を定量的に評価するうえで望ましくない。これに対して, ひずみこう配にエネルギー共役な高次応力を考慮した理論では, 構成式に非局所性が導入されるため変形のメッシュ依存性が軽減される。そこで本研究では, 高次応力を考慮した転位-結晶塑性モデルを構築し, LPSO 相におけるキンク帯形成のマルチスケール FEM 解析を実施することで, 本モデルの妥当性および有用性を示している。

第 1 章は緒言であり, 本研究の社会的背景および本論文の意義について述べている。

第 2 章では運動学について述べており, 大変形結晶塑性論に適するよう, GN (Geometrically Necessary) 転位および SS (Statistically Stored) 転位の発展式をそれぞれすべり速度こう配およびすべり速度に対応する量として定義している。

第 3 章では, 釣合法則(仮想仕事の原理)の定式化を介して, 高次応力の発散が背応力に等しいことを示している。また, エントロピー増大則に基づいて応力および高次応力の構成式の一般形を導出している。

第 4 章では, 速度形の弾粘塑性構成式および高次応力の構成式を熱力学的に導出し, 高次応力には GN 転位の分布に関連した特性長が含まれることを示している。また, SS 転位密度の表現をすべり面の曲率依存形に拡張することで硬化則を高次理論に適する形に修正している。さらに, 本モデルに対する従来の転位-結晶塑性モデルの位置づけを説明している。

第 5 章では, 増分形構成式の適用を容易にするため, 上述の仮想仕事の原理を速度形に拡張している。また, 高次応力に対する境界条件が GN 転位密度の境界条件に対応することを示している。

第 6 章では, 支配方程式系の離散化について述べるとともに, 数値計算の低コスト化および安定化を実現するための手法を導入している。

第 7 章では, 本モデルを用いた Mg 基 LPSO 相に対する FEM 解析の結果およびその考察について述べている。まず, 短冊状の単結晶に対する解析を行い, キンク帯形成のメッシュ依存性が大幅に軽減されることを示している。また, キンク帯の幅が特性長によって決定されることを述べるとともに, 本モデルにより寸法効果を表現可能なことを明らかにしている。続いて, 多結晶に対する解析を実施し, 粒界においてすべり拘束の境界条件を用いる場合, GN 転位蓄積にともなう背応力場の形成によって公称応力が増加すること, ならびに粒界付近においては非底面系の活動が盛んになることを言及している。最後に, キンク帯を特徴づける回位四重極構造の表現方法について述べ, すべりの不適合度を用いて回位密度分布を簡易的に表現できることを示している。

第 8 章は結言であり, 本研究で得られた知見を要約している。

以上要するに本研究では, 高次応力を考慮した転位-結晶塑性モデルを構築し, それを用いて大変形 FEM 解析を行うことで Mg 基 LPSO 相におけるキンク帯形成および寸法依存性を精度よく再現しており, 非線形固体力学および計算材料科学の分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4437 号	氏 名	佐久間 高央
主論文題目： 合成化学的手法による π 共役系分子会合体の 構造および励起状態ダイナミクスの制御に関する研究			
<p>近年の X 線構造解析やレーザー分光法の著しい進展により、自然界の光合成色素集合体において分子間の距離や配向がエネルギー変換機能に大きな影響を与えることが明らかとなっている。一方、合成化学的手法を適切に用いることで複数の有機分子の距離や配向など集積構造を精密に制御した分子集合体の構築も可能である。このように会合状態の構造を適切に制御することで、基底状態から励起状態への電子遷移過程だけでなく、励起状態からの緩和過程についても励起子相互作用等が関与し、光物理過程は大きく変化する。本論文では、まず、クロロフィル類似型のポルフィリン誘導体において、配位高分子型分子集合体の新規な合成法の提案とその励起状態の失活過程が集合体構造により大きく依存していることを述べている。次に、ベンゼン環が直線的に縮環したペンタセン誘導体へ展開し、光励起後の一重項分裂に伴う励起三重項状態の生成反応に着目した。2 つのペンタセン骨格がねじれた一連の二量体の合成を行い、ペンタセン同士のねじれの変化と電子的カップリングの相関が示唆され、反応速度に影響を与えることを明らかにしている。</p> <p>第 1 章では、研究背景を概説し、本論文の目的と概要を記した。</p> <p>第 2 章では、高い光吸収能と電子移動特性を有するポルフィリン誘導体に対し、多孔性配位高分子的手法による分子組織化を行った。多孔性配位高分子錯体は強固な結合力に加え、結合の方向性も有しているため、距離や配向を考慮に入れた構造設計が可能となる。これら組織体における励起寿命は巨視的な形状には依存せず、近接分子間の内部構造に強く反映していることが分かった。特に、過去の報告例である π-π 相互作用を利用した同様の分子集合体と比較して励起状態の長寿命化を観測することに成功した。</p> <p>第 3 章では、第 2 章の内容を発展させて新たに柱状配位子を導入し、局所的な内部構造の異なるポルフィリンの多孔性配位高分子錯体を従来法とコロイド法により作り分けることに成功した。特に、ポルフィリン環内部の金属との配位結合の有無を選択的に制御し、配位結合がない場合は励起状態を長寿命化し、ゲスト分子導入に伴う錯形成定数の向上も観測された。</p> <p>第 4 章では、新たに、分子会合形成に伴う量子収率 100%を超える励起子生成とその長寿命化をめざし、ペンタセン二量体を用いた一重項分裂へ展開した。2 つのペンタセン骨格のねじれの程度が一重項分裂の反応性に与える影響を検討するため、異なる 3 種類のペンタセン二量体を合成した。直線状にペンタセンを配置した二量体に対し、ねじれた二量体では、弱い分子間の電子的カップリングを示唆する結果となった。この違いは一重項分裂とその後の励起三重項状態の失活過程の速度定数を大幅に減少することを過渡吸収スペクトル測定で明らかにした。また、高粘性溶媒ではさらに速度定数が減少し、分子の構造や振動に起因した励起ダイナミクス制御を示した。</p> <p>第 5 章では、本論文の総括および分子構造と励起状態の制御による今後の展望を記した。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4437 号	氏 名	佐久間 高央
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 羽曾部 卓
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 藪下 聡
		慶應義塾大学教授	博士(理学) 近藤 寛
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 栄長 泰明

学士(理学)、修士(理学)佐久間高央君提出の学位請求論文は「合成化学的手法による π 共役系分子会合体の構造および励起状態ダイナミクスの制御に関する研究」と題し、5章から構成されている。近年のX線構造解析やレーザー分光法の著しい進展により、自然界の光合成における色素分子集合体において分子間の距離や配向がエネルギー変換機能に大きな影響を与えることが明らかとなっている。一方、合成化学的手法により化学結合を適切に利用することで複数の有機分子の集積構造を精密に制御した分子集合体の構築も可能である。このような会合状態では、基底状態から励起状態への電子遷移過程、また、その緩和過程について会合形成に伴う励起子相互作用等が関与し、光物理過程は大きく変化する。特に、分子会合状態での励起分子の長寿命化は化学反応へ展開する上で極めて重要である。本論文ではまず、クロロフィル類似型のポルフィリン誘導体において、配位高分子型分子集合体の新規な合成法の提案とその励起状態の失活過程が集合体構造により大きく依存していることを述べている。次に、ベンゼン環が直線的に縮環したペンタセン誘導体へ展開し、光励起後の一重項分裂に伴う励起三重項状態の生成反応に着目した。2つのペンタセン骨格がねじれた一連の二量体の合成を行い、ペンタセン同士のねじれの程度が三重項励起状態の寿命に大きな影響を与えることを明らかにしている。

第1章では、研究背景を概説し、本論文の目的と概要を記した。

第2章では、高い光吸収能と電子移動特性を有するポルフィリン誘導体に対し、多孔性配位高分子による分子集合化を行った。多孔性配位高分子錯体は強固な結合力に加え、結合の方向付けを厳密にできるため、距離や配向を考慮に入れた設計が可能となる。本手法で作製した集合体の励起寿命は従来の π - π 相互作用型の分子集合体と比較して大幅な長寿命化を達成した。

第3章では、第2章の内容を発展させ、さらなる励起分子の長寿命化と反応空間部位の構築をめざした。新たに柱状配位子を導入し、局所的な内部構造の異なるポルフィリンの多孔性配位高分子錯体を従来法とコロイド法により作り分けることに成功した。特に、ポルフィリン環内部の金属との配位結合の有無を選択的に制御し、配位結合が無い場合は励起状態の長寿命化を達成した。また、電子受容分子との電子移動反応に伴う大きな錯形成定数は反応性の向上を示唆している。

第4章では、新たに、分子会合形成に伴う量子収率100%を超える励起子生成とその長寿命化をめざし、ペンタセン二量体を用いた一重項分裂へ展開した。2つのペンタセン骨格のねじれの程度が一重項分裂の反応性に与える影響を検討するため、異なる3種類のペンタセン二量体を合成した。直線状にペンタセンを配置した二量体に対し、ねじれた二量体では、弱い分子間の電子的カップリングを示唆する結果となった。このねじれの違いは一重項分裂の生成と励起三重項状態の長寿命化に寄与することを過渡吸収スペクトル測定で明らかにした。

第5章では、本論文の総括および分子会合体における励起状態の制御の今後の展望を記した。

以上、要するに本論文は、 π 共役系分子の会合体を合成化学的手法により構築し、その構造と励起ダイナミクスの相関を詳細に議論している。特に、距離と配向を制御することで機能発現に必要な集合体構造を保持しつつ、励起状態の長寿命化が達成されたことは機能材料化学分野の発展への寄与が少なくない。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4438 号	氏 名	太田 英介
主論文題目： アルキンを有する代謝安定型 GM3 アナログの創製と光反応性基の開発に向けた基礎研究			
<p>天然物や生理活性分子を駆使し、生命現象を解明するケミカルバイオロジー研究が、国内外で活発に進められており、その解析方法論も多く開発されている。一方で、脂質のケミカルバイオロジー研究は、依然として難しい場合が多い。本研究で着目する糖脂質は、1 分子ではなく一過的に集合体を形成することで、機能を発揮すると考えられていることから、生細胞を用いた機能解析が必須である。しかしながら、糖脂質は細胞内酵素によって容易に代謝されるため、糖脂質そのものをプローブとして利用しにくい。本研究では、糖脂質のケミカルバイオロジー研究に向けて、現状の糖脂質プローブの問題点を克服できる新たな方法論を提案し、その有効性の実証に取り組んだ。</p> <p>第一章では、本研究の着想に至る背景と、具体的な目的について述べた。冒頭では、当研究室で着目しているガングリオシド GM3 の報告されている機能とその代謝経路について簡単に纏め、最近当研究室で開発された代謝安定型 GM3 アナログの設計コンセプト、およびその有効性について言及した。一方、これまでに報告されている GM3 の光親和性プローブを用いた実験結果を整理し、それらの問題点（代謝不安定性と光親和性標識基の構造と導入位置）を明確にした。このような背景を考慮し、GM3 のケミカルバイオロジー研究を遂行する具体的な解決策、すなわち理想的な GM3 の光親和性プローブを提案し、これを実現するために達成すべき 2 つの課題（代謝安定型 GM3 アナログへの検出基アルキンの導入、糖部に導入できる非疎水性光反応性基の開発）を示した。</p> <p>第二章では、代謝安定型 GM3 アナログへのアルキントグの導入について述べた。合成に関しては、アルキン部位の導入と効率的グリコシル化反応のため、保護基の最適化が重要であった。特にグリコシル化反応では、保護基によるアクセプターの求核性を向上させることが、目的物を得るためには必須であった。合成した化合物の生物活性評価では、アルキンの位置によって生物活性が異なることを見出し、GM3 アナログとしての生物機能に影響を与えないアルキンの位置を決定した。</p> <p>第三章では、糖-タンパク質相互作用の解析を指向した光反応性基の開発に関する基礎検討について述べた。既存の光反応性基の特徴を概観し、光反応性基として一置換 α-ケトアミドを設計した根拠を示した。マンノースと Concanavalin A の相互作用を糖-タンパク質相互作用のモデルとして採用し、マンノースプローブを設計した。プローブの水中での光分解速度および分解物の解析、等温滴定カロリメトリーによる相互作用の熱力学的評価、さらに光親和性標識実験の結果、未だ改善の余地はあるものの、一置換 α-ケトアミドが非疎水性光親和性標識基として機能することが示唆された。さらに、分解物の解析過程で見出した新規光誘導型シクロプロパノール形成反応についても纏めた。Na-プロトンを持たない α-ケトアミドでは、本反応が定量的に進行することを見出した。</p> <p>第四章では、Oα-プロトンを持たない α-ケトエステルの光反応では、分子間でカップリング反応が進行することを見出し、これについて詳細を纏めた。カップリングパートナーとしては、アルコールやアミドなど様々な分子を利用でき、ヘテロ原子に隣接する 1 級もしくは 2 級 C-H 結合を直接官能基化できた。また、本光反応をアミノ酸誘導体とのカップリング反応にも応用できることを示した。これらの結果は、α-ケトエステルが光親和性標識に利用可能であることを示唆している。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4438 号	氏 名	太田 英介
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 戸嶋 一敦
	副査	慶應義塾大学教授	博士(理学) 末永 聖武
		慶應義塾大学教授	理学博士 千田 憲孝
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 西山 繁
		理化学研究所主任研究員	薬学博士 袖岡 幹子

学士(理学)、修士(理学)の太田英介君提出の学位請求論文は、「アルキンを有する代謝安定型 GM3 アナログの創製と光反応性基の開発に向けた基礎研究」と題し、全 5 章から構成されている。天然物や生理活性分子を用い、生命現象を解明するケミカルバイオロジー研究が、国内外で活発に展開され、そのための解析方法論も多く開発されている。一方で、1 分子ではなく、ある集合体を形成することで、機能を発現する糖脂質のケミカルバイオロジー研究は、生細胞を用いた機能解析において、その構造の多様性から依然として難しい場合が多い。本研究では、糖脂質のケミカルバイオロジー研究に向けて、細胞内酵素によって容易に代謝されるなどの現状の糖脂質プローブの問題点を克服し、かつ検出容易な新たな方法論の提案と、その有効性を実証するための基礎研究を行った。

第一章では、本研究の着想に至る背景と、具体的な目的について述べている。すなわち、代謝安定型ガングリオシド GM3 アナログの設計コンセプト、およびその有効性について言及している。また、これまでに報告されている GM3 の光反応性プローブを用いた研究例を概観し、それらの問題点(代謝不安定性や光反応性基の構造と導入位置の問題)を明確にしている。さらに、これらのことを考慮した理想的な GM3 の光反応性プローブを提案し、これを実現するために克服すべき 2 つの課題(代謝安定型 GM3 アナログへの検出基のためのアルキンタグの導入と、糖部分に導入できる光反応性基の開発)を示している。

第二章では、光反応性プローブとして有効な代謝安定型 GM3 アナログへのアルキンの導入について述べている。すなわち、効率的グリコシル化反応と保護基の最適化により、種々の位置にアルキンを導入した代謝安定型 GM3 アナログを合成している。さらに、合成した化合物の生物活性評価を行い、アルキンの導入位置によって生物活性が異なることを見出し、また、GM3 アナログとして、本来の生物機能に影響を与えないアルキンの導入位置を決定した。

第三章では、糖-タンパク質相互作用の解析を指向した光反応性基の開発について述べている。すなわち、既存の光反応性基の特徴を概観し、新たな光反応性基として、一置換 α -ケトアミドを、提案、設計した。さらに、マンノースとコンカナバリン A の相互作用を、糖-タンパク質相互作用のモデルとし、一置換 α -ケトアミドを有するマンノースプローブを合成した。また、本プローブの水中での光分解速度や分解物の解析、相互作用の熱力学的評価、および光親和性標識実験により、一置換 α -ケトアミドが、光反応性基として機能することを示した。さらに、一置換 α -ケトアミドの光分解物の解析過程において、新規光誘導型シクロプロパノール形成反応を見出し、 $N\alpha$ -プロトンを持たない α -ケトアミドでは、本反応が定量的に進行することを示した。

第四章では、 $O\alpha$ -プロトンを持たない α -ケトエステル光反応性基としての有効性について述べている。すなわち、 $O\alpha$ -プロトンを持たない α -ケトエステルの光反応では、分子間でカップリング反応が進行することを見出している。本反応は α -ケトエステルとアルコールやアミドなどの様々な分子とのカップリング反応に適応可能であり、タンパク質を構成するアミノ酸誘導体とのカップリング反応にも応用出来ることを示した。これらの結果は、 α -ケトエステルが光親和性標識のための新たな官能基として利用可能であることを示している。

第五章では総括として、各章により得られた成果をまとめて記述するとともに、今後の糖脂質研究の展望について簡潔に述べている。

以上、本論文の成果は、糖脂質のケミカルバイオロジー研究において、有用かつ新しい糖脂質プローブの設計指針を提案しており、未解明なことの多い分野である糖脂質のケミカルバイオロジー研究に貢献することが期待され、学術的に意義深い。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4439 号	氏 名	石塚 裕己
主論文題目： 磁気粘性流体を微小領域に封入した触覚ディスプレイ			
<p>硬さの分布を高解像度に再現できる触覚ディスプレイは、バーチャルリアリティ空間における触感の再現や、遠隔診断および遠隔手術の高精度化への応用が期待できる。例えば、センサを搭載した内視鏡により取得した臓器の硬さ分布を触覚ディスプレイ上に再現し、これを医師が触診することで、現在は発見できないサイズの腫瘍を発見できるようになる。高解像度な触覚ディスプレイを実現するためには、硬さを呈示する素子を密にアレイ配置し、かつ各々の素子の硬さを制御することが必要になる。本研究では、磁気粘性(magnetorheological, MR)流体が有する固液相変化という性質に着目している。MR 流体を柔軟なシリコンゴム材料の中にミリメートルからサブミリメートルのサイズで封入した硬さ呈示素子を、その製作手法とともに新たに開発している。そして、この素子を密に配置することで高解像度に硬さ分布を呈示するこれまでにない触覚ディスプレイを開発し、その特性を明らかにしている。</p> <p>第1章は緒言であり、本研究の背景、特にマイクロ・ナノ加工技術とそれを用いた触覚ディスプレイについて紹介している。また、関連研究の問題点を踏まえ、本研究の目的、ならびにその意義について述べている。</p> <p>第2章ではMR 流体を用いた触覚ディスプレイを試作し、その特性を評価している。シリコンゴムの一種であるポリジメチルシロキサン(polydimethylsiloxane, PDMS)膜を指との接触部としたチャンバ内に、MR 流体を封入している。磁場を印加したときの触覚ディスプレイの機械的特性を評価するとともに、使用者への硬さ分布呈示能を評価し、その有用性を明らかにしている。加えて、触覚ディスプレイが呈示する硬さの分布を印加磁場により制御可能なことを明らかにしている。</p> <p>第3章ではMR 流体のミリメートルからサブミリメートルサイズの微小領域への封入技術について述べている。まず、ミリメートルサイズの球形状 PDMS 構造の製作方法とその内部へのMR 流体の封入方法について述べている。PDMS 形状を決定するプロセスパラメータを理論的、実験的に明らかにしている。次に、MR 流体のサブミリメートルの液滴を、未重合のPDMS に浸漬し引き上げることにより、MR 流体上に直接 PDMS 膜を形成する手法について述べている。液滴形成時の基板と MR 流体の接触面積、ならびに MR 流体の濃度が PDMS 膜の形状に影響することを明らかにしている。さらに、PDMS より柔軟なシリコンゴム材料を用いてミリメートルサイズのチャンバを形成し、その内部に MR 流体を満たした後にステンレス板を接合することにより、MR 流体を封入する手法について述べている。最後に、これら 3 つの手法を比較して、接合を用いた手法が触覚ディスプレイ製作に適していることを示している。本手法を用い、直径 3 mm のチャンバが 2 mm の間隔で配置された 5 mm の解像度を有する触覚ディスプレイを製作している。</p> <p>第4章では、第3章で示された製作手法を用い製作した、MR 流体をアレイ上に微小領域に封入した触覚ディスプレイの機械的特性を評価している。本触覚ディスプレイは、非磁場下では均一の硬さ分布を呈示し、また外部磁場を印加すると、磁場の分布に沿って硬さ分布が呈示できることを実験的に明らかにし、その有効性を示している。</p> <p>第5章は結言であり、本研究について得られた結果と今後の展望について述べている。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4439 号	氏 名	石塚 裕己
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学准教授	博士（工学）	三木 則尚
	副査 慶應義塾大学教授	工学博士	澤田 達男
	慶應義塾大学専任講師	博士（情報理工学）	尾上 弘晃
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	柿沼 康弘
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	竹村 研治郎
<p>学士（工学）、修士（工学）石塚裕己君提出の学位請求論文は、「磁気粘性流体を微小領域に封入した触覚ディスプレイ」と題し、5章から構成されている。</p> <p>硬さの分布を高解像度に再現できる触覚ディスプレイは、バーチャルリアリティ空間における触感の再現や、遠隔診断および遠隔手術の高精度化への応用が期待できる。高解像度な触覚ディスプレイを実現するためには、硬さを呈示する素子を密にアレイ配置し、かつ各々の素子の硬さを制御することが必要になる。本研究では、磁気粘性（magnetorheological, MR）流体が有する固液相変化という性質に着目している。MR 流体を柔軟なシリコンゴム材料の中にミリメートルからサブミリメートルのサイズで封入した硬さ呈示素子を、その製作手法とともに新たに開発している。そして、この素子を密に配置することで高解像度に硬さ分布を呈示するこれまでにない触覚ディスプレイを開発し、その特性を明らかにしている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景、目的、ならびにその意義について述べている。</p> <p>第2章では、MR 流体を用いた触覚ディスプレイを試作し、その特性を評価している。シリコンゴムの一種であるポリジメチルシロキサン（polydimethylsiloxane, PDMS）膜を指との接触部としたチャンバ内に、MR 流体を封入している。磁場を印加したときの触覚ディスプレイの機械的特性を評価するとともに、使用者への硬さ分布呈示能を評価し、その有用性を明らかにしている。加えて、触覚ディスプレイが呈示する硬さの分布を印加磁場により制御可能なことを明らかにしている。</p> <p>第3章では、MR 流体のミリメートルからサブミリメートルサイズの微小領域への封入技術について述べている。まず、ミリメートルサイズの球形状 PDMS 構造の製作方法とその内部への MR 流体の封入方法について述べている。PDMS 形状を決定するプロセスパラメータを理論的、実験的に明らかにしている。次に、MR 流体のサブミリメートルサイズの液滴を、未重合の PDMS に浸漬し引き上げるにより、MR 流体上に直接 PDMS 膜を形成する手法について述べている。液滴形成時の基板と MR 流体の接触面積、ならびに MR 流体の濃度が PDMS 膜の形状に影響することを明らかにしている。さらに、PDMS より柔軟なシリコンゴム材料を用いてミリメートルサイズのチャンバを形成し、その内部に MR 流体を満たした後にステンレス板を接合することにより、MR 流体を封入する手法について述べている。本手法を用い、5 mm の解像度を有する触覚ディスプレイを製作している。</p> <p>第4章では、第3章で示された製作手法を用い製作した、MR 流体をアレイ上に微小領域に封入した触覚ディスプレイの機械的特性を評価している。本触覚ディスプレイは、非磁場下では均一の硬さ分布を呈示し、また外部磁場を印加すると、磁場の分布に沿って硬さ分布が呈示できることを実験的に明らかにし、その有効性を示している。</p> <p>第5章は結論であり、本研究について得られた結果と今後の展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本研究は硬さ分布を高解像度に呈示する触覚ディスプレイを、MR 流体を微小領域へ封入することにより新規に実現し、実験的にその有効性を示したものであり、マイクロ・ナノ工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4440 号	氏 名	尾形 正泰
主論文題目： 身体性メディアを伴うネイキッドインタラクションの設計			
<p>人間とコンピュータの関係の中で、人間は情報に触れるためにコンピュータを用いてきた。ユーザが情報にたどり着くまでにインタフェースにおけるいくつもの障壁があり、ユーザは絶えずデスクトップメタファ、入出力インタフェース、デバイスの性能から影響を受けている。仮想的で抽象的な情報の処理を行うためのコンピュータが目的化して、コンピュータを中心にしたインタフェース設計を行うようになった。また、人間と情報メディアの間にインタフェースが介在することで生じてしまう認知的なズレも生じる。ユーザの自由度や利便性が向上しないのはこのためである。</p> <p>そこで、身体の観点に立脚した人間とコンピュータの関係性の設計思想が必要となる。普段は潜在化している身体を顕在化することによって、人間の視点から身体を認識させ、身体と環境における関係性を更新する。環境における身体性の意味を発見するために必要になるのが、人間と機械、身体とモノ、入力と出力そして制御とフィードバックのような二項関係を結びつけるための身体性メディアである。</p> <p>身体性メディアを導入することで、ネイキッドインタラクションが従来のインタラクション設計から脱却し、身体から発露する体験に基づいた設計を保証する。この過程を通して、身体性に立脚した意味に気づき、身体性から立脚したインタラクションの設計を統括的に行うことができる。結果的に従来のインタラクションにおける情報と身体の距離を埋められないインタフェースの設計問題にしての解決を示すことにもなる。身体性メディアを伴うネイキッドインタラクションの設計には、技術的手法、コンピュータサイエンスの手法による実装が不可欠である。しかしながら、ネイキッドインタラクションの設計思想は広域の設計に適用されるものであるため、設計思想の実現のためにプロトタイピングを通して、概念的設計と具体的設計を示す必要がある。</p> <p>はじめに、身体を覆っている皮膚そのものについて注目した。皮膚は内省的に感覚を持つため、身体の延長としての道具に皮膚を選ぶ。皮膚を顕在化させることで身体の再身体化を行う。皮膚を通してメディアの身体化を自己の身体で体験・認識させる。次に、手指の擬人化を用いて手指のコミュニケーションメディアへの変換を行う。手指の拡張は身体を用いて意図通りに動かすことで、その機能を実現する。最後に、手を用いて対話しながら知的活動を行う紙を取り上げ、身体の延長としてのメディアとして設計する。紙によって物理環境における思考をするときの自己と対象の関係性を視覚化する。ここに挙げた3つの身体性メディアはそれぞれ身体によって思い通りに自在に動かせる。</p> <p>プロトタイピングを通して、コンピュータの設計思想によって構成されていた環境とモノが、またそれによって生み出されたヒューマンインタフェースとこれを用いたヒューマンコンピュータインタラクションを、身体性メディアを通した身体と人間の原理的な視点から分解して再構成した。言い換えれば、現状のシステムに基づいた構成論によって規定されているシステムと身体の間で作られたユーザ体験というメディアを剥ぎ取り、物理性と身体の間形成される身体性メディアに置き換える設計を提案した。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4440 号	氏 名	尾形 正泰
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 今井 倫太
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 藤代 一成
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 中西 美和
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 杉本 麻樹

学士(工学), 修士(工学), 尾形正泰君の提出の学位請求論文は“身体性メディアを伴うネイキッドインタラクションの設計”と題し, 全8章, 付録1章からなる。

現状のユーザインタフェースで採用されている仮想的な設計に起因するコンピュータ利用時の障壁からユーザを解放するために, 身体・モノ・コンピュータの関係を見据えたインタラクション設計という, 新しい可能性を提示する。身体性メディアという身体制御に基づいた媒体からの視点で人とコンピュータのインタラクションを設計し, 実装をする。

本論文の章構成は次の通りである。第1章では, 本研究の提案であるネイキッドインタラクションの狙い, 着想に至った経緯について述べている。本研究で提案する手法では, 人間の身体動作に基づいた制御によって身体・物質・コンピュータの関係を利用し, 仮想的なユーザインタフェースを介さずにネイキッドなインタラクションが人とコンピュータの間で可能となる。触れることによって環境と状況を理解し, 触った面に対して結果が反映されるネイキッドなインタラクションの設計である。言い換えれば, 物理的な制御の方式と人間が認知する媒体, さらに入力する方式と提示する方式が同じ境界面上で一致している点で, 表裏一体のインタラクション設計となっている。

第2章では, 手法の背景となる, ヒューマンインタフェース, ヒューマンコンピュータインタラクションの研究, およびインタフェース設計手法について比較して述べている。そして本研究の手法を実装する上で参考にした手法や分野を述べている。

第3章では, 本研究の提案である身体性メディアおよびネイキッドインタラクションに関して明確にし, 利点や独創的な点を述べている。身体性メディアでは, 人のコンピュータ操作に対して適切に対応する身体動作を許容する媒体を用いる。入力と出力, 制御と情報提示が同じ境界面で行われる媒体となる。身体性メディアは, コンピュータの機能や操作方法を, 物理的な環境や物体に単純に対応づけたものではなく, モノを直接触ることや, 触った結果の触感・触知性によって理解できるものを最大限に利用することで, 生まれてから成人に成るまでの日常生活の中で人が獲得する身体とモノの関係を直接インタラクションの中で用いることができ, 人とコンピュータ間にネイキッドなインタラクションを実現することができる。本論文では, 身体性メディアを具現化したシステムとして皮膚とウェアラブル, 指と指輪, そして手と紙という3つのプロジェクトを述べている。

第4章では, それぞれのプロジェクトに対する関連研究を個別に整理し, 述べている。

第5章では, 皮膚の面を身体性メディアとして, ウェアラブルへの入力を皮膚で行い, その上に装着したディスプレイ上で結果を反映するインタラクティブなシステムを構築した。第6章では, 指輪型ロボットを用いて, 指という身体性メディアの表現を拡張し, 他者とのコミュニケーションにおける物理的・身体的な動きを用いた意図の共有や, 促進を実現した。第7章では, 手と紙の関係を身体性メディアとして用いた。コンピュータによる自動制御が可能な磁石をプリントした紙を用いて, 紙を中心としたユーザの身体動作を用いた情報の操作と, コンピュータによる電磁石による制御を, 紙の操作という同じ境界面で行うことができる。

第8章では, 本研究の結論と, 提案技術の将来的な展望について述べている。そして付録A章では, 本研究で用いたハードウェアの設計や, 実験データと手法について説明を追加している。

以上の通り, 本論文は, 身体性メディアを用いたネイキッドインタラクションを提案・設計・実装し, その有用性を明らかにした点で, 工学上寄与するところが少なくない。また, これらの成果は著者が自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力, ならびにその基礎となる豊かな学識を有することを示したといえる。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4441 号	氏 名	棚元 亮
主論文題目： ITO ガラス電極を用いた細胞刺激デバイスの開発と 定量的電流刺激による海馬神経細胞ネットワークの解析			
<p>ITO(indium-tin-oxide)ガラス電極は透明性と導電性を併せ持つことから、これまで生命系の様々な分野において、電流刺激を与えながら同時に細胞を観察するためのツールとして用いられてきた。しかし、ネットワークを形成する複数神経細胞に定量的な電流刺激を与えながら、神経細胞の発火パターンを観察した例はほとんどない。本研究では簡単な電極構造で複数細胞に定量的な刺激を与えることが可能な実験系をITO ガラス電極により開発し、海馬神経細胞のネットワーク接続関係について解析した。</p> <p>第1章は緒言で、神経ネットワークを観察するためにこれまで用いられてきた電気生理学的手法やCa²⁺蛍光イメージング法について述べた。細胞に電流刺激を与えながらその応答をCa²⁺イメージングにより観察するための手法として、ITO ガラス電極を用いた研究についていくつか紹介した。</p> <p>第2章では、ITO ガラス電極を、対電極がない単一の形状にパターンニングし、細胞に刺激を与える系の確立について述べた。フォトリソグラフィの技術を用いて観察部が周囲に比べて細くなるようにして、強い電流刺激ができるように導電面をパターンニングした。このITO ガラス基板上でNerve growth factor (NGF)分化PC12細胞を分散培養し、細胞へ加わる刺激の特性について議論した。形状パラメータとして細胞刺激領域の幅を変えることにより、応答細胞数がどのように変化するかを調べた。その結果、幅0.1 mm以下の電極では、幅が細いものほど応答細胞数の割合は上昇するのに対して、それより広い電極では、幅の影響はほとんど見られなかった。応答細胞率と測定電流値との関係を調べたところ、およそ60 μAを閾値として応答が誘起されたことから、電極形状に関わらず電流値が応答を決定していたものと考えられる。さらに、電極上あるいは近傍の細胞のみしか応答を示さなかったことから、刺激の局所性を示せた。これらの結果より、作製したITO ガラス電極は、対電極なしに電流値に依存した局所的な電流刺激を細胞に与えることが可能とわかった。</p> <p>第3章では、海馬分散神経細胞を長期にわたって培養することによるネットワーク成熟の様子を調べるために、パターンニングしたITO ガラス電極の刺激による細胞の応答性と細胞間での協同性を議論した。培養日数と細胞応答との関係を調べたところ、培養開始17日目(17DIV)を境として応答は異なった。電流刺激により応答する細胞の割合を調べたところ、17DIV以降の細胞は有意に応答率は増した。17DIV以降の細胞では、刺激強度を徐々に上昇させていくことによる応答細胞率累積値の上昇の仕方がS字型のものと飽和型のもの2種類見られた。2種類の応答についてScatchardプロットや刺激開始からの応答遅れ時間により違いを見出した。17DIV以降のS字型の応答を示していた細胞に神経伝達物質グルタミン酸受容体であるN-methyl-D-aspartate (NMDA)とα-amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionic acid (AMPA)の阻害剤であるD,L-2-amino-5-phosphono-valerate (AP5)と6-cyano-7-nitroquinoxaline-2,3-dione (CNQX)を加えると、飽和型に変化することを、Scatchardプロット、応答遅れ時間、さらにHill係数により示した。これらの結果より、S字型の応答を示した細胞間では、グルタミン酸による協同的なシナプス接続が起こっていたことが示された。</p> <p>第4章では本論文の総括として本研究で用いた形状のITO ガラス電極の今後の応用と可能性について述べた。</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4441 号	氏 名	棚元 亮
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡 浩太郎
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 松本 佳宣
		慶應義塾大学准教授	博士（地球環境科学） 土居 信英
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 舟橋 啓
<p>学士（工学）、修士（工学）棚元亮君提出の博士学位論文は、「ITO ガラス電極を用いた細胞刺激デバイスの開発と定量的電流刺激による海馬神経細胞ネットワークの解析」と題し、4章より成っている。</p> <p>Indium-tin-oxide (ITO)ガラス電極は透明性と導電性を併せ持つことから、これまで生命系の様々な分野において、電流刺激を与えながら同時に細胞を観察するためのツールとして用いられてきた。しかし、ネットワークを形成する複数神経細胞に定量的な電流刺激を与えながら、神経細胞の発火パターンを観察している例は殆どない。本論文では簡単な電極構造で複数細胞に定量的な刺激を与えることが可能な系を ITO ガラス電極により開発し、海馬神経細胞のネットワーク成熟過程について解析したことを報告している。</p> <p>第1章は緒言で、ITO ガラス導電面をパターンニングするためのフォトリソグラフィーの技術について述べた後、これまで用いられてきた電気生理学的手法やカルシウム蛍光イメージング法について説明し、さらには本研究で用いている ITO ガラス電極を用いた先行研究例を示している。</p> <p>第2章では、導電面をパターンニングした ITO ガラス基板上で神経細胞様に分化させた PC12 細胞を培養し、細胞へ加わる電流刺激への細胞応答特性について議論している。形状パラメータとして細胞刺激領域の幅と長さを変えることにより、細胞への刺激がどのように変化するかを検討した。その結果、幅が 0.1 mm 以下の電極では、幅が狭いものほど応答細胞率は上昇し、それより広い電極では、幅の影響はなかった。また電極長は細胞応答に影響しなかった。応答細胞率と測定電流値との関係を調べたところ、およそ 60 μA を閾値として神経活動が誘導されたことから、電極形状に関わらず電流値が神経細胞応答を決定しているものと考えた。さらに、電極上あるいは近傍の細胞だけが応答を示したことから、本電極による電流刺激の局所性を示すことができた。</p> <p>第3章では、海馬神経細胞間のネットワークの振る舞いについて、パターンニングした ITO 電極による電流刺激に対する細胞応答により議論している。培養日数と細胞応答との関係を調べたところ、培養開始 17 日目 (17DIV) を境として応答が異なることがわかった。電流刺激に応答する細胞の割合を調べたところ、17DIV 以上の細胞で応答を引き起こすことができた。また刺激強度を徐々に上昇させることにより、ある電流値を閾値として協同的に細胞が応答することを発見し、この現象に対応した、多数細胞が同時に応答する領域を見出した。これは神経細胞同士がシナプス接続することによりクラスターを形成し、協同的な応答をしているものと考えた。神経伝達物質グルタミン酸受容体の阻害剤である AP5 と CNQX を加えると、この協同的な応答は見られなくなったことから、17DIV 以上で神経細胞応答率が高い理由は、主にグルタミン酸シナプスによるものと考えた。また従来生化学で用いられてきた Scatchard および Hill プロットにより、神経ネットワークの協同性を明らかにする新規手法を考案している。</p> <p>第4章では本論文の総括として本研究で用いた形状の ITO ガラス電極の今後の応用の可能性について述べた。</p> <p>以上本論文では、ITO ガラス電極と蛍光イメージング法を併用することにより、神経ネットワークの性質を明らかにする新たなツールの開発に成功した。またこのツールを用いて神経ネットワークの協同現象に関わる新規な特徴を見出しており、これらの成果は神経科学研究に大いに資するものである。よって本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU”No. 4822	Name	Ishida Naoyuki
Thesis Title			
Analysis and application of low polar non-volatile component to tobacco leaf using atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry detector			
<p>Tobacco leaf is cultivated plant originating from South-America with a long development period of about 4,000 years and essential material for manufacturing cigarette. The manufacturing process has exclusively become massive in pace with globalization of cigarette market. The most significant issue for manufacturer is to properly procure, blend and manufacture tobacco leaves with fluctuating yield caused by annual climate change of various growing districts. However determination of quality and blending have been counted much on in-house knowhow and sense of skilled blenders, and for this reason streamlining and developing of manufacture on scientific background has become the most urgent issue to address. The point which has made the realization difficult lies in complicated taste and aroma derived from numerous tobacco components consisting of more than about 4,000 kinds. Application of component information to manufacturing process has not forwarded while the identification has made great progress. This research therefore focused on unknown low polar non-volatile components among tobacco leaf resin related to taste and aroma of tobacco products.</p> <p>Typical natural science in the first place consists of fundamental steps selecting object, executing target-analysis and consolidating the data to put scientific rule. On the other hand, non-target analysis which has emerged in recent years ensures providing basic rules on multi-dimensional data and multivariate analysis without selecting objects. Moreover application of non-target analysis has been gradually initiated to construct discriminant model and conduct machine discrimination of unknown objects. Neither has the novel scientific field which is named as chemometrics been applied to tobacco leaf, nor has the elucidation of above stated low polar non-volatile components in tobacco leaf progressed. For this reason, the author determined to identify these components relating to the varieties and cultivars of tobacco leaves, to confirm usefulness of non-target analysis to put tendencies and then to study the feasibility of discriminant model for machine discrimination of tobacco leaves.</p> <p>The initial part of study began with simultaneous separation and determination of low polar non-volatile components in tobacco leaf. This was because gas chromatography has been inapplicable to gasify them and existing method of liquid chromatography has not achieved their separation. Solanesols, Phytosterols, Triacylglycerols, Chlorophylls etc., were therefore analyzed by non-aqueous reversed phase chromatography (NARPC) hyphenated with atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry detector (APCI-MSD). These methods for target analysis were then adjusted for non-target analysis. Multi-dimensional data matrix obtained from various tobacco leaves was subjected to statistical analysis without quantification procedure, in which the result provided equivalent rules to the ones from target analysis. Furthermore, the discriminant model based on data matrix proved usable to discriminate cultivars, districts and stalk positions with high probability. The study succeeded in determining unknown non-volatile resin components in tobacco leaf, and then provided basic scientific rules at the equivalent level to target-analysis and gave discriminant models to classify various tobacco leaves for streamlined and developed tobacco manufacture.</p>			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4822 号	氏 名	石田 直之
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（理学） 宮本 憲二
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 佐藤 智典
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 末永 聖武
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 舟橋 啓

学士（理学）、修士（理学）石田直之君提出の博士学位論文は、「液体クロマトグラフィー大気圧化学イオン化質量分析装置によるたばこの低極性不揮発性成分の解析と応用」と題し、全 10 章から構成されている。

南米アンデス原産のたばこは、4000 年以上に渡って栽培されてきた植物であり、シガレットの原料として用いられている。たばこには 4000 種以上の膨大な成分種が含まれていると言われていたが、特に葉面上の毛茸から分泌される樹脂成分にたばこ特有の成分が多く、喫煙燃焼時の味や香りに大きく関係するものと考えられてきた。たばこの葉面樹脂成分の多くは低極性で不揮発性な成分群（Solanesol 類、Chlorophyll 類、Phytosterol 類、Triacylglycerol 類）であるが、不揮発性なので気化が困難でガスクロマトグラフィーでは分析が難しく、低極性なので水系逆相液体クロマトグラフィーでは分離能が悪いといった問題点があった。以上のような背景から、著者は非水系逆相クロマトグラフィーと大気圧化学イオン化質量分析装置を組み合わせることで、これら成分群の分析に成功している。また、分析結果からたばこの品種や栽培地域の特定を行い、品質管理に科学的な背景を付与する手法の開発に成功している。

第 1 章は序論であり、たばこの歴史的背景やそれに含まれる成分種について概説している。そして、これら成分種を分析する方法や統計解析法について概説している。

第 2 章では、たばこに含まれるトリセスキテルペノイドである Solanesol とそのエステル誘導体の分析を行っている。そして、たばこに含まれる Solanesol とその誘導体（合計 11 種類）を定量分析することに成功している。さらに、分析結果を用いて主成分分析を行い、品種により脂肪酸部分の不飽和度に違いがあることを見いだしている。

第 3 章では、植物の生長において重要な働きを担う葉緑素（Chlorophyll 類）の分析を行っている。代謝物と考えられる化合物の合成を行い、それを標品とすることで、Chlorophyll とその代謝物（合計 30 種類）の分析に成功している。

第 4 章では、植物に含まれる主要な脂肪成分である Triacylglycerol 類の分析法を構築し、合計 35 種類の化合物の定量分析に成功している。また分析結果から、たばこが黄色種系統とバーレー種系統に分類できることを見いだしている。

第 5 章では、植物に含まれるステロイドである Phytosterol とそのエステル誘導体について、分析方法を構築し、合計 20 種類の化合物の定量分析を行っている。そして、分析結果からたばこの種により Phytosterol とそのエステル体との比率に違いがあることを見いだしている。

第 6 章では、第 2 章から 5 章までの知見を用いて、たばこに含まれる低極性不揮発性成分の網羅的分析方法を構築している。そして、60 種以上の低極性不揮発性成分を同時に分離・検出することに成功している。さらに、この分析結果を用いて、たばこの品種、産地や着位を分類するモデルの構築に成功しており、シガレット製造の効率化の可能性を示している。

第 7 章では本論文の内容を総括し、今後の展望を述べている。

以上本論文では、たばこの葉面樹脂成分のうち、特に分析が困難であった低極性不揮発性成分の網羅的分析方法の開発に成功している。これは、たばこのみならず様々な植物に含まれる低極性不揮発性成分を科学的に理解することを可能としており、分析化学分野の発展に貢献し、理學上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。