

Title	内容の要旨；審査の要旨
Sub Title	
Author	
Publisher	慶應義塾大学工学部
Publication year	2021
Jtitle	慶應義塾大学工学部研究報告別冊 Vol.90, (2020.) ,p.1- 111
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50002003-20200002-0001

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.

内容の要旨

報告番号	甲 第 5427 号	氏 名	岩田 悠平
主 論 文 題 名 :			
銀河系中心超大質量ブラックホール Sgr A*の成長過程とその活動性			
<p>この宇宙には少なくとも二兆個の銀河があると言われている。そしてそのほとんどは、中心に 10^6–10^{10} 太陽質量の超大質量ブラックホール (Supermassive Black Hole; SMBH) を持つと考えられている。私たちの住む「銀河系 (天の川銀河)」も例外ではなく、その中心核「いて座 A* (Sgr A*)」は 4×10^6 太陽質量の SMBH とする説が有力である。点状電波天体である Sgr A*は、電波から X 線に渡る広い波長域で光度が激しく変動することが知られている。2000 年代初頭には、赤外線と X 線の光度に数十分程度の準周期的振動が検出されたとの報告があったが、その後の追観測で完全には確認できておらず、現在までその真偽について議論が続いている。このような短時間スケールの変動は、SMBH 周りの降着円盤の最内縁付近で生じる現象に起因すると考えられており、Sgr A*が一般相対論から予言されるブラックホールであることの強力な傍証となる。</p> <p>一方で、銀河中心に遍く存在すると考えられている SMBH であるが、その形成過程は完全には解明されていない。一つの有力な仮説として、銀河中心付近で爆発的な星形成が発生し、その際に誕生した多数の高密度星団の中心で数百太陽質量以上の中質量ブラックホール (Intermediate-mass Black Hole; IMBH) が形成され、それらが銀河中心で合体を繰り返すことで SMBH が形成されるというシナリオが提案されている。しかしながら、未だ IMBH の存在を示す決定的な証拠は得られておらず、銀河中心近傍における高密度星団の検出例も非常に限られている。つまり現状では、SMBH の「階層的形成・成長シナリオ」は観測的裏付けが十分ではない。</p> <p>上記の問題を解決するため、私は先ずアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (Atacama Large Millimeter and Submillimeter Array) によって取得された 230 GHz 帯のデータを用いて、Sgr A*の詳細な光度変動解析を行った。入念な強度較正によって得られた精密な光度曲線から、1 時間以上の長時間スケールの変動とともに、数十分程度の準周期的振動が十分な統計的有意性をもって検出された。400 万太陽質量のブラックホールでは最内安定円軌道の周期が約 30 分であり、今回検出された準周期的振動は降着円盤内縁付近の軌道運動に起因する可能性が高いと考えられる。これは SMBH 近傍での時空</p>			

の物理に迫る成果であり、同時に Sgr A*がブラックホールであることを示す一つの強力な観測的証拠を与えるものである。

さらに私は、銀河系中心領域で発見された高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 方向について、天文広域精測望遠鏡 (VLBI Exploration of Radio Astronomy) を用いた観測を行い、同方向に重なる低速度分子雲までの距離を測定することに成功した。CO-0.40-0.22 は、そのコンパクトな形状と極めて広い速度幅から、 10^5 太陽質量の IMBH によって散乱されたとする説が提唱されている。一方で、高速度分子雲と低速度分子雲との衝突によって広い速度幅が生じた可能性も否定できない。年周視差測定の結果、太陽系から低速度分子雲までの距離は $3.07^{+2.22}_{-0.91}$ キロパーセクと求められ、これが銀河系中心より手前の銀河系円盤部に属することが明らかとなった。したがって、両分子雲に物理的接触はないと考えられる。これにより、CO-0.40-0.22 の広速度幅を分子雲衝突起源とする説が棄却され、IMBH による重力散乱起源とする説がより強固となった。

それらに加えて私は、新たな IMBH 候補天体検出のための助走的研究として、野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いた高速度コンパクト雲 CO 0.02-0.02 方向の 3 mm 帯スペクトル線サーベイ観測を行った。この分子雲は超新星爆発数十個分に相当する膨大な運動エネルギーを有し、付随する円弧状の空間構造と其中的の赤外線点源群の存在から、埋もれた星団中の超新星爆発起源と考えられていた。しかしながら分子ガスの詳細な分布・運動を調べたところ、単純な膨張殻モデルでは説明出来ないことが判明し、超新星起源説に対しては疑念が生じていた。今回のスペクトル線サーベイ観測の結果に基づいて化学組成を調べた結果、衝撃波起源分子は高速度帯よりむしろ低速度帯で豊富であることが分かった。このことは超新星爆発起源説を否定するものではないが、高速度帯で重力散乱などの比較的穏やかな加速過程を示唆するものである。散乱源としては、やはり IMBH が有力な候補となる。

審査の要旨

報告番号	甲 第 5427 号	氏 名	岩田 悠平
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 岡 朋治
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 中迫 雅由
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 山本 直希
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 大村 亮

学士（理学）、修士（理学）岩田悠平君提出の学位請求論文は、「銀河系中心超大質量ブラックホール Sgr A*の成長過程とその活動性」と題し、本論5章より構成されている。この宇宙に存在する銀河は、その中心に遍く超大質量のブラックホール (supermassive black hole; SMBH) をもつと考えられている。私たちの住む「銀河系（天の川銀河）」も例外ではなく、その中心核「いて座 A* (Sgr A*)」は 400 万太陽質量の SMBH とする説が有力である。しかしながら Sgr A*が一般相対論から予言されるブラックホールかどうかは、正確には未確認である。加えて、銀河中心 SMBH の形成過程も完全には解明されていない。一つの有力な説として、爆発的星形成の結果生成した中質量のブラックホール (intermediate-mass black hole; IMBH) が、銀河中心において合体成長することで SMBH が形成されるという「階層的形成・成長シナリオ」が提案されているが、現状では観測的裏付けが十分でない。このような状況下において、著者は国内外で稼働中の複数のミリ波・サブミリ波帯望遠鏡を駆使して銀河系中心核 Sgr A*および周辺環境の詳細な分子スペクトル線観測を展開し、上述の問題解決を目指した研究を推進した。

本論文の第一章では、一般の銀河中心核の活動性と降着円盤モデルについて概説し、我々の銀河系中心核 Sgr A*の活動性と形成過程、さらにその周辺数百パーセクに渡って広がる「銀河中心分子層」と、そこで多数発見されている特異分子雲群「高速度コンパクト雲」について解説したのち、本研究の目的について述べている。

第二章では、南米チリにおいて稼働中の Atacama Large Millimeter and Submillimeter Array によって取得した 230 GHz 帯連続波データに基づいて得られた Sgr A*の精密な光度曲線を解析し、数十分程度の準周期的振動を検出したことを報告している。この時間スケールは、SMBH 降着円盤内縁付近の軌道運動に起因する可能性が高く、Sgr A*が SMBH であることを示す一つの強力な観測的証拠を与えるものである。

第三章では、VLBI Exploration of Radio Astronomy を用いた高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 方向の観測に基づき、同方向に重なる低速度分子雲までの距離を約 3 キロパーセクと算出している。これは銀河系の中心部（距離 8 キロパーセク）に位置する CO-0.40-0.22 に比べて遥かに手前であり、両者の間に物理的接触がないことが示された。これによって、CO-0.40-0.22 の有する異常に広い速度幅の成因が、IMBH による重力散乱と解釈する説がより強固となったことを結論している。

第四章では、野辺山宇宙電波観測所 45m 望遠鏡を用いた高速度コンパクト雲 CO 0.02-0.02 方向の 3mm 帯スペクトル線サーベイ観測に基づき、同分子雲の化学的特性を議論している。検出された 24 の分子種のうち、一酸化ケイ素 (SiO) 等の衝撃波起源分子は高速度帯よりむしろ低速度帯において豊富であることが明らかとなった。このことは、CO 0.02-0.02 が有する異常な速度幅の起源として超新星のような爆発現象より、重力散乱などの比較的穏やかな加速過程の寄与を強く示唆するものであり、ここにも IMBH が潜んでいる可能性を指摘している。

以上、本論文の内容をまとめると、著者は複数の電波望遠鏡を使用した観測の結果に基づいて、銀河系中心核 Sgr A*の短周期時間変動および IMBH の存在を示唆する二つの観測事実を発見した。これらの発見は、銀河系中心核の正体および中心核 SMBH の形成過程の解明において非常に重要な貢献をなすものであり、関連分野研究者から高く評価されている。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。

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5428	Name	SUMALI, Brian
Thesis Title			
Multimodal Feature Extraction for Psychiatric Disorder Screening			
<p>Mental health examinations or screenings are commonly performed by licensed psychiatrists in a health care location, but the advances in technology enable the development of clinical decision support systems. In the beginning, the features inputted to the machine include the answers from the examination conducted by the psychiatrist. However, recently the focus shifted into predicting a person's mental health without the need of conducting extensive tests.</p> <p>Two most common psychiatric disorders include depression and dementia. Depression is a mood disorder traditionally associated with persistent feeling of sadness whilst dementia is a collection of symptoms commonly caused by progressive neurological disorders. Both are popular research objectives of many automated psychiatric disorder screening studies. Unfortunately, most conventional studies did not consider the existence of "pseudodementia". Although the symptoms of depression and dementia are different, sometimes dementia-like symptoms might be observed in a depression patient, which is termed "pseudodementia". Distinguishing pseudodementia is hard even for expert psychiatrists and feature analysis may help solve the classification problem. The focus of this dissertation is the similarities, differences, and characteristics of the two psychiatric disorders: depression and dementia. Feature extraction and analysis are performed to a audiovisual database of clinical psychiatric patients. Automated psychiatric disorders using machine learning is also proposed.</p> <p>Chapter 1 introduces the background of psychiatric illness and automatic psychiatric disorder screening. Short review of conventional automatic psychiatric disorder diagnosis algorithms is described along with the limitations and significance of this study.</p> <p>Chapter 2 reviews of automatic psychiatric disorder screening in detail. The background of automatic screening and telemedicine in addition with common features and algorithms utilized are described in this chapter.</p> <p>In chapter 3 the facial feature analysis of both depression patients and dementia patients was performed. Conventional facial landmarks were extracted and analyzed. The visualizations of features correspond to depression, dementia, and features most important to distinguish depression and dementia is described in this chapter.</p> <p>In chapter 4 proposes an improvement of the facial landmark extraction for real-time tracking. Conventional facial landmark extraction techniques are notoriously inaccurate for non-forward-facing pose and it is pointless to instruct a psychiatric patient to be facing the camera at all times. In this chapter, an improvement for facial landmark extraction was proposed. The proposed facial landmark extraction algorithm is based on Cascaded Compositional Learning and is robust even for random facial poses.</p> <p>Chapter 5 and 6, are similar to chapter 3. In chapter 5, the focus was the speech features from the psychiatric patients, while in chapter 6, both facial features and speech features were utilized. Additionally, the similarities of facial landmarks and speech features are examined in chapter 6.</p> <p>Finally, this dissertation is summarized and concluded in chapter 7.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5428 号	氏 名	SUMALI, Brian
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）・博士（医学） 満倉 靖恵
	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） 青木 義満
		慶應義塾大学教授	工学博士 田中 敏幸

学士（理学）、修士（工学）SUMALI, Brian 君提出の学位請求論文は「Multimodal Feature Extraction for Psychiatric Disorder Screening」（精神疾患スクリーニングのためのマルチモーダルな特徴抽出）と題し、7章から構成されている。精神疾患と認知症はその症状が似通っているため、見分けがつきづらくその判断は医師にとって非常に難しい問題である。このため、臨床現場では誤った診断も少なからず発生していることが問題視されている。本研究ではこれらの問題点に着目し、医師との会話中に得られる表情の違いによって精神疾患患者と認知症患者を識別する方法、また会話中の音声のみを用いて識別する方法を示し、精神疾患患者と認知症患者をそれぞれ決定づける画像中の表情と音声の特徴量を同定し、実際の臨床現場でその有効性を検証している。

第1章は序論と本研究の目的を述べている。臨床現場において精神疾患を見分ける際に問題となる点は、うつ病や統合失調症を含む精神疾患患者と認知症患者の症状が酷似していることにある。医師であってもその見分けがつきにくく、精神疾患と認知症の診断は極めて難しい問題とされている。これらの点を考慮した背景および本研究の目的を明確化している。

第2章では、従来手法と本研究の位置付けを述べている。まず、本研究で扱う精神疾患と認知症について精査し、さらに精神疾患自動診断アルゴリズムおよび認知症自動診断アルゴリズムの従来手法を精査することで、その両方を同時に識別できる方法が未だ確立されていないことを示している。また、個別に検討されている自動診断システムや自動スクリーニング、遠隔診断について、それらを実用化する上での問題点を挙げ、提案システムの位置付けを明確にしている。

第3章では、医師と会話中の顔の表情から、精神疾患患者と認知症患者の表情の特徴をそれぞれ抽出し、臨床現場における問診中の顔表情から、精神疾患患者と認知症患者を見極めるための方法を提案している。その結果、80%の認識率を以って、精神疾患患者と認知症患者を見極めることができることを明らかにしている。

第4章では、第3章で行った顔の特徴を動画で追跡できる方法を提案し、動きが大きい患者や動きが速い患者に対してもその追跡が可能であることを示した上で、実際の臨床現場で精神疾患患者と認知症患者を分けるためのシステムとして適用できることを明らかにしている。その結果、1秒間に30フレームの速さでそれぞれの特徴を確実に追跡できることを明らかにしている。

第5章は医師との会話中の音声に注目し、精神疾患患者と認知症患者に特有の音声特徴の相違があることを明らかにしている。その結果、登録済みの患者で95%、登録していない患者でも83%の識別が可能であるとの検証結果を示している。

第6章では、患者を男性グループ・女性グループに分けた上で、画像と音声の両方を用いて精神疾患患者と認知症患者を分けるアルゴリズムを提案している。グループを分けない場合は90%であるのに対して、分けた場合は男性グループが96%、女性グループが86%となり、男性のみのグループの方が女性のみのグループより10%識別率が高いことを明らかにし、その考察を述べている。

第7章では、本論文の結論を述べ、全体を総括している。

以上要するに、本論文では臨床現場で問題となっている精神疾患患者と認知症患者の症状酷似問題に着目して、画像、音声、またその両方のそれぞれの特徴を精査することで、誤診断防止、自動スクリーニングの実現に向けた新たなシステムを確立することに成功し、生体信号計測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 5436 号	氏 名	石和田 尚弘
主論文題名： YAG:Dy を用いた燐光温度測定法による二次元断面温度分布計測に関する研究			
<p>高温流体中の二次元断面温度分布計測は工業用製品の持続的な向上を支える基盤技術である。特に、工業製品の品質改善や高効率化をする上で固体表面と流体での熱の受け渡しが問題となることが多く、固体表面近傍の熱輸送特性の解明は社会的にも学術的にも重要な研究課題である。本論文は、非接触での二次元温度計測手法の 1 つである燐光温度測定法を用いて高精度で固体表面付近の二次元断面温度分布を計測するための工学的手法を開発することを目的とし、実験的研究をまとめたものである。</p> <p>第1章では、まず社会的・学術的視座から本研究の背景を外観した。それに基づいて上述した本研究の目的を定めた上で、その目的を達成するための研究遂行方法について述べた。</p> <p>第2章では各種の二次元温度計測法との対比および燐光温度測定法に関する従来研究の問題点・制約について調査した上で、本研究の学術上の位置付けを明らかにした。</p> <p>第3章では、測温燐光体の探索としてその発光中心および母体格子の有力な材料を比較調査した。その結果、発光中心としてジスプロシウム、母体格子としてイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶による YAG:Dy を選定するとともに、二波長強度比法で用いる二枚のバンドパスフィルタの波長域の理論的な最適値が(458 ± 17) nm と (488 ± 12) nm であることを明らかにした。</p> <p>第4章では、YAG:Dy の酸素消光特性として、雰囲気酸素分圧を変化させた際の燐光スペクトルおよび減衰時定数を調査した。その結果、二波長強度比は 873 K と 1073 K 条件の間を境に温度上昇に伴う酸素消光特性がより顕著に観測された。また、900 K 未満では時定数がほぼ一定であるが、約 1000 K を境に酸素分圧が大きいほど時定数が短くなることを明らかにした。</p> <p>第5章では、測定システムの検討と予備の実験について述べた。画像解析手法において、本研究で採用した粒子ごとに中心位置を検出したのち二波長強度比分布を求める手法は、長い計測時間を要するがトレーサ粒子の熱容量による影響が低減されることを確認するとともに、計測所要時間と侵襲性のトレード・オフ関係を指摘した。</p> <p>第6章では、測定システムの有効性を検証した。室温の噴流の下流に加熱衝突板を設置し室温～700 K の温度分布を形成し、板面近傍の二次元断面温度分布を計測した。その結果、板面近傍の二次元温度分布を 0.1 mm オーダで計測し、板面近傍の温度境界層厚さを明らかにした。また、参照温度として用いた熱電対による結果との差の割合は 4.8～8.3 % 以内に収まり、非接触で二次元断面温度分布を計測するための有益な計測手法と判断できる結果であった。なお、実験的に示された計測温度上限は加熱衝突板の制約によるものであり、システムの測定上限温度として 900 K までの可能性を理論的に推定した。</p> <p>第7章では、本論文の結言として、研究全体を総括した上で、問題点と今後の課題および展望を述べた。</p> <p>以上の内容の通り、本研究では、燐光温度測定法における YAG:Dy の測温燐光体としての有効性を示し、さらに本研究で採用した測定システムを用いて実際に衝突噴流場での二次元断面温度計測の実施・検証を行ったことにより、YAG:Dy を用いた燐光温度測定法が温度計測の有用な一手法となり得るとの新たな知見を示すに至った。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5436 号	氏 名	石和田 尚弘
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 横森 剛
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 小川 邦康
		慶應義塾大学教授	博士（工学）・ TeknD 深淵 康二
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 田口 良広

修士（工学）を有する石和田尚弘君の学位請求論文は「YAG:Dy を用いた燐光温度測定法による二次元断面温度分布計測に関する研究」と題し、全 7 章からなる。本論文をもって、2020 年 7 月より主査及び副査による専修内予備審査が開始され、本人からの研究内容解説（動画で配信）に対する複数回の質疑応答、予備審査会（Web 会議）を経て予備審査を通過し、専攻において受理申請が承認されるに至った。その後、2020 年 10 月 27 日に公聴会および最終審査会が行われ、最終的な論文審査と学識確認を経て本報告を行うに至った。

以下、本論文の概要について述べる。

エンジンなどの熱機関をはじめとして、エネルギー利用に関連する熱機器を安全かつ効率よく利用するためには、その機器内における熱輸送現象の詳細な理解や適切な熱マネジメントが必要不可欠であり、作動流体を含む各温度の状態を正確に把握すること、すなわち温度計測が一つの重要な鍵となる。本論文は、非接触二次元温度計測手法として近年注目を集めている燐光温度測定法を対象に、気体流動場の二次元断面温度分布計測の高精度化とその手法の確立を目的とし、実験的に研究を行ったものである。

第1章では、社会的および学術的な観点から本研究の背景と意義、目的を述べ、その目的を達成するための研究遂行方法について述べている。

第2章では、従来の典型的な各種二次元温度計測法と本研究で対象としている燐光温度測定法の比較、および燐光温度測定法における現状での問題点・制約について調査した上で、本研究の学術上の位置付けを明らかにしている。

第3章では、数多く存在する燐光体の中から燐光温度測定法に適する燐光体の選別・検討を行い、最終的にYAG:Dyを選定するに至った経緯と理由を述べている。また、燐光温度測定法の一種である二波長強度比法において、YAG:Dyを使用する際の燐光検出波長域の最適化も行っている。

第4章では、選定された燐光体の酸素消光特性を調査し、測定対象とする気体中の酸素分圧の影響について検討している。特に、常温から900 K程度の温度範囲では酸素分圧の影響は少ないが、それ以上の温度域になると酸素分圧の影響が無視できなくなることを明らかにしている。

第5章では、燐光体を利用した気体流動場の二次元断面温度分布計測に関する具体的な手法について言及している。特に、二波長強度比法において実施する画像解析中で、本研究で提案・採用した粒子位置特定手法を用いると、トレーサーである燐光体粒子の熱的な応答遅延の影響を低減させることが可能であり、温度計測の高精度化に繋がることを提示している。

第6章では、本研究で構築・採用した計測システムを用いて、加熱衝突板を用いた衝突噴流場中で二次元断面温度分布計測を実施し、その有効性と精度について検証している。結果として、加熱衝突板近傍での気体温度変化を捉えることに成功し、また、熱電対による計測と比較しても良好な精度を有していたことを報告している。

最後に第7章では、本論文の結言として、研究全体を総括した上で、問題点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、本論文の成果は、燐光温度測定法におけるYAG:Dyの有効性を示し、さらに本研究で構築・採用した計測システムを用いて実際に二次元断面温度計測の実施・検証を行ったことにより、YAG:Dyを用いた燐光温度測定法が温度計測の有用な一手法となり得るとの多くの知見を与えており、工業上および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 5449 号	氏 名	杉浦 隆弥
主論文題名： Designs of Next Generation c-Si Solar Cells by Numerical Simulation (数値シミュレーションによる次世代結晶シリコン太陽電池の設計)			
<p>結晶シリコン太陽電池は現在の太陽電池市場における約90%を占めており、非常に重要な立ち位置にある。太陽光発電は再生可能エネルギーの候補として最も重要なものの一つであり、結晶シリコン太陽電池の研究開発は将来のエネルギー事情に大きな影響を与える。結晶シリコン太陽電池の性能向上を目指して、これまでに多くの先進的な太陽電池構造が提案されてきた。</p> <p>結晶シリコン太陽電池を含む、半導体デバイスの性能評価をシミュレーションで行う手法がある。デバイスシミュレーションは、半導体デバイス構造を入力し光や電圧などの外部入力条件に対する応答を出力する事で半導体デバイスの特性を評価する事が可能である。実際にデバイスを製造する手法と比較して、時間やコストの観点で有利であり、各種パラメータの評価の観点で優位性がある。</p> <p>本論文は、次世代結晶シリコン太陽電池の中でも注目されている PERC(Passivated Emitter and Rear Cell)、IBC(Interdigitated Back Contact)、TOPCon(Tunnel Oxide Passivated Contact)に関して数値シミュレーションによる性能向上手法を提案し報告するものである。</p> <p>第1章に、本研究の背景と従来の研究を概説した。特に、結晶シリコン太陽電池の需要が大きく、将来性が期待されている事について総説した。</p> <p>第2章に、太陽電池の基本的な物理現象の解説を述べた。太陽電池の原理から性能向上に求められる項目を物理現象から解説した。</p> <p>第3章に、数値シミュレーション上のモデリングについて説明し、光学的シミュレーションと電氣的シミュレーションについて物理現象のモデリングとパラメータについて導入した。</p> <p>第4章に、両面受光方式を取り入れた PERC に関して、裏面のパッシベーション及び電極コンタクトの最適な設計を提案した。基板の特性ごとに最適な設計と、支配的な物理現象について考察した。</p> <p>第5章に、両面受光方式を取り入れた IBC に関して、表側のドーピング手法として提案されている2種類の方式を比較検討し、最適な太陽電池構造設計を提案した。設計の提案とともに損失解析による評価を行う事で、支配的な損失とそれを回避する手法について提案した。</p> <p>第6章に、TOPCon に関して、トンネル材料の比較検討を行い、最適な材料の組み合わせを提案した。基板の特性により材料の選択が左右される事、それに関連する物理現象について明らかにした。</p> <p>第7章に、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。本研究で得られた成果が結晶シリコン太陽電池の高性能化に重要である事を結論とした。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5449 号	氏 名	杉浦 隆弥
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 中野 誠彦
	副査	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） 野田 啓
		慶應義塾大学教授	Ph. D. 伊藤 公平
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 松本 智

学士(工学)、修士(工学)杉浦隆弥君提出の学位請求論文は「Designs of Next Generation c-Si Solar Cells by Numerical Simulation」（数値シミュレーションによる次世代結晶シリコン太陽電池の設計）と題し、7章から構成されている。結晶シリコン太陽電池は現在の太陽電池市場における約90%を占めており、再生可能エネルギーの観点からも非常に重要である。したがって、結晶シリコン太陽電池の研究開発は将来のエネルギー事情に大きな影響を持つ。本論文は、次世代結晶シリコン太陽電池の中でも注目されている PERC(Passivated Emitter and Rear Cell)、IBC(Interdigitated Back Contact)、TOPCon(Tunnel Oxide Passivated Contact)に関して数値シミュレーションによる性能向上手法を提案し報告している。

第1章では、本研究の背景と従来の研究を概説し、特に、結晶シリコン太陽電池の需要が大きく、将来性について述べるとともに課題を明らかにしている。

第2章では、太陽電池における物理現象を解説し、太陽電池の原理から性能向上に求められる項目を物理現象から考察している。

第3章では、数値シミュレーション上のモデリングについて説明し、光学的シミュレーションと電氣的シミュレーションについて物理現象のモデリングとパラメータについて示している。

第4章では、両面受光方式を取り入れた PERC に関して、裏面のパッシベーション及び電極コンタクトの最適な設計を提案し、また基板の特性ごとの最適な設計と、支配的な物理現象について考察している。

第5章では、両面受光方式を取り入れた IBC に関して、表側のドーピング手法として提案されている2種類の方式を比較検討し、最適な太陽電池構造設計を提案している。最適設計の提案とともに損失解析による評価を行う事で、支配的な損失とそれらを回避する手法を示している。

第6章では、TOPCon に関して、トンネル材料の比較検討を行い、最適な材料の組み合わせを提案している。基板特性により材料の選択が左右される事と、関連する物理現象について明らかにしている。

第7章では、各章で得られた内容をまとめ、本論文全体の結論を述べている。

以上要するに、本研究は、現在提案されている3つの構造の次世代結晶シリコン太陽電池設計において、デバイスシミュレーションを用い、具体的な最適化手法を示すことで、発電効率を向上させる指針を示しており、半導体工学分野において、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 5450 号	氏 名	鯨井 翔
主論文題名： Phase-field モデルおよび転位-結晶塑性モデルに基づく 動的再結晶に対する材料モデルの構築とそのシミュレーション			
<p>動的再結晶は、構造材料創製の際に力学特性決定の主因の一つとなる現象であり、同現象を予測することは、材料設計の産業分野において重要である。しかしながら、動的再結晶に対して、転位挙動と組織形成の相互作用を考慮して構築したモデルは存在しない。そこで本研究では、動的再結晶現象を結晶欠陥挙動に基づいて表現する材料モデルを構築した。その際、組織形成の表現には Multi-phase-field (MPF) モデルを採用し、変形場のモデルから得られる転位蓄積や変態ひずみの情報を結晶成長の駆動力として導入した。一方、秩序変数の変化に伴う微視組織情報を逐次更新して転位-結晶塑性モデルに適用した。このように両モデルを連成させて Multi-physics 解析を行うことで数種の動的再結晶現象を計算力学的に再現し、本モデルの妥当性を検証した。</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、本研究の意義について言及した。</p> <p>第 2 章では、金属の大変形挙動に対し、配置の概念に基づく運動学を記述した。その際、結晶欠陥の寄与による変形成分を記述するための中間配置を導入し、配置構成を全 5 配置構成として再編した。また、塑性変形の記述には転位-結晶塑性モデルを採用し、塑性変形こう配をすべりの重ね合わせで表現した。さらに、連続分布転位論の立場から結晶欠陥を定義し、孤立転位密度および転位対密度を具体的に表現した。</p> <p>第 3 章では、自由エネルギーを定義するとともに、弱形式の釣合い法則である Updated Lagrange 形式の速度形仮想仕事の原理を定式化した。</p> <p>第 4 章では、第 3 章で導入した自由エネルギーに基づいて熱力学的検討を行い、弾粘塑性構成式および硬化則を導出した。まず、Clausius-Plank の不等式の保存部分から導出される弾性構成式より、速度形弾粘塑性構成式を導いた。続いて、散逸部分から硬化則が導出されることを示し、加工硬化における転位密度と流れ応力の関係を記述する流れ応力の発展式を導いた。さらに、得られた構成式を第 3 章で得た仮想仕事の原理に適用することで、変形場の支配方程式を導出した。</p> <p>第 5 章では、本研究で用いる基礎方程式系について述べた。まず、秩序場の発展を記述する Phase-field モデルについて言及し、再結晶組織形成の支配方程式を導出した。また、多数の相の発展および方位進展を表現可能な Phase-field モデルを提案した。続いて、マイクロ-マクロスケールの橋渡しを行う均質化法について言及し、第 4 章で構築した変形場の支配方程式をマイクロ構造およびマクロ構造の支配方程式に分離した。</p> <p>第 6 章では、Phase-field モデルと転位-結晶塑性モデルを連成させた Multi-physics 解析を実行することで動的再結晶現象の再現を試みた。はじめに、純 Ni に対して、圧延加工を想定した動的再結晶解析を実施し、同現象を再現した。その際、硬化則に温度依存性を導入することで、温度変化に対する微視組織形成の変化について検討した。次に、次世代構造材料として期待される LPSO 型 Mg 二相合金に対して動的再結晶解析を実施し、同合金の材料変形機構に関する検討を行った。同時に第 5 章で提案した多数の相の発展および方位進展を表現可能な Phase-field モデルの再結晶現象への適用可能性について検討した。最後に、TRIP (Transformation-induced plasticity) 鋼を対象とした Multi-physics 解析を実施し、マルテンサイト相を構成する各バリエーションの体積分率を秩序変数に対応付けることで、マルテンサイト変態の進展を MPF モデルによって表現できるようにした。得られた応力ひずみ線図からはマルテンサイト変態の進展とそれに伴う材料強化、ならびに加工硬化率の回復といった TRIP 鋼の材料特性の主要因を確認した。</p> <p>第 7 章は結言であり、構築したモデルと数値解析より得られた知見を要約した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5450 号	氏 名	鯨井 翔
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
		慶應義塾大学教授	工学博士 鈴木 哲也
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 村松 眞由

学士(工学), 修士(工学)鯨井翔君提出の学位請求論文は「Phase-field モデルおよび転位-結晶塑性モデルに基づく動的再結晶に対する材料モデルの構築とそのシミュレーション」と題し, 7 章から構成されている。

動的再結晶は, 構造材料創製の際に力学特性決定の主因の一つとなる現象であり, 同現象を予測することは, 材料設計の産業分野において重要である。しかしながら, 動的再結晶に対して, 転位挙動と組織形成の相互作用を考慮して構築したモデルは存在しない。そこで本研究では, 動的再結晶現象を結晶欠陥挙動に基づいて表現する材料モデルを構築している。その際, 組織形成の表現には Multi-phase-field (MPF) モデルを採用し, 変形場のモデルから得られる転位蓄積や変態ひずみの情報を結晶成長の駆動力として導入している。一方, 秩序変数の変化に伴う微視組織情報を逐次更新して転位-結晶塑性モデルに適用している。このように両モデルを連成させて Multi-physics 解析を行うことで数種の動的再結晶現象を計算力学的に再現し, 本モデルの妥当性を検証している。

第 1 章は緒言であり, 本研究の背景と先行研究を紹介し, 本研究の意義について言及している。

第 2 章では, 金属の大変形挙動に対し, 相変態に対する配置を含め, 変形の配置を全 5 配置で再編するとともに, 有限変形理論に適合する転位密度の定義について述べている。

第 3 章では, 自由エネルギーを定義するとともに, 弱形式の釣合い法則である Updated Lagrange 形式の速度形仮想仕事の原理を定式化している。

第 4 章では, 第 3 章で導入した自由エネルギーに基づいて熱力学的検討を行い, 弾粘塑性構成式および硬化則を導出している。さらに, 得られた構成式を第 3 章で得た仮想仕事の原理に適用することで, 変形場の支配方程式を導出している。

第 5 章では, 本研究で用いる基礎方程式系について述べている。まず, 秩序場の発展を記述する Phase-field モデルについて言及し, 再結晶組織形成の支配方程式を導出している。また, 多数の相に対する秩序と方位の進展を表現可能な Phase-field モデルを提案している。続いて, ミクロ-マクロスケールの橋渡しを行う均質化法について言及し, 第 4 章で構築した変形場の支配方程式を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。

第 6 章では, Phase-field モデルと転位-結晶塑性モデルを連成させた Multi-physics 解析を実行することで動的再結晶現象の再現を試みている。はじめに, 純 Ni に対して, 圧延加工を想定した動的再結晶解析を実施し, 同現象を再現している。その際, 硬化則に温度依存性を導入することで, 温度変化に対する微視組織形成の変化を表現し, 得られる力学特性が実験結果に整合することを確認している。次に, 次世代構造材料として期待される LPSO (Long period stacking ordered) 型 Mg 二相合金に対して動的再結晶解析を実施し, 同合金の変形機構に関する検討を行っている。同時に第 5 章で提案した多数の相に対する秩序と方位の進展を表現可能な Phase-field モデルの再結晶現象への適用可能性について調べている。最後に, TRIP (Transformation-induced plasticity) 鋼を対象とした Multi-physics 解析を実施し, マルテンサイト相を構成する各バリエーションの体積分率を秩序変数に対応づけることで, マルテンサイト変態の進展を MPF モデルによって表現している。得られた応力ひずみ曲線からは, マルテンサイト変態の進展に伴う材料強化と加工硬化率の回復を再現し, それに起因する高強度と高延性の両立を確認している。

第 7 章は結言であり, 構築したモデルと数値解析より得られた知見を要約している。

以上要するに本研究は, 結晶欠陥の挙動に基づいて動的再結晶現象をモデル化し, 金属の組織形成による力学特性を計算力学的に予測するものであり, 固体力学および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 5460 号	氏 名	若村 浩明
主 論 文 題 名： 量子系における最適制御：最適状態保護と最速制御			
<p>本論文の主題は量子系の最適制御である。制御とは系を所望の状態に保つあるいは変化させることを指す。量子計算などの量子情報処理においては、工学的な目的を達成するために量子系を自在に制御する必要がある。また量子系を自在に制御することは、系に対する操作や測定がどのようなダイナミクスを引き起こすのかを理解することに他ならない。特に最適な制御は、量子ダイナミクスの限界を浮き彫りにするという点で基礎的に興味深い。本論文では最適状態保護と最速制御を扱い、外乱から量子状態をどれだけ保護できるか、所望の時間発展をどれだけ速く実現できるかをそれぞれ議論する。</p> <p>第 1 章では本論文全体を概説し、第 2, 3 章では量子情報理論の基礎知識を記す。</p> <p>第 4, 5 章では、量子系の状態を最適に保護する制御法を取り扱う。ノイズを受ける量子系に対し、その影響を可能な限り抑えることは応用上重要である。先行研究では、二状態を保護する問題は詳しく調べられていたが、三状態以上を保護する制御はいくつかの特別な例が知られているだけであった。本論文では完全に未知な状態を保護する問題を一般に議論し、単位的ノイズという広いクラスのノイズに対する最適な制御が、系に対して全く行わないか強く測定を行う制御（古典的な制御）であることを示した。これらは、弱い測定を含む真に量子的な制御と区別される。この結果と、特定の非単位的ノイズに対して量子的制御が有用であることを示した従来結果から、ノイズの単位性によって最適制御の性質が大きく変わることが明らかとなる。</p> <p>第 6, 7 章では、量子系の時間発展を可能な限り短時間に実現する制御を取り扱う。この時間最適制御は、時間的資源を節約するだけでなく、ノイズを受ける時間を最小限に抑えるという点でも重要である。量子系の時間最適制御問題の定式化は、系のハミルトニアンを表す制約条件が等式で書ける場合については既に知られていた。本論文では、不等式条件を含む一般の制約条件を取り扱える、時間最適量子制御の一般論を整備した。この理論の下では最適性条件を自明に満たしてしまう特異制御の存在が示されるので、特異制御に対する最適性条件を一次変分の枠組みを超えて導いた。また、系に固有の制御不可能な場（ドリフト場）と特異制御、不等式条件の関係についても議論する。これらの結果は、量子系の時間最適制御を導くための一般的方法を与える。最後に、二準位系および三準位の最適な特異制御を例示する。</p> <p>第 8 章では、本論文を総括した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5460 号	氏 名	若村 浩明
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学専任講師	博士（理学） 古池 達彦
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学）・医学博士 藤谷 洋平
		慶應義塾大学教授	博士（情報理工学） 山本 直樹
		慶應義塾大学専任講師	博士（理学） 長谷川 太郎

学士（理学）、修士（理学）若村浩明君の学位請求論文は、「量子系における最適制御：最適状態保護と最速制御」と題し、全8章よりなる。

量子情報処理が現実のものになりつつあるのに従い基礎理論の重要性は急激に高まっている。特に近未来に実用化されると言われるエラー訂正機能を持たない量子計算機においては、ノイズによる量子状態の劣化を防ぎ、コヒーレンスを消失する前に素早く計算を行うことが必須である。一方、情報処理の効率性の原理的限界を見出すことを通じて量子力学そのものの理解を深めることができる。本論文の主題はノイズ下の量子状態の保護および時間最適な量子操作である。

第1章において研究背景が概観され、第2章で量子操作の一般論、第3章で量子ビット系の数理論が既存研究に基づき解説される。

第4章と第5章で、量子状態保護に関する研究成果が述べられる。入力状態がノイズを受けた後、量子操作によってできるだけ元の状態を回復する問題が議論される。第4章で、事後操作だけでは、任意の入力状態を保護することは本質的に不可能であることが示される。既存研究から、入力が二つの既知状態のいずれかである場合は事後状態を弱く測定してから操作する「真に量子的な」最適状態保護操作が存在することが知られているので、状態保護のためにはノイズを受ける前の状態のある程度知ることが本質的に必要であると示唆される。第5章において事前事後制御の問題が論じられる。古典的方法とは、何も操作を行わない方法、および、事前に射影測定を行い事後に射影測定後の状態を再準備する方法の二つであるが、偏りのないノイズの下での一量子ビット、およびある種のノイズの下での多量子ビットの場合について、古典的な方法を超える真に量子的な方法はないことが示される。従来研究とあわせて考えると、有効な量子的な状態保護方法が存在するためには、ノイズに偏りがあることが必要であると推論される。

第6章と第7章で、ハミルトニアンを所与の制限下で操ることにより所望のユニタリ変換を最速で実現する「時間最適量子制御」の問題が論じられる。「量子量速曲線法（QB）」と呼ばれる変分原理に基づく一般的枠組が存在するが、第6章では、ポントリャーギンの最大値原理（MP）を用いることによりQBが大幅に拡張される。特に大きな進歩は従来扱えなかった不等式拘束が扱えることで、これにより理論は実用上および理論上遭遇するほぼすべての系に適用可能になった。一方、MPは一次変分に相当する最適性の必要条件であるため、条件を自明に満たし最適解の候補から除外できないような、特異的な制御が存在してしまう。この特異的な制御が最適になる可能性を排除または吟味するため、二次変分に相当するMPを超えた解析が行われ、特異制御の最適性条件が見出された。さらに、理論を適用することで、拘束条件の特徴に応じて最適制御にどのような制限がつくかが一般的に論じられた。

第8章で以上の結果が総括されている。

本論文において、量子状態保護の最も基本的な状況での原理的限界が厳密に導かれ、時間最適問題に対しては非常に適用範囲が広い一般論が展開された。これらは量子情報処理および量子基礎の分野への大きな貢献であり、今後の応用および発展も期待される。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 5461 号	氏 名	中村 知繁
主 論 文 題 名 :			
Robust causal inference via subclassification and covariate balancing methods (層別化法と共変量釣り合い法による頑健な因果効果の推定)			
<p>本論文は、調査観察データから因果効果を頑健に推定するための手法である層別化 (subclassification) 法、及び、共変量釣り合い (covariate balancing) 法に関する研究成果をまとめたものである。調査観察データにおける因果効果の推定では、強く無視可能な割り付けの条件のもとで、傾向スコアによる重み付け推定量がよく用いられている。この際、問題になるのは、傾向スコアに対するモデルの誤特定によって、因果効果推定量が大きなバイアスを被ることである。この問題に対して、共変量釣り合い法、及び、層別化法は有効なアプローチとして知られている。</p> <p>第一章は序論であり、本論文で扱う統計的因果推論の問題の定式化と、本論文での興味の対象である平均処置効果などのパラメータの紹介と、その推定に関連する既存の手法に関してまとめている。</p> <p>第二章では、共変量釣り合い法による因果効果の頑健な推定について述べる。まず共変量釣り合い法について説明した上で、従来用いられてきた処置を受ける確率をモデル化する従来のアプローチとの相違点を述べ、本手法により得られる推定量が傾向スコアのモデル誤特定に対して頑健性を持つことを述べる。その後、共変量釣り合い法を用いて、メジャーリーグにおけるスクイズ作戦の有効性を解析した結果を示す。さらに、共変量釣り合い法と従来用いられてきたアプローチによる結果を比較し考察する。</p> <p>第三章では、層別化法による頑健な因果効果の推定について述べ、層別化の新たな手法である causal subclassification tree を提案する。層別化法については過去に様々な研究がなされているが、その際に指摘されてきたのは層の数が固定化されると推定量にバイアスが生じるという問題である。本論文では、指摘された問題を解消する causal subclassification tree アルゴリズムを提案し、本アルゴリズムから得られる層別化推定量が、root-N consistency を満たすことを示す。さらに、シミュレーションを通して、提案手法の実データ解析における有効性を述べる。</p> <p>第四章は、共変量釣り合い法、及び causal subclassification tree に関するここまでの議論をまとめる。また層別化推定量について指摘されている、層内バイアスに関する課題と今後の展望についても述べる。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5461 号	氏 名	中村 知繁
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 南 美穂子
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（理学）白石 博
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学）小林 景
		慶應義塾大学准教授	博士（工学）林 賢一
		統計数理研究所教授	学術博士 金藤 浩司

学士（工学）、修士（工学）中村知繁 君提出の学位請求論文は、“Robust causal inference via subclassification and covariate balancing methods”（層別化法と共変量釣り合い法による頑健な因果効果の推定）と題し、全4章から構成されている。本論文は、調査観察データから因果効果を頑健に推定するための手法である層別化（subclassification）法、及び、共変量釣り合い（covariate balancing）法に関する研究成果をまとめたものである。調査観察データにおける因果効果の推定では、強く無視可能な割り付けの条件のもとで、傾向スコアによる重み付け推定量がよく用いられている。この際、問題になるのは、傾向スコアに対するモデルの誤特定によって、因果効果推定量が大きなバイアスを被ることである。本論文では、この問題に対して、傾向スコアの推定を改善する共変量釣り合い法、傾向スコアを用いた因果効果の頑健な推定法として層別化法について議論し、実データへの応用とアルゴリズムの提案、推定量の漸近的な性質の解明をしている。

第一章は序論であり、本論文で扱う統計的因果推論の問題の定式化と、本論文での興味の対象とする、処置群と対照群の結果の差である平均処置効果などの紹介、その推定に関連する既存の手法に関してまとめている。

第二章では、共変量釣り合い法による因果効果の頑健な推定について議論している。まず共変量釣り合い法について説明した上で、従来用いられてきた、処置を受ける確率をモデル化するアプローチとの相違点を述べ、本手法により得られる推定量が傾向スコアのモデル誤特定に対して頑健性を持つことを述べている。その後、共変量釣り合い法を用いて、メジャーリーグにおけるスクイズ作戦の有効性を解析した結果を示し、従来法では調整後も処置群（スクイズ群）と対照群（非スクイズ群）の共変量分布が大きく異なるのに対し、共変量釣り合い法では、より適切に調整されることを示している。

第三章では、層別化法による頑健な因果効果の推定について述べ、層別化の新たな手法である causal subclassification tree を提案している。層別化法については過去に様々な研究がなされているが、その際に指摘されてきたのは層の数が固定化されると推定量にバイアスが生じるという問題である。本章では、指摘された問題を解消する causal subclassification tree アルゴリズムを提案し、このアルゴリズムから得られる層別化推定量が root-N consistency を満たすことを示している。また、シミュレーションを通して、提案手法の実データ解析における有効性、特に、モデルの誤特定があった場合に従来法を大きく改善すること、また、傾向スコアの推定法として問題を指摘されていた機械学習法も提案手法と組み合わせることによって平均二乗誤差の小さい性質の良い推定量が得られることを示している。

第四章は、共変量釣り合い法、及び causal subclassification tree に関するここまでの議論をまとめ、層別化推定量について指摘されている、層内バイアスに関する課題と今後の展望についても述べている。

このように、本論文は、因果効果の推定において傾向スコアに対するモデルの誤特定によって推定量が大きなバイアスを被るという問題に対して、解決法を議論し、新たなアルゴリズムを提案してその有用性を示しており、この分野の発展に大きく寄与し、現実の問題解決に活用されるものと思われる。

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 5462 号	氏 名	木我 亮太郎
主論文題名： Experimental study of nano-scale diffusion in silicon (シリコン中のナノスケール拡散の実験的研究)			
<p>シリコン(Si)集積回路の性能向上は過去 50 年以上に渡りトランジスタの寸法縮小により得られてきた。最新 MOSFET ではゲート長が数 10nm まで到達したが、その設計と製造にはナノテクノロジーの最先端が集約されている。その一つが、ソース・ドレイン領域の微細化に向けてドーパントであるホウ素(B)を浅く急峻に分布させる技術である。特に弗化ホウ素(BF₂⁺)をイオン注入することで B の余分な拡散が抑制できることが経験的に知られ製造現場で採用されているが、その物理的モデルは確立されていない。さらなる微細化に向けては、B がフッ素(F)と共存する場合の拡散に関して、定量性に優れたモデルを確立し、次世代トランジスタ設計・製造プロセス開発に活用する必要がある。そしてゲート長が 10nm を切る近未来においては、現在の平面型トランジスタでは短チャネル効果の抑制が困難になるため、立体型ナノトランジスタへの移行が始まっている。三次元になると体積(バルク)に対する表面の比率が増えるため、ドーパント拡散等をモデル化する第一歩として、ナノ三次元構造の酸化時のシリコン自己拡散現象を物理的に理解する必要がある。これらの物理モデルは、先端シリコントランジスタとその工程設計で活用される Technology Computer-Aided Design (TCAD) プロセスシミュレータの精度向上に不可欠なものである。</p> <p>そこで本研究では、B と F がイオン注入されたシリコン半導体中の過渡的ナノ拡散(非熱平衡・非定常)実験を、背景において強い影響を及ぼすシリコン自己拡散の解析とともに統合的に実施し、定量的に実験結果を描写するモデルを構築することに取り組み成功した。また、三次元縦型トランジスタとしての利用開発が進む、Si ウェハ上にて微細加工によって作製された縦型ナノ円柱(ピラー)の側面を熱酸化し、その間に生じる Si ナノ自己拡散を実験的に評価し、その結果を定量的にモデル化することに成功した。</p> <p>本論文は 5 章から構成される。第 1 章で、トランジスタ微細化の進展と Si 中拡散の学術的背景を概観し、本研究の位置づけが示される。第 2 章で、Si 中の拡散及び熱酸化現象の基礎と実験手法が説明される。第 3 章では、B と F がイオン注入された場合のナノ拡散実験が、Si 同位体多層膜を用いた Si 自己拡散現象の評価とともに議論される。様々な条件における拡散実験を定量的かつ矛盾なく表すモデルを構築し、数値計算による定量解析に基づき、Si 点欠陥と F のクラスター発生と、F と B の直接的相互作用という二つの要因により、B ナノ拡散が F により抑制されることが示される。第 4 章では Si ナノピラー熱酸化中の Si 自己拡散実験が議論される。直径 200 nm の Si ナノピラーでは Si/SiO₂ 界面面積が平面 Si の約 7 倍になる。しかし本実験では、ナノピラー酸化中の Si 自己拡散が、平面 Si 酸化の自己拡散とほぼ変化がないことが示される。このことは、ピラーが立脚する(100)Si 表面の酸化によりバルク中に注入された過剰 Si 格子間原子がピラー内にも流入したことを示唆する。この結果は、三次元ナノ構造の形状と基板とを総合的に考慮してナノ拡散現象を理解すること重要性を示した。第 5 章ではまとめと今後の展望が示される。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5462 号	氏 名	木我 亮太郎
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	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 中野 誠彦
		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	Ph. D. 清水 智子

学士（工学）、修士（工学）木我亮太郎君提出の学位請求論文は“Experimental study of nano-scale diffusion in silicon”（シリコン中のナノスケール拡散の実験的研究）と題し、5章から構成されている。シリコン（Si）集積回路の性能向上はトランジスタの寸法縮小により得られてきた。すでにチャンネル長は10nm程度まで短縮され、さらなる微細化に向けては、製造過程での熱処理で生じるドーパントの拡散を抑える手法を、抑制機構の解明に基づき確立する必要がある。そこで本研究ではpチャンネルトランジスタのソース・ドレイン形成に用いられるホウ素（B）の拡散が、フッ素（F）の存在により抑制される機構の解明を行なった。また、次世代の縦型トランジスタ材料として注目されるSi縦型ナノ円柱（ピラー）において、側面ゲート絶縁膜形成のための熱酸化過程に伴うSi自己拡散を定量的に解析・モデル化した。

第1章では、トランジスタにおける微細化と、Si中の拡散研究の背景を概観し、本研究の位置づけが示される。

第2章では、Si中の拡散及び熱酸化現象の基礎と実験手法が説明される。

第3章では、BとFがイオン注入された場合のナノ拡散実験が、Si同位体多層膜を用いたSi自己拡散現象の評価とともに議論される。様々な条件における拡散実験を定量的かつ矛盾なく表すモデルを構築し、数値計算による定量解析に基づき、i) Si点欠陥とFのクラスター発生と、ii) FとBの直接的相互作用という二つの要因により、Bナノ拡散がFにより抑制されることが示される。

第4章では、Siナノピラーの熱酸化に関する実験が議論され、ナノピラー酸化中のSi自己拡散が、平面Si酸化の自己拡散とほぼ変化しないことが示される。このことは、ピラーが立脚するSi基板表面の酸化によってウエハー中に注入された過剰Si格子間原子が、ピラー内部の拡散に影響を及ぼしたことを示唆する。この結果は、三次元ナノ構造の形状と基板とを総合的に考慮してナノ拡散現象を理解することの重要性を示した。

第5章では、まとめと今後の展望が示される。

以上要するに、本研究では、先端トランジスタ製造過程に関するナノメーター領域での原子拡散を正確に測定・モデル化し、その現象を司る機構の解明に成功した。本研究で構築された拡散モデルは、先端シリコントランジスタの工程設計で活用されるTechnology Computer-Aided Design (TCAD)プロセスシミュレータの精度向上に資するものであり、半導体工学分野において、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 5463 号	氏 名	住原 花奈
主 論 文 題 名 :			
デュアルコム偏光分光法を用いた光学異方性物質の精密複素屈折率計測技術の開発			
<p>デュアルコム分光法は、繰り返し周波数が僅かに異なる 2 台の光周波数コム光源を干渉させ、数百 THz の光の振幅と位相の情報を、計測が容易なラジオ周波数帯（数十 MHz）で計測する手法である。本分光法は、光周波数コム光源特有の高周波数精度、高周波数分解能を有するため、これまで原子分子分光を中心に応用されてきた。一方、光の振幅と位相を計測できると、試料の有無による光の振幅透過率と位相差から、物質の複素屈折率ひいては複素誘電率を決定できる。そのため本分光法は、固体物性分光の観点においても重要な技術である。実際に、本分光法を固体物性分光に応用する試みとして、物質の群屈折率計測や薄膜の厚さ計測などの報告がある。</p> <p>多くの物質は異方性を持つ。そのため、物質の光学特性を正しく理解するためには、偏光計測を通じて複素屈折率の異方性を計測する必要がある。従って、デュアルコム分光法を精密物性計測に応用するためには、本分光法を用いた精密偏光計測手法を確立する必要がある。しかしこれまでに、本分光法を用いて光の振幅・位相・偏光を同時かつ精密に計測し、物質の光学異方性を求めた報告はほとんど存在しなかった。</p> <p>そこで本研究では、デュアルコム分光法と精密物性計測の足掛かりを創るために、本分光法を用いた光の振幅・位相・偏光計測手法を開発し、計測した実験パラメータから試料の有無による光の振幅透過率・位相差・偏光状態の変化を求め、その結果から物質の複素屈折率及びその異方性を求める解析法を確立した。まず第三章では、本分光法と回転補償子による偏光分析法を組み合わせ、光の振幅・位相・偏光を同時計測する手法を開発した。しかし、第三章の実験配置では、試料の有無による光の位相差を計測することはできない。そこで、第四章では、電気光学変調器を用いて実験配置を工夫した。その結果、試料の有無による光の振幅透過率・偏光状態の変化に加え、位相差も求めることに成功した。更に、確立した手法を用いて、試料の屈折率分散がないという仮定の下で、複素屈折率の異方性を求めることに成功した。</p> <p>第五章では、発展研究として、屈折率分散を持つ試料の複素屈折率を計測した。デュアルコム分光法で得られる光の位相の定義域は、$[0, 2\pi)$であるのに対し、試料の有無による光の位相差は一般的に 2π 以上である。従って、デュアルコム分光法で得られる位相の値には、2π の整数倍の不定性が生じる。この不定性は、屈折率に分散がある試料の複素屈折率を求める際に、重要な問題となる。本章では、この問題を解決し、屈折率分散を持つ試料の複素屈折率を求めることに成功した。</p> <p>本研究内容はデュアルコム分光法を用いた精密物性計測をするための橋渡しとなり、様々な物質の精密複素屈折率・誘電率を計測する際に重要な基盤技術となりうるものである。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5463 号	氏 名	住原 花奈
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 渡邊 紳一
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 大橋 洋士
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 西村 康宏
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 田邊 孝純

学士（理学）、修士（理学）住原花奈君の学位請求論文は、「デュアルコム偏光分光法を用いた光学異方性物質の精密複素屈折率計測技術の開発」と題し、6つの章より構成されている。

近年の光周波数コム技術の発展により、これまでに類を見ない周波数精度での分光測定技術が確立され、原子分子科学・物質科学・生命科学・宇宙科学に至るあらゆる分野に応用されている。特に物質科学の分野では、2台の光周波数コム光源を用いたデュアルコム分光法による精密屈折率計測への応用が期待されている。多くの物質は光学異方性を持つため、屈折率計測については偏光測定による異方性計測を行う必要がある。しかしこれまでに、デュアルコム分光法を用いて物質の光学異方性を精度良く調べる研究報告はほとんど存在しなかった。そこで本研究では、デュアルコム分光法と精密物性計測の足掛かりを創るために、デュアルコム分光法を用いた精密偏光計測手法を開発し、計測した実験パラメータから試料の有無による光の振幅透過率・位相差・偏光状態の変化を求め、その結果から物質の複素屈折率及びその異方性を求める実験解析法を確立した。

本論文は、以下の章立てで構成されている。第1章は序論である。本論文の主題であるデュアルコム分光法の概要と歴史、および、他の分光法との比較について紹介したあとに、本論文の目的と構成を述べている。

第2章では、本論文を理解するために必要な基礎原理について述べている。特に、デュアルコム分光法、光の偏光状態の記述方法、物質の屈折率と透過率について詳細に記されている。

第3章では、デュアルコム分光法と回転補償子法による偏光分析法を組み合わせた新しい精密偏光測定技術を提案し、これを実験実証した結果を報告している。本文では手法の原理について詳しく述べた後に、試験試料として用いた光学波長板を透過した光の旋光角と楕円率角を計測し、その測定結果について測定不確かさとあわせて詳細に議論している。本手法により、光の振幅透過率と偏光状態変化を精度良く計測する技術を確立させた。

第4章では、物質の複素屈折率とその異方性を精度良く計測するために、物質透過光の振幅透過率と偏光状態変化に加えて、位相変化もあわせて計測できる新たなデュアルコム偏光計測手法開発について説明している。具体的には電気光学変調器を用いた新たな偏光計測光学系を構築した。本文では、手法の原理について詳細に述べた後に、試験試料の複素屈折率とその異方性計測結果について、測定不確かさと共に議論している。本手法により、光学異方性を持つ物質の精密複素屈折率評価技術を確立させた。

第5章では、発展研究として、屈折率分散を持つ試料の複素屈折率計測を試みた内容を説明している。デュアルコム分光法で得られる光の位相の定義域は、 $[0, 2\pi)$ であるのに対し、試料の有無による光の位相差は一般的に 2π 以上である。従って、デュアルコム分光法で得られる位相の値には、 2π の整数倍の不定性が生じる。この不定性は、屈折率分散がある試料の複素屈折率を求める際に重要な問題となる。本章では、この問題を解決する手法を提案し、屈折率分散を持つ試料の複素屈折率を求めることに成功した。

第6章では、本研究のまとめと展望について述べている。

以上まとめると、本研究ではデュアルコム分光法と精密偏光計測手法とを組み合わせた新たな実験計測法および解析法を提案し、光学異方性をもつ物質に対する精密複素屈折率計測を実現した。屈折率計測は物質科学の基礎であり、その精密計測手法を確立した本研究は物質科学分野において広範囲に重要な寄与を与えるものとして高く評価できる。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 5464 号	氏 名	白 怜士
主 論 文 題 名： 軽元素を用いたスピン軌道トルクの制御に関する研究			
<p>微細加工技術の発展に伴い磁性の起源である電子のスピン角運動量を制御することが可能となり、スピン角運動量の流れであるスピン流を用いた強磁性体の磁化操作を利用する新しい記憶素子の実現を目指す研究が精力的に行われている。この研究を実際の電子デバイスに応用する上で必要不可欠であるのが電流からスピン流への変換現象であるが、スピン角運動量が全体で打ち消し合っている電流からスピン流を生成する際に主要な役割を果たす相互作用がスピン軌道相互作用である。スピン軌道相互作用は相対論的量子力学から導入されるもので貴金属に代表される重原子が大きいスピン軌道相互作用を持つため、Pt や Bi などの物質が積極的に調べられてきた。そのため酸素など軽元素や有機分子を用いた電流-スピン流変換はあまり注目されてこなかった。しかし、電流-スピン流変換において重要な結晶中のスピン軌道相互作用は、原子固有のスピン軌道相互作用に加えて結晶全体に広がった電子の分布と密接に関連していることが分かってきた。これは結晶中の電子分布の制御を介することによって、原子固有のスピン軌道相互作用が小さい軽元素や有機分子を活用し電流-スピン流変換現象を操作することが可能であることを示唆している。スピン軌道相互作用を通して磁化に与えられるトルクはスピン軌道トルクと呼ばれており、本博士論文では、電流から生成されるスピン軌道トルクの軽元素を用いた新しい制御メカニズムの探究を行った。</p> <p>本論文は7章から構成される。第1章は序論として研究背景を述べ、スピン軌道トルクに関する先行研究を概観し、本研究の位置づけを示す。第2章では電流-スピン軌道トルク変換現象に関する理論を述べ、第3章では電流-スピン軌道トルク生成効率の定量方法としてスピントルク強磁性共鳴の実験方法及び解析手法を示す。第4章では、貴金属であるPdに酸素分子を導入することによるPd中の電流-スピン流変換の変化を定量した研究について述べる。酸素を導入することによって電気抵抗率を変化させたPdの物性評価に関して述べ、その後、電気抵抗率に対するスピン軌道トルクの生成効率の振る舞いから、Pd中の内因性スピンHall効果を支配するメカニズムのクロスオーバーが示唆される結果が示される。第5章では、常磁性金属/強磁性金属界面の酸化が電流-スピン軌道トルク変換に与える影響を調べた。まず界面の強磁性体の酸化について調べた結果を述べ、界面が酸化した常磁性金属/強磁性金属二層薄膜において電流-スピン軌道トルク変換が著しく変化し、その影響が強磁性体の種類に強く依存することを明らかにした結果を示す。第6章では、Pt表面における電子状態を自己組織化有機単分子膜によって操作し、そのPt表面電子系におけるRashba-Edelstein効果に起因したスピン軌道トルクを制御した結果を示す。初めに自己組織化有機単分子膜によって変化したPt表面の電子状態及び有機分子の評価について述べ、有機分子を形成したPt/Co二層薄膜試料におけるスピン軌道トルク生成効率の定量及び表面Rashba-Edelstein効果の寄与の分離について示す。最後に自己組織化有機単分子膜によるPt表面のRashba-Edelstein効果の変調が第一原理計算によっても支持されることを示す。第7章で、本研究の結論と今後の展望について述べる。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5464 号	氏 名	白 怜士
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 安藤 和也
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 能崎 幸雄
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 海住 英生
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 牧 英之

学士（工学）、修士（工学）白怜士君の学位請求論文は「軽元素を用いたスピン軌道トルクの制御に関する研究」と題し、全7章より構成される。

スピン軌道トルクは、物質中のスピン軌道相互作用を介して磁化に作用するトルクであり、これを用いた電氣的磁化制御に関する研究が活発になっている。スピン軌道トルクの起源は、金属ヘテロ構造におけるスピンホール効果とラシュバ・エデルシュタイン効果が生み出すスピン流とスピン蓄積である。このため、スピン軌道トルクに関する研究は、強いスピン軌道相互作用を示す重金属におけるスピン依存伝導現象の解明に集中してきた。しかし、スピン軌道トルクの生成に重要となる固体素子におけるスピン軌道相互作用は、原子固有のスピン軌道相互作用のみならず、素子内の電子の空間分布と密接に関連する。このことは、強い原子スピン軌道相互作用に依らないスピン軌道トルク制御の可能性を示唆している。そこで本研究では、スピントロニクス素子の電子分布に注目し、軽元素を用いたスピン軌道トルクの新たな制御原理を明らかにした。

本論文の第1章は序論であり、スピン軌道トルクに関する先行研究と本研究の位置づけが述べられる。第2章では、スピン軌道トルクに関する理論が示される。第3章では、スピン軌道トルクの定量方法として、スピントルク強磁性共鳴の実験方法及び解析手法が示される。第4章では、酸素導入によって電気伝導度を制御したPdにおけるスピンホール伝導度測定について述べられ、内因性スピンホール効果を支配するメカニズムのクロスオーバー現象を観測した実験が示される。第5章では、Pt/強磁性金属ヘテロ構造において、界面酸化がスピン軌道トルク生成に与える影響について述べられる。ここでは、バルク及び界面スピン軌道相互作用に起因するスピン軌道トルクに対する界面酸化の効果が強磁性体の電子構造に強く依存することを明らかにした実験結果が示される。第6章では、スピントロニクス素子表面のラシュバ・エデルシュタイン効果に起因するスピン軌道トルクについて議論される。自己組織化有機単分子膜をPt表面に形成することでスピン軌道トルクを操作可能であることを明らかにした実験結果が示され、この結果から、スピン軌道トルクにおける表面ラシュバ・エデルシュタイン効果の寄与がバルク及び界面からの寄与と分離される。さらに、有機分子形成によるスピン軌道トルクの変化の実験結果が第一原理計算によって支持されることが示される。第7章では、本論文のまとめと今後の展望が示される。

以上、本論文は、強い原子スピン軌道相互作用を示さない軽元素を用いたスピン軌道トルクの制御に関する新しい知見を得たものであり、スピントロニクスの物理、工学応用に貢献するものである。

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。

内容の要旨

報告番号	甲 第 5465 号	氏 名	村元 謙太
主 論 文 題 名 :			
低雑音性屈折率分布型プラスチック光ファイバの信号伝送特性に関する研究			
<p>屈折率分布 (GI) 型プラスチック光ファイバ (POF) は、その広帯域性、柔軟性、安全性から、屋内用途の光ケーブルとして期待されている。さらに最近の研究により、GI 型 POF がその特有の光波伝搬特性である強いモード結合に起因した雑音低減効果を有することが報告された。この特性を積極的に利用することで極めて高品質な屋内光ネットワークの構築が可能となることが示唆されているが、GI 型 POF の低雑音特性については未解明な部分が多く、特に実際の信号伝送への影響は十分に理解されていない。そこで本研究では、低雑音性 GI 型 POF の信号伝送特性を評価・解析するとともに、その優位性を実証することを目的とした。特に、屋内用途での主な光伝送方式であるデジタルベースバンド伝送とアナログ Radio over Fiber (RoF) 伝送に着目し、それぞれに対する GI 型 POF の信号伝送特性を詳細に検討した。</p> <p>第 1 章は、序論であり、本研究の背景と目的を示した。</p> <p>第 2 章では、GI 型 POF の諸特性および作製法を、先行研究をもとに概説した。</p> <p>第 3 章では、伝送実験のために作製した GI 型 POF の基本特性を示した。具体的には、屈折率分布形状、伝送損失特性、伝送帯域特性を示した。さらに、GI 型 POF を伝搬した光のビームパターンを評価することにより、GI 型 POF が顕著なモード結合を示すことを確かめた。加えて、モード結合の強さを示す電力結合係数を、電力結合方程式の周波数応答解析により算出した。</p> <p>第 4 章では、GI 型 POF のデジタルベースバンド伝送特性について述べた。大容量データ伝送での使用が見込まれている多値変調方式を想定して低振幅信号伝送の評価・解析を行った結果、GI 型 POF を用いることで一般的な石英系 GI 型マルチモード光ファイバ (MMF) と比べて、1 m の伝送において、符号誤り率を 2 桁以上低減した高品質なデータ伝送が可能となることを実証した。また、GI 型 POF によるデータ伝送品質の改善が、その顕著なモード結合に起因した反射戻り光雑音の低減と関係することを示唆する結果を得た。加えて、多値変調方式を採用する際に雑音と同様に問題となる光リンクの非線形応答特性に関する検討を行った結果、GI 型 POF を用いた光リンクでは石英系 GI 型 MMF を用いた場合と比べて、その指標となるスプリアスフリーダイナミックレンジが最大で 30 dB 程度増加することを示した。</p> <p>第 5 章では、GI 型 POF のアナログ RoF 伝送特性について述べた。GI 型 POF を用いた RoF リンクでは、石英系 GI 型 MMF を用いた場合と比べて、その顕著なモード結合が一因となり、RoF 伝送時に生じる雑音と非線形歪みの両方が低減することを明らかにした。さらに、100 m 以下の伝送において、GI 型 POF が石英系 GI 型 MMF よりも高品質な RoF 伝送を達成できることを実証し、ファイバ長が 30 m の際にエラーベクトル振幅が 2%以下の最良の伝送品質が得られることを示した。加えて、GI 型 POF を用いた RoF リンクでは、その顕著なモード結合が伝送品質に大きく影響し、ファイバ長の増加に伴って伝送品質が向上する傾向があることを明らかにした。</p> <p>第 6 章は、結論であり、得られた成果を総括するとともに、今後の展望についてまとめた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5465 号	氏 名	村元 謙太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 片山 靖
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 松本 佳宣
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 西 宏章
		慶應義塾大学准教授	工学博士 二瓶 栄輔
		慶應義塾大学教授	工学博士 小池 康博

学士（工学）、修士（工学）村元謙太君提出の学位請求論文は「低雑音性屈折率分布型プラスチック光ファイバの信号伝送特性に関する研究」と題し、6章より構成されている。

屈折率分布（GI）型プラスチック光ファイバ（POF）は、その広帯域性、柔軟性、安全性から、屋内用途の高速光ケーブルとして期待されている。さらに最近の研究により、GI型POFがその特有の光波伝搬特性である強いモード結合に起因した雑音低減効果を有することが報告されている。この特性を積極的に利用することで極めて高品質な屋内光ネットワークの構築が可能となることが示唆されているが、GI型POFの低雑音特性については未解明な部分が多く、特に実際の信号伝送への影響は十分に理解されていない。本研究では、低雑音特性を有するGI型POFの信号伝送特性を評価・解析するとともに、その優位性を実証することを目的としている。特に、屋内用途での主な光伝送方式であるデジタルベースバンド伝送ならびにRadio over Fiber（RoF）伝送に対するGI型POFの伝送特性を詳細に検討している。

第1章は、序論であり、本研究の背景と目的を示している。

第2章では、GI型POFの諸特性および作製法を述べている。

第3章では、伝送実験のために作製したGI型POFの基本特性を示している。具体的には、屈折率分布形状、伝送損失特性、伝送帯域特性を示している。さらに、GI型POFを伝搬した光のビームパターンを評価することにより、GI型POFが顕著なモード結合を示すことを確認している。さらに、モード結合の強さを示す電力結合係数を、電力結合方程式の周波数応答解析により算出している。

第4章では、GI型POFのデジタルベースバンド伝送特性について述べている。大容量データ伝送での使用が見込まれている多値変調方式を想定して低振幅信号伝送の評価・解析を行った結果、GI型POFを用いることで、一般的な石英系GI型マルチモード光ファイバ（MMF）と比べて、1mの伝送において符号誤り率が2桁以上低下し、高品質なデータ伝送が可能となることを実証している。また、GI型POFによるデータ伝送品質の改善が、その顕著なモード結合に起因した反射戻り光雑音の低減と関係することを示唆する結果を得ている。加えて、多値変調方式を採用する際に雑音と同様に問題となる光リンクの非線形応答特性に関する検討を行った結果、GI型POFを用いた光リンクでは、石英系GI型MMFを用いた場合と比べて、その指標となるスプリアスフリーダイナミックレンジが最大で30dB程度増加することを明らかにしている。

第5章では、GI型POFのRoF伝送特性について述べている。GI型POFを用いたRoFリンクでは、石英系GI型MMFを用いた場合と比べて、その顕著なモード結合が一因となり、RoF伝送時に生じる雑音と非線形歪みの両方が低減することを明らかにしている。さらに、100m以下の伝送においてGI型POFが石英系GI型MMFよりも高品質なRoF伝送を達成できることを実証し、ファイバ長が30mの際にエラーベクトル振幅が2%以下の最良の伝送品質が得られることを示している。加えて、GI型POFを用いたRoFリンクでは、その顕著なモード結合が伝送品質に大きく影響し、ファイバ長の増加に伴って伝送品質が向上する傾向があることを明らかにしている。

第6章は、結論であり、得られた成果を総括するとともに、今後の展望について述べている。

以上要するに、本論文は、低雑音特性を有するGI型POFの信号伝送特性の詳細な解析により、石英系GI型MMFに比べ伝送エラーが大幅に低減されることを実証しているものであり、フォトニクス分野において、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 5466 号	氏 名	堀地 亮佑
主論文題名： Active Queue Management Based on Control-Theoretic Approaches for Diversified Communication Services (多様化する通信サービスのための制御理論的アプローチに基づく アクティブキューマネジメント)			
<p>通信システムの広帯域化，通信端末の高性能化，Internet of Things (IoT) 技術等の通信サービスの多様化に伴い，インターネット上の通信トラヒックは増加傾向にある．通信トラヒックの増加は，ルータ等において輻輳を発生させ，遅延時間やパケット損失率の増加，スループットの低下を引き起こす．トランスポート層通信プロトコルの1つである TCP (Transmission Control Protocol) を用いた通信において，輻輳を回避する手段として，アクティブキューマネジメント (AQM : Active Queue Management) 技術が提案されている．AQM の導入により，ルータ内のバッファにおける待機パケット数であるキュー長の安定化が可能となる．しかしながら，従来の AQM 技術はネットワーク制御の遠隔化や大遅延環境等の通信サービスの多様化には対応していない．そこで本研究は，制御理論的アプローチに基づいた AQM により，多様化する通信サービスに柔軟に適応可能な通信品質制御を実現することを目的とした．</p> <p>第 1 章に，本研究の背景と目的を概説した．</p> <p>第 2 章では，TCP および AQM の概要について述べ，TCP/AQM ネットワークの解析モデルを導出した．</p> <p>第 3 章では，ネットワーク運用における柔軟性向上のために，AQM を遠隔で行うシステム構成を提案した．遠隔制御により複数ルータの連携が可能となる一方で，制御遅延によるシステムの不安定化が課題となる．この課題に対して，バタフライ型完全遅延補償器により，遠隔制御に起因するネットワーク遅延およびその変動を補償し，補償器を用いない場合と比較してキュー長の振動を抑制できることを，ネットワークシミュレーションにより明らかにした．</p> <p>第 4 章では，TCP 通信において 100 ms 以上のネットワーク往復遅延が発生する大遅延環境を想定し，TCP セッション数の変動や UDP (User Datagram Protocol) の混在等のモデル化誤差に対してロバストな遅延補償技術を提案した．モデル化誤差を補償する外乱オブザーバと，ネットワーク往復遅延を補償するスミス予測器を併用することで，補償器を用いない場合と比較してスループットを改善できることを，ネットワークシミュレーションにより明らかにした．</p> <p>第 5 章では，AQM におけるキュー長目標値を，バッファサイズを考慮して動的に決定することで，通信サービスに応じた多様な通信品質を実現する手法を提案した．遅延優先モードでは，キュー長をできるだけ小さく抑えることで，遅延時間を低減する．損失優先モードでは，キュー長をできるだけ大きく維持することで，パケット損失率を低減する．提案手法を用いることで，遅延優先モードと損失優先モードを切り替え，通信品質を柔軟に制御できることを，ネットワークシミュレーションにより明らかにした．</p> <p>第 6 章に，結論として各章で得られた内容をまとめ，本研究の成果を要約した．</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5466 号	氏 名	堀地 亮佑
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 久保 亮吾
	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） 眞田 幸俊
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 金子 晋丈

学士(工学), 修士(工学)堀地亮佑君提出の学位請求論文は「Active Queue Management Based on Control-Theoretic Approaches for Diversified Communication Services」(多様化する通信サービスのための制御理論的アプローチに基づくアクティブキューマネジメント)と題し, 6章から構成されている。

インターネットにおいて, 信頼性のあるコネクション型通信を実現するトランスポート層プロトコルとして TCP (Transmission Control Protocol) が利用されている。TCP 通信では, ネットワーク輻輳によりスループット等の通信品質が劣化することが知られており, ルータ等における輻輳制御技術として AQM (Active Queue Management) が提案されている。しかしながら, 既存技術ではシステムに内在する遅延やモデル化誤差により, 多様な通信サービスを提供可能なシステム構成や所望の通信品質を実現することが難しい。そこで本研究は, 制御理論的アプローチを用いてキュー長の制御性能の向上を図ることにより, 多様化する通信サービスに柔軟に適応可能な通信品質制御を実現することを目的としている。

第1章では, 研究の背景と目的を概説している。

第2章では, TCP および AQM の概要について述べ, TCP/AQM ネットワークの解析モデルを導出している。

第3章では, AQM 機能をルータから分離し, 遠隔制御により柔軟なネットワーク運用を可能とするシステム構成を提案している。バタフライ型完全遅延補償器により, 遠隔制御に起因するネットワーク遅延およびその変動を補償している。補償器を用いない場合と比較してキュー長の振動を抑制できることを, シミュレーションにより明らかにしている。

第4章では, TCP 通信において 100 ms 以上のネットワーク往復遅延が発生する環境を想定し, TCP セッション数の変動等のモデル化誤差に対してロバストな遅延補償技術を提案している。モデル化誤差を補償する外乱オブザーバと, ネットワーク往復遅延を補償するスミス予測器を併用することで, 補償器を用いない場合と比較してスループットを改善できることを, シミュレーションにより明らかにしている。

第5章では, AQM におけるキュー長目標値を, バッファサイズを考慮して動的に決定することで, 通信サービスに応じた多様な通信品質を実現する手法を提案している。遅延時間を低減する遅延優先モードとパケット損失率を低減する損失優先モードを切り替え, 通信品質を柔軟に制御できることを, シミュレーションにより明らかにしている。

第6章では, 各章で得られた成果をまとめ, 本論文全体の結論を述べている。

以上要するに, 本論文では制御理論に基づいて多様な通信サービスを提供するための通信品質制御技術を提案し, シミュレーションによりその有効性を確認しており, 通信・ネットワーク工学およびシステム制御工学分野において, 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5467号	氏名	町田 茉南
主論文題名： フェムト秒レーザーパルスによるハイドロゲル内部での金属イオンの多光子還元			
<p>保水性や生体適合性、光透過性等の様々な特性を持つハイドロゲルは、特異な光学特性あるいは電気特性を示す金属微細構造を付加することにより、両材料の特性を活用した新規フレキシブルデバイスの創出が期待できる。金属微細構造の付加には、ハイドロゲル内部に一様に含有させるナノ粒子分散法や、表面へのパターンニングを施す転写技術等が用いられてきた。本学位論文著者は、フェムト秒レーザーパルスによる多光子還元を利用した金属微細構造作製技術に着目した。パルス幅の極めて短いフェムト秒レーザーパルスを集光することで、集光部近傍において生じる多光子吸収により様々な相互作用を誘起でき、金属イオンの光還元反応を誘起する多光子還元はレーザーパルスの走査により高い形状自由度で金属微細構造を作製できる。本論文では、ハイドロゲル内部への集光フェムト秒レーザーパルス照射により分子およびイオンに誘起される物理現象と物質間で生じる化学反応について議論し、空間選択的な多光子還元を誘起することでハイドロゲル内部に金属微細構造を付加することを目的とした。レーザーパルスの走査により金属微細構造を作製し、ハイドロゲルの伸縮特性に応じた光学特性を得るとともに、構造の生成過程と形成について議論した。本論文は次の6章で構成されている。</p> <p>第1章は序論である。ハイドロゲルの応用展開と金属微細構造を付加した研究事例について述べた。続いてフェムト秒レーザーパルスによる金属微細構造作製技術を概説し、最後に本研究の目的と意義を述べた。</p> <p>第2章では、高分子およびイオン、金属ナノ粒子を対象とした物質と光との相互作用について述べた。続いてハイドロゲルの物性とイオンの挙動について述べ、ハイドロゲル内部へのフェムト秒レーザーパルス照射により誘起されると考えられる物理現象および化学反応をまとめた。</p> <p>第3章では、フェムト秒レーザーパルス照射によるハイドロゲル内部への金属微細構造作製に関する研究について述べた。集光部での多光子還元と熱蓄積の金属生成への寄与について議論し、明瞭で連続的な金属細線構造の作製を実証した。また、ハイドロゲルのイオン透過性を活用し、同一支持体内部への異種金属微細構造の作製を実証した。</p> <p>第4章では、ハイドロゲルの外部環境応答を利用した伸縮性金属微細構造の作製に関する研究について述べた。ハイドロゲルの含水率変化により内部に作製した金属細線周期構造を伸縮させ、その寸法変化に応じた回折特性および吸光度特性を得た。</p> <p>第5章では、ハイドロゲル内部での空間選択的な還元反応の促進および抑制に関する研究について述べた。イオン性蛍光分子を用いることで集光部での還元促進、集光部以外での還元抑制の同時誘起が可能であることを明らかにした。</p> <p>第6章は、本論文の結論であり、本研究の成果を総括し、今後の展望を述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5467 号	氏 名	町田 茉南
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学准教授	博士（工学）	寺川 光洋
	副査 慶應義塾大学教授	博士（工学）	斎木 敏治
	慶應義塾大学教授	博士（工学）・博士（医学）	塚田 孝祐
	慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学）	尾上 弘晃

学士（工学）、修士（工学）町田茉南君提出の学位請求論文は「フェムト秒レーザパルスによるハイドロゲル内部での金属イオンの多光子還元」と題し、6章から構成されている。

高い保水性と柔軟性に加え生体適合性を持つハイドロゲルは、その内部に特異な光学特性あるいは電気特性を示す金属微細構造を付加することで、両材料の特長を活用したフレキシブルデバイスが創出できると期待されている。ハイドロゲルに金属微細構造を付加する方法として金属ナノ粒子分散法や転写技術等が知られているが、ハイドロゲル内部に任意の三次元金属微細構造を作製する方法は確立されていない。本論文では、フェムト秒レーザパルスの集光部近傍において生じる多光子吸収を介した金属イオンの光還元をハイドロゲル内部で誘起することで、空間選択的に金属微細構造を作製することを目的としている。集光フェムト秒レーザパルス照射により分子およびイオンに誘起される物理現象と物質間で生じる化学反応について議論するとともに、同一ハイドロゲル内部における異種金属の微細構造作製、金属微細構造の伸縮により得られる光学特性の評価、ならびに空間選択的な光還元の促進と抑制について実験研究を中心に述べている。

第1章では、ハイドロゲルの応用ならびに金属微細構造を付加した研究事例について述べている。続いてフェムト秒レーザパルスによる金属微細構造作製技術を概説し、最後に本研究の目的と意義を述べている。

第2章では、ハイドロゲル内部へのフェムト秒レーザパルス照射により誘起されると考えられる物質と光との相互作用を中心に、次章以降で述べる実験研究の基盤となる物理現象および化学反応を論じて体系化している。

第3章では、フェムト秒レーザパルス照射によるハイドロゲル内部への金属微細構造作製に関する実験研究について述べている。金属生成に寄与する多光子還元と熱蓄積について議論し、連続的な金属細線構造が作製できることを実証している。また、同一支持体内部における異種金属の微細構造作製を述べている。

第4章では、ハイドロゲルの外部環境応答を利用した伸縮性金属微細構造の作製に関する研究について述べている。ハイドロゲルの含水率を変化させることで内部に作製した金属細線周期構造を伸縮させ、その寸法変化に応じた光学特性を得ている。

第5章では、ハイドロゲル内部での空間選択的な還元反応の促進および抑制に関する研究について述べている。ハイドロゲル内部にアニオン性蛍光分子を含有させることで、集光部での還元促進ならびに集光部以外での還元抑制の同時誘起が可能であることを明らかにしている。

第6章では、各章で得られた成果をまとめ、本論文全体の結論を述べている。

以上要するに、本論文は超短パルスレーザを用いたハイドロゲル内部への金属微細構造の作製技術を発展させ、ハイドロゲルを支持体とするフレキシブルデバイスの実現に資するものであり、レーザ工学分野において、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 5468 号	氏 名	大和 駿太郎
主論文題名： Active Chatter Suppression with Monitoring-Based Process Control for Self-Optimizing Machining Systems (自己最適化機械加工システムのためのモニタリングベースプロセス制御による能動的びびり振動抑制)			
<p>熟練工の減少やさらなる省人化要求に対応し、マスカスタマイゼーションを実現する高い柔軟性とロバスト性を有する生産システムのために、自己最適化機械加工システム (SOMS) が提唱されている。特に、びびり振動は依然として高能率加工を阻害する大きな要因であり、安定加工条件の設計は熟練工の経験に依存しているため、SOMS が対応すべき重要課題の一つである。しかし、振動状態に応じて工作機械を適応制御してびびり振動を自律的に抑制した例は少ない。本研究では、SOMS の実現技術として、加工監視に基づくびびり振動の自律抑制機能の開発を目的とした。</p> <p>第 1 章では、SOMS が有すべき機能と既存のびびり振動監視・抑制技術について概説し、本研究の位置付けと目的を示した。</p> <p>第 2 章では、工作機械のサーボ情報を利用したセンサレス切削力推定手法についてまとめた。推定切削力はびびり振動監視に用いられる。</p> <p>第 3 章では、びびり振動検知指標として、メカニカルパワーファクタ (MPF) とメカニカルエネルギーファクタ (MEF) を提案し、位相差監視に基づくびびり振動検知手法を開発した。MPF と MEF は加工中の推定切削力と振動情報から計算され、強制振動と自励びびり振動を実時間検知する。各指標の閾値は、強制振動とびびり振動の発生メカニズムに基づいて一意に決定される。</p> <p>第 4 章では、正弦波主軸速度変動 (SSSV) によるびびり振動抑制について、びびり周波数情報に基づく簡易最適設計手法を提案した。SSSV と無線通信工学における周波数変調の相似性に着目し、新しい設計指標として変調指数を導入した。観測したびびり周波数と 0 次第 1 種ベッセル関数に基づき、振動エネルギーが十分な速度で効率的に消散されるように変調指数と変動周波数を設計することにより、効果的なびびり振動抑制が実現できることを、時間領域シミュレーションとボーリング加工試験によって評価した。</p> <p>第 5 章では、柔軟工作物の平行旋削において、工具の揺動運動を利用した新しい安定化加工法を提案した。SSSV の設計手法を利用したびびり周波数に基づく揺動運動の最適設計についても検討した。揺動加工法によって、加工力のアンバランス化による被削材の偏心を招かずに高いびびり振動抑制効果を発揮できることを実験的に明らかにした。</p> <p>第 6 章では、柔軟工作物の平行エンドミル加工において、びびり振動抑制のための主軸速度差法の有効性についてプロセスモデルに基づき詳細に検討した。また、推定切削力からリアルタイムで抽出されるびびり周波数に基づき主軸速度差を適応制御することで、ロバストなびびり振動抑制が実現可能であることを実験的に示した。</p> <p>第 7 章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望について言及した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5468 号	氏 名	大和 駿太郎
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 柿沼 康弘
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 青山 英樹
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 閻 紀旺
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 小池 綾
		名古屋大学准教授	博士（工学） 鈴木 教和

学士（工学）、修士（工学）大和駿太郎君提出の学位請求論文は「Active Chatter Suppression with Monitoring-Based Process Control for Self-Optimizing Machining Systems」（自己最適化機械加工システムのためのモニタリングベースドプロセス制御による能動的びびり振動抑制）と題し、7章から構成されている。

熟練工の減少や省人化要求に対応しながらも、マスカスタマイゼーションを実現可能な高い柔軟性とロバスト性を有する生産システムのために、自己最適化機械加工システム（SOMS）が提唱されている。特に、びびり振動は依然として高能率加工を阻害する大きな要因であり、安定加工条件の設計は熟練工の経験に依存しているため、SOMS が対応すべき重要課題の一つである。しかし、工作機械を適応的に制御してびびり振動を自律的に抑制した例は少ない。本研究では、SOMS の要素技術として、加工監視に基づくびびり振動の自律抑制機能の開発に取り組んでいる。

第1章は序論であり、研究背景、従来研究および本研究の目的を述べている。

第2章では、工作機械のサーボ情報を利用したセンサレス切削力推定手法について概説し、推定切削力をびびり振動監視に用いることを述べている。

第3章では、位相差シフトに基づくびびり振動検知手法を提案している。具体的には、びびり振動検知指標として、メカニカルパワーファクタ（MPF）とメカニカルエネルギーファクタ（MEF）を提案している。MPFとMEFは、加工中の推定切削力と振動情報から計算され、強制振動と自励びびり振動の実時間検知に用いている。各指標の閾値はびびり振動の発生メカニズムに基づいて一意に決定されることを示している。

第4章では、主軸速度変動（SSV）によるびびり振動抑制において、びびり周波数に基づく簡易最適設計手法を提案している。SSVと無線通信工学における周波数変調の相似性に着目し、新しい設計指標として変調指数を導入している。びびり周波数と0次第1種ベッセル関数に基づき、振動エネルギーが効率的に消散されるように変調指数と変動周波数を設計することで、効果的なびびり振動抑制が実現できることをシミュレーションと加工試験によって示している。

第5章では、柔軟工作物の平行旋削において、工具の揺動運動を利用した安定化加工法を提案している。SSVの設計手法を応用した揺動運動の最適設計についても検討している。揺動加工法によって、加工力のアンバランスによる被削材の偏心を抑え高いびびり振動抑制効果が得られることを実験的に明らかにしている。

第6章では、柔軟工作物の平行エンドミル加工において、びびり振動抑制のための主軸速度差法の有効性について検討している。また、推定切削力から実時間で抽出されるびびり周波数に基づき主軸速度差を適応制御することで、ロバストなびびり振動抑制が実現可能であることを実験的に示している。

第7章は結論であり、上記の内容を総括している。

以上要するに、本研究では推定切削力に基づく加工監視とそれに基づくびびり振動の自律抑制技術の開発に成功しており、生産加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 5469 号	氏 名	慶長 泰周
主 論 文 題 名 :			
カーボンドットの液相合成法の探究と蛍光特性の改善			
<p>蛍光性カーボンドット (CDs) は、高い環境親和性および安定性を有する次世代ナノ蛍光体である。しかし、CDs の蛍光特性は原料および合成法によって多様に変化する。そのため、高い蛍光量子収率や色純度を有する多色 CDs の合成法の確立が求められている。そこで本研究では、異なる原料および合成法から CDs を作製し、それらの蛍光および形成メカニズムを探究した。得られた知見に基づき、優れた蛍光特性を有する CDs の効果的な合成法を検討した。</p> <p>第 1 章では、本研究の背景と従来の研究を概説し、本研究の目的を述べた。</p> <p>第 2 章では、試料の特性評価法を述べた。</p> <p>第 3 章では、環境に優しく容易な水熱合成によって D-グルコースから CDs を作製した。その際、オートクレーブの加熱には、反応系の温度制御が可能なマイクロ波加熱装置を用いた。加熱時間が蛍光特性に与える影響を探究した結果、D-グルコース誘導 CDs の蛍光は多様な表面官能基に関する準位から起こり、粒子サイズに依存しないことを明らかにした。</p> <p>第 4 章では、蛍光量子収率を向上させるために、分子中に窒素および硫黄のヘテロ原子を含み、生体親和性が高い L-システインを用いて、マイクロ波加熱装置を用いて CDs を水熱合成した。加熱温度、加熱時間、合成時の pH および L-システイン濃度が蛍光特性に与える影響を探究した。その結果、原料分子間の脱水反応の促進が CDs の蛍光量子収率を向上させる重要な因子であることを明らかにした。</p> <p>第 5 章では、原料分子間の脱水反応を促進させるために、水熱合成のような水溶媒を用いた密閉反応場ではなく、高沸点の非水溶媒であるジフェニルエーテルを用いた開放反応場で加熱を施して、L-システインから CDs を作製した。比較として、同一の加熱温度および加熱時間で L-システインから CDs を水熱合成した。その結果、開放反応場が原料分子間の脱水反応、粒子の成長および新たな表面官能基の形成を促進させ、CDs の蛍光量子収率が向上することを明らかにした。</p> <p>第 6 章では、芳香族化合物であるフロログルシノールを原料に用いて、高沸点を有する 1,2-ペンタンジオールを用いた開放反応場で加熱を施して CDs を作製した。CDs の蛍光色は蛍光ソルバトクロミズムの利点を生かして、分散媒として異なる極性の溶媒およびポリマーを選択することで青から緑まで調整された。蛍光スペクトルの半値幅は上述の L-システイン誘導 CDs の半値幅よりも狭くなり、CDs の蛍光色純度が改善された。</p> <p>第 7 章では、本研究の結論をまとめ、今後の展望を示した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5469 号	氏 名	慶長 泰周
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 磯部 徹彦
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 高尾 賢一
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 緒明 佑哉
		慶應義塾大学准教授	工学博士 二瓶 栄輔
		慶應義塾大学専任講師	博士（理学） 山本 崇史

学士（工学）、修士（工学）慶長泰周君提出の学位請求論文は「カーボンドットの液相合成法の探究と蛍光特性の改善」と題し、7章から構成されている。

蛍光性カーボンドット（CDs）は、高い環境親和性および安定性を有する次世代ナノ蛍光体である。しかし、CDs の蛍光特性は原料および液相合成法によって多様に変化する。そのため、蛍光の量子収率や色純度が高く、多色に発光する CDs の合成法の確立が求められている。そこで本研究では、異なる原料および液相合成法から CDs を作製し、それらの蛍光および形成メカニズムを探究している。得られた知見に基づき、優れた蛍光特性を有する CDs の効果的な合成法を検討している。

第1章では、本研究の背景と従来の研究を概説し、本研究の目的を述べている。

第2章では、試料の特性評価法を述べている。

第3章では、マイクロ波加熱装置を用いた水熱合成によって D-グルコースから CDs を作製している。加熱時間が蛍光特性に与える影響を探究した結果、D-グルコース誘導 CDs の蛍光は多様な表面官能基に関する準位から起こり、粒子サイズに依存しないことを明らかにしている。

第4章では、蛍光量子収率を向上させるために、分子中に窒素および硫黄のヘテロ原子を含む L-システインを用いて、マイクロ波加熱による CDs の水熱合成条件が蛍光特性に与える影響を検討している。その結果、原料分子間の脱水反応の促進が CDs の蛍光量子収率を向上させる重要な因子であることを明らかにしている。

第5章では、原料分子間の脱水反応を促進させるために、水熱合成のような水溶媒を用いた密閉反応場ではなく、高沸点の非水溶媒であるジフェニルエーテルを用いた開放反応場で加熱を施して、L-システインから CDs を作製している。その結果、開放反応場が原料分子間の脱水反応、粒子の成長および新たな表面官能基の形成を促進させ、CDs の蛍光量子収率が向上することを明らかにしている。

第6章では、芳香族化合物であるフロログルシノールを原料に用いて、高沸点を有する 1,2-ペンタンジオールを用いた開放反応場で加熱を施して CDs を作製している。CDs の蛍光色は蛍光ソルバトクロミズムの利点を生かして、分散媒として異なる極性の溶媒およびポリマーを選択することで青から緑まで調整されている。蛍光スペクトルの半値幅は上述の L-システイン誘導 CDs の半値幅よりも狭くなり、CDs の蛍光色純度が改善されることを明らかにしている。

第7章では、本研究の結論をまとめ、今後の展望を述べている。

以上要するに、本研究は、CDs の原料および液相合成法が蛍光特性に与える影響を明らかにすることで、蛍光量子収率や色純度が高い CDs の液相合成法の指針を示しており、蛍光体材料科学分野において、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 5470 号	氏 名	岡野 寿朗
主論文題名： Data-Driven Design for Position/Force Control (位置/力制御のデータ駆動設計)			
<p>開空間においてロボットが活躍するために、位置と力の両方を考慮した制御器設計が求められる。制御器設計に関しては、安定性やロバスト性の観点から広く研究がされてきた。しかし、位置/力という異なる物理変数の制御器を、タスク達成の観点からどのように設計すべきかに関しては、体系的な手法が確立されていない。これらの問題に対処するため、本論文では位置と力のハイブリッド制御に基づく機械システムの自動化及びバイラテラル制御に基づく人支援ロボットシステムに関して、人及びタスクの目的に基づくデータ駆動設計の基本方針を明確化した。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的、論文構成について説明した。</p> <p>第2章では、モーションコントロールの基本設計について説明した。</p> <p>第3章では、力制御のデータ駆動設計として、外乱オブザーバに基づいた力制御系にニューラルネットワークによる補償を併用するシステムについて示した。フィードバック及びフィードフォワード補償の要素をニューラルネットワークに持たせるため、シミュレーション及び実動作データから学習させる方法を検討し、その有効性を実証した。</p> <p>第4章では、人間の感覚に基づく位置/力制御のデータ駆動設計として、丁度可知差異に基づくバイラテラル制御設計について示した。人の五感に関する基準やそれに関連する制御系設計において、人の感覚を考慮する必要がある。一例としてデータ通信量削減を目標に、人の感覚に関する実データを収集し、データ通信量削減量と感覚変化に関する探索表を作成した。実験を通して、探索表に基づいた制御系の有効性を確認した。</p> <p>第5章では、人間の動作に基づく位置/力制御のデータ駆動設計に向けた手法として、バイラテラル制御に基づく終端インピーダンスの推定手法について示した。人間は動作を動的に変更することで周辺環境に適応しており、人間の実動作データは、位置/力制御の割合を設計する際の参考になる。印加信号により人間と環境側の動作を分離することで、周辺環境に接触時の終端インピーダンスの推定手法を実現し、その有効性を実機実験により確認した。推定手法は環境変動に対する実動作データの修正へも拡張可能である。</p> <p>第6章では、評価指標に基づく位置/力制御のデータ駆動設計に向けた手法として、バイラテラル制御のゲイン・スケジューリングについて示した。バイラテラル制御におけるマスタとスレーブの、位置と力の制御器は経験的に設計されることが多かった。評価指標を設定する事で、周波数解析及び実動作データ解析に基づく制御系設計の指針を示すと同時に、オンラインでの制御系設計手法を示した。</p> <p>第7章では、タスク実現に基づく位置/力制御のデータ駆動設計に向けた手法として、モーションコピーシステムにおいて要求される制御器の選択手法について示した。人間が動作を動的に変更することで周辺環境に適応する様に、位置/力制御器の各軸も動的に設計する事で柔軟な動作の実現を目指す。実現するタスクに関して理解を深めるべく、取得した動作を分解し、実動作データに基づき要求される制御器選択を行う手法を提案しその有用性を検証した。</p> <p>第8章では、本研究の成果についてまとめを行った。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5470 号	氏 名	岡野 寿朗
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 村上 俊之
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 大森 浩充
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 矢向 高弘
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 大西 公平
<p>学士（工学）、修士（工学）岡野 寿朗 君提出の学位請求論文は「Data-Driven Design for Position/Force Control」（位置／力制御のデータ駆動設計）と題し、8章から構成されている。人の一連の動作は位置と力およびその融合動作から構成されていると考えられ、様々な環境下において目的とするタスク達成のために位置と力の順応的な動作生成が行われている。こうした人の順応的な動作をロボットに行わせるため、本論文では各種動作データに基づくデータ駆動型の制御器設計手法、すなわち実動作データに基づいた順応的な制御器設計手法を提案している。特に、小脳演算モデルとしてニューラルネットワークを組み込むシステム設計、丁度可知差異によるバイラテラル制御器設計、動作分解による操作者および環境の接触終端インピーダンスの推定手法等が示され、実機実験により提案手法の有用性が検証されている。</p> <p>第1章では、本研究の目的を述べ、研究の位置付けおよび論文構成を概説している。</p> <p>第2章では、ロボットの運動制御において重要な基礎技術について概説している。</p> <p>第3章では、外乱オブザーバに基づいた力制御系に小脳演算モデルを想定したニューラルネットワークによる補償を併用する力制御器設計手法を提案している。特に、学習を効率化するためにシミュレーションならびに実動作データから学習させる方法を示しており、その有効性を実機実験により実証している。</p> <p>第4章では、動作データベースを活用し、丁度可知差異に基づいたバイラテラル制御器設計手法を提案している。人の力感覚の可認識性を考慮しつつ、データ通信量削減を目標として実動作データを収集し、データ通信削減量と力感覚変化を明確化している。最終的に力感覚に影響しないデータ通信削減に関する提案手法の有用性を実機実験により示している。</p> <p>第5章では、バイラテラル制御に基づく操作者のインピーダンスの推定手法について示し、それをデータベースに活用するアルゴリズムも提案している。提案手法は環境の特性に応じた制御器選択にも適用可能であり、実機実験により基本アルゴリズムの有用性を示している。</p> <p>第6章では、位置／力制御の実験データに基づき、バイラテラル制御器の新たなゲイン調整法を示している。バイラテラル制御における従来の位置と力の制御器では経験的にゲイン調整を行うことがほとんどであるが、提案手法では実動作データ解析に基づく制御器ゲイン設計の指針を明確化し、その有用性を実機システムで評価している。</p> <p>第7章では、ロボットによる人の動作再現において要求される制御器の選択手法について、実動作データに基づいたアルゴリズムを提案している。特に、周辺環境への順応性向上のため、目標タスクにおける動作分解を行い、実動作データに基づき要求される制御器選択を行う手法を提案している。その有用性は実機実験により検証されている。</p> <p>第8章では結論を述べ、得られた成果の重要な貢献と今後の展望について総括している。</p> <p>以上要するに、本研究ではロボットにおける位置／力制御の多様化に着目し、各種動作データに基づいた順応的な制御器設計手法を提案し、実機実験によりその有用性を実証したものである。これらの研究はロボットにおける位置／力制御のさらなる実応用を含め、ロボティクス、メカトロニクス分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。</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 5471 号	氏 名	香西 孝司
主論文題名： Investigation of Mechanism for Microstructural Changes in Hard-brittle Materials During Cyclic Nanoindentation (繰返しナノインデンテーションによる硬脆材料の微視的構造変化メカニズムの解明)			
<p>ナノインデンテーションは材料の変形、脆性破壊、相変態など様々な微視的構造変化のメカニズムを調査できる重要な研究手法であり、すでに多くの研究が進められている。しかし、そのほとんどは1度のみ負荷/除荷を行った際の挙動にしか着目しておらず、実際の材料使用時や加工時の状態に近い繰返し負荷/除荷における微視的構造変化の研究は十分に進んでいない。そこで本研究では、代表的な硬脆材料として単結晶ゲルマニウム、多結晶材料であるジルコニア、およびアモルファス材料である熔融石英にそれぞれ繰返しナノインデンテーションを実行し、新たな微視的構造変化メカニズムの解明を試みた。圧痕の断面観察や荷重変位曲線解析などを通じて、従来の1回押込みの研究では確認されなかった新たな微視的構造変化を確認し、そのメカニズムを解明した。</p> <p>第1章では本研究の背景、目的および概要について述べた。</p> <p>第2章ではナノインデンテーションの従来研究について概説し、単結晶、多結晶、アモルファス材料においてそれぞれ確認される基本的な微視的構造変化について述べた。</p> <p>第3章ではナノインデンテーションにおける基本的な理論について述べた。</p> <p>第4章では単結晶ゲルマニウムへの一定最大荷重における繰返しナノインデンテーションを行い、その結果について考察を行った。押し込みサイクル間の保持荷重の大きさに応じて異なる微視的構造変化を確認し、そのメカニズムについて変形挙動などに基づき解明を行った。</p> <p>第5章では多結晶材料であるイットリア安定化ジルコニアへの一定最大荷重における繰返しナノインデンテーションを行った結果について考察を行った。一定最大荷重における繰返しナノインデンテーションは1回押し込みと比較して、主に圧痕の外において相変態を促進することを確認した。また、その微視的構造変化モデルを提唱した。</p> <p>第6章ではアモルファス材料である熔融石英に対して漸増最大荷重における繰返しナノインデンテーションを行い、その結果について考察を行った。漸増最大荷重での繰返しナノインデンテーションはラテラルクラックによる破壊を促進することに加え、外に向かって連なる2次ラテラルクラックの形成など、特徴的破壊挙動を示すことが確認された。また、それらのメカニズムについて考察を行った。</p> <p>第7章では本研究の主な結論および今後の課題をまとめた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5471 号	氏 名	香西 孝司
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 閻 紀旺
	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	博士（工学） 大宮 正毅
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 柿沼 康弘

学士(工学), 修士(工学), 修士(商学) 香西孝司君提出の学位請求論文は「Investigation of Mechanism for Microstructural Changes in Hard-brittle Materials During Cyclic Nanoindentation」(繰返しナノインデンテーションによる硬脆材料の微視的構造変化メカニズムの解明)と題し, 7章から構成されている。

ナノインデンテーションは材料の変形, 破壊, 相変態など様々な微視的構造変化のメカニズムを調査する重要な手法であり, これを用いてすでに多くの研究が進められている。しかし, そのほとんどは1度のみ負荷/除荷を行った際の押込み挙動にしか着目しておらず, 実際の材料使用時や加工時の状態に近い繰返し負荷/除荷における微視的構造変化の研究は十分に進んでいないのが現状である。本論文では, 代表的な硬脆材料として単結晶ゲルマニウム, 多結晶ジルコニア, およびアモルファス材料である熔融石英にそれぞれ繰返しナノインデンテーションを実行し, 微視的構造変化メカニズムの解明を試みている。圧痕の断面観察や結晶構造分析そして荷重変位曲線解析などを通じて, 従来の1回押込みの研究では見られなかった新たな材料構造変化を確認し, そのメカニズムを解明している。

第1章では, 本研究の背景, 目的および概要について述べている。

第2章では, ナノインデンテーションの従来研究について概説し, 単結晶, 多結晶, アモルファス材料においてそれぞれ確認されている基本的な微視的構造変化を分類している。

第3章では, ナノインデンテーションにおける基本理論について説明し, 本研究で使用する実験手法およびデータ解析手法の概要を述べている。

第4章では, 単結晶ゲルマニウムへの一定最大荷重における繰返しナノインデンテーションを行い, その結果について考察を行っている。押込みサイクル間の保持荷重の大きさに応じて異なる相変態現象を確認し, そのメカニズムについて荷重変位特性に基づいて考察している。

第5章では, 多結晶材料であるイトリア安定化ジルコニアへの一定最大荷重における繰返しナノインデンテーションを行っている。一定最大荷重における繰返しナノインデンテーションは1回押込みと比較して主に圧痕の外において正方晶から単斜晶への相変態を促進することを確認し, その構造変化モデルを提唱している。

第6章では, アモルファス材料である熔融石英に対して漸増最大荷重における繰返しナノインデンテーションを行い, その結果について考察を行っている。漸増最大荷重での繰返しナノインデンテーションはラテラルクラックによる脆性破壊を促進することに加え, 圧痕の外に向かって連なる2次ラテラルクラックの形成など, 特徴的破壊挙動を示すことを確認している。また, それらのメカニズムについて考察を行っている。

第7章では, 本研究の主な結論および今後の課題を要約している。

以上要するに, 本論文は代表的な硬脆材料に対して材料使用時や加工時の状態に近い繰返し負荷/除荷における微視的構造変化のメカニズムを解明するとともに, ナノスケールの材料加工特性を明らかにしたものであり, 加工学および材料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。

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5472	Name	Choi, Sanghun
Thesis Title			
A Study on Distributed Storage with Flooding DDoS Attack Detection			
<p>Since the owner's data might be leaked from the centralized server storage, the distributed storage schemes with the server storage have been investigated. However, conventional schemes occur the burden of data capacity and the calculation time for the restoration. In order to overcome these problems, I propose the server-based distributed storage using secret sharing and AES-256 is proposed. However, since the server storage is utilized, when the server storage is attacked by the DDoS attack, the owner data cannot be restored. To keep and restore the owner data from DDoS attack in the proposed server-based distributed storage, I additionally propose the lightweight DDoS attack detection using the bloom filter. I show the effectiveness through data analysis and computer simulation for the distributed storage and DDoS attack detection. The outline of this dissertation is as follows:</p> <p>Chapter 1 deals with the importance of distributed storage and DDoS attack detection. I summarize the fields which this technique is applied. Moreover, I clarify the purpose and role of this dissertation.</p> <p>Chapter 2 deals with the related works of the proposals.</p> <p>Chapter 3 deals with the distributed storage. I propose the server-based distributed storage using secret sharing with AES-256 for lightweight safety restoration. The owner's data will be safely kept in the distributed storage since all of the divided data are divided into two pieces with the AES-256 and stored in the peer storage and the server storage. Even though the server storage keeps the divided data, the server and the peer storages might know the pair of divided data via Secret Sharing, the owner's data are secure in the proposed scheme from the inner attack of secret sharing. The evaluations show that the proposed scheme is improved for lightweight, stability, and safety.</p> <p>Chapter 4 deals with the DDoS attack detection. I additionally propose the lightweight detection using bloom filter for the proposed distributed storage. To detect the DDoS attack and ensure the high accuracy, the high true positive rate, and the low false positive rate, the decrement-all operation is used and the checkpoint are flexibly changed depending on the fluctuant packet arrival per second in the bloom filter. The effectiveness is shown by the computer simulation with real dataset.</p> <p>Chapter 5 concludes this dissertation and summarizes the contribution of this work.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5472 号	氏 名	崔 相勳
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

工学士，修士（工学），崔相勳君提出の学位請求論文は，「A Study on Distributed Storage with Flooding DDoS Attack Detection (Flooding DDoS 攻撃検知を用いた分散ストレージに関する研究)」と題し，全5章から構成される。

インターネットの急速な普及，および，ネットワーク技術の進歩により，豊かな情報社会が実現しつつある一方で，ネットワークを介した攻撃が問題となっている．ユーザデータを中央サーバストレージで一括して保管する方式は，広く普及しているものの，中央サーバへの不正アクセスなどにより，データの漏洩や改竄等の問題が生じる危険性がある．そのため，ユーザのデータをネットワーク上の複数ピアストレージに分散して保管するストレージ方式や，中央サーバとピアのストレージを併用してデータを安全に保管する方式が盛んに研究されている．しかしながら，従来研究では，ユーザデータを復元するための演算コストとデータ容量が大きいという課題がある．

本論文では，これらの課題を解決するために，Secret sharing と AES(Advanced Encryption Standard)-256 暗号方式を適用した，中央サーバストレージを併用する分散ストレージ方式，および，中央サーバに対する Flooding DDoS (Distributed Denial of Service) 攻撃を効率良く検知する方式を提案し，計算機シミュレーションにより，提案方式の有効性を明らかにしている．

第1章では，分散ストレージ方式と Flooding DDoS 攻撃検知技術の重要性，および，当該技術が用いられる領域を概観し，本研究の目的と位置付けを述べている．

第2章では，本研究に関連する従来研究について述べ，それらの問題点を明らかにしている．

第3章では，中央サーバとピアのストレージを併用した分散ストレージにおいて，Secret sharing, AES-256, リードソロモン符号化を適用することにより，ユーザのデータを安全に保管しつつ，演算コストと保管に要するデータ容量を削減可能な方式を提案している．ユーザデータは，Secret sharing と AES-256 によって2つに分けられ，中央サーバストレージと複数のピアストレージにそれぞれ分散して保管される．ピアストレージに分散保管されたデータは，リードソロモン符号化されているため，ピアストレージからのデータが全て揃わなくても復元可能となる．実データセットを用いた計算機シミュレーションにより，提案方式は，軽量性、安定性、安全性の観点から，従来方式より特性改善ができることが示されている．

第4章では，3章の提案方式において，データの一部が保管されている中央サーバへ，Flooding DDoS 攻撃が生じた場合に，Bloom filter と Decrement-all 演算を用いることにより，攻撃検知を効率よく行う方式を提案している．提案方式では，DDoS 攻撃が生じる時には，不正アクセスの秒あたりのパケット到着数の揺らぎが大きく変化することに注目し，Bloom filter の個数と Decrement-all 演算の判定点を適応的に変化させることにより，DDoS 攻撃を高精度，高真陽性率，低偽陽性率で検知できる．実データセットを用いた計算機シミュレーションにより，提案方式は検知性能を向上させることが可能であることを示している．

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．

以上，本論文の著者は，中央サーバとピアのストレージを併用した分散ストレージにおいて，ユーザのデータを安全に保管しつつ，演算コストとデータ容量を削減可能な方式，および，中央サーバへ Flooding DDoS 攻撃が生じた場合に，攻撃検知を効率よく行う方式を提案し，計算機シミュレーションにより，提案方式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．

内容の要旨

報告番号	甲 第 5473 号	氏 名	朝比奈 啓
主論文題名： A Study on Energy-Efficient Security Schemes in Wireless Multi-Hop Networks (無線マルチホップネットワークにおける省電力化セキュリティ方式に関する研究)			
<p>無線通信技術の進歩や端末の小型化に伴い、スマートフォンやセンサを含む様々な機器をネットワークに接続する Internet of Things (IoT) の導入が進む一方、これら IoT 機器を狙った攻撃は増加しており、対策が急務となっている。一般に、IoT 機器はバッテリー駆動であるため、セキュリティの省電力化は解決すべき重要課題の一つである。しかしながら、IoT のネットワーク技術は、無線マルチホップ通信を用いることで端末の移動の有無や接続の連続性などが異なる多様なネットワーク構成を許容しているおり、それぞれのネットワーク技術に適したセキュリティの仕組みの省電力化は十分に達成されていない。</p> <p>本論文では、接続が恒常的で端末の移動が無いネットワークの代表例として無線センサネットワーク (WSN) を、接続が間欠的で端末の移動が有るネットワークの代表例として遅延耐性ネットワーク (DTN) を取り上げ、それぞれにおける最重要なセキュリティ手法の省電力化を扱う。</p> <p>本論文の構成を以下に示す。第 1 章では、従来のネットワークとの差異を概観することで IoT のセキュリティ課題を述べ、本研究の目的と位置付けを明確にする。第 2 章では、本研究で扱う IoT のシステムモデル、本研究に関連する従来研究とその問題点を述べる。第 3 章では、WSN における省電力なアップデートコード配布方式を提案する。本提案では、個々の IoT 機器のセキュリティを維持する上で最も重要となるファームウェアアップデートに注目し、アップデートを必要とするセンサへコードを配信する際の電力消費量を低減する。計算機シミュレーションにより、提案が従来提案されているアップデートコード配布方式より少ない電力でコードの配布が可能であることを示す。第 4 章では、DTN におけるメッセージフラッディング攻撃の省電力な検知法を提案する。本提案では、DTN の本質的なセキュリティ課題であるネットワーク全体の監視の困難さを悪用したメッセージフラッディング攻撃に注目し、既存の防御手法において攻撃者を特定するために端末間で交換される通信履歴が消費する電力量を低減する。計算機シミュレーションにより、提案方式が検知性能を維持しつつ通信履歴の送信による電力消費量を低減できることを示す。第 5 章は結論であり、本論文の内容を総括している。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5473 号	氏 名	朝比奈 啓
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	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. P. Takis Mathiopoulos
		東京都市大学名誉教授	工学博士 山本 尚生
<p>工学士，修士（工学），朝比奈啓君提出の学位請求論文は，「A Study on Energy-Efficient Security Schemes in Wireless Multi-Hop Networks(無線マルチホップネットワークにおける省電力化セキュリティ方式に関する研究)」と題し，全5章から構成される。</p> <p>インターネットの急速な普及，および，ネットワーク技術の進歩により，豊かな情報社会が実現しつつある一方で，ネットワークを介した攻撃が問題となっている．特に，無線通信技術の進歩や端末の小型化に伴い，スマートフォンやセンサを含む様々な機器をネットワークに接続する Internet of Things (IoT) の導入が進む一方，これら IoT 機器を狙った攻撃は増加しており，対策が急務となっている．一般に，IoT 機器はバッテリー駆動であるため，セキュリティの省電力化は解決すべき重要課題の一つである．しかしながら，IoT のネットワーク技術は，無線マルチホップ通信を用いることで，端末の移動の有無や接続の連続性などが異なる多様なネットワーク構成を許容しており，それぞれのネットワーク技術に適したセキュリティの仕組みの省電力化は，十分には達成されていない。</p> <p>本論文では，接続が恒常的な端末の移動がない場合の無線センサネットワーク (WSN) と，接続が間欠的で端末の移動が有る場合の遅延耐性ネットワーク (DTN) を例として取り上げ，それぞれにおけるセキュリティ手法の省電力化対策について検討し，WSN における省電力なアップデートコード配布方式，および，DTN におけるメッセージフラッディング攻撃の省電力な検知法を提案している。</p> <p>第1章では，無線マルチホップ通信を用いる IoT のネットワーク構成と，従来のモバイル等のシングルホップ無線ネットワークとの差異を概観することで，IoT に特化したセキュリティ課題を述べ，本研究の目的と位置付けをまとめている。</p> <p>第2章では，本研究で扱う IoT のシステムモデルと，本研究に関連する従来研究を述べ，それらの問題点を明らかにしている。</p> <p>第3章では，WSN における省電力なアップデートコード配布方式を提案している．提案方式では，個々の IoT 機器のセキュリティを維持する上で最も重要となる，ファームウェアアップデートに注目し，アップデートを必要とするセンサへコードを配布する際の電力消費量の低減方法を示している．計算機シミュレーションにより，提案方式は，従来のアップデートコード配布方式に比べて，少ない電力で，コードの配布が可能であることを示している。</p> <p>第4章では，DTN におけるメッセージフラッディング攻撃に対して，省電力な攻撃検知法を提案している．提案方式では，DTN の本質的なセキュリティ課題である，ネットワーク全体の監視の困難さを悪用したメッセージフラッディング攻撃に注目し，既存の攻撃防御手法において，攻撃者を特定するために端末間で交換される通信履歴が消費する電力量の低減を図っている．計算機シミュレーションにより，提案方式は，攻撃検知性能を維持しつつ，従来方式より，通信履歴の送信による電力消費量を低減できることを示している。</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，無線マルチホップネットワークの省電力化セキュリティ方式として，WSN における省電力なアップデートコード配布方式，および，DTN におけるメッセージフラッディング攻撃の省電力な検知法を提案し，計算機シミュレーションにより，提案方式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5474号	氏名	八馬 遼
主論文題名： Geometry-aware 3D Object Tracking for Dynamic Scene Understanding (幾何構造を考慮した3次元物体追跡による動的なシーン理解)			
<p>画像データから動的環境を理解することは、コンピュータビジョン分野では必須のタスクであり、拡張現実感、自動運転、ロボットナビゲーション、物体操作など多くのタスクに活用されている。その中の一つである3次元物体追跡は、画像からフレーム間の物体の3次元動的な動きを推定するタスクである。このタスク自体は様々なアプリケーションで研究されているが、本論文では、物体の見え方の難しさとカメラの動的な動きという新しくかつ重要な2つの観点から、このタスクに取り組む。本論文では、まず、対象物がテクスチャレスで基本的な形状をしている場合の3次元物体追跡手法を提案する。一般的な物体追跡は、対応点の探索と剛体運動の計算の2つのステップから行われる。その際、フレーム間の対応点を見つけるためには、対象物体のテクスチャまたは幾何学的情報が用いられている。そのため、物体がテクスチャレスで幾何学的に基本的形状をしている場合には、対応点を見つけることは困難である。本論文では、基本形状を超二次関数で表現することで、距離画像から基本形状物体の位置姿勢を推定する手法を提案する。この手法では、超二次関数の姿勢を外れ値に頑健に推定することで、深度画像から基本形状を追跡することが可能である。また、本論文では、シーン内の物体だけでなく、カメラ自身も独立して動いている場合の3次元物体追跡手法を提案している。従来の物体追跡では、カメラの動きと物体の動きを区別して物体自身の動きを抽出しなければならないため、このような設定で追跡することは困難である。本論文では、シーン内のカメラと物体の両方を追跡する手法を提案する。得られたRGB画像と距離画像を静的な背景と移動する各物体にセグメンテーションすることで、各物体を独立して追跡・再構成し、カメラの追跡から動的な画素を除外することができる。しかし、従来のセグメンテーションは計算量が多いため、幾何学的セグメンテーションと物体検出を利用して効率的に画像から物体を抽出する手法を提案する。以上により、本論文では、物体の見え方の難しさとカメラの動的な動きという2つの側面から3次元物体追跡手法を提案している。また、本論文では、提案された技術の今後の応用可能性と、コンピュータビジョン分野への貢献についても言及している。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5474 号	氏 名	八馬 遼
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
	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） 今井 倫太
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 青木 義満

学士（工学）、修士（工学）八馬 遼君提出の学位請求論文は、「Geometry-aware 3D Object Tracking for Dynamic Scene Understanding（幾何構造を考慮した3次元物体追跡による動的なシーン理解）」と題し、4章で構成されている。

カメラにより撮影される画像入力からの動的環境理解手法は、拡張現実、自律運転、ロボットナビゲーション、サイバー空間における物体操作など、多くの利用可能性のある重要な技術である。動的環境理解のための要素技術の一つである3次元物体追跡技術は、物体の3D空間での動きを推定し、連続する画像フレーム間で追跡するものである。一般的には、物体毎のセグメンテーション、物体の幾何学的形状特徴や外見的特徴を用いたフレーム間の対応点の探索、さらに対応点を整列させる剛体変換計算、の3ステップで行われる。本論文では、従来技術では困難とされていた、外観特徴が得られないテクスチャレス物体が移動するシーンや、3次元形状が事前にわからない物体が移動するシーンに対して、物体や環境の幾何学構造を推定しながら3次元物体追跡を行う新しい手法を提案し、その有効性を検証した成果についてまとめたものである。

第1章では、コンピュータビジョンにおける動的シーン理解とそれを構成する要素技術について概観し、特に3次元物体追跡技術の重要性とそのインパクトについて述べながら関連研究をサーベイすることによって、本論文で注目する問題設定とその位置づけを明確にしている。

第2章では、外観特徴の無いテクスチャレスな物体の3次元物体追跡手法を提案している。提案手法では、物体はサイズや向き未知な球・円筒・直方体等の基本的形状の組み合わせであると想定し、対象シーンを撮影した深度画像から超2次元関数を用いて物体形状を表現することにより物体の3次元形状と姿勢を推定し、各物体のラベルを時系列間でマッチングすることにより追跡を実現している。実験により、テクスチャレス物体形状追跡が関連研究に比べて少ない誤差で実現できることや、部位毎に形状と動きの推定が可能な人体動作推定に利用可能であることを確認している。

第3章では、未知形状物体が複数動きながら存在するシーンに対して、各物体を検出し、その形状を復元しながら追跡する手法を提案している。提案手法では、入力のRGB-D画像から、静的な背景と移動する物体に幾何学的構造を利用したセグメンテーションを行うことにより、各物体を独立して追跡しながらその形状を再構成する。そして、移動物体領域が除去された背景領域の幾何構造に基づいてカメラの位置姿勢の推定を行い、セグメンテーションおよび形状再構成された物体を追跡するものである。実験により、移動物体形状の推定精度や、計算時間が従来手法を利用した場合に比べて改善されていることを示している。

最後に第4章では本論文で得られた成果と結論をまとめ、本論文で提案した3次元物体追跡による動的シーン理解技術の成果と、本成果が活用される応用事例についての展望をまとめている。

以上要するに本研究は、カメラにより撮影される動的シーンの理解のために、シーン中に存在する様々な物体の形状や動きの推定が困難とされる条件下でも物体追跡を可能にするための新たな方法を提案し、従来法を適用した場合と比べて物体形状や物体追跡の精度を向上できることを示したものであり、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5475号	氏名	黒部 聡亮
主論文題名： Point Correspondence Discovery through Feature Space Integration for 3D Pose Estimation (3次元姿勢推定のための特徴空間統合による点対応の発見法)			
<p>カメラや物体の姿勢推定において、画像（2D）や3次元点群（3D）における点の対応関係を発見する技術は屋内外環境下において動作する自律システムによって重要な技術である。これまでに数多くの従来手法が提案されたが、それらはリアルタイム動作を優先するために、スケール不定性やキーフレームベース、事前学習の必要性において大きな問題を抱えている。本論文ではまず、画像と3次元点群からカメラの位置姿勢を推定するフレームワークを提案する。提案手法は3次元点群から生成した複数の候補画像全てとカメラ画像のマッチングを行うことで特徴量空間を統合することに焦点を当てており、直接的な比較が困難な2D-3D間の対応関係を発見する。実験を通して、LiDARにより測定した3次元点群内とその内部を走行した車載カメラ画像に対して提案手法を適用することで、車両の走行軌跡の3次元復元を行った。RTK-GPSによる測定結果を真値として、車両の位置を定量的に、推定した位置姿勢に基づいて点群から生成した画像から定性的に評価した。</p> <p>本論文ではさらに、3次元点群のレジストレーションによる物体の3次元姿勢推定を目的とした3D-3D間の対応関係を発見するDeep Neural Networkベースの手法を提案する。従来手法には、予めレジストレーションが概ね成されている状況下でのみ動作する点、3次元点群の局所的な特徴量のみを考慮している点に大きな問題を抱えている。提案手法は、3次元点群の大域的な特徴量空間を考慮し対応関係を回帰させることで従来手法の課題を解決する。実験を通して、古典的なアルゴリズム及び最新のDeep Neural Networkベースの手法と比較し、提案手法がより正確に物体の姿勢を推定できることを定量的に示し、従来手法が苦手とする物体の形状に対しても正確に推定が行えることを定性的にも評価した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5475 号	氏 名	黒部 聡亮
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	博士（工学）	斎藤 英雄
	副査 慶應義塾大学教授	博士（工学）	杉本 麻樹
	慶應義塾大学准教授	博士（情報学）	杉浦 孔明
	慶應義塾大学教授	工学博士	池原 雅章

学士（工学）、修士（工学）黒部 聡亮君提出の学位請求論文は、「Point Correspondence Discovery through Feature Space Integration for 3D Pose Estimation（3次元姿勢推定のための特徴空間統合による点対応の発見法）」と題し、5章で構成されている。

視覚センサによる環境センシング技術は、自動運転等、社会の様々な場面で利用されている。このような画像センシング技術において、カメラやLiDAR等の視覚センサによって得られたデータ間で対応する点データを発見する技術は、視覚センサの3次元姿勢を推定したり、センサや物体間の空間的位置関係を求めたりするために不可欠であり、従来から数多くの研究がなされている。本論文では、視覚センサデータからの点対応検出問題を、点の性質を表す特徴空間を統合するという基本的理念に基づく新しい手法を提案し、その有効性を検証した成果をまとめたものである。

第1章では、視覚センサにより得られる画像データや3D点群データ間で点対応を求めるための技術について概観し、本論文で解決しようとしている問題を定義し、代表的な従来研究に対する位置づけを明確に述べている。

第2章では、本研究の関連研究について、複数の画像データの2D点（画素）間の点対応、画像データの2D点と3D点群データの3D点との間の点対応、複数の3D点群データの3D点間の点対応、それぞれに対する発見法の最新研究を挙げ、本研究で提案する点の性質を表す特徴空間の統合に基づく点対応発見法のコンセプトを示している。

第3章では、カメラから得られる画像データとLiDARから得られる3次元点群データという異なる性質の視覚センサデータ間での2D-3D点対応を発見するために、3D点群データから画像を複数生成し、点対応の発見対象となる画像データとの間で2D特徴量を用いて点対応を発見するという手法を提案している。そして提案手法を用いて、車載のドライブレコーダ画像と、交差点周辺で事前にLiDARにより収集した3D点群データ間で点対応を発見することにより、ドライブレコーダ映像からの車両運動軌跡推定に応用することが可能であることを示し、さらにRTK-GPSにより測定した真値と比較した精度評価により有効性を検証している。

第4章では、3D点群データとして表される物体の3D姿勢推定を目的とした3D-3D点対応を発見するDeep Neural Networkベースの手法を提案している。提案手法は、3D点群の大域的な特徴と各点の局所的な特徴を回帰させることにより大局的特徴と局所特徴を統合したものである。実験により、古くから知られるICPアルゴリズム及び最新のDeep Neural Networkベースの手法と比較し、提案手法による点対応発見手法により正確に物体の3D姿勢の推定が可能であることを定量的に示し、さらに従来手法では大局的特徴を考慮しないために誤った姿勢が推定されてしまうような物体形状に対しても正確に姿勢推定が行えることを示している。

第5章では本論文で得られた成果と結論をまとめ、本論文で提案した特徴空間の統合に基づく点対応発見法の成果と、本成果が活用される応用事例についての展望をまとめている。

以上要するに本研究は、視覚センサにより得られたデータにより、センサ間や物体間の姿勢を正確に推定するために、点の特徴空間の統合に基づいて視覚センサデータ間の点対応を正確に発見するための新たな方法を提案し、従来法に比べて点対応発見の精度を向上できることを示したものであり、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 5476 号	氏 名	小島 拓也
主論文題名： Mapping Optimization Techniques for Coarse-Grained Reconfigurable Architectures (粗粒度再構成可能アーキテクチャ CGRA のためのマッピング最適化手法)			
<p>粗粒度再構成可能アーキテクチャ (CGRA: Coarse-Grained Reconfigurable Architectures) はワード単位で再構成が可能なデバイスであり、ビット単位の再構成を行う FPGA と比べエネルギー効率に優れる。そのため、CGRA は IoT デバイスやセンサーネットワーク、エッジコンピューティングのためのプラットフォームとして期待されている。一般に、CGRA は多数の演算処理ユニット (PE) をアレイ状並べた構造を持つ。CGRA のコンパイラはこの豊富な計算資源を効率的に利用するために、汎用プロセッサにはない複雑な処理を遂行する必要がある。特にアプリケーションマッピングは性能やエネルギー効率に大きな影響を及ぼすことから、数多くのマッピング最適化手法が提案されている。しかしながら、それらの多くが性能の向上またはリソースの節約にのみ注力しており、多様化する利用ケースに対応できていない。</p> <p>本論文では遺伝的アルゴリズムを用いた多目的最適化を行うアプリケーションマッピングフレームワーク GenMap を提案する。本フレームワークは特定のアーキテクチャ、特定の最適化目的に依存しない。したがって、ユーザは自身の利用ケースに応じて、最適化項目をカスタマイズすることが可能である。本論文は初めに、本フレームワークで対処すべき問題を明らかにし、遺伝的アルゴリズムを適用する。しかし、全ての問題を遺伝的アルゴリズムのみで解決するには、膨大な時間を要する。そこで、本論文では効率的な最適化を行うために、様々なヒューリスティクスを考案し、本フレームワークへ組み込む。さらに、消費電力を最適化するために、ダイナミック電力のモデル化やリーク電力を最小化するための整数計画法も合わせて提案する。</p> <p>評価は 3 種類の試作チップを対象に行った。評価の結果、提案手法は既存の手法と比較してリソース使用量を保ったまま、15.7%の配線量削減を示した。さらに、実機測定を行った結果、2 つの既存手法と比べ 12.1~46.8%の消費エネルギー削減と最大 2 倍の性能向上が得られた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5476 号	氏 名	小島 拓也
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 天野 英晴
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 西 宏章
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 矢向 高弘
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 松谷 宏紀
		東京大学准教授	博士（工学） 近藤 正章
<p>修士（工学）、小島拓也君の学位請求論文は、「Mapping Optimization Techniques for Coarse-Grained Reconfigurable Architectures（粗粒度再構成可能アーキテクチャ CGRA のためのマッピング最適化手法）」と題し7章から成る。</p> <p>ハードウェア構成を柔軟に変更することのできる再構成可能デバイスのうち、CGRA (Coarse-Grained Reconfigurable Architecture: 粗粒度再構成可能アーキテクチャ)は、多数の PE (Processing Element) の機能と、PE 相互間を接続するインターコネクションの接続を再構成可能とすることで、アプリケーションのデータフローを PE アレイに割り当てて実行し、高いエネルギー効率を実現する。このうち、動的再構成を頻繁に行わない静的な PE アレイ構造を持つ CGRA は、エネルギーに対する要求の厳しいエッジ用途のアクセラレータとして注目されている。しかし、CGRA は、細粒度再構成デバイスである FPGA (Field Programmable Gate Array) に比べて設計ツールの開発が遅れており、多様なアプリケーションに対して十分なエネルギー効率を発揮することができなかった。</p> <p>本論文では、静的構造を持つ CGRA のボディバイアスとグリッジ伝搬に関する電力モデルを、実際に動作しているチップの電気的特性に基づき確立し、このモデルに基づき、多目的最適化アルゴリズムにより、問題の PE アレイへのマッピングを行う手法を提案する。さらにこの手法を組み込んだ実用的な設計ツール GenMap を開発し、実チップを用いた評価によりその有効性を確認している。</p> <p>本論文の構成は以下の通りである。まず、1 章で最近の領域特化型アクセラレータの発展と可能性について示し、2 章で CGRA の構成に加えてボディバイアスを含む CMOS の基本的電力モデルを提示している。3 章では、従来の CGRA のマッピングツール、最適化ツールについて調査し、特に電力最適化の議論が欠けている点を指摘している。また、本論文で対象とする具体的なアーキテクチャである CMA (Cool Mega Array) を紹介している。</p> <p>4 章以降が本論文の主題である。CGRA は大規模な PE アレイを用いることから、漏れ電力が問題となる。ボディバイアスを利用すれば漏れ電力を抑制することが可能だが、性能が犠牲になる。そこで、ここでは実チップから得られた知見に基づき ILP(Integer Linear Program)のモデル式を構築し、最適化を施すことで、エネルギーを削減させる手法を提案している。PE アレイの行単位の最適化を行った結果、24.5%から 16.1%のエネルギー削減に成功している。次に 5 章では、大規模な PE アレイ上で伝搬するグリッジによるエネルギーの消費に着目した。グリッジ伝搬は、パイプラインレジスタを挿入することで抑制できるが、パイプラインレジスタは、クロックツリー、レジスタへのデータ格納に関連する電力消費を伴う。このトレードオフをモデル化し、電力消費を実際のチップの 10%程度で予測する手法を提案した。6 章では、4, 5 章のモデルに基づき、遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化手法を組み込んだマッピングツール GenMap の開発について述べている。GenMap は従来のマッピングツールに比べて、短時間で設計者の要求に応じて、性能、電力の最適化を行うことが可能であり、この点を様々なアプリケーションについての評価結果より示している。7 章はまとめと今後の課題である。</p> <p>以上、本研究は、CGRA のマッピングについて、ボディバイアスを含めた最適化、グリッジ伝搬についてのモデル式を提案し、これらを組み込んだ実用的なツールを開発した点で、その貢献は工学上少なくない。</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>			

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No. 5477	Name	WICKRAMAARACHCHI A, SHANAKA P ABEYSIRIWARDHANA
Thesis Title			
Smart Community Edge Platform Providing Stream Content Analysis, Service Migration, and Service Chaining			
<p>A smart community utilizes information technology to interconnect and manage community infrastructures. These networks consist of many Internet of Things(IoT) devices that provide different services to the end-users. In conventional networks, these sensor data send to cloud services for processing and management. However, cloud-based data processing introduces latency to the services. Fog computing techniques have been introduced to support these services at the network edge reducing the network latency. Smart community networks should support latency-sensitive services such as smart grid systems at the edge. In addition, Smart community services require service migration and service chaining to manage and distribute multiple services. For example, the current smart community edge(SCE) supports smart energy management services where data anonymization and data aggregation services should be chained, and the services should be migrated depending on the network's location and network traffic.</p> <p>SCE services can leverage generic hardware devices and network virtualization technologies to deploy the services without proprietary middleware devices. The current network virtualization methods mainly consider only core network applications. In contrast, smart community services operate on application layer data and process in-transit data to capture sensor data at the edge. Therefore, data extraction edge nodes that support sensor data processing are required to support these smart community services. A service-oriented container-based solution that processes data streams from sensors using conventional hardware will improve the applicability, compatibility, and latency of smart community services.</p> <p>To this end, a software-based edge node, namely, the SCE platform, was proposed to support smart community services. SCE supports data-tapping applications, especially for IoT devices, and has a stream processing feature with a comparatively shorter processing delay. This tapping and processing function on in-transit data was named stream content analysis(SCA). SCA captures in-transit data through zero copy stream reconstruction and string matching process. Afterward, SCE proposes a distributed rule application method to manage multiple services and distribute matched data to the services. Docker containers to provide remote deployment, service migration, and service isolation. The real world SCE platform implementation allows SCE services to operate on 10Gbps links and apply 100 accumulated rules while maintaining less than</p>			

1ms latency using commodity hardware devices.

To support SCE service migration, SCE proposes a consistently guaranteed migration method to support service migration to distribute the services depending on the nodes' availability. The proposed migration technique is designed to guarantee network consistency while migrating between nodes. Compared to existing container migration methods, the proposed migration reduces the migration data transfer through container layers and migrating only the streams affected by the migration application through SCA. The proposed container migration methods reduced the network downtime by more than 10% compared to conventional methods for containers with image sizes larger than 400MBs. Furthermore, SCE services require chaining to distribute sensor data efficiently to the edge nodes to apply multiple network services for a given traffic flow. To this end, SCE introduces a service function chaining-based request distribution method that utilizes proactive data collection and heuristics to analyze the network traffic and to select optimal SCE nodes. The SCE request distribution method reduces the end-to-end service latency by 10% compared to the available algorithms. The SCE platform provides commodity hardware-based SCA, distributed rule change application, service migration, and service chaining to support SCE services.

審査の要旨

報告番号	甲 第 5477 号	氏 名	Wickramaarachchi A Shanaka P Abey Siriwardhana	
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	天野 英晴
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学）	金子 晋丈
		慶應義塾大学准教授	博士（工学）	久保 亮吾
<p>M.Sc., Wickramaarachchi A Shanaka P Abey Siriwardhana 君提出の学位請求論文は、「Smart Community Edge Platform Providing Stream Content Analysis, Service Migration, and Service Chaining（ストリームコンテンツ分析、サービス移行、サービスチェーンを提供するスマートコミュニティエッジプラットフォーム）」と題し7章から成る。</p> <p>地域のインフラを相互に接続し管理する情報通信システムには様々な IoT デバイスが接続され、その取得データや制御を基本としたサービスが提供される。一般に取得データはクラウドに送られ処理されるが、スマートコミュニティにおいては、エッジコンピューティング技術を用いてネットワークの途中でデータを処理しサービス提供を行うことで、サービス全体の低遅延化やプライベートな情報を地域に閉じ込める試みが進められている。さらに、スマートコミュニティでは、複数のサービスを管理し、さらに分散処理する必要があり、この効率化が望まれている。</p> <p>本論文では、この効率化手段として、クラウドを含む複数のエッジからサービス提供場所を自由に選択でき、かつ動的に移動も可能な仕組みであるサービスマイグレーション、さらに、複数の場所にある共通機能を相互に連結して利用するサービスチェイニングに注目し、汎用デバイスとネットワーク仮想化技術を活用して、独自のミドルウェアデバイスを使用することなく、互換性を維持したサービス展開を可能とする環境を構築する。</p> <p>本論文の構成は以下の通りである。まず、第1章でスマートコミュニティにおける情報システムの概要や標準化も踏まえた研究対象の定義および論文構成について触れ、第2章でその研究背景および関連研究について、特に関連ソフトウェアライブラリ、複数サービスのハンドリング、サービスチェイニングにおける最適化に注目してまとめると共に、スマートコミュニティにおけるサービス提供手段としての問題点についてまとめている。第3章以降が本研究の主題である。</p> <p>第3章では、ネットワークを中継地点で直接タッピングし解析することでサービス提供の幅を拡張するストリームコンテンツ解析手法を提案している。特に今後導入数が増大する IoT デバイスのデータをネットワーク途中でタッピングするアプリケーションの構築をサポートし、低処理遅延を実現するゼロコピーストリーム再構築と、分散処理可能で異なる正規表現フィルタをサービス毎に設定可能な高スループット文字列マッチング処理により、サービスアプリケーションにとって利用しやすい形でストリームデータの解析結果を提供する。</p> <p>第4章では、スマートコミュニティサービスをエッジで提供するためのコンテナサービスの構築手法を提案している。Docker コンテナを介してサービスのリモートデプロイ、マイグレーション、セパレーションを提供でき、実装ライブラリを利用することで、10Gbps リンクでの動作や、一般的なサーバを使用した場合でも100個の異なるマッチングルールで1ms以下の処理遅延を達成可能であることを示している。</p> <p>第5章では、ネットワークコンシステンスを保証するサービスプロセスマイグレーション手法を提案している。ノードの可用性に応じてサービスを移動、分散可能であり、かつ、移動の際に自身および他のサービスの停止や一貫性の欠如を一切生み出さない機構を構築している。性能に関して、イメージサイズが400MB以上のコンテナでは、従来と比較してネットワークのダウンタイムを10%以上削減できる。</p> <p>第6章では、これらの機能と共にサービスファンクションチェイニングを Cloudsim 上に実装し評価している。既存手法と比較して、全体遅延を10%削減している。最後に第7章の結言として、提案するスマートコミュニティプラットフォームとそのインフラ適用について述べている。</p> <p>以上、本研究はスマートコミュニティサービスの提供に必要な機能を揃えた通信インフラアーキテクチャの全体像を示すとともに、その性能についても従来手法を上回るなどその貢献は工学上少なくない。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 5478 号	氏 名	窪田 貴文
主論文題名： Increasing Developer Productivity by Improving Build Performance and Automating Logging Code Injection (ビルド高速化とログの自動挿入による開発者の生産性向上に関する研究)			
<p>近年、システムソフトウェアの開発規模が爆発的に増大しているにつれ、より効率的な開発手法が求められてきている。例えば、大規模なソフトウェア開発では Continuous Integration (CI) という手法が事実上の標準となっている。CI では開発者が自身のコード変更を頻繁にメインリポジトリにマージし、そのたびに自動化されたビルドとテストが実行されている。</p> <p>しかしながら、この開発手法の効率を低下させる要因として、開発者がソフトウェアのロジックとは無関係な工程に時間が取られてしまっている点がある。本論文では次の 2 点に注目する。1) ビルド時間：近年、頻繁にビルドが発生する開発環境ではビルド時間は無視できないオーバーヘッドとなってきた。2) ログの挿入：挿入されているログの品質が高いほど、大規模なソフトウェアのデバッグ時間が短くなることが知られている。しかし、どこにどのようなログを挿入すればよいのかは開発者の専門知識と Engineering effort に大きく依存し、時間のかかる作業である。</p> <p>そこで、本論文では大規模な C++ プロジェクトのビルドパフォーマンス向上を目指したビルドシステム Cauldron とマルチスレッドな C プロジェクト向けのログの自動挿入ツール K9 を提案する。Cauldron はより洗練された Unity Build をサポートし、コンパイルされるファイル数に応じて動的にビルドの挙動を変更する。そして、従来の手法よりもビルドに要する時間を改善できることを示す。例えば、WebKit の Continuous Build においてビルド時間を 23% 削減できる。</p> <p>また、K9 ではマルチスレッドで共有されるデータ間で発生するデータ依存関係を考慮したログの自動挿入を行う。マルチスレッド環境では障害を発生させるスレッドとバグを実行したスレッドが異なる場合があり、スレッド間の依存関係を記録することがデバッグ時に重要となる。K9 はソースコード解析を用いてスレッド間のデータ依存関係を発生させる典型的なコード箇所を検出し、記録するログコードを自動挿入する。K9 よって挿入されたログは Linux kernel の 1 つの未発見のバグを含む、4 つの存在するバグに対してデバッグ時に有効な情報を提供できることを示す。</p> <p>本論文の貢献は次にまとめられる。ソフトウェア開発の効率を妨げる要因となるソフトウェアロジックとは無関係な工程であるビルドとログの挿入に対して有効な 2 つツールの提案・実装・評価を示している。ソフトウェア開発は複数の工程で成り立っており、開発サイクル全体の効率化を図ることが重要である。本論文では、ビルドとログの挿入の 2 つの異なる工程の効率化を模索しており、ソフトウェア開発のそれぞれの工程での効率化に役立てることができる。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5478 号	氏 名	窪田 貴文
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
		慶應義塾大学教授	博士 (工学) 遠山 元道
		電気通信大学教授	工学博士 岩崎 英哉

学士(工学)、修士(工学)窪田貴文君の学位請求論文は、「Increasing Developer Productivity by Improving Build Performance and Automating Logging Code Injection (ビルド高速化とログの自動挿入による開発者の生産性向上に関する研究)」と題し、全 5 章で構成されている。

近年、システムソフトウェアの開発規模が爆発的に増大するのに伴い、より効率的な開発手法が求められている。実際、大規模なソフトウェア開発では Continuous Integration (CI) という手法が事実上の標準となっている。CI では開発者が自身のコード変更を頻繁にメインリポジトリにマージし、そのたびに自動化されたビルドとテストが実行されている。しかしながら、ソフトウェア開発の効率を低下させる要因として、開発者がソフトウェアロジックとは無関係な事柄に時間を割いている点が挙げられる。本論文ではこのような背景において次の 2 点に注目している。1) ビルド時間：近年、頻繁にビルドが発生する開発環境ではビルド時間は無視できないオーバーヘッドとなってきている。2) ロギングコードの挿入：挿入されているロギングコードの品質が高いほど、大規模なソフトウェアのデバッグ時間が短くなることが知られている。しかし、どこにどのようなロギングコードを挿入すればよいのかという点は、開発者の専門知識と経験に基づいており時間のかかる作業となっている。この 2 つの課題を解決するために、本論文では大規模な C++ プロジェクトのビルド高速化を図るための新たなビルドシステムと、大規模なマルチスレッド C プログラムに対する円滑なロギングを支援するツールの提案、実装、評価を行なっている。本論文の貢献によって複数の開発工程からなるソフトウェア開発において、特に時間のかかる工程であるビルドとデバッグを支援することができる。また、提案されている設計および評価結果は将来のプログラミング言語、コンパイラ、ビルドシステムから構成されるビルド時のエコシステムの設計とデバッグのためのシステムティックなロギングコード挿入ツールの設計に有用な知見を与える。

第 1 章では、現状のソフトウェア開発の規模、そしてビルド時間とログ挿入のコストについて論じ、本論文の目的と論文の構成について述べている。

第 2 章では、C++ プロジェクトにおけるビルド高速化、ソフトウェアの障害解析という観点から既存の手法をそれぞれのアプローチごとに分類し本論文との差分について議論している。

第 3 章では、大規模な C++ プロジェクト向けのビルドシステムについて述べている。まず、近年 C++ プロジェクトにおけるビルド時間が長くなってきていることに触れ、解決策の一つとして注目されている Unity Build について議論している。そして、既存の Unity Build の性能評価を通じて改善点を明らかにし、それを新しいビルドシステムとしてデザイン、実装している。そして、提案手法によって CI を想定した実験においてビルド時間を 23% 削減できることを示している。

第 4 章では、スレッド間のデータ依存関係を追跡可能とするロギングコードの自動挿入ツールについて述べている。マルチスレッド環境では障害を発生させるスレッドとフォールトを活性化させるスレッドが異なる場合があり、スレッド間の依存関係を記録することがデバッグ時に重要となる。そこで、ソースコード解析を用いて依存関係を発生させる典型的なコード箇所を検出し、依存関係を記録するログコードを自動挿入するツールを提案、実装をしている。提案ツールによって未発見のバグを含む、実際の Linux kernel のバグにおいてデバッグ時に有効なログメッセージを出力できていることを示している。また、実行時オーバーヘッド (スループット低下) についても平均 1.25% であることを示している。

第 5 章では、本論文で得られた成果をまとめている。また、それぞれの研究における今後の方向性について議論している。

以上、本論文は大規模なソフトウェア開発における開発者の生産性向上に関する重要な成果であり、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。

内容の要旨

報告番号	甲 第 5479 号	氏 名	田中 俊也
主論文題名： Experimental study on the stability and measurement of ultrafine bubbles in water (水中のウルトラファインバブルの安定性および計測に関する実験的研究)			
<p>国際標準化機構 (ISO) によれば、ウルトラファインバブル (UFB) は「体積相当直径 1 μm 未満の気泡」と定義され、数週間以上水中に安定して存在し続ける泡であるとされる。しかしながら、UFB の安定性は古典的な理論では説明できず、研究者の間で議論を呼んでいる。本論文は、この問題を解決する手段として各国研究者間の共同研究の推進を提案し、標準サンプルとなりうる UFB を対象とした安定性試験を実施した。加えて、代表的な UFB の計測法である粒子追跡法 (PTA 法) の改善点を指摘し、屈折率に関する新たなデータ解析方法も提案した。</p> <p>第 1 章は、UFB に関連する用語を整理し、ISO の定義および ISO 規格化の状況、そして学術界の議論をまとめた。UFB が気泡かどうかをめぐって混乱する現状を解決する手段として、国際的な共同研究の推進が一つの解決策となりうると指摘した。</p> <p>第 2 章では、基礎的な分析操作に不可欠な、希釈・濃縮操作が UFB の安定性に及ぼす影響を検討した。UFB は安定性を保ったまま、任意の濃度に希釈・濃縮可能であった。また、濃縮した UFB 分散液を用いて、動的光散乱法 (DLS 法) の解析アルゴリズムを議論した。</p> <p>第 3 章では、商用 UFB 発生装置を用いた UFB 分散液の製造及び製造した UFB の長期安定性について議論した。まず、UFB 発生挙動について溶存ガスおよび全有機炭素濃度の測定から考察した。続いて、UFB の長期安定性におよぼす保存容器および温度の影響を検討した。UFB の安定性は二次反応型の凝集モデルによって予測できると示し、凝集速度定数をまとめた。</p> <p>第 4 章ではドイツとカナダの研究機関と協力し、飛行機による国際輸送中の UFB 安定性を報告した。安定した輸送のための液充填方法を明らかにした。また、実験室での振動試験により、輸送中の振動が引き起こす液流動が UFB の凝集を促進する可能性を指摘した。加えて、PTA 法の個数濃度測定誤差の原因を明らかにし、その解決策についても考察した。</p> <p>第 5 章では、超音波間接照射によって UFB を不安定化し除去できることを示した。ゼータ電位および電気化学的液物性の測定から、UFB の不安定化メカニズムを明らかにした。UFB の散乱強度および屈折率についても議論し、商用 PTA 装置を用いた汎用性の高い屈折率推定方法を提案した。</p> <p>第 6 章では本研究で得られた知見についてまとめ、今後 UFB を共同で研究する際に注意を払うべき点や報告されるべき事項について考察した。</p> <p>以上の通り、本論文では、水中の UFB の基礎物性を明らかにした。同時に、主要な計測装置の改善点と新たな物性解析手法を提案した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5479 号	氏 名	田中 俊也
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
	慶應義塾大学教授	工学博士	朝倉 浩一
	慶應義塾大学教授	博士（農学）	奥田 知明
	慶應義塾大学准教授	Ph. D.	安藤 景太

学士(工学)、修士(工学)田中俊也君の学位請求論文は「**Experimental study on the stability and measurement of ultrafine bubbles in water**（水中のウルトラファインバブルの安定性および計測に関する実験的研究）」と題し、全6章からなる。

本論文は近年急速に普及が進んでいるウルトラファインバブル（以下、UFB）の調製と計測に関する評価と最適化手法を示している。国際標準化機構（ISO）によれば、UFBは「体積相当直径1 μm未満の気泡」と定義され、数週間以上水中に安定して存在し続ける泡であるとされる。しかしながら、UFBの安定性は古典的な理論では説明できず、研究者の間で議論を呼んでいる。本論文ではこの問題を解決する手段として研究者間の国際共同研究を提案し、標準サンプルとするUFBの安定性試験を実施している。さらに代表的なUFB数濃度の計測法であるナノ粒子追跡法（PTA法）の改善点を指摘したうえで新たなデータ解析方法を提案している。

第1章では、UFBに関連する専門用語、ISOにおけるUFBの定義および国際規格化の現状を整理している。またUFBが気泡か否かをめぐる学术界での議論を解決するために、国際的な共同研究の推進が一つの解決策となりうると指摘している。

第2章では、基礎的な分析操作に不可欠な、希釈・濃縮操作が水中のUFBの安定性に及ぼす影響について検討し、UFBが安定性を保持しつつ任意の濃度に希釈や濃縮が可能であると示している。また濃縮により適切な濃度に調製されたUFBサンプルを用いて、動的光散乱法（DLS法）によるUFB数濃度の解析アルゴリズムを議論している。

第3章では、商用UFB発生装置で製造された水中のUFBの長期安定性について議論している。まず水中溶存ガスおよび全有機炭素濃度の測定からUFB発生挙動、続いてUFBの長期安定性におよぼす保存容器および温度の影響について検討している。UFBの凝集挙動はSmoluchowskiのモデルによって予測できることを示して凝集速度定数を求め、低い温度ほど凝集速度定数は小さく、長期間安定して保存できると明らかにしている。

第4章では、ドイツとカナダの研究機関と国際協力による国際航空輸送中のUFB安定性と、物性を変化させない輸送時の液充填方法を見出している。また振動試験を実施し、輸送中の振動に由来した液流動に伴うUFB凝集の可能性を指摘している。さらにPTA法の数濃度測定誤差の原因を明らかにし、解決策について示唆している。

第5章では、超音波照射によってUFBを不安定化し除去できることを示している。ゼータ電位および電気化学的液物性測定からUFBの不安定化メカニズムを解明している。商用PTA装置でのUFB分析では、UFBからのレーザー光散乱強度および屈折率について議論し、より汎用性の高い屈折率推定方法を提案している。

第6章は本論文の結論であり、全体の総括とともに得られた知見についてまとめ、今後UFB研究における注意点や報告すべき事項について示唆している。

以上要約すると、本論文では水中のUFBの基礎物性を明らかにし、主要なUFB数濃度計測装置の改善点と新たな物性解析手法を提案している。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。

内容の要旨

報告番号	甲 第 5480 号	氏 名	松本 卓夫
主 論 文 題 名 :			
食品製造におけるスマートファクトリー構築に関する研究			
<p>インダストリー4.0 の概念が提唱され、IT 先端技術の開発は著しく進化してきている。その中で巨大 IT 関連企業 G A F A (Google、Apple、Facebook、Amazon) が消費者市場で発展を続けている。</p> <p>これに対して製造業では、インダストリー4.0 の概念を具現化させるスマートファクトリーの構築が注目され、多くの研究が行われているが、いずれもスマートファクトリーの構築に貢献するためのコンポーネントや、通信技術、AI 技術、ロボティクス技術等固有技術に関するものが多く、具体的なスマートファクトリー構築の事例は少ない。スマートファクトリー構築とその活用には、ツールである IT 技術を実際の工場を稼働させるための OT (Operation Technology) に融合させることが非常に重要である。本研究では、日本の食品業界に焦点を当て、まず日本の食品業界の現状をサプライチェーンの視点から調査分析した。その内容は、食品ロス低減対策のための、食品の日付別管理、納品ルール、サプライチェーン効率化、食品の安全確保のためのトレーサビリティ等である。</p> <p>次に、スマートファクトリーの構築と運用においては、調達と販売を含めてサプライチェーンを効率的に運用することが不可欠であるために、特にスマート化と係りが深い需要分析、及び生産計画作成のアルゴリズムについて事例分析を行った。また、大手乳業会社の新工場と物流センター建設を事例として、スマートファクトリー構築のグランドデザインの方法論を提案し、効果分析を行った。</p> <p>本研究の提案モデルは、スマートファクトリーに向けた、食品工場における最適製造ライン設計問題と工場のシステムにおける水平階層型システムモデルの 2 つである。</p> <p>具体的には、最適製造ライン設計問題についてプロセスチーズ工場の設備投資問題の事例をもとに、連続した 2 工程間の設備投資最適化モデルを構築し、設備投資後の運用費用も考慮して初期の設備投資問題として定式化を行い、実用的な解法アルゴリズムを開発した。このモデルの特徴は、設備投資費用だけでなく、運用費用として 2 工程間の設備能力の同期化費用及び需要変動に追随するための稼働費用(柔軟性費用)を考慮して設備投資の意思決定を行うことである。</p> <p>スマートファクトリー構築のグランドデザインの方法論では、水平階層型システムモデルを中心に、従来の製造ごとに分かれた垂直型システムモデルの短所を克服できるように、製造工程を 5 つの水平方向に区分し各水平階層の機能を標準化するシステムモデルを提案した。このシステムモデルでは、システムの接続性が標準化され、拡張と運用の切り替えが容易になる特徴がある。また、各システム機能がモジュール化できるので、横展開が容易になる。そのため OT の標準化が容易になり、新工場建設及び増設における効率が飛躍的に向上し、インダストリー4.0 の概念である水平・垂直統合に大きく貢献できる。提案した方法論については、操作機能と可視化機能、ノウハウの蓄積と活用、トレーサビリティ確保、ロボット管理機能、IT と OT 及び MT と IT の融合機能及びサイバー・フィジカルの階層による区分について、事例を用いて有効性に関する検証を行った。そして、大手乳業メーカー Y 社のヨーグルトとデザート製造工場のシステム導入・更新時の工数と費用等について比較を行い、総じて 30~50% の費用が削減できることを確認した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5480 号	氏 名	松本 卓夫
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	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 稲田 周平
		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） 志田 敬介
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 中野 冠

上記の松本卓夫君の学位請求論文では、「食品製造におけるスマートファクトリー構築に関する研究」との題目のもとで、食品製造工場における最適製造ライン設計モデル、および水平階層型システムモデルを提案し、事例研究を通じてその有効性を示している。

近年、GAF(A(Google, Apple, Facebook, Amazon))などの巨大プラットフォームが消費者市場で発展を続けている。これに対して製造業では、Industri4.0 とスマートファクトリーの構築が注目され、多くの研究が行われているが、ロボティクス等固有技術に関するものが多く、管理技術を含む具体的なスマートファクトリー構築の事例は少ない。

このような背景の下で、本研究では日本の食品業界に焦点を当て、日本の食品業界の現状をサプライチェーンマネジメントの視点から、食品ロス低減対策のための食品の日付別管理、納品ルール、サプライチェーンの効率化、食品のトレーサビリティ等について調査分析し、調達と販売を含めてサプライチェーンを効率的に運用することが不可欠であることを指摘している。また、大手乳業 Y 社を事例として、工場のスマート化に強く関連する需要分析、設備投資、生産ラインの構成と運用について事例分析を行っている。さらに、同社の新工場建設を事例として、スマートファクトリー構築における方法論を提案し、事例研究を通じて提案モデルの有効性を示している。

本研究の主な貢献はスマートファクトリー構築における、(1) 最適製造ライン設計モデルの提案と事例研究、(2) 水平階層型システムモデルの提案と事例研究である。

まず、最適製造ライン設計モデルでは、連続した 2 工程間の設備投資最適化モデルを構築し、設備投資後の運用費用も考慮して初期の最適設備投資問題及び最適設備運用問題の定式化を行い、実用的な解法アルゴリズムを開発している。このモデルの特徴は、設備投資費用だけでなく、運用費用として 2 工程間の設備能力の同期化費用及び需要変動に追随するための稼働費用(柔軟性費用)を考慮して設備投資の意思決定を行うことである。提案モデルとアルゴリズムは、大手乳業 Y 社のプロセスチーズ工場の実データを用いた事例研究によりその有効性が示されている。

次に、水平階層型システムモデルでは、従来の製造ごとに分かれた垂直型システムモデルの短所を克服できるように、製造工程を 5 つの水平方向に区分し、各水平階層の機能を標準化するシステムモデルを提案している。このシステムモデルでは、システムの接続性が標準化され、拡張と運用の切り替えが容易になる特徴がある。また、各システム機能がモジュール化できるので、横展開が容易になる。提案した方法論については、操作機能と可視化機能、ノウハウの蓄積と活用、トレーサビリティの確保、ロボット管理機能、OT と IT 及び MT と IT の融合機能、及びサイバー・フィジカルの階層による区分について、事例を用いて有効性を検証している。そして、同 Y 社のヨーグルトとデザート製造工場のシステム導入・更新時の工数と費用等について比較を行い、総じて 40% の費用が削減できることを確認し、提案モデルの有効性を示している。

以上を要するに、本論文は食品製造におけるスマートファクトリー構築について、最適製造ライン設計モデルの提案と事例研究、および水平階層型システムモデルの提案と事例研究を行い、提案モデルの有効性を示している。本論文の成果は食品業界におけるスマートファクトリーの構築と普及に貢献できるものであり、学術ならびに実務的な貢献は大きい。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。

内容の要旨

報告番号	甲 第5514号	氏名	西 信哉
主論文題名： 位置及び 1,2- <i>cis</i> - β -立体選択的グリコシル化反応の開発と 病原菌抗原糖鎖合成への応用			
<p>β-マンノシド及びβ-ラムノシドに代表される 1,2-<i>cis</i>-β-グリコシドは、様々な医薬品や天然生物活性分子に含まれており、これら糖質の機能解明と構造活性相関の解明、さらにはワクチン開発など、医療分野への応用が期待されている。そのため、現在、構造が明確かつ純粋な 1,2-<i>cis</i>-β-グリコシドの化学合成による供給が強く求められている。しかし、1,2-<i>cis</i>-β-グリコシドの立体選択的合成は、隣接基関与やアノマー効果が利用できないこと、及び 2 位置換基の立体障害が大きいことから非常に困難であり、立体選択的かつ効率的な方法論の開発が求められている。そこで、本論文では、新たな位置及び 1,2-<i>cis</i>-β-立体選択的グリコシル化反応の開発と病原菌の抗原糖鎖合成への応用について記述した。</p> <p>序論では、従来の 1,2-<i>cis</i>-β-グリコシル化反応とその問題点について概説した。さらに、本研究の目的及び位置付けについて記述した。</p> <p>本論第 1 章では、ボロン酸触媒を用いた糖ジオールに対する位置及び 1,2-<i>cis</i>-β-立体選択的マンノシル化反応の開発について記述した。すなわち、糖供与体として 1,2-アンヒドロマンノース、糖受容体として糖ジオールを選択し、ボロン酸触媒を用いたグリコシル化反応を検討した結果、対応するβ-マンノシドが高い位置及び立体選択性で得られることを見出した。さらに、本手法を応用した、β-マンノシド結合を有する病原性大腸菌 O75 由来四糖鎖合成について記述した。すなわち、有機ホウ素化合物を利用したグリコシル化反応を駆使することで合成した三糖鎖に対し、本章で開発した位置及び 1,2-<i>cis</i>-β-立体選択的マンノシル化反応を適応することで、病原性大腸菌 O75 由来四糖鎖の効率的な合成を達成した。</p> <p>本論第 2 章では、有機ホウ素化合物を用いた 1,2-<i>cis</i>-β-立体選択的ラムノシル化反応の開発について記述した。より構築困難なβ-ラムノシド結合の構築を目的とし、有機ホウ素化合物として、ボリン酸を選択し、1,2-アンヒドロラムノースとモノオールとのグリコシル化反応を検討した結果、対応するβ-ラムノシドが完全な立体選択性で得られることを見出した。さらに、速度論的同位体効果及び DFT 計算を利用した反応機構解析の結果、本反応が高分離性の協奏的 S_Ni 型機構で進行することが示唆された。次に、位置及び 1,2-<i>cis</i>-β-立体選択的ラムノシル化反応の開発を目的として、有機ホウ素化合物としてボロン酸を用いた、1,2-アンヒドロラムノースと糖ジオールとのグリコシル化反応を検討した。その結果、対応するβ-ラムノシドが高い位置及び立体選択性で得られることを見出した。</p> <p>本論第 3 章では、構築困難なβ-ラムノシド結合を有する病原性大腸菌 O1 由来五糖鎖合成について記述した。すなわち、本論第 2 章で開発したボロン酸触媒を用いた位置及び 1,2-<i>cis</i>-β-立体選択的ラムノシル化反応を適応することで、病原性大腸菌 O1 由来五糖鎖の初の合成を達成した。さらに、鳥類病原性大腸菌 (APEC) O1 株をニワトリに免疫することで調製した抗 APEC O1 血清と、合成した五糖鎖を複合化した複合糖質を用いて、抗 APEC O1 抗体と複合糖質との結合を評価した結果、病原性大腸菌 O1 由来五糖鎖が、APEC O1 に対するワクチン開発に有望な抗原候補糖鎖であることを明らかにした。</p> <p>結論では、本研究を総括し、今後の展望について記述した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5514 号	氏 名	西 信哉
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） 藤本 ゆかり
		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） 高橋 大介
		慶應義塾大学教授	理学博士 千田 憲孝

学士(工学)、修士(工学)西信哉君の学位請求論文は、「位置及び 1,2-*cis*- β -立体選択的グリコシル化反応の開発と病原菌抗原糖鎖合成への応用」と題し、序論、本論第 1～第 3 章、及び結論で構成されている。 β -マンノシド及び β -ラムノシドに代表される 1,2-*cis*- β -グリコシドは、様々な医薬品や天然生物活性分子に含まれており、これら糖質の機能解明やワクチン開発など、医療分野への応用が期待されている。そのため、現在、構造が明確かつ純粋な 1,2-*cis*- β -グリコシドの化学合成による供給が強く求められている。しかし、1,2-*cis*- β -グリコシドの立体選択的合成は、隣接基関与やアノマー効果が利用できないこと、さらには、2 位置換基の立体障害が大きいことから非常に困難であり、立体選択的かつ効率的な合成方法論の開発が必要とされている。本論文では、新たな位置及び 1,2-*cis*- β -立体選択的グリコシル化反応の開発と病原菌の抗原糖鎖の合成について記述している。

序論では、従来の 1,2-*cis*- β -グリコシル化反応とその問題点について概説している。さらに、本研究の目的及び位置付けについて記述している。

本論第 1 章では、ボロン酸触媒を用いた糖ジオールに対する位置及び 1,2-*cis*- β -立体選択的マンノシル化反応の開発について記述している。すなわち、糖供与体として 1,2-アンヒドロマンノース、糖受容体として糖ジオールを選択し、ボロン酸触媒を用いたグリコシル化反応を検討した結果、対応する β -マンノシドが高い位置及び立体選択性で得られることを見出した。さらに、本手法を応用した、病原性大腸菌 O75 由来四糖鎖の合成について記述している。

本論第 2 章では、有機ホウ素化合物を用いた 1,2-*cis*- β -立体選択的ラムノシル化反応の開発について記述している。構築困難な β -ラムノシド結合の構築を目的とし、有機ホウ素化合物として、ボリン酸を選択し、1,2-アンヒドロラムノースとモノオールとのグリコシル化反応を検討した結果、対応する β -ラムノシドが完全な立体選択性で得られることを見出した。さらに、速度論的同位体効果及び DFT 計算を利用した反応機構解析の結果、本反応が高分離性の協奏的 S_Ni 型機構で進行することが示唆された。また、位置及び 1,2-*cis*- β -立体選択的ラムノシル化反応の開発を目的として、有機ホウ素化合物としてボロン酸を用いた、1,2-アンヒドロラムノースと糖ジオールとのグリコシル化反応を検討した。その結果、対応する β -ラムノシドが高い位置及び立体選択性で得られることを見出した。

本論第 3 章では、構築困難な β -ラムノシド結合を有する病原性大腸菌 O1 由来五糖鎖合成について記述している。すなわち、本論第 2 章で開発したボロン酸触媒を用いた位置及び 1,2-*cis*- β -立体選択的ラムノシル化反応を応用することで、病原性大腸菌 O1 由来五糖鎖の合成を初めて達成した。さらに、鳥類病原性大腸菌(APEC)O1 株をニワトリに免疫することで調製した抗 APEC O1 血清と、合成した五糖鎖とキャリアタンパク質とを複合化した複合糖質を用いて、抗 APEC O1 抗体と複合糖質との結合を評価した結果、病原性大腸菌 O1 由来五糖鎖が、APEC O1 に対するワクチン開発に有望な抗原候補糖鎖であることを明らかにした。

結論では、本研究を総括し、今後の展望について記述している。

以上、本論文の成果は、糖質合成の根幹をなすグリコシル化反応において、新しい効率的な反応を開発し、その有用性を複雑な糖鎖合成において実証しており、学術的及び工業的にも意義深い。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5515号	氏名	院田 雅裕
主論文題名： 鳴禽類キンカチョウの高次聴覚野における音響情報コーディングシステムの解析			
<p>鳴禽類の一種であるキンカチョウは、歌によりコミュニケーションする。求愛歌はオス鳥のみが発し、メス鳥は好みの求愛歌を歌うオス鳥を選んでつがいを作る。歌には様々な音響情報が含まれ、メス鳥が好みの歌を選択する際に重要な要素である。神経科学的な知見から、メス鳥の歌選択には高次聴覚野 CMM・NCM での情報処理が関わっているとされているが、歌選択に重要な音響情報は未だ特定されていない。本研究では新たな実験手法と解析法を開発・適用し、CMM・NCM における音響情報コーディングの解明を目的とした。</p> <p>まず、CMM・NCM での歌刺激による神経応答の特性を調べるため、それぞれの領域で応答潜時とスパイクパターンを解析した。潜時とスパイクパターンの解析から、CMM と NCM の潜時に差があり、かつスパイクパターンも異なることがわかった。また、神経応答と音響情報の関係性を評価するために、従来の移動相関法を独自に改良した時系列相関法を用いた解析を行った。時系列相関法により、CMM と NCM は共に「音圧」「平均周波数」「周波数ばらつき」を強くコーディングしていることがわかった。これらのことから、CMM・NCM 間において潜時やスパイクパターンなどの基本的な機能に差はあるが、音響情報のコーディングシステムは類似していることがわかった。</p> <p>次に、CMM と NCM で強いコーディングが見られた「音圧」「平均周波数」「周波数ばらつき」の中から、歌の周波数構造に関わる「平均周波数」と「周波数ばらつき」について神経応答感度への寄与を調べた。具体的には、純音で作られた人工歌を提示した際の CMM・NCM の神経応答と、自然な求愛歌を提示した場合とを比較した。その結果、最大の神経応答感度を示す「平均周波数」と「周波数ばらつき」の比率が存在することがわかった。したがって、メスキンカチョウの高次聴覚野では2つの音響情報が特定の比率で混合されてコーディングされていることが示された。コーディングの仕方は CMM と NCM で共通であったが、応答感度には差があった。</p> <p>以上の結果から、キンカチョウの高次聴覚野 CMM・NCM では「平均周波数」「周波数ばらつき」がコーディングされていることがわかった。また、音響情報のコーディング機能は領野間で類似しているが、潜時やスパイクパターン、神経応答の感度には両方で差があった。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5515 号	氏 名	院田 雅裕
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	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 舟橋 啓
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 牛場 潤一
		慶應義塾大学教授	博士（農学） 伊澤 栄一

学士（理学）、修士（理学）院田雅裕君提出の学位請求論文は「鳴禽類キンカチョウの高次聴覚野における音響情報コーディングシステムの解析」と題し、全四章で構成されている。

鳴禽類の一種であるキンカチョウは、歌によりコミュニケーションする。求愛歌はオス鳥のみが発し、メス鳥は好みの求愛歌を歌うオス鳥を選んで、つがいを作る。歌には様々な音響情報が含まれ、メス鳥が好みの歌を選択する際に重要な要素である。これまでの神経科学的な知見から、メス鳥の歌選択には高次聴覚野 CMM・NCM での情報処理が関わっているとされているが、歌選択に重要な音響情報が何であるかは未だ明らかにされていない。本研究では新たな実験手法と解析法を開発・適用し、CMM・NCM における音響情報コーディングの解明を目的とした。

第1章は序論で、これまでのキンカチョウの歌によるコミュニケーションと歌の音響情報に関する従来研究についてまとめ、最後に本論文の目的について述べている。

第2章では、CMM・NCM での歌刺激による神経応答の特性をまず調べるため、それぞれの領域で第一スパイク潜時とスパイクパターンを解析している。第一スパイク潜時とスパイクパターンの解析から、CMM と NCM の潜時に差があり、かつスパイクパターンも異なることがわかった。また神経応答と音響情報の関係性を評価するため、これら両者の相関を時々刻々求める新規な時系列相関法を用いた解析を行った。この時系列相関法により、CMM と NCM は共に「音圧」「平均周波数」「周波数ばらつき」を強くコーディングしていることがわかった。これらのことから、CMM・NCM 間において潜時やスパイクパターンなどの電気生理学的なパラメータに差は見られたものの、音響情報のコーディングシステムは類似していることがわかった。

第3章では、CMM と NCM でコーディングが見られた「音圧」「平均周波数」「周波数ばらつき」のうち、歌の周波数構造に関わる「平均周波数」と「周波数ばらつき」について神経応答感度への寄与を調べている。具体的には、純音で作られた人工歌を聞かせた時の CMM・NCM の神経応答を比較した。その結果、最大の神経応答感度を示す「平均周波数」と「周波数ばらつき」の比率があることがわかった。このことは、メスキンカチョウの高次聴覚野では2つの音響情報が特定の比率で混合されてコーディングされていることを示している。このコーディングの仕方は CMM と NCM で共通であったが、その応答感度には差があった。

第4章では、上述の実験結果を取り纏め、メスキンカチョウの高次聴覚野では「平均周波数」「周波数ばらつき」がコーディングされていることや、第一スパイク潜時やスパイクパターン、応答感度などは領域間で差があることを述べた。また先行研究と対比して本研究の位置付けについて議論し、将来展望を示している。

以上本論文は電気生理学的手法を用いることにより、これまで明らかでなかったキンカチョウ高次聴覚野の神経細胞が、どのような音響情報をコーディングしているのかを明らかにすることに成功しており、この成果は神経行動学や神経生理学分野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。

内容の要旨

報告番号	甲 第 5516 号	氏 名	木村 直貴
主 論 文 題 名 :			
鉄触媒を用いた芳香族化合物の位置選択的炭素-水素結合切断を経る 官能基化反応に関する研究			
<p>本研究は低原子価鉄ホスフィン錯体触媒を用いた、芳香族化合物における不活性炭素-水素(C-H)結合の位置選択的な切断を経る官能基化反応の開発を目的としている。</p> <p>遷移金属触媒を用いた C-H 結合の官能基化反応は、基質へあらかじめ反応活性な官能基を導入する必要がなく、より短工程で環境低負荷な有機合成手法として広く研究が行われている。我々の研究グループがルテニウム触媒によるオレフィンを用いた芳香族ケトンのオルト位 C-H 結合のアルキル化反応を報告して以来、様々な遷移金属触媒による多種多様な C-H 結合の官能基化が報告されている。また、その報告例の多くが貴金属元素を触媒中心にもつ錯体を用いた反応である。一方、最近安価で入手容易な金属を用いた反応の開発も進められている。中でも地殻中に最も豊富に存在する遷移金属である鉄を触媒とした C-H 結合の官能基化についても近年精力的に研究が行われている。しかしながら、そのほとんどが系中で高反応性の有機金属試薬により鉄触媒活性種を発生させているため、利用可能な基質が制限されてしまい、反応の適用範囲が限定的になることが問題となる。例えば、ケトンカルボニル基は有機合成において最も有用な官能基の 1 つであるが、Grignard 試薬などの求核性の高い有機金属試薬による付加反応を受けるため、従来の鉄触媒系では配向基として利用することが困難であった。そこで著者は系中発生法ではなく、単離可能な低原子価鉄錯体を触媒とした不活性 C-H 結合の官能基化反応を開発することを目標とした研究を行った。</p> <p>第 1 章では、オレフィンを用いた芳香族ケトンのオルト位 C-H 結合のアルキル化反応が、単純な低原子価鉄錯体である $\text{Fe}(\text{PMe}_3)_4$ を触媒として用いることで、温和な条件下でも効率的に進行することを見出した。本反応は芳香環上に各種置換基を有するアルキルアリアルケトン、ベンゾフェノン誘導体、そして環状芳香族ケトンなど様々な基質に適用可能であった。オレフィンとしては、ビニルシラン、脂肪族オレフィン、スチレン類のみならず、利用例が稀なビニルエーテル、エナミンも利用することができる。いずれのオレフィンに対しても C-H 結合が逆 Markovnikov 型で付加した生成物を与えることを見出した。特にビニルエーテルへの芳香族 C-H 結合の逆 Markovnikov 型付加を高収率で達成したのは本研究が初めてである。</p> <p>第 1 章の中で、エナミンとして <i>N</i>-ビニルインドールを用いた時、アルキル化生成物に加え、想定外の 2-インドリル化生成物も得られた。この結果を基にして、第 2 章では <i>N</i>-アルケニルインドールを用いたアルキル化およびインドリル化についての検討を行った。2-インドリル化体を与える反応機構として、報告例が 1 例に限られる鉄の 1,4-転位が関わっていると考えられる。基質上の置換基を調整することで、立体、電子状態によるアルキル化、インドリル化の選択性の制御を達成した。</p> <p>第 3 章では、三員環を有するオレフィンであるメチレンシクロプロパン類をカップリングパートナーとして利用することで、芳香族ケトンのオルト位 C-H 結合のホモアリル化を達成した。この反応では、三員環が容易にかつ選択的に開環することでホモアリル化体を選択的に得ることができる。C-H 結合の官能基化においてメチレンシクロプロパン類をカップリングパートナーとした反応は幾つかの報告例があるものの、シクロプロピルメチル化生成物、環化生成物、アルケニル化生成物が得られる反応であり、これまでホモアリル基の導入は達成されていなかった。さらに、本反応の有用性を示すため、市販の芳香族ケトンから 2 工程での 1,2-ジヒドロナフタレン誘導体を合成する反応系の構築も達成した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5516 号	氏 名	木村 直貴
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
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 高尾 賢一
<p>学士（理学）、修士（理学）木村直貴君提出の学位請求論文は、「鉄触媒を用いた芳香族化合物の位置選択的炭素－水素結合切断を経る官能基化反応に関する研究」と題し、序論、本論3章、結論および実験項より構成されている。</p> <p>遷移金属触媒を用いた炭素－水素結合（以下 C-H 結合）の直截的官能基化反応は、目的化合物を短工程かつ元素を無駄にせずに行える環境低負荷型合成として盛んに研究が行われており、有機合成化学における重要な分子変換手法となっている。しかしながらこれら反応の多くは、枯渇が危惧される貴金属を用いる場合が多いという問題がある。最近、地殻中に最も豊富に存在する遷移金属である鉄を触媒とした C-H 結合官能基化反応の開発が重要となっている。著者は本論で、単離可能な低原子価鉄錯体を触媒に用いる芳香族ケトンのオルト位 C-H 結合の C-C 結合への変換反応が、様々な様式のアルケン類を用いて達成できる分子変換法を開発した結果について述べている。</p> <p>序論では、C-H 結合を利用する合成反応の重要性を述べるとともに、それら触媒的分子変換反応に鉄触媒を用いて行う先行研究について述べている。これらの研究では、高反応性の有機金属試薬により鉄触媒活性種を発生させる手法が用いられているため、反応の適用範囲が限定的になることが問題となっており、単離可能な低原子価鉄錯体を触媒に用いる C-H 結合官能基化反応を開発することの重要性を述べている。</p> <p>第1章では、末端アルケンを用いた芳香族ケトンのオルト位 C-H 結合のアルキル化反応が、単離可能な Fe(PMe₃)₄ 錯体を触媒として用いることで、温和な条件下でも効率的に進行することを述べている。本反応は、芳香環上に各種置換基を有するアルキルアリアルケトン、ベンゾフェノン誘導体、そして環状芳香族ケトンなどの様々な基質に適用可能である。アルケンとしては、ビニルシラン、脂肪族アルケン、スチレン類のみならず、C-H 結合のアルキル化反応での利用が稀なビニルエーテルやエナミン類も利用することができる。また、いずれのアルケンとの反応でも逆 Markovnikov 型で付加した生成物を与えることを明らかにしている。この様に、種々の形式のアルケンに対して適用でき、かつ逆 Markovnikov 選択的付加生成物を与える反応は、これが初めての例であることを述べている。さらに、重水素標識実験の結果から、C-H 結合切断が律速でないことに加えて、アルケンの構造によって反応機構が変化することを明らかにしている。</p> <p>第1章の研究途上で、エナミンとして N-ビニルインドールを用いた時、通常の直鎖型アルキル化生成物に加え、想定外の 2-インドリル化生成物が得られることを見出した。この結果を基にして、第2章では N-アルケニルインドール類を用いた芳香族ケトンとの反応を行い、インドリル化反応を進行させるための検討を行った結果について述べている。基質上の置換基の立体および電子状態を調整することで、インドリル化反応の選択性を向上できることを示している。さらに、種々の検討結果を基にして、2-インドリル化体が得られる反応機構として、鉄が sp³ 炭素から sp² 炭素上へ 1,4-転位する機構が示唆される結果を得た。この機構が鉄錯体で進行することは、報告が1例あるのみであり、極めて稀な機構でインドリル化が進行していることを明らかにしている。</p> <p>第3章では、第1章で見出した成果を発展させ、アルケンとして三員環を有するメチレンシクロプロパン類を用いた芳香族ケトンのオルト位 C-H 結合のホモアリル化反応の開発について述べている。C-H 結合切断を利用するメチレンシクロプロパン類との反応は幾つかの報告例があるものの、シクロプロピルメチル化生成物や環化生成物、アルケニル化生成物を与える反応であり、本研究で開発した反応のような C-H 結合と C-C 結合の両方の結合切断を経て進行するホモアリル化反応はこれまでに報告されておらず、新規性が高い分子変換反応であることを述べている。また、重水素標識実験ならびに速度論的研究により、本反応では C-H 結合切断段階が反応の律速段階であることを明らかにしている。さらに、本反応の有用性を示すため、市販の芳香族ケトンから2工程での 1,2-ジヒドロナフタレン誘導体を合成できる反応系の構築も達成している。</p> <p>このように上記の研究成果は、有機化学分野のみならず有機金属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5517号	氏名	小林 幸平
主論文題名： Distance and Time Limit on Quantum Control under Decoherence (デコヒーレンス下における量子制御に対する距離および時間的限界)			
<p>量子情報処理の実現において、そのリソースとなる量子状態を準備するための量子制御は重要な役割を担っている。しかし、実際の量子系には、外部環境との接触により量子性の崩壊を意味する「デコヒーレンス」が発生する。これにより、理想的な制御が困難になることが本質的問題として知られている。ここで、デコヒーレンス下の量子制御に対し、「距離」と「時間」の観点から次のような疑問が生じる：(1) どの程度、目標状態に近い状態を制御できるのか。(2) どの程度長い時間、量子性を保持することができるのか。まず(1)に関しては、可到達度、すなわち量子系が空間上で到達可能な領域を定量化する指標を用いて評価できる。しかし、可到達度を計算するための一般的な理論が存在しない、また、可到達度を向上させるために望ましい目標状態や制御系のクラスを特定する理論が存在しないといった問題がある。さらに(2)に関しては、Quantum speed limit (QSL), すなわち量子系の発展時間の下限を用いて評価できるが、陽に計算可能な結果が殆ど提案されていない、さらに QSL の観点から量子性の保持を扱った研究が殆どない等の問題がある。そこで本論文では、(1)、(2)に対し、原理的限界を与えることを目的とし、これらの問題を解決するためのアプローチを提案する。</p> <p>本論文の構成を以下に示す。1章では、本論文の研究背景と研究成果の概要を述べる。2章では、予備知識として、量子状態、量子測定、量子系の時間発展等、量子論に関する基礎事項についてまとめる。3章では、デコヒーレンス下での制御に対し、目標状態に対する距離的限界を導出する。この限界は目標状態や制御法を指定することなく一般に適用でき、かつ陽に計算可能という利点を持つ。さらに制御しやすい目標状態や制御系のクラスを特徴づける指標としても使うことができ、様々な例からその有効性を示す。4章では、まず原理的限界として新たな QSL を提案する。これは指定されたセッティングに対し陽に計算可能であり、かつ先行研究に比べ広いクラスでタイトなバウンドを与える。さらに、この QSL を用いた量子系のロバスト化に向けたハミルトニアン設計法、さらに、時間的制約を考慮した距離的限界等、QSL の応用法を提案し、数値計算を用いてそれら有効性を検証する。最後に6章では結論と今後の課題を述べる。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5517 号	氏 名	小林 幸平
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	博士（情報理工学）	山本 直樹
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	渡辺 宙志
	慶應義塾大学准教授	博士（理学）	田中 宗
	慶應義塾大学専任講師	博士（理学）	古池 達彦

学士(工学)、修士(工学) 小林幸平君の学位請求論文は「Distance and Time Limit on Quantum Control under Decoherence (デコヒーレンス下における量子制御に対する距離および時間的限界)」と題し、全5章より構成される。

量子計算や量子センサをはじめとする量子情報技術の実現には、量子デバイスの高度な制御が不可欠である。とくに、現実的な量子デバイスはデコヒーレンスと呼ばれるノイズを被るため、これを抑え、理想に近い量子状態を長時間保持するための制御法が色々と提案・実証されている。しかし、これらの制御法は各論であって、デコヒーレンス下で、どれほど理想に近い量子状態が生成でき(距離的限界)、どれほどの時間保持できるか(時間的限界)、に関する一般論はこれまでほとんど研究されてこなかった。本論文では、これら距離および時間的限界に関する一般的な表式を導出し、さらにこれらを制御系設計に役立てる方策を提示している。

第1章では、本論文の研究背景と研究成果の概要が説明されている。ついで第2章では、本研究で解析の対象となる量子開放系、および量子制御理論の基礎事項についてのまとめが与えられている。

第3章では、デコヒーレンスを被る一般的なマルコフ量子開放系について、初期量子状態を目標量子状態に遷移させる制御問題を考察している。制御法としてはフィードバックを含む多様なクラスが仮定されている。そして、このクラス内の任意の制御のもとで、制御された状態と目標状態の距離の下限を導出している。すなわち、いかなる制御をもってしても進入することができないという領域を明らかにしている。この距離的限界の表式は、先行研究と比較して計算がしやすいという特徴がある。さらに、この距離的限界の一般的表式を用いて、デコヒーレンス下でも接近しやすい目標状態の特徴づけを行なっている。とくに、いわゆるエンタングルメントの度合いが大きい状態ほど距離的限界が大きい、という興味深い例を見出している。

第4章では、第3章とほぼ同じ設定で、デコヒーレンスを被る一般的なマルコフ量子開放系について、初期量子状態を目標量子状態に遷移させる制御問題を考察している。そして、この遷移に要する時間の下限を導出している。この時間的限界の表式は、先行研究と比較して、よりタイトで、かつ計算がしやすいという特徴がある。さらに、この時間的限界の表式を用いて、所望の量子状態を保持するためのハミルトニアン設計の新しい方法を提案している。具体的には、初期状態を所望の量子状態に、目標状態をそこから一定距離離れた任意の状態にとり、このときの時間的限界を最大化するハミルトニアンを求める最適化問題を定式化している。提案法の有効性は数値計算で例示されている。

第5章では、本論文のまとめと展望が記述されている。

量子情報技術において高精度な制御は必要不可欠であり、一方でデコヒーレンスは現実的には不可避であることから、距離・時間の両面から制御の原理的限界を明らかにすることは重要である。本研究の成果は、一般的な表式でこの課題に貢献し、量子情報技術分野のさらなる発展に寄与することが期待されるものである。

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。

内容の要旨

報告番号	甲 第 5518 号	氏 名	奥山 優也
主論文題名： 連続的 Overman 転位を基盤とした窒素密集型化合物の迅速合成法の開発と応用			
<p>本論文は連続的 Overman 転位を基盤とした窒素密集型化合物の迅速合成法の開発と、その応用について述べたものである。</p> <p>緒論では連続する炭素-窒素結合の導入法について述べた後、サキントキシン類の生物活性とこれまでの合成研究について紹介した。また、イミノ糖やアミノ糖の生物活性とこれらの誘導体の合成例について述べた。</p> <p>本論第一章ではアリル-1,2-ジオールに対する 2 連続 Overman 転位を用いたサキントキシン類の網羅的合成について述べた。出発原料である D-リンゴ酸より誘導したジオールに対する 2 連続 Overman 転位により、サキントキシン類の有する 2 つの窒素官能基の導入に成功した。次に、ビスグアニジル化を含む 3 工程にて環化反応の前駆体であるケトン合成し、グアニジル基からの環化により環状アミナルを構築した。最後は、環状アミナルから異なる経路を経てサキントキシン、dc-β-サキントキシノール、新規サキントキシン誘導体である <i>iso-dc</i>-サキントキシノールの合成を達成した。</p> <p>第二章では糖を出発原料としたポリオールに対する連続的 Overman 転位を用いた「全窒素糖」のライブラリの構築について述べた。糖の水酸基をすべて窒素官能基で置換した「全窒素糖」は、分子内の複数の窒素官能基に起因した新たな物性や生物活性が期待できる。そこで、全窒素糖の効率的な合成を達成するため、糖を出発原料とした連続的 Overman 転位を計画した。出発原料である D-グルコースからペンタキスイミデートに誘導し、5 連続 Overman 転位により 5 つの窒素官能基を一挙に導入した。その後、転位反応により生じたのオレフィンの酸化的開裂、脱クロロ化に伴う環化によりガラクトース型全窒素糖の合成を達成した。この方法論では、出発原料である糖の種類を変えるだけで、容易に様々な立体化学を持つ全窒素糖の合成が可能になり、全 7 種類の全窒素糖ライブラリの構築に成功した。</p> <p>第三章では全窒素糖の誘導化について述べた。全窒素糖を用いたグリコシル化反応は、2 位の隣接基関与により α 選択的に進行し、プロパルギルアルコール、ヘキシルアルコールに加えて、コレステロールへの全窒素糖の導入に成功した。また、全窒素糖の環外アミノ基の修飾を志向した二級アミドの加水分解も達成した。</p> <p>第四章では全窒素糖、全窒素糖誘導体のヒトがん細胞に対する細胞増殖抑制活性試験の結果について述べた。活性試験の結果から、配糖体化合物の糖部分を全窒素糖で置き換えることでその分子の物性、生物活性を大きく変化できることを明らかにした。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5518 号	氏 名	奥山 優也
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 戸嶋 一敦
		慶應義塾大学教授	博士 (理学) 藤本 ゆかり
		慶應義塾大学教授	博士 (工学) 高尾 賢一
		慶應義塾大学准教授	博士 (理学) 佐藤 隆章

学士(工学)、修士(理学) 奥山優也君提出の学位請求論文は、「連続的 Overman 転位を基盤とした窒素密集型化合物の迅速合成法の開発と応用」と題し、緒論、本論四章、総括および実験編より成っている。

含窒素有機化合物の新規効率的合成法の開発は、医薬品などの有用物質を創出する上で有機化学における重要な課題である。特に多数の窒素官能基を同一分子中に有する窒素密集型化合物には顕著な生物活性を示すものが多いが、その化学合成においては複数の窒素官能基の導入が容易ではなく、効率的な新規反応の開発が求められている。著者は本論文において、[3,3]シグマトロピー転位により窒素原子を導入できる Overman 転位を連続反応化することによって、窒素密集型化合物を迅速に合成する方法論の開発とその応用について述べている。

緒論では連続する炭素-窒素結合の既知の導入法を概観した後、本研究で標的化合物とした窒素密集型化合物であるサキシトキシン類の生物活性とこれまでの合成例について述べている。また、本論文のもう一つの標的化合物である全窒素糖の関連化合物であるイミノ糖やアミノ糖について、それらの生物活性と合成研究例を記している。

本論第一章には2連続 Overman 転位を用いたサキシトキシン類の合成が述べられている。出発原料であるD-リンゴ酸より誘導したアリルビシナルジオールに対する2連続 Overman 転位により、サキシトキシン類の有する2つの窒素官能基を立体選択的に導入した。次に、ビスグアニジル化を含む3工程にて環化反応の前駆体であるケトンを合成し、グアニジル窒素からの環化により環状アминаールを構築した。これを中間体として、サキシトキシン、*dc*-β-サキシトキシノール、新規サキシトキシン誘導体である *iso-dc*-サキシトキシノールの合成を達成した。

第二章では糖を出発原料としたポリオールに対する連続的 Overman 転位を用いた「全窒素糖」の合成とライブラリの構築について述べている。糖の水酸基をすべて窒素官能基で置換した「全窒素糖」は、天然には存在せず、またこれまでその合成も報告されていないが、分子内の複数の窒素官能基に起因した新たな物性や生物活性が期待される新規糖誘導体である。全窒素糖の効率的な合成を企図し、糖を出発原料とした連続的 Overman 転位を検討した。D-グルコースをペンタキスイミデートに誘導し、5連続 Overman 転位を試みたところ、5つの窒素官能基が一挙に導入された転位体を得ることができた。その後、生じた末端オレフィンの酸化的開裂などを経てガラクトース型全窒素糖の合成を達成した。同様の反応を立体配置の異なる他の糖に適用することにより、7種類からなる全窒素糖ライブラリを構築した。

第三章では全窒素糖の誘導化について述べている。アノマー位にアセトキシ基を有する全窒素糖誘導体に Lewis 酸存在下、一級アルコールやコレステロールなどを反応させると、対応するグリコシド体が生成した。また、全窒素糖の環外アセトアミド基を *tert*-ブトキシカルボニル化、ついで加水分解することにより、アセトアミド基を対応するアミンへ変換した。

第四章には合成した全窒素糖誘導体のヒトがん細胞に対する細胞増殖抑制活性試験の結果が記されている。コレステロールに全窒素糖を導入した化合物が、がん細胞増殖抑制活性を示すことがわかり、配糖体化合物の糖部分を全窒素糖で置き換えることにより、その分子の物性・生物活性が大きく変化することを明らかにした。

以上、著者は本研究において、連続的 Overman 転位を基盤とした窒素密集型化合物の迅速合成法の開発に成功した。本反応を用いてサキシトキシン類の合成ならびに全窒素糖の世界初の合成を達成し、窒素密集型化合物の合成における有用な新規方法論を提示した。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(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5519号	氏名	辻本 志保
主論文題名： 銀河系中心領域に発見されたスーパーバブル候補天体			
<p>宇宙には少なくとも2兆個の銀河が存在すると推定されている。個々の銀河は、その形態や活動性などによって特徴付けられ、分類されている。銀河の構成要素の一つである恒星の生成活動の規模も、銀河を特徴づける要素の一つである。特に活発な星形成活動が行われる銀河はスターバースト銀河と呼ばれ、10^7–10^8年間にわたって1年に10–1000太陽質量もの大量の星を爆発的に生成する現象（スターバースト）が起こっている。スターバーストで生成された大量の恒星は、恒星風や超新星爆発により、周囲の星間物質に多大な影響を及ぼし、スーパーバブルや銀河風など特徴的な銀河スケールの大規模構造を形成する。</p> <p>私たちの住む天の川銀河（銀河系）の中心数百パーセクの領域は銀河系中心分子層（central molecular zone; CMZ）と呼ばれ、大量の高密度ガスが集中しているにも関わらず、現在の星形成活動は比較的静謐である。一方で、CMZ全域に広がった衝撃波の痕跡は、膨大な数の超新星爆発が過去に起こったことを示しており、活発な星形成活動が断続的に行われていることを示唆している。実際にCMZ内にはArches星団、Quintuplet星団と呼ばれる2つの若い大質量星団が知られており、共に数百万年前の局所的スターバーストにより形成されたと考えられている。さらにγ線観測からは、フェルミバブルと呼ばれる巨大な泡構造が発見され、数千万年前の中心核活動あるいはスターバーストで形成された可能性が指摘されている。加えてCMZ内には、コンパクトながら広い速度幅を持つ特異分子雲、高速度コンパクト雲（high-velocity compact cloud; HVCC）が多数確認されており、これらもまたその一部は数千万年前の局所的スターバーストの名残であると考えられている。</p> <p>第二章では先ず、膨張シェル構造が顕著な銀経$l = -1.2^\circ$領域について、その実態を把握し、起源を明らかにすることを目的に、野辺山45m電波望遠鏡およびJames Clerk Maxwell Telescopeによる観測を行った。その結果、既知の1個の膨張シェルに加えて新たに4個の膨張シェルを発見し、中でも特に大きな運動エネルギーを持つ2個について爆発現象を示唆する強い衝撃波の痕跡をとらえることに成功した。全5個の膨張シェルの総運動エネルギーは$10^{0.4}$–$10^{0.9}$回の超新星爆発に匹敵する。これにより同領域は多数の超新星爆発によって形成されたスーパーバブルであり、数千万年前に形成された若い大質量星団が埋もれている可能性が示された。また5個の膨張シェルは東に位置するものほど若く、これは分子雲が埋もれた星団に対して東から西へ相対的に運動していることを示唆している。これによりCMZ内の分子雲の大局的な運動の一端を捉えた可能性がある。</p> <p>さらに、第三章では膨張シェル構造が卓越するもう一つの領域である銀経$l = +1.3^\circ$領域にも着目した。$l = +1.3^\circ$領域には約100回の超新星爆発に匹敵する膨大なエネルギーを持つ多重膨張シェルの存在が指摘されており、ここも大質量星団を内包するスーパーバブルであるとする説が過去に提唱されていた。そこで本研究では$l = +1.3^\circ$領域での爆発現象の介在をより強く検証することを目的に、野辺山45m鏡を用いて衝撃波起源の分子輝線による高分解能・高感度観測を行った。その結果、同領域に11個の膨張シェルを確認し、局所的な強い衝撃波の証拠も確認できた。また一様膨張モデルのフィットにより、3個のシェルの膨張運動を定量的に評価することにも成功した。これにより、$l = +1.3^\circ$領域においても、分子雲中に数千万年前に生まれた若い大質量星団が埋もれており、その内部で発生した多重の超新星爆発によりスーパーバブルが形成されていることが強く支持された。</p> <p>以上から結論として、銀河系中心部に2つのスーパーバブルを発見し、これに伴って銀河系内でも最大級の大質量星団を新たに2つ発見した可能性がある。銀河系中心部の星団の探査は、視線上に重なる大量の星や星間物質による星間減光やコンタミネーションによって極めて困難である。本研究はそのような星団探査の困難な領域において、分子雲の運動状態からその中に潜む大質量星団を検出するという新たな探査手法を提案するものである。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5519 号	氏 名	辻本 志保	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学）	岡 朋治
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士	中迫 雅由
		慶應義塾大学専任講師	博士（理学）	檜垣 徹太郎
		慶應義塾大学教授	博士（工学）	松尾 亜紀子

学士（理学）、修士（理学）辻本志保君の学位請求論文は、「銀河系中心領域に発見されたスーパーバブル候補天体」と題し、本論4章より構成されている。この宇宙に少なくとも2兆個が存在すると推定される銀河は、その形態や活動性によって特徴づけられ、分類されている。銀河の主要構成要素である恒星の形成活動の規模も、銀河を特徴づける要素の一つである。特に活発な星形成活動を伴う銀河は「爆発的星形成銀河」と呼ばれ、大量の大質量星からの星風や超新星爆発により、「スーパーバブル」と呼ばれる泡構造や銀河風などの特徴的な銀河スケールの大規模構造を形成する。我々の住む天の川銀河（銀河系）は、一般に星形成活動が比較的静謐な銀河とされている。特に銀河系中心数百パーセク(pc)の領域には、大量の高密度ガスが集中しているにも関わらず現在の星形成活動は不活性である。一方で同領域には、拡散した難揮発性分子の存在や数kpcにおよぶ巨大なプラズマ泡構造が確認されており、過去数千万年以内に活発な星形成活動の時期があった可能性が指摘されている。このような状況下において、著者は国内外で稼働中の複数のミリ波・サブミリ波帯望遠鏡を駆使して銀河系中心領域の詳細な分子スペクトル線観測を展開し、未だ全貌が解明されていない同領域の星形成履歴を解明する研究を推進した。

本論文の第一章では、まず一般の爆発的星形成銀河について概説し、その後「銀河系中心分子層」の環境と星形成活動、そこで多数発見されている特異分子雲群「高速度コンパクト雲」と分子バブル候補天体について解説したのち、本研究の目的について述べている。

第二章では、野辺山45m電波望遠鏡およびJames Clerk Maxwell Telescopeを用いた観測に基づき、分子ガス膨張球殻(シェル)構造が顕著な銀経(l)= -1.2° 領域について詳細な空間・速度構造を議論している。同領域においては1個の膨張シェル構造が既知であったが、今回新たに4個の膨張シェル構造を検出した。それら5個の膨張シェルは東西一直線に並び、東に位置するものほど力学的年齢が若いことが確認された。うち最も若い膨張シェルにおいては、解離性衝撃波の痕跡である一酸化ケイ素(SiO)のスペクトル線が強く検出され、超新星起源が強く示唆された。以上の結果から、当領域には数千万年前に形成された $10^{5.6}$ 太陽質量の巨大星団が潜んでおり、分子雲に対して西から東へ相対的に約200km/sで運動していると結論した。この速度は銀河系回転と同程度であり、相対運動が生じるメカニズムは棒状ポテンシャル内での運動学によって理解できることを述べている。

第三章では、膨張シェル構造が卓越するもう一つの領域である $l=+1.3^\circ$ 領域に着目し、同じく野辺山45m電波望遠鏡およびJames Clerk Maxwell Telescopeで取得したデータに基づいて、詳細な空間・速度構造を議論している。同領域には、これまで9個の膨張シェル構造が認識されていたが、今回新たに2個を加え11個とした。これらを有意度から三段階に分類し、最も有意度の高いクラスの膨張シェルに対しては一様膨張モデルのフィッティングを行い、膨張運動の精密定量化に成功した。加えて、同クラスの膨張シェル構造は、SiOスペクトル線で特に顕著であった。以上の結果に基づき、当領域にも数千万年前に形成された巨大星団が埋もれている可能性を指摘した。この巨大星団の質量は、標準的な恒星の質量分布を仮定した評価では $10^{7.3}$ 太陽質量にもなり、これは銀河系内で最大の球状星団の質量を上回るものである。

以上、本論文の内容をまとめると、著者は二つの電波望遠鏡を駆使した観測の結果に基づいて、銀河系中心領域に二つの巨大星団を間接的に検出した。これらの巨大星団は銀河系中心核を挟んでほぼ対称な場所にあり、小規模なスーパーバブルを形成している。これらの発見は、銀河系の中心環境における星形成履歴を解明する上で非常に重要な貢献をなすものであり、関連分野研究者から高く評価されている。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 5520 号	氏 名	井関 大介
主論文題名： 多空間デザインモデルに基づく M メソッド共創システムの開発			
<p>近年、人工物デザインは、その考慮すべきデザイン要素の増加に伴い、新規でかつ的確な解を求めることの難しさを増している。この状況下、膨大なデザイン要素の適切な抽出・分類による多様なデザイン案の発想と、包括的な観点に基づくデザイン要素の構造化による適切な解の導出を可能にする M メソッドが提案されている。M メソッドは、様々なデザイン対象を包括的に扱うことが可能な多空間デザインモデルに基づくデザイン方法論であり、心理空間である「価値空間」と「意味空間」、物理空間である「状態空間」と「属性空間」の、多空間を視点として分析しながら発想することが特徴である。M メソッドは、すでに様々なデザインに適用されているが、現在の人工物の大規模化・複雑化や利用する科学技術の高度化に伴い進んでいる領域の専門化・細分化を背景に、同方法論において、共創を可能とするさらなる拡張が問われている。</p> <p>本論文では、M メソッドの拡張指針を明確化し、共創を可能とする M メソッドシステムを開発した。本システムは、これまで紙媒体を利用してきた M メソッドをデジタル化したものである。これにより、デザイン過程において、ウェブ上のキーワード・画像や発想したアイデアスケッチなどを利用可能にするとともに、それらを用いたデザインプロセスの記録を参照できる。さらに、デザイン要素の分類と構造化を行うための共有画面とデザイン要素を抽出するための複数の個人画面（スマートフォン・個人ノート PC）をインタラクションさせることで、大規模化・複雑化した人工物のみならず、様々なデザイン対象において、共創を可能としている。</p> <p>第 1 章では、近年の人工物デザインにおける課題を概説するとともに、共創を可能とする M メソッドのデジタル化の必要性を示すことで、本研究の目的を述べた。</p> <p>第 2 章では、本研究で用いる多空間デザインモデルと M メソッドの概要を説明した。</p> <p>第 3 章では、アイデア発想法の要求項目を抽出し、それに基づいてデザイン実務者を対象としたインタビューの結果を分析することで、アイデア発想法としての M メソッドの要求項目を明らかにした。</p> <p>第 4 章では、得られた要求項目を用いて、従来の M メソッドの有用性を検証するため、ワークショップによる評価実験を実施した。その結果、「M メソッドの用語や使用法の解説を追加することで、短時間で自由な思考を可能にすること」や「大量のデザイン要素を操作容易とすることで、思考を促進すること」などの、M メソッドの拡張指針を示した。</p> <p>第 5 章では、上記の拡張指針に基づき、M メソッドをデジタル化した M メソッドシステムの開発について述べた。アイデア発想法をデジタル化した論文を分析し、第 4 章で示した拡張指針に対応する「各空間の意味や事例を示す機能」や「大量のデザイン要素の操作を、複数人で行うことができる機能」などを導出し、それらを搭載し、デジタル化した M メソッドシステムを開発した。</p> <p>第 6 章では、開発した M メソッドシステムの有用性評価実験を実施し、大規模化・複雑化した人工物を含む、様々なデザイン対象においても共創を可能としていることを示した。</p> <p>第 7 章では、本研究の成果および今後の研究課題と展望を述べ、本研究を総括した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5520 号	氏 名	井関 大介
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	博士（工学）	松岡 由幸
	副査 慶應義塾大学准教授	博士（工学）	石上 玄也
	慶應義塾大学専任講師	博士（工学）	加藤 健郎
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	青山 英樹

学士（工学）、修士（文化創造マネジメント）井関大介君の学位請求論文は「多空間デザインモデルに基づく M メソッド共創システムの開発」と題し、7 章から構成されている。

近年、人工物デザインは、その考慮すべきデザイン要素の増加に伴い、新規でかつ的確な解を求めることの難しさを増している。この状況下、膨大なデザイン要素の適切な抽出・分類による多様なデザイン案の発想と、包括的な観点に基づくデザイン要素の構造化による適切な解の導出を可能にする M メソッドが提案されている。M メソッドは、様々なデザイン対象を包括的に扱うことが可能な多空間デザインモデルに基づくデザイン方法論であり、心理空間である「価値空間」と「意味空間」、物理空間である「状態空間」と「属性空間」の、多空間を視点として分析しながら発想することが特徴である。M メソッドは、すでに様々なデザインに適用されているが、現在の人工物の大規模化・複雑化や利用する科学技術の高度化に伴い進んでいる領域の専門化・細分化を背景に、同方法論において、共創を可能とするさらなる拡張が問われている。

本論文では、M メソッドの拡張指針を明確化し、共創を可能とする M メソッドシステムを開発している。本システムは、これまで紙媒体を利用してきた M メソッドをデジタル化したものである。これにより、デザイン過程において、ウェブ上のキーワード・画像や発想したアイデアスケッチなどを利用可能にするとともに、それらを用いたデザインプロセスの記録を参照できる。さらに、デザイン要素の分類と構造化を行うための共有画面とデザイン要素を抽出するための複数の個人画面（スマートフォン・個人ノート PC）をインタラクションさせることで、大規模化・複雑化した人工物のみならず、様々なデザイン対象において、共創を可能としている。

第 1 章では、近年の人工物デザインにおける課題を概説するとともに、共創を可能とする M メソッドのデジタル化の必要性を示すことで、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、本研究で用いる多空間デザインモデルと M メソッドの概要を説明している。

第 3 章では、アイデア発想法の要求項目を抽出し、それに基づいてデザイン実務者を対象としたインタビューの結果を分析することで、アイデア発想法としての M メソッドの要求項目を明らかにしている。

第 4 章では、得られた要求項目を用いて、従来の M メソッドの有用性を検証するため、ワークショップによる評価実験を実施している。その結果、「M メソッドの用語や使用法の解説を追加することで、短時間で自由な思考を可能にすること」や「大量のデザイン要素を操作容易とすることで、思考を促進すること」などの、M メソッドの拡張指針を示している。

第 5 章では、上記の拡張指針に基づき、M メソッドをデジタル化した M メソッドシステムの開発について述べている。アイデア発想法をデジタル化した論文を分析し、第 4 章で示した拡張指針に対応する「各空間の意味や事例を示す機能」や「大量のデザイン要素の操作を、複数人で行うことができる機能」などを導出し、それらを搭載し、デジタル化した M メソッドシステムを開発している。

第 6 章では、開発した M メソッドシステムの有用性評価実験を実施し、大規模化・複雑化した人工物を含む、様々なデザイン対象においても共創を可能としていることを示している。

第 7 章では、本研究の成果および今後の研究課題と展望を述べ、本研究を総括している。

以上要するに、本論文は多空間デザインモデルに基づく M メソッド共創システムを開発し、デザインを支援するものであり、デザイン科学分野において、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5521号	氏名	永嶋 弘樹
主論文題名： Applied Abstraction of Dynamical Systems Based on Temporal/Spatial Mode (時間／空間モードに基づく動的システムの応用抽象化)			
<p>世界に先駆けて超成熟社会を迎えた我が国においては、複雑化した様々な社会課題に直面しており、全体最適かつ持続可能な課題解決が求められている。近年、目指すべき未来社会像である「ソサエティ5.0」を実現するための産業のあり方として「コネクテッドインダストリーズ」の概念が提唱されており、ヒトやモノ、企業や地域など様々なシステム同士の「つながり」を活用した課題解決を目指している。この実現のためには、多様な現象における膨大なデータの背景にある時間的かつ空間的な関係性を明らかにする必要がある。従来、専門領域ごとに用語の定義がなされ、また特定分野における物理量に基づいた議論にとどまっており、分野横断的な方法論の策定までには至っていなかった。</p> <p>以上に鑑み、本研究は動的システムの時間的・空間的な「つながり」の特性を明らかにすることを目的として行われた。具体的には、分野を越えた議論を可能にする一般的な枠組みを構築するために、現象に関する時空間データから推定されるモードに基づく動的システムの解析、モデル化及び設計論について検討を行った。</p> <p>第1章では、本研究の背景および目的について関連研究を交えて説明した。</p> <p>第2章では、まず、本研究における仮定を示した上で、「つながり」に関する特性を記述するための既存のモードの定義を示した。さらに、動的システムの時間的特性と空間的特性を記述するためのより一般的な枠組みとして、時間モードと空間モードを定義し、解析、モデル化及び設計論に関する一連の流れを示した。</p> <p>第3章では、ヒトとモノの「つながり」を扱うための空間モードの工学における基礎的問題での検証事例として、ヒトが行う動作情報における機能推定を行い、順問題で扱われる動作モデルと比較することにより提案手法の有効性を示した。</p> <p>第4章では、ヒトとヒトの「つながり」を扱うための空間モードの経済学への適用事例として、都道府県の隣接関係を空間モードとして分析モデルに考慮し、都道府県別の月次景気指数の推計を行い、都道府県を独立に扱う従来の手法と比較して、より実態を表した分析モデルであることを示すとともに、本研究で提案の空間モードが分野を越えて適用可能であることを示した。</p> <p>第5章では、モノとモノの「つながり」を扱うための時間モードと空間モードの工学における無限次元システムへ応用事例として、波動モデルに基づく柔軟機構を有するシステムの指令値整形による振動抑制制御を行い、従来用いられてきた有限次元モデルとの比較を通じて、提案手法の有効性を示した。</p> <p>第6章では、本研究の成果を要約し、結論とともに展望を述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5521 号	氏 名	永嶋 弘樹
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 桂 誠一郎
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 柿沼 康弘
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 白石 博
		慶應義塾大学教授	Ph. D.（経済学） 中妻 照雄
<p>学士（工学）、修士（工学）、修士（経済学）永嶋弘樹君提出の学位請求論文は「Applied Abstraction of Dynamical Systems Based on Temporal/Spatial Mode」（時間／空間モードに基づく動的システムの応用抽象化）と題し、6章から構成されている。</p> <p>世界に先駆けて超成熟社会を迎えた我が国においては、複雑化した様々な社会課題に直面しており、全体最適かつ持続可能な課題解決が求められている。それに対して政府主導で提唱された「コネクテッドインダストリーズ」の概念の下、ヒトやモノ、企業や地域など様々なシステム同士の「つながり」を活用した取り組みが進められている。しかしながら、複雑化・複合化されたシステムの取り扱いにおいて、従来は個別の研究領域ごとの議論にとどまっておき、分野横断的な方法論の策定までには至っていなかった。</p> <p>以上に鑑み、本研究はシステムの時間的・空間的な「つながり」の特性を明らかにすることを目的として行われた。具体的には、時空間データからその特性を良く表現するモードを抽出し、それに基づいた動的システムの応用抽象化手法を示している。</p> <p>第1章では、研究の背景と目的を述べ、従来の研究を概説している。</p> <p>第2章では、本研究における前提条件や仮定を示した上で、「つながり」に関する特性を記述するためのモードの定義を示している。さらに、動的システムの時間的特性と空間的特性の記述に基づく応用抽象化の一般的な枠組みとして、時間モードと空間モードを定義し、解析、モデル化ならびに設計論に関する一連の流れを示している。</p> <p>第3章では、ヒトとモノの「つながり」の取り扱いに関する基礎的検証事例として、ヒトが行う動作情報における機能推定を機能モードに基づいて行い、順問題で扱われる動作モデルとの比較により、提案手法の有効性を示している。</p> <p>第4章では、ヒトとヒトの「つながり」の取り扱いに関する経済学への適用事例として、都道府県の隣接関係をモードとしてモデル化し、都道府県別の月次景気指数の推定法を提案している。都道府県を独立に扱う従来の手法と比較して、より実態を表した分析モデルであることを示すとともに、本研究で提案の空間モードが分野を越えて適用可能であることを示している。</p> <p>第5章では、モノとモノの「つながり」の取り扱いに関する工学における応用事例として、無限次元のダイナミクスを有する波動モデルに基づいた柔軟機構を有するシステムの振動抑制問題において効果の検証を行っている。従来用いられてきた有限次元モデルとの比較を通じて、提案手法の有効性を示している。</p> <p>第6章では、各章で得られた成果をまとめ、本論文全体の結論を述べている。</p> <p>以上要するに、本論文では動的なシステムを時間／空間モードに基づいて抽象化する手法を示すとともに、解析、モデル化ならびに設計の一連の流れについて、工学および経済学の問題に適用して有効性を実証しており、システムデザイン工学分野において、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>			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5522	Name	KIM, Seonghye
Thesis Title			
Gait Feature Analysis Considering Body Indexes Based Human Motion and Its Application to Stabilization Control			
<p>Aspects of technological development have been rapidly changed from machine-centered ones to human-centered ones. A typical example is a wearable robot. This application is expected to be able to solve the problem such as shortage of nursing in aging ever faster society with the help of technological advances. Human-centered applications can be achieved with the current technology. However, it is necessary to improve several issues caused by high cost, heavy weight, and some limited technology and solve them through various studies for commercialization. With these challenges, it is necessary to deepen the understanding of human motion in human-robot applications in the direction of technology shifting toward humans. To address this issue, this thesis has examined the human-robot walking application for stabilization in the dangerous situations and improved gait indexes for detecting environmental factors.</p> <p>First, the human-robot walking application for stabilization focused on the falling down situation in human walking. The robot device is designed by fitting the human lower limb based on kinematics and dynamics. The design of robot is considering the passive rotation on a knee joint to guarantee the dependent walking. The stabilization controller consists of compliance controller, motor controller, and the stability index calculator; the gait information is detected by IMU sensors. To verify the successful performance of controller, the experiment is implemented by wearing the robot in the human walking. Accordingly, the experiment result shows the expectation in that this application helps the elderly or patient to support the passive walking in the normal state or to stabilize the gait in the dangerous situation. Second, the improved gait indexes for the extended human gait analysis focuses on the verifying the proposed and discussing the feature of gait indexes. The proposed index, CP, is defined as the crossing point between a hip line and an ankle line. The CP plays a remarkable role to classify the swing states in detail more than one in the conventional walking analysis. To validate the CP, the simulation and experiment are implemented by comparing to trajectories of the COG, ZMP, and CP; the COG and ZMP are conventional stability indexes. In the result of other experiment considering the gait environment, the difference values including the CP well reflects the environment feature among the COG, ZMP, and CP and subdivide the walking phase more than traditional walking phase (stance and swing phase). Consequently, it is expected that the CP as the evaluation criteria classifies the human motion analysis in detail with the conventional indexes.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5522 号	氏 名	KIM, Seonghye
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 村上 俊之
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 滑川 徹
		慶應義塾大学教授	博士（工学）・博士（医学） 満倉 靖恵
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 高橋 正樹

学士（工学）、修士（工学）KIM, Seonghye 君提出の学位請求論文は「Gait Feature Analysis Considering Body Indexes Based Human Motion and Its Application to Stabilization Control」（身体指標に基づいた人の動作を考慮した歩行特徴解析と安定化制御への応用）と題し、6章から構成されている。近年、人とロボットの協働において、人間中心の概念に基づいた技術開発とその応用に期待が寄せられている。その典型的な例として、人の動作支援を目的としたウェアラブルロボットがあげられる。こうしたロボットシステムを効果的に活用するためには、人の状態計測とその安定解析が重要となる。本研究は加速度センサおよび距離画像センサを用いた人の動作解析において、新たな安定化指標を提案し、また歩行支援機器制御への応用を含む歩行解析に関する知見を示しつつ、シミュレーションおよび実験によりその有効性を示したものである。

第1章では、本研究の目的を述べ、研究の位置付けおよび論文構成を概説している。

第2章では、人の歩行測定に関する従来研究の動向を示しつつ、IMU (Inertial Measurement Unit) センサおよび距離画像センサを用いた人の動作測定の基礎理論を概説している。

第3章では、既存の歩行制御アルゴリズムによる2足歩行ロボットの歩行シミュレータを構築し、人間／ロボット歩行における従来の動作指標に基づく評価アルゴリズムの再現を行っている。特に、ロボット歩行の従来の動作指標としてCOG (Center of Gravity) およびZMP (Zero Moment Point) に着目し、これらの指標の人の歩行動作への展開ならびに動作評価のための一般論をシミュレーションにより明確化している。また、従来手法と提案手法における動作指標の比較アルゴリズムを説明している。

第4章では、人の歩行状態を安定化させるために、ウェアラブルタイプの歩行補助器の設計および制御手法を提案している。特に、外骨格型の歩行補助器から得られた人の歩行情報を利用しつつ、環境・歩行状態変動に応じた歩行補助器の制御手法を確立するため、歩行動作における安定性の評価指標を新たに提案している。また、提案する評価指標に基づいた安定化制御アルゴリズムによる歩行補助器の有効性を実機実験により検証している。

第5章では、人の身体指標に基づいた歩行動作の統合化解析のための新たな評価指標として、CP (Crossing Point) を提案し、この評価指標に基づく動作解析手法を示している。提案する動作解析手法については第3章で示したシミュレータによるシミュレーションおよび人の歩行動作実験により検証されている。さらに、提案する統合化指標と従来手法との相違および新たな有用性を確認するため、人の歩行動作時の障害物回避動作実験による検証を行い、従来指標に対する提案指標の優位性を明確化している。

第6章では結論を示し、得られた成果の重要な貢献と今後の展望について総括している。

以上要するに、本研究は人の動作を含めた動作支援機器における安定性評価のための新たな指標に着目し、その評価指標による動作解析手法を提案するとともに歩行補助器の制御器設計手法への展開を示し、シミュレーションおよび実機実験によりその有効性を実証したものである。これらの研究は人の動作支援システムの実応用を含め、ロボティクス、福祉システム分野において、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 5523 号	氏 名	中村 文
主 論 文 題 名 :			
大容量フォトニックネットワークの実現に向けたシリコン波長選択光スイッチの研究			
<p>波長選択光スイッチ(WSS: Wavelength Selective Switch)は、光信号を波長ごとに方路を変更できる機能を持ち、フォトニックネットワークで利用される再構成可能な光分岐挿入装置に不可欠の素子である。現在実用化されている自由空間光学型 WSS は、大型で低速であるため、フォトニックネットワークノードの小型化、高速化に対応できない。それに対して、シリコン光集積回路を利用すれば、小型で高速に動作する WSS が実現できる。このような研究背景から、大容量なフォトニックネットワークの実現に向けて、シリコンフォトニクス光集積回路を用いた、拡張性の高い WSS の提案と実証を研究目的とした。</p> <p>第 1 章の序論では、本論文の研究背景と従来の研究を概説し、本研究の目的を示した。</p> <p>第 2 章では、WSS の構成要素であるアレイ導波路格子(AWG: Arrayed-Waveguide Grating)とマッハツェンダー干渉器(MZI: Mach-Zehnder Interferometer)の設計方法、動作解析方法について説明した。</p> <p>第 3 章では、交差導波路を含まない波面制御型 WSS を提案した。波面制御型 WSS では、スラブ導波路中の光波の伝搬方向を多数の位相シフタによって制御し、出力ポートの切り替えを行い、導波路交差が不要である。波面制御構造の設計方法を明らかにして、出力ポート数、チャンネル数、拡張性について検討した。チャンネル数 16、チャンネル間隔 200 GHz の 1×2 WSS の設計・試作を行った。平均消光比 10.1 dB、スイッチング電力 183.6 mW での波長選択スイッチングに成功した。さらに、チャンネル数 16、チャンネル間隔 200 GHz の 1×4 WSS の設計・作製を行い、波面制御型 WSS の拡張性を示した。</p> <p>第 4 章では、導波路交差数を削減可能な Fold-back 型 WSS を提案した。Fold-back 型 WSS では、インターリーブと AWG を用いて多段的に波長合分波を行うことで、消費電力を抑えたまま、導波路交差数を従来の半分以下に抑えることができる。Fold-back 型 WSS の構成、動作原理について述べ、AWG 数、ポート数、チャンネル数に対する導波路交差数およびチップサイズの関係性を明らかにし、拡張性について議論した。さらに、1 台の大型 AWG を用いる 1×2 fold-back 型 WSS と 4 台の小型 AWG を用いる WSS の設計・試作を行った。1 台の AWG を用いる WSS は、平均消光比 10.9 dB、スイッチング電力 25.2 mW で動作し、4 台の AWG を用いる WSS は、平均消光比 3.3 dB、スイッチング電力 9.1mW で動作した。</p> <p>第 5 章では、波長合分波にクロストークの小さい自由空間光学系を用いたハイブリッド WSS を提案し、高性能な特性をシミュレーションで確認し、光スイッチ部の設計と試作を行った。</p> <p>第 6 章の結論では、各章で得られた内容を総括し、今後の WSS の性能改善と WSS を利用するフォトニックネットワークの展望を述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5523 号	氏 名	中村 文
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	博士（工学） 田邊 孝純
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 久保 亮吾
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 牧 英之

学士（工学）、修士（工学）中村文君提出の学位請求論文は「大容量フォトニックネットワークの実現に向けたシリコン波長選択光スイッチの研究」と題し、6章から構成されている。

波長選択光スイッチ(WSS: Wavelength Selective Switch)は、入力光信号を波長ごとに方路を選択して出力する機能を持ち、フォトニックネットワークに不可欠の素子である。商用のWSSは、液晶空間光変調器を利用しているため、大型で低速である。シリコン光集積回路を利用すれば、小型で高速に動作するWSSが実現可能であり、再構成可能なフォトニックネットワークの実現に寄与する。このような背景から、シリコン光集積回路を用いた、拡張性の高いWSSの提案と動作実証を研究目的としている。

第1章では、研究背景と従来の研究を概説し、本研究の目的を示している。

第2章では、WSSの構成要素であるアレイ導波路回折格子(AWG: Arrayed-Waveguide Grating)とマッハツェンダー干渉器の設計方法、動作解析方法について説明している。

第3章では、交差導波路で生じるクロストークと損失を避けるため、交差導波路がない波面制御型WSSを提案している。波面制御型WSSは、スラブ導波路中の光波の伝搬方向を多数の位相シフタによって制御し、出力ポートの切り替えを行っている。スラブ導波路中で光が交差するため、交差導波路が不要である。試作した波面制御型WSSは、平均消光比 10.1 dB、スイッチング電力 183.6 mW で動作している。さらに、チャンネル数 16、チャンネル間隔 200 GHz の 1×4 WSS の設計と試作を行い、波面制御型WSSの拡張性を明らかにしている。

第4章では、交差導波路数を削減可能な Fold-back 型 WSS を提案している。Fold-back 型 WSS は、インターリーバと AWG を用いて多段的に波長合分波を行うことで、消費電力を抑えたまま、交差導波路数を従来の半分以下に抑えることができる。1台の大型 AWG を用いる Fold-back 型 WSS と 4台の小型 AWG を用いる Fold-back 型 WSS の設計と試作を行い、Fold-back 型 WSS の拡張性を明らかにしている。1台の AWG を用いる WSS は、平均消光比 10.9 dB、スイッチング電力 25.2 mW で動作し、4台の AWG を用いる WSS は、平均消光比 3.3 dB、スイッチング電力 9.1 mW で動作している。

第5章では、自由空間光学系で波長合分波しシリコン光集積回路でスイッチングする構成のハイブリッド型 WSS を提案している。ハイブリッド型 WSS は、挿入損失 16.6 dB、消光比 66.4 dB の性能を持つことをシミュレーションにより明らかにしている。

第6章では、各章で得られた内容を総括し、今後の WSS の性能改善と WSS を利用するフォトニックネットワークの展望を述べている。

以上要するに、本論文ではシリコン光集積回路を用いた新規構成の WSS を提案し、理論と実験の双方からその有効性を実証しており、光通信工学分野において、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5524号	氏名	木村 祐一
主論文題名： 回位密度を考慮した有限変形結晶塑性モデルに基づく Mg 基 LPSO 相の変形挙動に関するメッシュフリー解析			
<p>長周期積層構造(LPSO: Long-Period Stacking Ordered)を強化相とするマグネシウム合金は、キンク帯形成に端を発する材料強化によって飛躍的に性能を向上させ得ることから、低炭素社会を実現する次世代構造材料として注目されている。しかしながら、キンク帯の形成機構および形成条件は十分に解明されておらず、従来のせん断モード(転位の移動、蓄積)に加えて回転性の塑性変形機構(回位の移動、蓄積)を考慮した材料モデルの構築が期待されている。本研究では、全体を第1部と第2部に分割し、第1部(第2~6章)では不適合度の成分を回位密度に対応させた高次応力モデルに基づくメッシュフリー解析を実行し、キンク帯を不適合度によって簡便に再現した。また、メッシュフリー法が高次ひずみこう配の解析に適することを示した。第2部(第7~11章)では、有限変形 Micropolar 結晶塑性モデルを構築し、回位密度を厳密に定義するとともに、メッシュフリー解析を行うことでキンク帯を回位に基づいて再現し、本モデルの妥当性を検証した。</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、本論文の意義について述べた。</p> <p>第2章では、金属材料の大変形状態を記述するための配置の概念に基づく運動学を記述した。また、材料内に蓄積した転位密度を結晶塑性論に基づいて定義し、GN 転位密度および SS 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具体化した。</p> <p>第3章では、高次応力を考慮した仮想仕事の原理に基づいて種々の釣合法則を導出した。</p> <p>第4章では、Clausius-Planck の不等式から応力および高次応力の構成式に対する熱力学的制限について述べた。また、全自由エネルギーの保存部分から応力の速度形弾塑性構成式を、散逸部分から粘塑性形の高次応力の構成式および硬化則をそれぞれ導出した。</p> <p>第5章では、第3章で導出した仮想仕事の原理をメッシュフリー法に基づいて離散化した。また、数値計算の低コスト化・安定化を実現するための手法について言及した。</p> <p>第6章では、高次応力を考慮した転位-結晶塑性モデルを短冊状 Mg 基 LPSO 相単結晶に適用し、メッシュフリー解析を実施した。すべりの不適合度を回位密度に対応させ、キンク帯形成を回位に基づいて定性的に表した。また、得られた結果を FEM 解析によるものと比較し、メッシュフリー法を用いることで FEM 解析より低コストで FEM 解析と同様の結果を得られることを示した。</p> <p>第7章では、有限変形 Micropolar モデルに配置の概念を導入し、微視曲率を弾塑性分解した。また、塑性角速度こう配を回位により生じる塑性微視曲率速度と結びつけることで結晶塑性表示した。さらに、第2章で導入した転位密度の定義を微視回転依存形に拡張した。速度形の回位密度、転位密度そして不適合度を定義し、回位密度および転位密度には非線形項が表れることを示した。</p> <p>第8章では、偶応力を考慮した釣合法則を導入し、Micropolar モデルにおける自由エネルギーを定義した。弱形式の釣合法則である仮想仕事の原理を偶応力理論形に帰着させることで応力の反対称部分の仕事を考慮する必要がなくなり、応力の構成式は対称部分のみが必要となることを示した。</p> <p>第9章では、第8章で導入した自由エネルギーに基づく熱力学的検討を行い、自由エネルギーの保存部分から応力および偶応力に対する速度形弾粘塑性構成式を、散逸部分から硬化則を導出した。</p> <p>第10章では、第8章で導出した仮想仕事の原理をメッシュフリー法に基づいて離散化した。</p> <p>第11章では、有限変形 Micropolar 結晶塑性モデルに基づくメッシュフリー解析を行うことで、キンク帯形成およびその後の材料強化の再現を試みた。まず、第6章と同様の解析を行い、キンク帯形成を回位に基づいて表現し、結晶欠陥に現れる非線形項を評価した。また、本モデルが寸法効果を表現可能であることや、解像度(節点数)非依存性を有することを示した。さらに、多結晶に対する解析を実施し、Ridge 形キンクと Ortho 形キンクをそれぞれ回位に基づいて表現した。</p> <p>第12章は結言であり、得られた知見を要約した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5524 号	氏 名	木村 祐一
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	博士（工学）	大宮 正毅
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	高野 直樹
	慶應義塾大学専任講師	博士（工学）	村松 眞由

学士(工学), 修士(工学) 木村祐一君提出の学位請求論文は「回位密度を考慮した有限変形結晶塑性モデルに基づく Mg 基 LPSO 相の変形挙動に関するメッシュフリー解析」と題し, 12 章から構成されている。

長周期積層 (LPSO: Long-Period Stacking Ordered) 構造を強化相とする Mg 合金は, キンク帯形成に起因する材料強化によって力学特性を飛躍的に向上させ得るとされ, 低炭素社会を実現する次世代構造材料として注目されている。しかしながら, キンク帯形成の機構や条件は十分に解明されておらず, 従来の転位挙動に加えてキンクを表現するのに適する回位(回転性結晶欠陥)の挙動を考慮した材料モデルの構築に期待が寄せられている。本論文は第 1 部(高次応力モデルに基づく数値解析)および第 2 部(有限変形結晶塑性 Cosserat モデルに基づく数値解析)からなり, いずれも離散空間の節点上で高次こう配を精度よく求められるメッシュフリー法(RKPM: Reproducing Kernel Particle Method)を採用し, 2 種類の材料モデルに基づいてキンク帯形成を再現することを試みている。

第 1 章は緒言であり, 本研究の背景と先行研究を紹介し, 本論文の意義について述べている。

第 2 章では, 金属材料の大変形状態に適する配置の概念に基づいて, 結晶欠陥の存在を考慮した運動学について論じている。

第 3 章では, 高次応力を考慮した仮想仕事の原理に基づいて種々の釣合い法則を導出している。

第 4 章では, 応力, 高次応力の構成式および硬化則に対する熱力学的制限について述べている。

第 5 章では, 第 3 章で定式化した速度形仮想仕事の原理を RKPM に基づいて離散化している。

第 6 章では, 高次応力を考慮した転位-結晶塑性モデルを短冊形 Mg 基 LPSO 相単結晶に適用し, メッシュフリー解析(RKPM 解析)を実施している。その際, 不適合度の成分を回位密度に対応させ, キンク帯形成を回位に基づいて定性的に表している。また, 得られた結果を FEM 解析結果と比較し, RKPM 解析が低い計算コストで FEM 解析と同程度の精度を有することに言及している。

第 7 章では, 有限変形 Micropolar モデルに配置の概念を導入し, 微視曲率を弾塑性分解している。また, 塑性角速度こう配を回位により生じる塑性微視曲率速度と関連づけることで結晶塑性表示に変更している。さらに, 転位密度がすべり由来と回位由来の両成分からなることを示し, 回位密度および転位密度には幾何学的非線形項が表れることを述べている。

第 8 章では, まず Micropolar モデルに対する釣合い法則を定式化した後, 仮想仕事の原理を偶応力理論形に帰着させることで応力の構成式で必要となるのは, 仕事をなす対称部分のみであることを示している。

第 9 章では, 応力および偶応力に対する速度形弾粘塑性構成式, ならびにすべり速度および微視回転角速度に対する硬化則を熱力学的に導出している。

第 10 章では, 第 8 章で示した速度形仮想仕事の原理にペナルティ法を導入して離散化している。

第 11 章では, 有限変形回位-結晶塑性モデルに基づく RKPM 解析を行うことで, キンク帯形成およびその後の材料強化の再現を試みている。まず, キンク帯形成を回位に基づいて表現し, 結晶欠陥に現れる非線形項の寄与を評価している。また, 本モデルが寸法効果を有し, 構造が微細になるほどキンクは拘束端の影響を受けやすいこと, ならびにキンク帯が解像度依存性を有しないことを明らかにしている。さらに, 短冊形多結晶に対する解析を実施し, Ridge 形キンクの発現は, 底面系のみならず柱面系, 錐面系の活動も必要であることを明らかにしている。

第 12 章は結言であり, 得られた知見を要約している。

以上要するに本研究は, 脱炭素化への貢献が期待される Mg 基 LPSO 相における変形挙動を, 有限変形回位-結晶塑性モデルに基づいて RKPM 解析し, 同材料の力学特性を計算力学的に予測するものであり, 固体力学および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5525号	氏名	鄭 広鎮
主論文題名： A Study of Online Nonlinear Estimation Using Reproducing Kernels: ℓ_p -regularized Least Squares and Kernel Weight Design (再生核を用いたオンライン非線形推定の研究 — ℓ_p 正則化付き最小二乗問題とカーネル重み設計)			
<p>カーネル（再生核）を用いた非線形関数オンライン推定は、時系列データ予測を始めとする科学技術の諸問題への有用なアプローチである。このアプローチには、二つの課題が存在する。一つ目は、辞書（基底系）が観測データ量の増加に伴って（線形に）増えていくことである。二つ目は、データが逐次的に観測されるオンラインの状況における、カーネルパラメータ選択（モデル選択）の困難性である。二つ目の課題を解決すべく、多カーネル適応フィルタが提案されているが、その効果を最大限に発揮するために、複数のカーネルを適切に重み付けする信号処理技術への期待が高まっていた。</p> <p>本研究では、この二つの課題について検討した。本論文は、次の5章で構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景と動機を述べた。</p> <p>第2章では、準備として、数学的な概念の説明に加えて、スパース最適化と再生核を用いたオンライン学習について述べた。</p> <p>第3章では、辞書の増加を抑えるためのスパース化技術に関する基礎検討として、ℓ_pノルム ($0 < p < 1$) 正則化によるスパース最適化問題について考察した。具体的には、ℓ_p正則化付き最小自乗問題において、正則化パラメータの変動による臨界点の挙動を解析した。劣決定系の場合に、原点から出ていく臨界点の軌道について調べた結果、最もスパースな最小二乗解に至る連続で区分的に滑らかな軌道が存在することを明らかにした。</p> <p>第4章では、多カーネル適応フィルタの効果を最大化する重み設計法を与え、同手法がある種の最適性を持つことを明らかにした。具体的には、カーネル間の収束速度の違いに注目し、各カーネルに対応する係数ベクトルの収束が等速となるカーネル重みを導出した。これにより、学習に適したカーネルの係数ベクトルをバランスよく更新することが可能となった。さらに、導出した重みを観測データからオンラインで算出し、これを計量として埋め込んだオンライン学習アルゴリズムを与えた。数値例により、手動で最適に選んだ重みより優れた性能を持つことを示すと同時に、多カーネル学習に基づく機械学習アルゴリズムより高い推定精度と少ない計算量を同時に実現することを示した。</p> <p>第5章は結論であり、各章の内容をまとめ、論文全体の結論と今後の展望を述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5525 号	氏 名	鄭 広 鎮
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 湯川 正裕
	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） 眞田 幸俊
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 小林 景

学士（工学）、修士（工学）鄭広鎮君提出の学位論文は「A Study of Online Nonlinear Estimation Using Reproducing Kernels: ℓ_p -regularized Least Squares and Kernel Weight Design」(再生核を用いたオンライン非線形推定の研究 — ℓ_p 正則化付き最小二乗問題とカーネル重み設計) と題し、5章から構成されている。

カーネル（再生核）を用いた非線形関数オンライン推定は、時系列データ予測を始めとする科学技術の諸問題への有用なアプローチである。このアプローチには、2つの課題が存在する。1つ目は、観測データ量の増加に伴う辞書（基底系）の（線形的な）増加である。2つ目は、データが逐次的に観測されるオンライン環境下における、カーネルパラメータ選択（モデル選択）の困難性である。2つ目の課題を解決すべく、多カーネル適応フィルタが提案されているが、その効果を最大限に発揮するために、複数のカーネルを適切に重み付けする信号処理技術への期待が高まっていた。

以上に鑑み、本研究では、上述の課題について検討し、各課題に対する研究成果をまとめている。

第1章では、スパース最適化とカーネル適応フィルタを概説し、本研究の動機と目的を述べている。

第2章では、準備として、数学的な概念の説明に加えて、 ℓ_p ノルム ($0 < p < 1$) に基づくスパース最適化と多カーネル適応フィルタの基礎事項をまとめている。

第3章では、辞書の増加を抑えるためのスパース化技術に関する基礎検討として、 ℓ_p ノルム ($0 < p < 1$) 正則化によるスパース最適化問題について考察している。具体的には、 ℓ_p 正則化付き最小自乗問題において、正則化パラメータの変動による臨界点の挙動を解析している。劣決定系の場合に、原点から出ていく臨界点の軌道について調べ、最もスパースな最小二乗解に至る連続で区分的に滑らかな軌道が存在することを明らかにしている。

第4章では、多カーネル適応フィルタの効果を最大化する重み設計法を与え、同手法がある種の最適性を持つことを明らかにしている。具体的には、カーネル間の収束速度の違いに注目し、各カーネルに対応する係数ベクトルの収束が等速となるカーネル重みを導出し、学習に適したカーネルの係数ベクトルをバランスよく更新できることを示している。さらに、導出した重みを観測データからオンラインで算出し、これを計量として埋め込んだオンライン学習アルゴリズムを与えている。数値例により、手動で最適に選んだ重みより優れた性能を持つことを示すとともに、多カーネル学習に基づく機械学習アルゴリズムより高い推定精度と少ない計算量を同時に実現することを示している。

第5章では、各章の内容をまとめ、論文全体の結論と今後の展望を述べている。

以上要するに、本論文では、 ℓ_p ノルムに基づくスパース最適化に対する基礎的な結果を与えるとともに、非線形関数のオンライン推定法に対して提案した重み設計法が信号処理の諸問題において有効であることを示しており、情報通信工学分野において、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 5526 号	氏 名	善明 大樹
主 論 文 題 名 :			
過冷却保存および高静水圧印加による脱細胞化手法の確立			
<p>脱細胞化組織は生体組織から細胞を除去することで得られる三次元的な細胞外マトリクス(ECM)である。脱細胞化組織作製法の一つである高静水圧印加処理法は、薬剤残存のリスクがなく大型の三次元組織や臓器に適用できるメリットがある。しかしながら、高レベルの静水圧を印加した際は ECM が損傷し、低レベルで印加した際は細胞除去が不十分という問題が存在する。そこで、過冷却保存に着目した。過冷却は凝固点以下で液体状態のことを指し、氷晶による物理的損傷が生じない。凍結保護剤フリーで過冷却保存した場合、ECM は保持したまま細胞内外の浸透圧差により細胞にダメージが生じると考えられる。本研究では、過冷却保存と静水圧印加を複合化することにより、既存の手法よりも低レベルの静水圧印加で脱細胞化効果を向上させることを目的とした。具体的には、過冷却状態で保存可能なデバイスを開発し、細胞懸濁液および三次元培養体を過冷却保存後静水圧を印加することによる影響について検討した。</p> <p>第 1 章では本研究の背景および研究目的について記載した。</p> <p>第 2 章では本研究で開発した、細胞懸濁液および三次元培養体を過冷却状態で保存可能なデバイスについて示した。また、過冷却デバイスの性能およびチャンバ内で静置した溶液の温度制御方法について検討した。さらに、過冷却チャンバ内に白金電極を挿入することで、試料に対する凍結状態と過冷却状態の判別を電気インピーダンスにより評価可能であるか検討した。</p> <p>第 3 章では細胞懸濁液を凍結保護剤フリーで過冷却保存することによる影響について検討した。過冷却デバイスを用いて細胞懸濁液を凍結状態、冷蔵状態、および過冷却状態で 0~36 時間保存した。保存後、細胞生存性、初期接着性および細胞増殖性について比較し、考察した。</p> <p>第 4 章では過冷却保存と静水圧印加の複合化が細胞構造および細胞機能に与える影響について検討した。過冷却チャンバ内で細胞懸濁液を過冷却保存後 100, 150, 200 MPa の静水圧を印加し、細胞膜の微細構造、細胞生存性、初期接着性、および細胞増殖性について非保存群および冷蔵保存群と比較した。</p> <p>第 5 章では細胞含有コラーゲンゲルに対する過冷却保存と静水圧の複合化を印加が与える影響について検討した。細胞含有コラーゲンゲルを作製し、過冷却チャンバ内で過冷却保存後 100, 150, 200 MPa の静水圧を印加した。印加後、細胞生存性、ゲル内部の DNA 残存率、およびコラーゲン繊維の構造について非保存群および冷蔵保存群と比較した。</p> <p>第 6 章では本研究の結論および今後の課題について述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5526 号	氏 名	善明 大樹
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 宮田 昌悟
	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	博士（工学） 竹村 研治郎
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 尾上 弘晃
		東京大学大学院教授	工学博士 牛田 多加志

学士（工学）、修士（工学）善明大樹君提出の学位請求論文は「過冷保存および高静水圧印加による脱細胞化手法の確立」と題し、6章から構成されている。

脱細胞化組織は生体組織から細胞を除去することで得られる三次元的な細胞外マトリクス（ECM）である。脱細胞化組織作製法の一つである高静水圧印加処理法は、薬剤残存のリスクがなく大型の三次元組織や臓器に適用できる利点がある。しかしながら、高レベルの静水圧を生体組織に印加した場合にはECMが損傷し、低レベルで印加した際は細胞の除去が不十分になる問題が存在する。

以上に鑑み、本研究は静水圧の印加と過冷却保存を複合化することにより、既存の手法よりも低レベルの静水圧印加で脱細胞化効果を向上させることを目的としている。具体的には、過冷却状態で細胞や生体組織を保存可能なデバイスを開発し、対象となる細胞または生体組織を過冷却環境下に置いた後に静水圧を印加することで細胞を除去する脱細胞化手法を提案している。

第1章では、研究の背景および目的を述べ、従来の研究を概説している。

第2章では、本研究で開発した細胞懸濁液および三次元細胞培養体を過冷却状態で保存する過冷却デバイスの構成について説明し、デバイスの機構および試料の温度制御方法について述べている。さらに、過冷却デバイス内部に白金製電極を挿入して電気インピーダンスを測定することで、試料の過冷却状態が維持されていることを電気的特性の観点から示している。

第3章では、細胞懸濁液を凍結保護剤が含まれない環境下で過冷却状態に置くことで細胞に与える影響を評価している。過冷却デバイスを用いて細胞懸濁液を凍結状態、冷蔵状態、および過冷却状態で36時間まで保存し、細胞生存性、初期接着性および細胞増殖性に与える影響を明らかにしている。

第4章では、過冷却保存と静水圧印加の複合化が細胞の微細構造および細胞機能に与える影響について評価している。過冷却デバイスを用いて細胞懸濁液を過冷却保存後に100, 150, 200 MPaの静水圧を印加し、細胞膜の微細構造、細胞生存性、初期接着性、および細胞増殖性に与える影響を明らかにしている。

第5章では、生体組織模擬体として細胞含有コラーゲンを作製し、過冷却保存と静水圧の複合化がコラーゲンの微細構造および細胞に与える影響を評価している。細胞含有コラーゲンを過冷却デバイスを用いて過冷却保存後に100, 150, 200 MPaの静水圧を印加し、細胞生存性、ゲル内部のDNA残存量、およびコラーゲンの微細構造に与える影響を明らかにしている。

第6章では、各章で得られた成果をまとめ、本論文の結論および今後の展望について述べている。

以上要するに、本論文では、過冷却保存と静水圧印加を複合化した脱細胞化手法を提案し、細胞懸濁液から生体組織模擬体である細胞含有コラーゲンまでを対象として本手法の有効性を示しており、再生医療工学の分野において、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 5527 号	氏 名	江刺家 恵子
主 論 文 題 名 :			
金ナノ粒子コンジュゲート最適化による簡易・迅速遺伝子定量技術の開発			
<p>近年、個別化医療に向けて極微量なDNA検体を迅速かつ高感度に検出する技術が求められ、特に低侵襲な血液、体液を用いたリキッドバイオプシー検査へのニーズが高まっている。現在医療機関で実施されている遺伝学的検査は、大掛かりな測定機器を必要とし、検査コスト・時間がかかり、前処理や測定者技術による検査結果のばらつきにも課題がある。遺伝子診断を直接医療現場で行うことができれば、身体的負担や副作用の軽減、検査時間・費用の節減が実現する。本論文は、遺伝子診断の簡易・迅速化を目指し、金ナノ粒子をDNAへの標識として使用した、光学的検出による標的DNAの高感度定量を目的としている。具体的には、優れた分散安定性と高いハイブリダイゼーション効率を両立した金ナノ粒子のコンジュゲート技術、標的DNAとの相補的結合による金ナノ粒子二量体化技術、光散乱計測による二量体の高感度デジタル計数技術を実用化に向けて最適化することを目標とした。本論文は以下の8章より構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、DNA センシングに関連する研究背景を述べた後、簡易な DNA 検出、ならびに金ナノ粒子を用いたバイオセンシングの動向と現状を説明した。金ナノ粒子を用いた簡易遺伝子定量の実用化に向けた技術課題を明確にし、本研究の目的を述べた。</p> <p>第2章では、金ナノ粒子とそのコンジュゲート技術や複合体形成、プラズモン共鳴を利用した金ナノ粒子分光検出、金ナノ粒子アッセイによる DNA 定量法について概説した。</p> <p>第3章では、相補的 DNA のハイブリダイゼーションに基づく金ナノ粒子二量体形成の基盤技術を確立した。二量体形成効率を最大化しつつ、DNA 検出限界を決定する非特異的結合を抑制するため、アルカンチオールによる金ナノ粒子表面修飾の最適化を行った。アルキル鎖長、ポリエチレングリコール修飾、末端基を詳細に検討することにより、優れた分散安定性と高いハイブリダイゼーション効率の両立を実現した。</p> <p>第4章では、光学異方性を有する標識として、1nm 前後の粒子間距離を有する金ナノ粒子二量体の形成を試みた。金ナノ粒子を修飾するアルカンチオールの相互貫入によって二量体化し、アルキル鎖長や末端基によって粒子間距離を精密に制御可能であることを実証した。さらに、粒子間距離と光学的異方性の相関を実験と電磁界シミュレーションによって確認した。</p> <p>第5章では、標的DNAを介した、プローブDNA修飾金ナノ粒子二量体形成の基盤技術を確立した。標的DNAと相補的、かつ二分割された2本のプローブDNAに対し、金ナノ粒子への固定末端の最適な組み合わせを見出し、二量体形成効率の最大化を図った。</p> <p>第6章では、多様な濃度のDNAアッセイへの要求、とりわけ高濃度検体に対応すべく、標的DNA検出のダイナミックレンジ拡大を試みた。コンジュゲート金ナノ粒子のサイズと濃度、ならびにプローブDNAの表面密度を詳細に検討し、検体濃度に応じた最適なハイブリダイゼーション効率を得る指針を明らかにした。</p> <p>第7章では、一層のダイナミックレンジの拡大と微量検体への対応を目的として、共焦点顕微光学測定による金ナノ粒子二量体のデジタル計数計測法を確立した。単一粒子散乱光の波形解析により、単量体と二量体の識別や非特異結合二量体との識別等を可能とした。オンサイト検査への応用を想定した検証実験として、ダイズ粉末から抽出したDNAの特異配列PCRセグメントを検出対象とした定量測定を実施し、二本鎖標的DNAに対しても本手法が適用可能であることを実証した。</p> <p>第8章は結論であり、本研究を総括し、今後の展望について述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5527 号	氏 名	江刺家 恵子
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
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 蛭田 勇樹
		慶應義塾大学教授	Ph. D. 堀田 篤

農学士江刺家恵子君提出の学位請求論文は「金ナノ粒子コンジュゲート最適化による簡易・迅速遺伝子定量技術の開発」と題し、8章から構成されている。

近年、個別化医療に向けて特定の遺伝子を迅速かつ高感度に検出する技術が求められている。現在医療機関で実施されている遺伝学的検査は大掛かりな測定装置を必要とし、検査時間・費用がかかり、前処理や測定者技術による検査結果のばらつきにも課題がある。遺伝子検査を直接医療現場で行うことができれば、検査時間・費用の節減だけでなく、身体的負担や副作用の軽減も期待できる。本論文は、遺伝子検査の簡易化、迅速化ならびに測定装置の小型化を目指し、金ナノ粒子をDNAへの標識とした光学的検出による標的DNAの高感度定量法の確立を目的としている。

第1章では、遺伝子診断技術の現状を説明した後、金ナノ粒子を用いたバイオセンシングの研究動向について述べている。金ナノ粒子による遺伝子定量の実用化に向けた技術課題を明確にし、本研究の目的と意義を述べている。

第2章では、金ナノ粒子とそのコンジュゲート技術、プラズモン共鳴を利用した金ナノ粒子分光検出、金ナノ粒子アッセイによるDNA定量法について概説している。

第3章では、相補的DNAのハイブリダイゼーションに基づく金ナノ粒子二量体形成の基盤技術を確立している。二量体形成効率を最大化しつつ、非特異的結合を抑制するため、アルカンチオールによる金ナノ粒子表面修飾の最適化を行っている。

第4章では、光学的異方性を有する標識の作製を目的として、金ナノ粒子表面をアルカンチオールで修飾し、その相互貫入によって二量体の形成を試みている。アルキル鎖長や末端基によって粒子間距離を精密に制御可能であることを実証している。

第5章では、標的DNAを介した金ナノ粒子二量体形成の基盤技術を確立している。標的DNAと相補的、かつ二分割された2本のプローブDNAに対し、金ナノ粒子への固定末端の最適な組み合わせを見出し、二量体形成効率の最大化を図っている。

第6章では、高濃度検体への対応を目的として、標的DNA検出のダイナミックレンジ拡大を試みている。金ナノ粒子のサイズと濃度、プローブDNAの表面密度などの条件を詳細に検討し、検体濃度に応じた条件最適化の指針を明らかにしている。

第7章では、微量検体への対応を目指し、共焦点光学測定による金ナノ粒子二量体の計数法を確立している。また、ダイズ粉末から抽出したDNAの特異配列を対象とした定量測定を実施し、二本鎖標的DNAに対しても本研究の手法が適用可能であることを実証している。

第8章では、本研究を総括し、今後の展望について述べている。

以上要するに、本論文は遺伝子検査の迅速化に向け、金ナノ粒子のコンジュゲート最適化を図り、標的DNAの定量における感度向上とダイナミックレンジ拡大を実現したものであり、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。

内容の要旨

報告番号	甲 第 5528 号	氏 名	滝沢 雅明
主論文題名： A Study of Efficient Kernel Adaptive Filtering Algorithm Based on Parallel Projection, Shrinkage Operator, and Model Learning (並列射影・軟閾値作用素・モデル学習に基づく 効率的な再生核適応アルゴリズムの研究)			
<p>信号処理・機械学習の諸問題は、非線形関数推定問題として定式化される。近年、ビッグデータ解析をオンラインで実行できる適応学習アルゴリズムへの需要が高まっている。オンライン非線形関数推定への代表的なアプローチとして、ニューラルネットワーク・ボルテラフィルタ・カルマンフィルタ等が存在するが、それぞれ局所最適解・高演算量・モデル依存性の課題を抱えている。再生核に基づく適応アルゴリズムは、大域的最適性・低計算量・モデルへの非依存性などの利点がある一方、幾つかの課題が残されている。一つ目の課題は適応アルゴリズムの収束速度、二つ目は非線形関数を表現するための辞書サイズの増加、三つ目はカーネルパラメータの事前設計の困難性である。本研究では、これらの課題を解決する効率的な適応アルゴリズムを構築し、その性能を計算機実験により定量的に評価することを目的とした。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景と動機を述べ、先行研究を概説した。</p> <p>第2章では、データ再利用による再生核適応アルゴリズムの高速化のための手法を提案した。提案アルゴリズムのポイントは、再生核ヒルベルト空間の幾何構造の利用と並列射影によるデータ再利用であり、これによって、少ない演算量で高速な収束、高精度な推定、ノイズに対する頑健性を同時に実現した。</p> <p>第3章では辞書増加に伴うメモリ容量・計算量の増加および不要な辞書要素による性能劣化を防ぐために、軟閾値作用素を用いた適応的な辞書再構築法を提案した。ある条件下で、ℓ_1 正則化付き二乗距離関数の最小解集合への単調接近性が保証されることを明らかにした。</p> <p>第4章では、ガウス核のパラメータ（平均ベクトルと分散）を座標降下法で逐次的に学習する適応アルゴリズムを提案した。分散パラメータの初期値設定が学習結果に大きく影響することを実験的に明らかにするとともに、その影響を軽減することを目的として、分散パラメータの適切な初期値を選択するマルチスケールスクリーニング法を提案した。ガウス核のパラメータ学習は、数理モデルを適応的に学習することに対応しており、提案法は、これに加えてガウス核の係数ベクトルも同時に学習するものとなっている。</p> <p>第5章は結論であり、各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5528 号	氏 名	滝沢 雅明
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 湯川 正裕
	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） 青木 義満
		慶應義塾大学教授	工学博士 足立 修一

学士(工学)、修士(工学) 滝沢雅明君提出の学位論文は「A Study of Efficient Kernel Adaptive Filtering Algorithm Based on Parallel Projection, Shrinkage Operator, and Model Learning」（並列射影・軟閾値作用素・モデル学習に基づく効率的な再生核適応アルゴリズムの研究）と題し、5章から構成されている。

信号処理・機械学習の諸問題は、非線形関数推定問題として定式化される。近年、ビッグデータ解析をオンラインで実行できる適応学習アルゴリズムへの需要が高まっている。オンライン非線形関数推定への代表的なアプローチとして、ニューラルネットワーク・ボルテラフィルタ・カルマンフィルタ等が存在するが、それぞれ局所最適解・高演算量・モデル依存性の課題を抱えている。再生核に基づく適応アルゴリズムは、大域的最適性・低計算量・モデルへの非依存性などの利点がある一方、幾つかの課題が残されている。1つ目の課題は適応アルゴリズムの収束速度、2つ目は非線形関数を表現するための辞書サイズの増加、3つ目はカーネルパラメータの事前設計の困難性である。

以上に鑑み、本研究では、これらの課題を解決する効率的な適応アルゴリズムを構築し、その有効性を計算機実験によって明らかにしている。

第1章では、本研究の背景と動機を述べ、先行研究を概説している。

第2章では、データ再利用による再生核適応アルゴリズムの高速化のための手法を提案している。提案アルゴリズムのポイントは、再生核ヒルベルト空間の幾何構造の利用と並列射影によるデータ再利用であり、これによって、少ない演算量で高速な収束、高精度な推定、ノイズに対する頑健性が同時に実現されることを明らかにしている。

第3章では、辞書増加に伴うメモリ容量・計算量の増加および不要な辞書要素による性能劣化を防ぐために、軟閾値作用素を用いた適応的な辞書再構築法を提案している。ある条件下で、 ℓ_1 正則化付き二乗距離関数の最小解集合への単調接近性が保証されることを明らかにしている。

第4章では、ガウス核のパラメータ（平均ベクトルと分散）を座標降下法で逐次的に学習する適応アルゴリズムを提案している。分散パラメータの初期値設定が学習結果に大きく影響することを実験的に明らかにするとともに、その影響を軽減することを目的として、分散パラメータの適切な初期値を選択するマルチスケールスクリーニング法を与えている。ガウス核のパラメータ学習は、数理モデルを適応的に学習することに相当し、提案法は、これに加えてガウス核の係数ベクトルも同時に学習するものとなっている。

第5章では、各章の内容をまとめ、論文全体の結論と今後の展望を述べている。

以上要するに、本論文では、再生核に基づく適応アルゴリズムの性能を向上させる3つの手法を提案し、これらの手法の有効性を信号処理の諸問題において実証しており、信号処理分野において、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 5529 号	氏 名	柳 玲奈
主論文題名： 固体ナノポアを用いた核酸配列検出法に関する研究			
<p>固体ナノポアとは、無機化合物の薄膜(厚さ 5~100 nm)に、検出対象分子程度の寸法で形成された微小なポア(直径 1~100 nm)である。固体ナノポアを用いた核酸センシング法は、薄膜に電圧を印加することで発生させたナノポア近傍の電位勾配により核酸を一分子ずつナノポアに電気泳動させ、核酸のナノポア通過の際に生じる電流変化を検出することで核酸由来の情報を得る。固体ナノポアを用いた遺伝子計測手法は、研究用途である核酸配列決定(DNA シーケンシング)から、クリニカル向け特定遺伝子検出までナノポア径や膜厚を変えることで、網羅できる手法として注目を浴びている。また、蛍光標識を不要とするラベルフリーの方法であり、ポアが形成された薄膜及び計測系は高集積化技術と親和性が高く、装置の低コスト化、小型化、計測スループット向上が可能である。</p> <p>第 1 章では、個別化医療における遺伝子検査の重要性、必要技術及び現状の課題を述べた。最後に本研究の目的と意義を述べた。</p> <p>第 2 章では、固体ナノポアによる DNA シーケンシングに向け、一本鎖 DNA のナノポア通過速度のポア径依存性を確認した。一本鎖 DNA はその直径程度のナノポア(1.4 nm)を 1.4 μs/塩基で通過するため、DNA 中の一塩基由来の信号を得るには、10 MHz 以上の高速アンプかつ塩基種分離可能なレベルでの低ノイズ計測系、または DNA のナノポア通過速度制御が必要と分かった。</p> <p>第 3 章では、アクチュエータに接続した Si 平板プローブに一本鎖 DNA を固定し、一本鎖中の三種ホモポリマの識別を検討した。まず、本手法により、Si 平板プローブ上の一本鎖 DNA のナノポアへの挿抜を実現した。更に DNA がナノポアに滞在している際に検出された電流レベル数が DNA を構成する塩基種数に依っていることを確認した。更に、固定された一本鎖 DNA がナノポアに滞在する際に得られた各塩基種に依って取得された封鎖信号量の差分は、固定されていない DNA がナノポアを通過する際に得られた値と比べて大きかった。これにより、固体ナノポアが塩基種分離能を有し、また高分解能に識別できた可能性が示唆された。</p> <p>第 4 章では、金微粒子修飾による固体ナノポアを用いた特定遺伝子検出の実現可能性を検討した。金微粒子を用いる際には、微粒子結合遺伝子と、未結合微粒子の体積変化が小さく、封鎖電流にて識別困難であることが課題である。そこで、ターゲット遺伝子に二つ以上の金微粒子が結合できる表面処理を金微粒子に施し、ターゲット遺伝子と、未結合微粒子の体積を違えることを検討した。結果、ターゲット遺伝子混合溶液と、ターゲット遺伝子未混合溶液を識別可能であることが示された。以上から、修飾分子を用いたナノポアによるターゲット遺伝子迅速検出の実現可能性が示唆された。</p> <p>第 5 章では、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。更に、DNA シーケンサ及び特定遺伝子検出に関する今後の展望について述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5529 号	氏 名	柳 玲奈
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	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 野田 啓
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 田口 良広
		慶應義塾大学准教授	Ph. D. 清水 智子

学士（工学）、修士（工学）柳玲奈君提出の学位請求論文は「固体ナノポアを用いた核酸配列検出法に関する研究」と題し、5章から構成されている。

遺伝子検査に基づく個別化医療の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DNAを直径数ナノメートルの孔に通過させながら、イオン電流の変化を通して塩基配列を読み出す技術であり、高速、安価、簡便な遺伝子情報取得を可能にする。ナノポアには大別して、チャンネルタンパク質を利用したバイオナノポアと無機材料薄膜に穿孔を施した固体ナノポアがある。後者は、デバイス設計に自由度があり、計測環境に対してロバストであるという特長を有するが、未だシーケンシングの実証には至っていない。本論文では、固体ナノポアシーケンサ実現に向け、DNAのナノポア通過過程の制御とそれを利用した塩基種識別の原理実証を目的としている。さらに、固体ナノポア技術を拡張し、新たな遺伝子配列検出法の開発を目指している。具体的には、特定遺伝子を標的としたハイブリダイゼーションによる金ナノ粒子複合体形成とナノポアによる複合体構成粒子数の識別法を提案し、遺伝子定量の実験実証を行っている。

第1章では、個別化医療における遺伝子検査の重要性と必要技術ならびに現状の課題を述べている。最後に本研究の目的と意義を述べている。

第2章では、固体ナノポアによるDNAシーケンシングに向け、一本鎖DNAのナノポア通過速度のポア径依存性を確認している。ナノポアの狭小化にともなって通過速度を劇的に低減可能であることを示しているが、シーケンシング実現のためには、一層の速度低減または従来以上の低ノイズ・広帯域電流計測が必要であることを指摘している。

第3章では、ピエゾアクチュエータによるDNAの通過速度制御システムを構築し、一本鎖DNAのナノポアへの挿抜を実現している。この制御技術により、DNAがナノポアに滞在している際のイオン電流値が離散化し、そのレベル数がDNAを構成する塩基種数に対応していることを確認している。この結果は、固体ナノポアの塩基種分離能を示唆している。

第4章では、固体ナノポアを用いた特定遺伝子検出の実現を目指し、金ナノ粒子の標識体としての有用性を検討している。特定遺伝子を標的としたハイブリダイゼーションにより金ナノ粒子が複合体を形成することに着目し、ナノポアイオン電流検出によって、単量体と複合体の識別、さらには複合体の構成粒子数の識別を行い、特定遺伝子の定量が可能であることを実証している。

第5章では、各章で得られた成果を要約し、本論文の結論を述べている。さらに、DNAシーケンサならびに特定遺伝子検出に関する今後の展望について述べている。

以上要するに、本論文は固体ナノポアを用いたDNAシーケンシングに向け、塩基種識別能を実証し、さらに特定遺伝子検出に向けて新たな標識・定量法の提案とその有効性を検証したものであり、医用工学、ナノバイオ工学分野において、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 5530 号	氏 名	水口 高翔
主 論 文 題 名 :			
非線形光学顕微鏡を用いた形質膜および低分子化合物の高感度イメージング			
<p>非線形光学イメージング技術は標的分子の構造や化学組成を高感度に可視化できるため、生体内における分子の複雑な振る舞いを理解するために欠かせないツールである。例えば、細胞形質膜は細胞の内外を隔てる脂質二重膜であり、形質膜の位置や形状を正確に捉えることは、形質膜の近傍における化合物の脂質膜を介した輸送動態を調べるために重要である。本論文では、非線形光学現象の 1 つである第二高調波発生 (Second Harmonic Generation; SHG) によって形質膜を特異的に可視化できることを明らかにした。また、別の非線形光学現象である二光子励起蛍光 (Two-Photon Excited Fluorescence; TPEF) とコヒーレント反ストークスラマン散乱 (Coherent Anti-Stokes Raman Scattering; CARS) を組み合わせることで、形質膜直下における細胞骨格構成と脂質膜構造の輸送動態を明らかにした。さらに、蛍光標識が困難である低分子化合物の特異的かつ高感度な検出に向けて、末端アルキンを有する低分子化合物の誘導ラマン散乱 (Stimulated Raman Scattering; SRS) による検出能力を検証し、金ナノロッドを用いた表面増強誘導ラマン散乱 (Surface-Enhanced SRS; SESRS) によって検出限界が 1 桁向上することを明らかにした。本論文は以下の 6 章により構成されている。</p> <p>第 1 章は序論であり、非線形光学の生物学応用に関する研究背景について述べた。具体的にはまず SHG を用いた形質膜イメージングとコヒーレントラマン散乱を用いた振動分光イメージングの歴史的背景について述べた。さらに TPEF も含む、これらの非線形光学現象を組み合わせたマルチモダル多光子イメージングに関する研究動向について述べた。最後に、SRS と表面増強ラマン散乱 (Surface-Enhanced Raman Scattering; SERS) を用いてアルキン標識された低分子化合物をイメージングする技術の研究動向について述べた。</p> <p>第 2 章では、本研究で扱う非線形光学現象の原理について述べた。具体的には SHG, TPEF, CARS, SRS, SERS の原理について述べた。</p> <p>第 3 章では、非線形光学イメージングのための顕微鏡システム構築方法について述べた。非線形光学顕微鏡の基本的な構成について説明した後、本研究で使用した二光子顕微鏡, CARS 顕微鏡, SRS-CARS 顕微鏡について具体的に述べた。</p> <p>第 4 章では、SHG の形質膜特異性に関する原理実証と応用について述べた。無蛍光の SHG 専用色素を用いて SHG イメージングが形質膜特異的であることを明らかにし、細胞骨格の TPEF と組み合わせることで、回折限界を超える高い分解能で形質膜直下の細胞骨格構成を明らかにした。さらに、形質膜特異的な SHG イメージングを CARS 顕微鏡に適用したマルチモダル多光子イメージングによって、細胞内の化学分析を可能にする CARS イメージングの能力を拡張し、形質膜直下における細胞内脂質の輸送動態分析に応用できることを明らかにした。</p> <p>第 5 章では、SESRS を用いて末端アルキンを有する低分子化合物を高感度に検出する技術について述べた。末端アルキンを有する低分子化合物を金ナノロッド表面に修飾した界面活性剤に疎水吸着させることで SESRS を計測し、通常の SRS よりも検出限界が 1 桁向上することを明らかにした。</p> <p>第 6 章は結論であり、本研究を総括し、非線形光学顕微鏡を用いた形質膜および低分子化合物の高感度イメージング技術について今後の展望を述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5530 号	氏 名	水口 高翔
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
		慶應義塾大学教授	博士（工学）・博士（医学） 塚田 孝祐

学士(工学), 修士(工学), 修士(医科学)水口高翔君提出の学位請求論文は「非線形光学顕微鏡を用いた形質膜および低分子化合物の高感度イメージング」と題し, 6 章から構成されている。

非線形光学イメージングは分子の化学組成や分子集合体の構造を, 種々の選択性をもって高感度に可視化できるため, 細胞中の生体分子や膜構造の観察ツールとして利用されている。例えば, 第二高調波発生 (Second Harmonic Generation; SHG) は, 分子配列の対称性に敏感で, 構造選択的であるのに対し, 二光子励起蛍光 (Two-Photon Excited Fluorescence; TPEF) ではその選択性が緩和される。コヒーレント反ストークスラマン散乱 (Coherent Anti-Stokes Raman Scattering; CARS) や誘導ラマン散乱 (Stimulated Raman Scattering; SRS) は, 分子振動の強制的励起により, 分子選択性と信号増強を得ている。さらに金属ナノ構造体に生じる表面プラズモン共鳴を援用することにより, 一層の信号増強が期待できる。本論文では, これらの非線形光学イメージング手法を複数組み合わせ, 形質膜近傍の構造・分子選択的可視化ならびに非標識低分子化合物の高感度分子選択的検出を目的としている。

第1章では, 非線形光学の生物学応用に関する研究背景ならびにマルチモデル非線形光学イメージングとアルキン標識ラマンイメージングに関する研究動向について述べている。最後に本研究の目的と意義について述べている。

第2章では, 本研究で利用する非線形光学分光と表面プラズモン増強分光の原理について述べている。

第3章では, 非線形光学イメージングのための顕微鏡システムの構築方法, 特に本研究で使用した SHG 顕微鏡, CARS 顕微鏡, SRS 顕微鏡について詳述している。

第4章では, 無蛍光 SHG 用色素を用い, 形質膜のみを選択的に可視化することを試みている。その応用として, SHG イメージングと TPEF イメージングを組み合わせることにより, 形質膜直下の細胞骨格構成を高分解能で可視化している。さらに, SHG と同様の選択性をもつ和周波発生イメージングと CARS イメージングの組み合わせにより, 形質膜直下における脂質輸送を可視化し, 構造選択性と分子選択性の同時活用の有用性を実証している。

第5章では, 蛍光標識が困難な低分子化合物の高感度ラマン検出について述べている。ラマンサイレント領域で強い信号を発するアルキンに着目し, 末端にアルキンを有するエチニルエストラジオールの SRS イメージングを行っている。さらに界面活性剤で修飾した金ナノロッドにエチニルエストラジオールを疎水吸着させ, 表面増強 SRS イメージングを実施している。通常の SRS イメージングと比較し, 検出限界が 1 桁向上することを明らかにしている。

第6章では, 本研究を総括し, 非線形光学イメージングの展望を述べている。

以上要するに, 本論文は非線形光学イメージングによる形質膜近傍の構造選択的, 分子選択的観察, ならびに表面プラズモン増強効果を援用した高感度生体機能分子検出を実証したものであり, 細胞生物学, 細胞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5531号	氏名	佐野 哲史
主論文題名： The Creation and Management of Public-private Interfaces: Wellness and Bottom-up Approach Urban Design Incorporating Micro Public Spaces (公・私を介するインターフェース空間の形成と運営に関する研究：ウェルネスの向上に寄与するマイクロパブリックスペースとボトムアップ型都市デザイン)			
<p>本論文は、質の高いアーバンイズムにとって根本的に重要な二つの概念である生活の質と空間の質、ならびにその関連性を、現代日本の文脈において論じたものである。実践的な経験に基づいて行われた本研究は、ボトムアップに形成および運営される都市空間として選定された、Public-private Interfaces (PPI) —公・私を介するインターフェース空間—に焦点を当てている。PPI は、都市における公的領域と私的領域の間に存在するものとして定義される空間と生活の両方を指し、1960年代から現在に至るまで、都市デザインに関する研究において多くの関心を集めてきたが、それを分類する標準的な類型や合意された方法は未だ存在していない (Dovey, Wood, 2005)。PPI たる場所と実践は、我が国の都市空間においても本来的に備わっているものである一方で、空間的および社会的観点を組み合わせてそれらにアプローチした研究は僅少であり、それらは総じて PPI の形成または運営のいずれかに関するものである。本論文は、PPI の形成から運営までのプロセス全体について、個別具体的な調査・分析を実施することにより、PPI に関する新たな知見を提供するとともに、反産業的な個人的自由に関する思考にもとづくコンヴィヴィアリティの理論 (Illich, 1973) を端緒として、コンヴィヴィアルな都市空間たる PPI の現代的かつ実効的な定義を提示する。</p> <p>研究結果は、PPI の特性、社会的役割、社会的有効性のための条件を明確化し、PPI をマイクロパブリックスペースとして都市空間に実装させていくという、ボトムアップ型の都市デザイン戦略を浮かび上がらせた。具体的には、PPI に関する一般的な活動形態のみならず様々な個別的形態を扱うために、個人、近隣、およびコミュニティのレベルにおけるケーススタディを実施し、PPI の具体的構成、社会的相互作用の場としての役割、脆弱なコミュニティメンバーを含む複数かつ多様な利害関係者が関与することの決定的重要性、つまり、事前定義された活動ではない自律的活動による創発的な場所としての PPI の特性を明らかにした。特に重要なのは、実効性のある PPI には複数の人々が関わっており、人々の相互作用の多様性が、個人および集団の行動とウェルネスを促進するという点である。このことは、複数のパーソナルな空間群によって構成された PPI において、ひとつのパーソナルな空間で生じた変化が、隣接する空間のみならず、PPI の空間群全体に明確な影響を与えたことによって確認された。</p> <p>現代日本の文脈では、コンヴィヴィアリティは個人的自由の相互作用を通して表れ、そこでは集団（における相互作用）が個人よりも重要となる。つまり、PPI が有効性を獲得するためには、個人活動としてのみならず、都市空間におけるコレクティブな活動として実践される必要がある。本論文は、研究結果を統合することにより、都市空間形成へのボトムアップなアプローチとしての空間の形成と運営を鋭敏に組み合わせた実践が、都市におけるローカルな生活の質をかたちづくりにあたって重要な役割を果たすこと、加えて、それは歴史的に確立され、東京に現存するものであることを示した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5531 号	氏 名	佐野 哲史
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. ラドヴィッチ, ダルコ
	副査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 三田 彰
		慶應義塾大学准教授	博士 (工学) アルマザン, ホルヘ
		明治大学特任教授	Ph. D. ブンタム, ダヴィシ
<p>Master of Architecture (M. Arch) Sano Satoshi's thesis titled "The Creation and Management of Public-private Interfaces: Wellness and Bottom-up Approach Urban Design Incorporating Micro Public Spaces" (公・私を介するインターフェース空間の形成と運営に関する研究：ウェルネスの向上に寄与するマイクロパブリックスペースとボトムアップ型都市デザイン), consists of 8 chapters.</p> <p>The thesis investigated the links between two notions of fundamental importance for quality urbanism – the Quality of Life and Quality of Space – in Japan. The research, founded upon practical experience, focused at selected, bottom-up created and managed urban spaces and public-private interfaces (PPI). PPI here refers to both spaces and lives defining the domain between public and private realms in the city. Although those issues have attracted significant attention in urban design and research since 1960s, there are neither standard typologies nor agreed methods for their categorizing (Dovey, Wood, 2005). While some PPI places and practices in Japan can rightfully be seen as indigenous, few studies that approach them from a combined spatial and social stand point, with most of them related to either the creation, or to management of PPI. This Thesis provides novel insights into PPI by conducting in-depth, individual and specific studies on the entire process - from the creation to management of PPI. Inspired by the theory of conviviality and the idea of anti-industrial individual freedom (Illich, 1973), this project applies the working definition of PPI as convivial urban space. By analysing and clarifying the exact social roles, conditions for social effectiveness, and characters involved in concrete cases, the bottom-up urban design and management strategies that incorporate PPI - micro public spaces emerge. The case studies which have enabled that conclusion were conducted at the individual, neighborhood, and community levels, addressing a variety of generic and case-specific forms of PPI activity. The results explain the formation of concrete PPI, their roles as places for social interaction, a critical importance of involvement of multiple and diverse stakeholders, with inclusion of vulnerable community members – their character as places of emerging, autonomous, rather than predefined activities. Of special importance is the finding that successful PPI always involve multiple people, and that the variety of their interactions positively affects their individual and collective behavior and wellness. This was confirmed by the fact that in PPI composed of multiple personal spaces, the changes that occur in one of the spaces have a defining influence on the entire group of PPI, as well as the adjacent spaces. In the context of contemporary Japan, conviviality expresses itself through individual freedom in mutuality, where (the interaction with) a group becomes more important than an individual. This indicates that in order for PPI to be effective, they should be practiced as collective activities rather than individual activities in urban spaces. The combined results of this thesis show that the bottom-up approach which sensitively combines the space creation and management practices, and which has both an established history and presence in Tokyo of today, has the capacity to play a significant role in locally relevant quality of urban life.</p> <p>Chapter 1 gives the background, aim, relevance, key terms of the research, and the hypotheses and research questions.</p> <p>Chapter 2 provides the theoretical background of this study in three steps, by discussing and defining (a) the quality and ways of life aiming towards wellness in the Japanese context, and (b) the quality of space and social interactions for wellness in the Japanese context, reaching the central issue of (c) interaction between various aspects of public and private lives in space as PPI, in the Japanese context.</p> <p>Chapter 3 describes the methodology of the research. The approach and focus of this research define three categories (levels) of case studies and introduce the mixed research methods to be applied to analysis and discussion of these cases. This chapter also explains the selection of the case studies.</p> <p>Chapter 4 offers a case study in the first category: the PPI analysis at individual level.</p> <p>Chapter 5 offers a case study in the second category: the PPI analysis at neighborhood level.</p> <p>Chapter 6 offers a case study in the third category: the PPI analysis at community level.</p> <p>Chapter 7 discusses and combines the findings obtained from the analysis of cases across individual, neighborhood and community levels of PPI, establishing a hierarchy of issues.</p> <p>Chapter 8 gives a set of conclusions related to particular cases and levels, and possible generalizations.</p> <p>This thesis was written, presented and defended in English language, which confirms sufficient academic ability.</p>			

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5532	Name	FILIPOVIC, Ivan
Thesis Title			
Soft Power Architecture: Mechanisms, Manifestations and Spatial Consequences of Embassy Buildings and Exported Ideologies			
<p>Architecture can be viewed as a system of circumstance structuring that does not exist independently from the contextual occurrences. It captures, constructs and legitimizes oftentimes conflicting societal realities and ideologies. One of these aspects is observable within the concept of soft power, defined as the capability to attract and persuade without coercion and payments. Additionally, soft power resources are the assets that produce such attraction but cannot always be measured or have tangible physical manifestations.</p> <p>What happens when soft power does have spatial manifestations? Soft power architecture is viewed an amalgamation of processes and outcomes that must be examined and explained as an indissoluble structure, throughout its lifespan. This research focuses on understanding, mapping and classifying the state-sponsored (re)production processes for spaces aimed at the communication of the officially sanctioned images/messages of national identity. Placement of embassy buildings is observed as the representative model for this research. Six exploratory case studies of embassy buildings in Tokyo, Japan and Belgrade, Serbia confirm the necessity for the re-examination of the politics of space-making for diplomatic-consular headquarters.</p> <p>The findings dispute the initially presumed discrepancies between the proclaimed values, implementation strategies and examined spatial manifestations. Embassy architecture, with its privileges and realization process, vary significantly depending on the interpretation of ideological narrative-building. The relevancy of architectural design is of secondary importance, while the examined conceptualization and management processes are more indicative of spatial (re)production and freedom and control in urban spaces.</p> <p>Apart from providing an applicable methodology and method for examining soft power architecture, this research offers relevant data primarily for architects and urban planners, putting forward strategies for communication of identity for exported architectural typologies. Furthermore, the universality of these typologies allows their spatial consequences to be examined in various urban matrixes and cross-referenced with points of interest for individual case studies.</p> <p>Keywords: embassy, ideology, identity, soft power, spatial production</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5532 号	氏 名	FILIPOVIC, Ivan
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	Ph. D.	ラドヴィッチ, ダルコ
	副査 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)	小林 博人
	明治大学特任教授	Ph. D.	ブンタム, ダヴィシ
<p>Master of Architecture (M. Arch) FILIPOVIC, Ivan's thesis titled "Soft Power Architecture: Mechanisms, Manifestations and Spatial Consequences of Embassy Buildings and Exported Ideologies" (ソフトパワーアーキテクチャ - 大使館建築と輸出されたイデオロギーのメカニズムと発現プロセスおよび空間的影響), consists of 7 chapters.</p> <p>Architecture can be viewed as a system of circumstance structuring that does not exist independently from the contextual occurrences. It captures, constructs and legitimizes oftentimes conflicting societal realities and ideologies. One of these aspects is observable within the concept of soft power, defined as the capability to attract and persuade without coercion and payments. Additionally, soft power resources are the assets that produce such attraction but cannot always be measured or have tangible physical manifestations. What happens when soft power does have spatial manifestations? Soft power architecture is viewed an amalgamation of processes and outcomes that must be examined and explained as an indissoluble structure, throughout its lifespan. This research focuses on understanding, mapping and classifying the state-sponsored (re)production processes for spaces aimed at the communication of the officially sanctioned images/messages of national identity. Placement of embassy buildings is observed as the representative model for this research. Six exploratory case studies of embassy buildings in Tokyo, Japan and Belgrade, Serbia confirm the necessity for the re-examination of the politics of space-making for diplomatic-consular headquarters. The findings dispute the initially presumed discrepancies between the proclaimed values, implementation strategies and examined spatial manifestations. Embassy architecture, with its privileges and realization process, vary significantly depending on the interpretation of ideological narrative-building. The relevancy of architectural design is of secondary importance, while the examined conceptualization and management processes are more indicative of spatial (re)production and freedom and control in urban spaces. Apart from providing an applicable methodology and method for examining soft power architecture, this research offers relevant data primarily for architects and urban planners, putting forward strategies for communication of identity for exported architectural typologies. Furthermore, the universality of these typologies allows their spatial consequences to be examined in various urban matrixes and cross-referenced with points of interest for individual case studies.</p> <p>Chapter 1, titled Introduction, sets the research framework for this project, noting its hypothesis and research questions, discusses its limitations and potential, giving a brief overview of the entire content presented in this research.</p> <p>Chapter 2, titled Conceptual Framework, introduces and problematizes the conceptual framework and places emphasis on the necessity for a multidisciplinary approach when dealing with exported architectural typologies. Four major concepts (ideology, identity, architecture and urban planning and international relations) are interlinked to create a base for further examination of the previously non-researched field of soft power architecture. The concept of risk and its implications on the urban structure is elaborated. Chapter 3 of the thesis deals with Mechanisms and buildup processes that, in the majority of cases, will have influence onto the examined architectural typology of soft power architecture.</p> <p>Chapter 3 is comprised of six individual sub-chapters, covering topics pertinent for further development of the presented argument.</p> <p>Chapter 4 of the thesis will deal with Manifestation of previously examined theoretical and conceptual postulations: chosen examples depict specific realms in which various goings-on form either intangible (e.g. policies) or tangible (e.g. embassy building typologies) manifestations of a multi-layered, multidisciplinary, cross-disciplinary nature. Chapter 4 is comprised of seven individual sub-chapters, covering topics pertinent for further development of the presented argument.</p> <p>Chapter 5 titled Spatial Consequences and by developing the theoretical framework for its investigation, this section illustrates the far-reaching consequences embassy typologies have on the urban structure and its users. Furthermore, this chapter, divided into three subchapters serves as an overview of six exploratory case studies noting and discussing the points of interest in this project, for Tokyo, Japan and Belgrade, Serbia.</p> <p>Chapter 6, titled Discussion, elaborates upon the relevant findings and expands upon the implication of the obtained data for future academic research. The meaning, importance and relevance of the assembled results is explained, relating it to the previously presented literature review and research questions. Chapter 7, titled Conclusion, summarizes the presented research, states the answers to the posed research questions, making recommendations for future scholastic investigations. Furthermore, demonstration is given on the new contribution to knowledge, giving a clear understanding of the main arguments how the research on the mechanisms, manifestations and spatial consequences of soft power architecture has advanced the profession of architecture and urban planning.</p> <p>This thesis was written, presented and defended in English language, which confirms sufficient academic ability.</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5533 号	氏 名	齋藤 直紀
主論文題名： 東京都区部における開放的な公私境界部の集合形式 － 暗渠上路地・鉄道高架下空間・住宅密集地域を対象として －			
<p>近年東京都区部では、大規模開発の増加により従来の住宅地がタワーマンションに置き換わっている。これらの開発は各地区内に利便性の高い新たな居住空間と商業空間を実現する。しかしながら、地区内で空間が完結しているため、近隣地区に対しては閉鎖的であり、従来の商店街や住宅地域と比較して街路沿いの活動は減少する。行政はこのような状況を改善するために、街路空間における社会交流や滞在を促進する「まちなかウォークアブル推進プログラム」や道路占用許可の緩和等を策定している。これらの政策では、公共空間と私有空間の境界（以下、公私境界部）の開放的なデザイン、積極的な外部空間の活用やヒューマンスケールな街並みを重要視している。</p> <p>新しい開発やまちづくりが注目される一方で、東京には古くから歩行者の利用を中心としたエリアにおけるヒューマンスケールな街並みが存在する。本論文はそのような街並みに着目し、その中でも比較的、行政による一体的な都市計画が行使されていない、「創発的」に形成された既存の街路空間に主眼を置く。具体的には「暗渠上路地」、「鉄道高架下空間」、「住宅密集地域」の3つの事例を選定し、開放的な公私境界部を持つ街並みの特性を抽出する。</p> <p>第1章では、研究の背景と目的、対象地域、方法、既往研究における街並みの評価方法、本論文における「創発」の定義及び論文の構成について述べた。</p> <p>第2章では、戦後の人口増加や復興事業による急激な都市化によって形成された暗渠の中で、住宅地における幅員が狭く自動車の侵入が不可能な暗渠上路地を対象に、公私境界部を構成する地盤の高低差や、柵や擁壁といった境界要素、建物の向きや、植木鉢や家具などの人々の活動を現す要素の配置から、公私境界部の集合形式を明らかにした。</p> <p>第3章では、道路交通の円滑化や、安全性の確保のために形成された鉄道高架の中で、一般の人々に開かれた公共・福祉・商業用途の機能を持った高架下空間を対象に、公私境界部を構成する建物の規模や密度、出入り口の個数といった接続性から、公私境界部の集合形式を明らかにした。</p> <p>第4章では、震災・戦災復興における急速な都市化により形成された、低層住宅が多く、人口密度が高い住宅密集地域を対象に、公私境界部を構成する道路・路地の幅や形状、建物の向きや規模・用途、境界要素、人々の活動を現す要素の配置から、公私境界部の集合形式を明らかにした。</p> <p>第5章では、得られた開放的な公私境界部の集合形式を生み出す創発の条件を考察し、以下のデザイン原理として整理した。《「カスタマイズの余白」：住民や店主が公私境界部に植物や家具を置くことで、多様なファサードを持った街並みが生まれる》、《「都市的な浸透性」：視覚的・物理的につながる公私境界部により、人々の往来や交流が現れる街並みが生まれる》、《「コンパクトな多様性」：街区内に様々な規模の建物と街路が配置されることで、多様な用途に対応できる街並みが生まれる》。最後に、デザイン原理を今後の都市計画に導入し、想定される効果と課題を考察した。</p> <p>第6章では、第2章から第5章までの各章で得られた結果と、それに伴う課題と展望を、本論文の結論として総括した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5533 号	氏 名	齋藤 直紀
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） アルマザン，ホルヘ
	副査	慶應義塾大学教授	博士（情報学） 小檜山 雅之
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 小林 博人
		東京大学准教授	博士（工学） 中島 直人

修士(工学)、齋藤直紀君提出の学位請求論文は「東京都区部における開放的な公私境界部の集合形式 - 暗渠上路地・鉄道高架下空間・住宅密集地域を対象として- 」と題し、六章からなっている。

近年東京都区部では、大規模開発の増加により従来の住宅地がタワーマンションに置き換わっている。これらの開発は各地区内に利便性の高い新たな居住空間と商業空間を実現する。しかしながら、地区内で空間が完結しているため、近隣地区に対しては閉鎖的であり、従来の商店街や住宅地域と比較して街路沿いの活動は減少する。行政はこのような状況を改善するために、街路空間における社会交流や滞在を促進する「まちなかウォークアブル推進プログラム」や道路占用許可の緩和等を策定している。これらの政策では、公共空間と私有空間の境界（以下、公私境界部）の開放的なデザイン、積極的な外部空間の活用やヒューマンスケールな街並みを重要視している。

新しい開発やまちづくりが注目される一方で、東京には古くから歩行者の利用を中心としたエリアにおけるヒューマンスケールな街並みが存在する。本論文はそのような街並みに着目し、その中でも比較的に、行政による一体的な都市計画が行使されていない、「創発的」に形成された既存の街路空間に主眼を置く。具体的には「暗渠上路地」、「鉄道高架下空間」、「住宅密集地域」の3つの事例を選定し、開放的な公私境界部を持つ街並みの特性を抽出する。

第1章では、研究の背景と目的、対象地域、方法、既往研究における街並みの評価方法、本論文における「創発」の定義及び論文の構成について述べている。

第2章では、戦後の人口増加や復興事業による急激な都市化によって形成された暗渠の中で、住宅地における幅員が狭く自動車の侵入が不可能な暗渠上路地を対象に、公私境界部を構成する地盤の高低差や、柵や擁壁といった境界要素、建物の向きや、植木鉢や家具などの人々の活動を現す要素の配置から、公私境界部の集合形式を説明している。

第3章では、道路交通の円滑化や、安全性の確保のために形成された鉄道高架の中で、一般の人々に開かれた公共・福祉・商業用途の機能を持った高架下空間を対象に、公私境界部を構成する建物の規模や密度、出入り口の個数といった接続性から、公私境界部の集合形式を説明している。

第4章では、震災・戦災復興における急速な都市化により形成された、低層住宅が多く、人口密度が高い住宅密集地域を対象に、公私境界部を構成する道路・路地の幅や形状、建物の向きや規模・用途、境界要素、人々の活動を現す要素の配置から、公私境界部の集合形式を説明している。

第5章では、前章で述べられた開放的な公私境界部の集合形式を生み出す創発の条件を考察し、以下のデザイン原理として整理された。《「カスタマイズの余白」：住民や店主が公私境界部に植物や家具を置くことで、多様なファサードを持った街並みが生まれる》、《「都市的な浸透性」：視覚的・物理的につながる公私境界部により、人々の往来や交流が現れる街並みが生まれる》、《「コンパクトな多様性」：街区内に様々な規模の建物と街路が配置されることで、多様な用途に対応できる街並みが生まれる》。最後に、デザイン原理を今後の都市計画に導入し、想定される効果と課題を述べている。

第6章では、第2章から第5章までの各章で得られた結果と、それに伴う課題と展望を、本論文の結論として述べた。

以上、本論文で述べられている「公私境界部」の分析と考察は都市計画分野への貢献度が高く、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5534号	氏名	岨野 太一
主論文題名： 散歩パートナーロボットの発話方法に関する研究			
<p>特定の場所での案内や、歩行時の補助として、人とロボットがともに歩く研究の取り組みは多く存在している。将来的には、健康増進などのための散歩場面においても、共に歩くパートナーとしてのロボットの需要が発生しうる。物理的身体を持つロボットは、視覚・聴覚能力を持っていることを演出することが可能であり、散歩中の状況を人間と共有している感覚を演出できる。しかしながら、人同士と一緒に散歩する場合、通常は何らかの会話が発生する。ロボットが散歩のパートナーとしてともに歩く際にも、同様に会話をする必要があり、散歩中の会話を通しての満足度の向上は重要な課題である。本研究では、散歩パートナーロボットの発話方法について扱う。</p> <p>散歩中のロボットの発話の生成において、必要となりうる機能がいくつか存在する。一つ目は、風景参照である。周囲の風景に言及した発話を行うことで、同じ場所で同じものを見ている感覚を演出できる可能性がある。次に、返答の機能である。ユーザの発言に対して返答を行うことで、会話している感覚を演出でき、散歩中の発話の印象が良くなる可能性がある。次に、話題の継続である。会話中のある話題を明示的に継続することにより、返答同様、会話している感覚を演出することができる可能性がある。また、発話の内容以外に、発話の量も散歩そのものや散歩パートナーロボットの印象に寄与する可能性がある。散歩中の発話方法として、本研究では、先述の3機能について、風景とユーザの話題への興味から発話を選択する発話方法を提案、散歩パートナーとしての有効性を実際のインタラクション場面を通して検証する。また、散歩中の発話量について、多寡の感覚と印象への寄与の検証を行い、発話量の観点からも発話方式の検討を行う。</p> <p>1つ目の検討は、風景とユーザの話題への興味から発話を選択する発話方式とその有用性についてである。上記の3機能の実現方法として、風景画像からキーワードを抽出し、キーワードと文章データベースのcos類似度を基準に風景に適合する話題を選びつつ、ユーザの返答の長さによって、話題を派生させながら雑談する発話方法を提案する。本論文では、提案する発話システムを肩乗りロボットに組み込み、風景参照・返答機能・発話継続を持たないロボットとの比較を行い、有効性を示した。</p> <p>2つ目は、散歩中の発話量についての多寡の感覚と、印象への寄与の検証である。4種類の発話量のロボットに対して、参加者内計画による検証実験を行い、発話量についての多寡の感覚と、発話量による印象の変化について調査を行った。結果、4～5秒の短文の発話において、発話の開始から次の発話の開始までが10秒である場合に発話量が多いと感じ、40秒だと少なく感じるという知見が得られた。得られた結果は、人とロボットの対面対話の最適返答時間である2秒よりも長い時間であることを示しており、散歩パートナーロボット独自の時間感覚があることを示している。</p> <p>本論文の以上の研究より、風景参照・返答の機能・話題の継続の3機能を持つ発話方式ならびに、10秒から20秒の間隔を考慮した発話量の制御方法を実現することが、散歩パートナーロボットを構築する上で重要であることが明らかになった。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5534 号	氏 名	嶋野 太一
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	工学博士 萩原 将文
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 高橋 正樹
		慶應義塾大学准教授	博士（メディアデザイン学） 杉浦 裕太
<p>学士（工学）、修士（工学）嶋野太一提出の学位請求論文は、「散歩パートナーロボットの発話方法に関する研究」と題し、全 8 章で構成されている。</p> <p>本論文は、人と共に移動する散歩パートナーロボットが、散歩場面において人に発話する方法に関して行った研究である。散歩場面に相応しい発話をするには、ユーザの散歩へのモチベーション向上につながり、今後のロボットの応用先を広げられる重要な課題である。本論文は、風景参照、返答機能、話題継続機能、発話量の四つの観点に着目した研究をまとめている。具体的には、前述の 3 機能について風景とユーザの話題への興味から発話を選択する発話方法を提案している。さらに、散歩中の発話量について、多寡の感覚と印象への寄与の検証を行なっている。</p> <p>第 1 章では、人の健康増進支援としての散歩パートナーロボット利用の意義を述べると共に、そこで必要となる要素をまとめている。さらに、会話しながら人と移動する従来のロボットでは固定されたコースが想定されていたことを指摘し、人が任意の場所を移動する可能性がある散歩への適応の難しさを述べている。一方、本論文で構築した散歩パートナーロボットは、任意の移動コースに対応できる新規性・有用性があることを明確化している。</p> <p>第 2 章では、人と共に移動し発話を行うロボットの研究に関連する従来研究を紹介し、本研究の位置づけを明確化している。特に、人とロボットのインタラクションを扱っているヒューマン・ロボットインタラクション分野を中心に、人とロボットの対話場面、移動中の対話場面、会話中の風景情報の参照、非言語情報の利用に関する従来研究を俯瞰し、研究分野の動向を明らかにしている。また、散歩場面での会話や支援技術の動向も説明し、本研究の立ち位置を明らかにしている。</p> <p>第 3 章では、散歩場面での発話方法の観点から散歩パートナーロボットを議論し、実現する上で重要となりうる風景参照、返答機能、話題継続機能、発話量を検討することの重要性を述べている。</p> <p>第 4 章では、風景とユーザの話題への興味から発話を選択する発話方式を実現し、その有用性を検証している。散歩ロボットの要件の最初の 3 機能の実現方法として、風景画像との類似度の高い発話文を選び、ユーザの返答の長さを基準に、話題を派生させた話題継続性の高い発話文を選択する発話方法を提案している。発話システムを肩乗りロボットに組み込み、風景参照・返答機能・発話継続を持たないロボットとの比較を行い、有効性を示している。</p> <p>第 5 章では、散歩中の発話量についての多寡の感覚と、印象への寄与を検証している。無言・10 秒間隔・20 秒間隔・40 秒間隔の 4 種類の発話量のロボットに対して、発話量についての多寡の感覚と、発話量による印象の変化について調査を行った。その結果、発話の開始から次の発話の開始までが 10 秒である場合に発話量が多いと感じ、40 秒だと少なく感じるという知見が得られた。また、10 秒間隔・20 秒間隔の双方のロボットが良い印象をユーザに与えることが分かった。</p> <p>第 6 章は、総合的に風景参照・返答の機能・話題の継続の 3 機能を持つ発話方式ならびに、10 秒から 20 秒の間隔を考慮した発話量の制御方法を実現することが、散歩パートナーロボットを構築する上での一つの設計指針になりうることを議論している。</p> <p>最後に第 7 章では本論文で得られた成果と結論をまとめ、第 8 章で将来的に必要な検討事項について述べている。</p> <p>以上、本論文は、散歩パートナーロボットがユーザに対して行う発話方法を提案し、散歩場面へのロボットの展開の可能性を示したものであり、工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（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 5535 号	氏 名	山口 真弘
主 論 文 題 名 :			
Relative Pose Estimation with RGB Camera: Improvements and Applications (RGB カメラを用いた相対位置姿勢推定 : 改善と応用)			
<p>RGB カメラによる相対位置姿勢推定はロボットの自動制御やスマートフォンによる拡張現実アプリケーションの発展に伴い、近年ますます注目されている。画像シーケンスからカメラの位置姿勢を推定するためには、画像中に写る環境の 3 次元構造や対象物の 3 次元形状を取得する必要がある。3 次元構造とカメラ位置姿勢を同時に推定する手法は、Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) と呼ばれ、近年では広く研究されている。一方で、あらかじめ得られた 3 次元構造を利用することで、より頑健なカメラ位置姿勢を推定できることが知られている。</p> <p>そこで本論文では、対象物の 3 次元構造を事前に取得することでカメラ位置姿勢推定の精度を向上させ、さらに事前に取得した 3 次元形状を用いることで新しい可視化手法を提案する。最初に事前に構築した環境の 3 次元構造を用いることで、カメラの位置姿勢をより頑健に推定する手法を提案する。提案手法では、あらかじめ作成した 3 次元構造上でのカメラ軌跡推定の際に問題となるスケールの不定性の解消を行っている。次に、本論文では、事前に計測した 3 次元形状をカメラの相対的な位置姿勢推定に適用することで、可視化技術の拡張に焦点を当てた手法を提案する。ここではモダリティの異なるカメラで取得した物理量分布を、通常の可視光カメラで推定した環境の 3 次元構造に重畳表示する手法を示す。これによって、ユーザーに温度分布を 3 次元構造として可視化している。最後に、工業製品の組み立て作業を行う際のチュートリアルを RGB 画像シーケンスから 3D 空間で提示するためのインタラクティブな可視化手法を提案する。この手法ではカメラから 3D オブジェクトへの相対的なカメラ位置姿勢と部品間のつながりを利用している。</p> <p>このように、本論文では、3 つの異なる状況における RGB カメラの相対的なカメラ位置姿勢推定に、事前に測定したデータを適用することで、カメラ位置姿勢推定の精度向上と可視化への応用方法を述べる。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5535 号	氏 名	山口 真弘
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	博士（工学）	斎藤 英雄
	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（メディアデザイン学）	杉浦 裕太
	九州大学准教授	博士（工学）	内山 英昭
<p>学士（工学）、修士（工学）山口 真弘君提出の学位請求論文は、「Relative Pose Estimation with RGB Camera: Improvements and Applications (RGB カメラを用いた相対位置姿勢推定: 改善と応用)」と題し、5 章で構成されている。</p> <p>空間を移動する RGB カメラにより撮影される画像シーケンスからカメラの位置姿勢を推定する技術は、ロボットの自動制御やスマートフォンによる AR 可視化等の多様な応用可能性のある技術として近年盛んに研究されている。一般に、画像シーケンスから移動カメラの位置姿勢を推定するには、撮影対象シーンの 3 次元幾何構造も同時に推定する必要がある。このための技術である Visual SLAM は近年盛んに研究がなされ大きく進歩したが、撮影対象シーンの 3 次元構造の推定精度がカメラの位置姿勢推定精度に大きく影響してしまうという問題があった。本論文では、撮影対象シーンの 3 次元構造を事前に十分な精度で推定しておくことにより、それを利用したカメラの位置姿勢推定の性能を改善するための新しい手法と、事前に取得した 3 次元構造を利用した新しい可視化手法を提案し、その有効性を検証した成果をまとめたものである。</p> <p>第 1 章では、本研究を概観し、本論文の各章で提案している新しい手法の意義や関連研究に対する位置づけの概要について述べている。</p> <p>第 2 章では、事前取得した 3 次元地図を利用して移動カメラ軌跡を推定するための新しい手法について述べている。本手法は、事前取得した 3 次元地図を再構成するために利用した画像群データベースと移動カメラの画像シーケンス間で対応点マッチングを行うことにより、カメラ軌跡を 3 次元地図と同一スケールで推定できるため、従来手法が抱えていたスケール不定という問題点を解決可能である。さらに、軌跡の推定精度も事前取得した 3 次元地図の利用により向上可能であり、実験によりこれらの特長が定量的に実証されている。</p> <p>第 3 章では、事前に計測した 3 次元形状をカメラの相対的な位置姿勢推定に適用することにより、移動するサーマルカメラにより撮影された温度分布を並走する RGB カメラ画像上に重畳表示して可視化する新しい手法を提案している。提案手法により、実際は目で確認できない環境の温度分布を 3 次元構造とともに可視化可能であることを示している。</p> <p>第 4 章では、本論文で提案している事前に形状が既知の物体とカメラの相対位置姿勢推定法を利用して、多数の部品により構成される工業製品の組み立て作業を実際の作業現場で拡張現実感表示するためのインタラクティブな可視化手法を提案している。この手法では、組み立て作業の様子を撮影した RGB カメラ画像シーケンスから各部品の 3 次元位置姿勢を推定し、推定された位置姿勢に基づいて実際の作業空間で作業の様子を拡張現実感表示するものである。ユーザテストにより、提案システムが組み立て作業効率向上を実現できることを示している。</p> <p>第 5 章では本論文で得られた成果と結論をまとめ、本論文で提案したカメラと撮影対象の相対位置姿勢推定法とその応用についての将来展望を論じている。</p> <p>以上要するに本研究は、移動する RGB カメラにより得られた画像シーケンスにより、撮影対象とカメラの相対位置姿勢を推定するアルゴリズムの性能向上を実現する新しい手法とそれを利用した新しい情報可視化手法を提案し、それらの有効性・有用性を検証したものであり、工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（工学）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. 5536	Name	SADAGOPAN, Yuva Kumar
Thesis Title			
Influence and Mitigation of Pedestrian Blockage at mmWave Cellular Networks			
<p>The large spectral bandwidth at millimeter-wave (mmWave) frequencies provide a mean to achieve very high data rates in wireless communication systems. A unique characteristic of mmWave is that mmWave links are very sensitive to blockage and have a large propagation path loss, which exhibits low line-of-sight (LoS) probability, unstable connectivity, and unreliable communication. For communication using mmWave to be feasible, path loss could be compensated using power control schemes based on path loss inversion, whereas it is still vulnerable to blockage events. However, research into analytical models to describe the blockages and the resulting impact on signal efficiency is largely unknown.</p> <p>This dissertation studies the blockage's influence in the pedestrian scenario and explains how blockage affects the mmWave propagation characteristics. In particular, the study is about the blockage behavior due to human mobility and how it affects the timescale for outage due to blockage using the double knife-edge diffraction (DKED) model. The study also includes the influence of beamwidth and inaccurate positioning. This analysis provides insight into the pedestrian blockage behavior and how well we could mitigate it. For example, within how much time the mmWave system should select another BS, whether a change of beamwidth could avoid an outage, whether better knowledge about the environment could prevent a beam switch.</p> <p>This dissertation provides a layer-based solution to mitigate the blockage using the medium access control (MAC) layer and physical (PHY) layer approaches. The solution considers the outage analysis of the pedestrian blockage, time to an outage, antenna beamforming pattern, beamforming gains, and mmWave cellular networks interference characteristics. One of the existing solutions to mitigate the blockage using the MAC layer approach is associating the user equipment (UE) with other available base stations (BSs) by handover if the serving BS is blocked. This dissertation proposes two reinforcement learning (RL) based user association algorithms for a pedestrian scenario, which accounts for the blockage's experienced on the UE position. From a PHY layer perspective, it was shown that by selecting the appropriate beamwidth, there is a possibility of mitigating the blockage.</p> <p>Chapter 1 introduces the potentials, challenges, and open research areas of mmWave systems. It also presents several of the existing work, which deals with pedestrian blockage modeling in the mmWave communication. This chapter also summarized the contribution of the dissertation.</p>			

Chapter 2 provides the downlink outage analysis and its' timescale at the blockage event. It also presents the blockage event environment, which would provide a base for the system model throughout the dissertation. A random waypoint mobility model describes the blocker mobility. The M/ GI/ Inf queuing model describes the blocker arrival process. Based on this description, the chapter investigates how the blocker mobility would affect the blockage event in terms of the probability of blockage duration and simultaneous blockages. The DKED model is used to study the received power degradation at the blockage event. The chapter provides a closed-form analytic expression for the downlink outage analysis and its' timescale at the blockage event as a function of the blocker density and the blocker mobility. For a pessimistic scenario, using these analyses, simulations showed a high outage probability. Though there are few cases where we could avoid an outage, most cases cannot prevent the outage. The timescale indicates that we should select a faster decision time to avoid complete radio link failure.

Chapter 3 provides a solution in the MAC layer to mitigate the blockage for an extreme scenario where the outage is very high. The MAC layer mitigates the blockage by switching to the BS, where the occurrence of blockage event is comparatively less, and this link switch is implemented once we could not avoid the outage in the serving BS. This link switch considers the outage timescale analysis provided in Chapter 2. As a result, this chapter provides two RL based user association algorithms. One focuses on the reward to increase the overall probability of LoS availability and is named blockage-aware user association (BAUA). The other focuses on the reward which balances the trade-off between throughput and the LoS probability and is named modified BAUA. These user association algorithms provide a link switch method by considering location-based blockage statistics as the main reward. These algorithms use the preexisting radio resource management scheme in cellular networks. The user association algorithms consider the blocker density and the communication link's behavior in the presence of blockage to mitigate the blockage event. The proposed user association algorithms are evaluated using the percentage of handovers performed and average throughput as the performance metrics. It is also perceived that using blockage statistics as one of the key rewards will be a meaningful approach in the mmWave system.

Chapter 4 provides a solution to mitigate the blockage using the PHY layer parameters. Chapter 2 provided the downlink outage analysis for an extreme scenario where the outage is very high. Chapter 4 extends this outage analysis to a generalized scenario for the downlink and uplink. The outage analysis in Chapter 2 is a special case of outage analysis presented in Chapter 4. The generalized outage analysis in Chapter 4 considers the inaccurate positioning, enhanced antenna beamforming gain model, and uplink truncated channel inversion power control. Based on this analysis, we have the freedom to vary the localization errors and control the transmission gain by selecting the appropriate beamwidth. This chapter provides a Monte Carlo method to find the optimal beamwidth to reduce the outage probability. The optimal beamwidth was selected based on the UE location, and it was shown that there is a possibility of mitigating the blockage using the PHY layer parameters.

Chapter 3 provides the MAC layer approach where the link switch is implemented once we cannot

avoid the outage in the serving BS. Chapter 4 provides the PHY layer approach, which tries not to go into an outage within the serving BS. These two approaches are independent, so it is not combined in this dissertation. Combining these approaches in the setup will provide a way to further mitigation of blockage.

Chapter 5 concludes the dissertation by highlighting its key points and their contribution and proposes possible future research avenues.

審査の要旨

報告番号	甲 第 5536 号	氏 名	SADAGOPAN, Yuva Kumar	
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）	眞田 幸俊
Nanjing University of Posts and Telecommunications, Ph.D. Guan Gui				
<p>Engineer's Degree in Telecommunications, Degree of Engineering in Electronics and Communication and Engineering, Master of Technology, Sadagopan Yuva Kumar君提出の学位請求論文は、「Influence and Mitigation of Pedestrian Blockage at mmWave Cellular Networks（ミリ波通信における歩行者による遮蔽の影響と低減）」と題し、全4章から構成されている。</p> <p>ミリ波（mmWave）無線通信は、その広帯域を用いて非常に高いデータレートを達成する可能性があることから、第5世代移動通信システム（5G）や5G以降の将来の移動通信システムで注目されている。ミリ波無線通信の特徴は、遮蔽の影響や伝搬路損失が大きいことである。ミリ波無線通信の実現には、それら遮蔽等の影響を明らかにし、それらを低減する手法が必要である。本論文では、ミリ波無線通信の実用化に向けて、ミリ波無線通信における歩行者による遮蔽の影響を解析し、その低減方法を提案している。</p> <p>第1章では、背景及びシステムモデルを記述し、そのシステムモデルに対し、二重ナイフエッジ回折(DKED: Double Knife-Edge Diffraction)モデルを用いて歩行者による遮蔽の影響を詳細に検討している。また、遮蔽時間、同時遮蔽確率、歩行者による遮蔽によって生じるダウンリンクアウトエージ確率、アウトエージの時間スケールについて解析している。そして、これらの指標について、歩行者密度と歩行者移動速度の関数として閉形解析式を示している。これらの解析により、歩行者による遮蔽について、どの程度の時間内にミリ波無線通信システムが他の基地局（BS: Base Station）を選択すべきか、ビーム幅を変更することで遮蔽を回避できるか、あるいは周辺環境についてより良い知識があればビームスイッチを回避できるかなどについて考察している。</p> <p>第2章では、歩行者による遮蔽を低減するユーザ端末（UE: User Equipment）と基地局（BS: Base Station）との接続方法を提案している。遮蔽の影響を低減する解決策の一つは、サービスを提供しているBSが遮蔽の影響を受けている場合、ハンドオーバー（HO: Hand Over）によってUEを他の利用可能なBSに接続することである。本論文では、歩行者を対象としたシナリオにおいて、過去の遮蔽経験に基づく2つの強化学習（RL: Reinforcement Learning）ベースのUEとBSの接続アルゴリズムを提案している。一つは、遮蔽考慮ユーザ接続（BAUA: Blockage-Aware User Association）アルゴリズムであり、もう一つは改良BAUAアルゴリズムである。BAUAアルゴリズムは、UEとBSの合計見通し確率を考慮したアルゴリズムである。一方、改良BAUAアルゴリズムは、スループットと合計見通し確率のトレードオフを考慮したアルゴリズムである。アンテナのビームフォーミングパターン、ビームフォーミングゲイン、ミリ波セルラーネットワークの干渉特性を考慮した遮蔽時間を用いて、提案したユーザ接続アルゴリズムを物理層の解析に基づいた媒体アクセス（MAC: Media Access Control）層で評価している。そして、両提案アルゴリズムの利点と欠点を明らかにしている。</p> <p>第3章では、第1章の拡張として、上りリンク切り捨てチャネル反転電力制御を考慮した同様のシステムモデルを用いて、遮蔽が発生した場合の下りリンクと上りリンクのアウトエージ確率を解析している。そして、UEの位置情報が不正確な場合、ビーム幅がアウトエージ確率に与える影響を明らかにしている。また、アウトエージ確率を低減するための最適なビーム幅を、モンテカルロ法によって探索し、示している。</p> <p>第4章は、結論であり、本研究の総括を述べている。</p> <p>以上、本論文の著者は、ミリ波通信において歩行者による遮蔽の影響を解析し、その低減方法を複数提案し、その有効性を確認しており、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5537号	氏名	根本 潤
主論文題名： ゲートレス鉄道サービスの実現に向けた移動体軌道の取得とマッチングに関する研究			
<p>本研究ではゲートレス鉄道サービスの実現のために必要な基礎技術を開発する。近年、ICカードをかざすことなく改札可能なタッチレスゲートの研究開発が進められている。例えば、近距離無線通信技術を用いたものや、画像認識技術を用いたものがある。これらのタッチレスゲートが、あくまで特定の場所に設置されたものであり、入退場の確認のために必ずその場所を通過する必要があるのに対して、ゲートレス鉄道サービスは改札自体を不要にすることで、柔軟かつ効率的な運賃徴収への道を拓く構想である。</p> <p>ゲートレス鉄道サービスを実現するためには、利用者がどこからどこまでどの列車を利用したか、乗車区間を判定する必要がある。本研究では、乗車区間判定の一方式として、GPS位置情報を用いた方式を検討する。具体的には、スマートフォンなどのアプリケーションによりGPS位置情報を記録し、列車の位置情報とマッチングすることで、どの駅からどの駅まで当該列車に乗車したかを判定する方式である。</p> <p>GPS位置情報に基づく乗車区間判定の課題は、大きく2つある。1つは、GPS位置情報の取得の効率化とプライバシー保護である。常時GPS位置情報を取得・送信することは、モバイル端末の消費電力を増大させるだけでなく、サーバ側におけるマッチング候補の軌道データを増大させることにつながる。プライバシーの観点からも鉄道利用の可能性がない場所での位置情報取得は望ましくない。そこで、モバイル端末で一般に提供されているジオフェンシング機能の活用が考えられる。ジオフェンシング機能により、事前に設定した仮想的な境界線(ジオフェンス)を通ったことを検知できるため、これを利用して駅への接近を契機に位置情報を取得・送信を開始できる。しかしながら、モバイル端末側の制約により従来技術では、効率的にジオフェンスを設定・更新できないという課題がある。</p> <p>もう1つは、高速で正確な乗車区間判定方式の確立である。偽陽性の増大は、利用者が不当に多く運賃を支払う可能性を高め、偽陰性の増大は、鉄道事業者が本来得るべき運賃を取りこぼす可能性を高めるため、課金をともなう乗車区間判定は高い精度が求められる。また、1日の運行本数は1万本以上、ICカード乗車券の普及状況から利用者は数百万から数千万と想定され、マッチングを行うGPS位置情報のシーケンスの組合せは膨大な数にのぼる。したがって、高い精度の実現とともに処理時間の短縮は不可欠である。</p> <p>これらの課題を解決すべく本研究では、第一に、k個の近傍を監視対象としてジオフェンスを設定しつつ、それ以外の監視対象領域が存在しない大きな空円に制御用ジオフェンスを設定するk近傍ウェア空円方式を提案する。ユーザの一日の移動を表現したオープンデータであるOpenPFLOWを用いた大規模なシミュレーションにより、提案方式が、従来方式に対して約42~76%、更新回数を削減し、GPS位置情報の取得を効率化できることを示した。</p> <p>本研究では第二に、軽量で頑健な軌道データのマッチング方式を提案する。提案方式はデータの内挿とユークリッド距離に基づく、移動体間のGPS位置情報シーケンスのマッチングである。国土交通省が提供する実際の鉄道軌道データを用いた乗車区間判定のシミュレーションにより、欠損をともなうようなデータに対して提案方式が頑健な精度を実現できることを示した。さらに、判定処理の計算コストがシーケンス長に対して線形であること、従来方式に比べて15倍以上の高速化を達成することを示した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5537 号	氏 名	根本 潤
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 遠山 元道
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 寺岡 文男
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 重野 寛
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 川島 英之

学士(経済学)、修士(工学)根本潤君の学位請求論文は、「ゲートレス鉄道サービスの実現に向けた移動体軌道の取得とマッチングに関する研究」と題し、全8章で構成されている。

近年、ユニバーサルデザインの観点からICカードをかざすことなく改札可能なタッチレスゲートの研究開発が進められており、例えば、近距離無線通信技術に基づくものなどがある。このタッチレスゲートが、あくまで特定の場所に設置されたものであり、依然として改札が存在するのに対して、ゲートレス鉄道サービスは改札自体を不要にすることで、より柔軟かつ効率的な運賃徴収への道を拓く構想である。本構想を実現するためには、利用者がいつ、どの列車を利用したか、乗車区間を判定する必要がある。本論文では、GPS位置情報を用いた方式を検討している。GPS位置情報に基づく乗車区間判定の主要な技術課題として次の2点を挙げている。1つは、モバイル端末の消費電力削減の観点から、位置情報取得を効率化することである。もう1つは、課金を伴うサービスあり、かつ、膨大な数の利用者と列車の軌道マッチングが求められることから、高速で正確な乗車区間判定方式を確立することである。これら2つの課題を解決するため、本論文では、1) ジオフェンスと呼ばれる監視対象領域への出入りを検出する機能において、詳細位置を取得する必要のない広い領域を同定することで位置情報取得を効率化するジオフェンス決定方式、2) データの内挿とユークリッド距離に基づいて、移動体間の軌道データを軽量かつ頑健にマッチングする方式を提案し、シミュレーションにより評価を行っている。本論文の貢献によって、位置情報を活用する各種アプリケーションにおいて、モバイル端末のバッテリー消費に直結するジオフェンスの更新回数が削減できる。また、ある時間における2つの移動体軌道が一致するかどうか、高速かつ高精度に判定可能となる。

第1章では、ゲートレス鉄道サービスが期待される背景やその実現に向けた技術的課題について論じ、本論文の目的と論文の構成について述べている。

第2章では、ゲートレス鉄道サービス構想において想定するサービスアーキテクチャやシステム構成、システム要件について議論している。

第3章では、位置情報の効率的な取得のために肝要となるジオフェンスの活用方法と、そこで課題となるジオフェンスの更新回数について論じ、その削減が可能なジオフェンス決定方式を提案している。

第4章では、ある時間に列車と利用者がどの程度近い軌道を移動していたかを定量化した指標である Proximity State Rate (PSR) を定義し、PSR に基づく軌道マッチングのアルゴリズムを提案している。

第5章では、数百万人規模の一日の移動を表現したオープンデータである OpenPFLOW や、国土交通省が提供する実際の鉄道軌道データなどを用いて、シミュレーションにより提案するジオフェンス決定方式と軌道マッチング方式について評価している。評価の結果、提案するジオフェンス決定方式が従来方式に対して約42～76%ジオフェンス更新回数を削減できることを示している。また、PSR に基づく軌道マッチングにより、GPS位置情報がバースト的に欠損するケースであっても欠損発生確率10%以下の状況下において偽陰性率1%未満で乗車区間判定ができることを示している。さらに、判定処理の計算コストが軌道の長さに対して線形であり、従来方式に比べて15倍以上高速であることを示している。

第6章では、ゲートレス鉄道サービスの実用化に向けて重要となる不正対策やプライバシー対策といったその他の諸課題について議論している。

第7章では、ゲートレス鉄道サービス全体に関連する技術動向や、本論文で提案する軌道マッチング方式と従来技術との機能的な差異、計算量の違いについて議論している。

第8章では、本論文で得られた成果をまとめている。また、ゲートレス鉄道サービス実現に向けた今後の研究の方向性について議論している。

以上、本論文は、移動体軌道の取得とマッチングの効率化に関する重要な成果であり、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。

内容の要旨

報告番号	甲 第 5538 号	氏 名	小林 祐生
主論文題名： 粗視化分子シミュレーションを用いたコロイド - ポリマー混合溶液の自己集合と粘性挙動に関する研究			
<p>本論文は分子動力学法 (MD) と多粒子衝突動力学 (MPCD) 法を組み合わせた MD-MPCD ハイブリッドシミュレーション法を用いて, Janus コロイド粒子 (JC) 分散液および JC - ポリマー混合溶液の自己集合と粘性挙動についてまとめたものである.</p> <p>第 1 章ではまずソフトマターの性質と粗視化分子シミュレーションの有用性を説明した. 続いて研究背景を示した上で, 本研究の目的を JC/ポリマーのデザイン - 流体内の自己集合・分散構造 - 物性を結びつけることと定めた.</p> <p>第 2 章では MD-MPCD ハイブリッドシミュレーション法について, 各計算手法のアルゴリズムの説明とそれらのカップリング方法を示した.</p> <p>第 3 章では静止場における JC 溶液の自己集合を調査した. 球状 JC の場合, 疎水性パッチが小さいときには比較的小さな球状クラスターが形成され, 疎水性パッチを大きくするとひも状クラスターやネットワーク構造といった長鎖構造が観察された. JC に形状異方性をもたせると, 長鎖構造を形成しやすくなる一方, 球状 JC を添加するとそれらの構造の形成は抑制された.</p> <p>第 4 章では第 3 章で得られた平衡構造にせん断を与え, 自己集合と粘性挙動の関係性を調査した. せん断流れの大きさに応じて, クラスターの成長, 変形, 分裂, 崩壊が観察された. また, コロイド分散液の粘性挙動はクラスターの形状ではなく, コロイド粒子同士が形成するクラスターの平均会合数が支配的であることを見出した.</p> <p>第 5 章では静止場における JC - ポリマー混合溶液の自己集合を調査した. JC - 疎水性ホモポリマー (HP) の混合溶液では, 小さなポリマー凝集体, JC と HP の両方から構成されるハイブリッド凝集体, 溶液中に分散したポリマーが観察された. HP の疎水性を高くすると, ハイブリッド凝集体のみが形成された. JC - 両親媒性コポリマー (AP) の混合溶液では, ポリマーミセル, ハイブリッド凝集体, 分散状態の AP が観察された.</p> <p>第 6 章では第 5 章で得られた平衡構造にせん断を与え, 自己集合と粘性挙動の関係性を調査した. 純粋な JC 溶液と比較して, 大きなせん断速度で発生するクラスターの崩壊が確認され, ポリマーは接着剤のような役割を果たすことが明らかとなった. また, 固有ゼロせん断粘度はポリマー濃度のみ依存することが示された.</p> <p>第 7 章では, 本論文の結言として, 研究全体を総括した.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5538 号	氏 名	小林 祐生	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	荒井 規允
	副査	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
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	泰岡 顕治	
	名古屋大学大学院教授	博士（工学）	増渕 雄一	
<p>小林祐生君提出の学位請求論文は「粗視化分子シミュレーションを用いたコロイド-ポリマー混合溶液の自己集合と粘性挙動に関する研究」と題し、全7章より構成されている。</p> <p>コロイド-ポリマー混合溶液は、食品・塗料・化粧品・セメント等、多くの工業製品に使用されている。製品としての品質はもちろんのこと、製造・加工プロセスおよび製造設備の設計においても、粘性挙動を理解することは重要である。コロイド-ポリマー混合溶液の粘性挙動が、溶質粒子の凝集または分散状態に強く依存することは知られており、粘度を制御するためには、非平衡状態におけるそれら流体の内部構造を予測・制御することが必要となる。</p> <p>一方で、近年の合成技術の発達により、1つの粒子の中に2つ以上の異なる表面を有する異方性(Janus)粒子の作製が可能となった。この十数年で実験・シミュレーション問わず、Janus 粒子系ではその表面異方性に起因する様々な複雑な自己集合過程や構造が確認されているにも関わらず、その複雑な自己集合構造と物性の関係性は明らかになっていない。これは実験の側面からは、Janus 粒子をサイズ・形状を制御しながら量産することや非平衡現象の観察が困難な点、シミュレーションの側面からは空間・時間スケールの制約が課題となっていたためである。</p> <p>このような課題に対し、本論文では粗視化分子シミュレーションを用い、せん断流れ下におけるJanus コロイド(JC)分散液およびJC-ポリマー混合溶液の粘性挙動を調べ、自己集合構造との関係性の解明に取り組んでいる。</p> <p>第1章は、本論文の序論であり、本研究の背景と目的、論文全体の構成について述べている。</p> <p>第2章では、それぞれ分子動力学法による溶質粒子の計算、多粒子衝突動力学法による流体の計算の説明とそれらのカップリング方法が示されている。</p> <p>第3章では、静止場におけるJC分散液の自己集合に関する結果について述べている。球状JCの場合、疎水性パッチの大きさに依存して、球状、ひも状、ネットワーク構造が観察されることを報告している。また、JCの形状異方性が自己集合構造に与える影響および、ロッド型JCと球状JCを混合させることによる影響についても確認している。</p> <p>第4章では、平衡構造にせん断を与え、自己集合と粘性挙動の関係性について述べている。定常状態においてクラスター解析を行うことでクラスターのサイズ・形状を定量的に評価した上で、コロイド分散液の粘性挙動は、コロイド粒子同士が形成するクラスターの平均会合数が支配的であることを見出している。</p> <p>第5章では、JC-ポリマー混合溶液の静止場における自己集合に関する結果について述べている。ポリマーの組成比、疎水性、ポリマー濃度を変化させることで、純粋なJC分散液では観察されない自己集合構造が観察されることを報告している。</p> <p>第6章では、平衡構造にせん断を与え、自己集合と粘性挙動の関係性について述べている。ポリマーは接着剤のような役割を果たすことで、純粋なJC分散液と比較してせん断によるクラスターの崩壊が抑制される一方で、粘性挙動についてはポリマー濃度のみに依存することを報告している。</p> <p>第7章では、本論文の結言として、研究全体を総括している。</p> <p>以上、本研究はJC/ポリマーのデザイン(ナノスケール)-流体内の自己集合・分散構造(メソスケール)-物性(マクロスケール)を結びつけることを達成しており、工学へ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(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 5539 号	氏 名	江口 僚
主 論 文 題 名 :			
Biomechanics-driven Stochastic Learning for Human Motion Sensing Systems (ヒト動作計測システムのためのバイオメカニクスに基づく統計的機械学習)			
<p>医療・福祉現場でのリハビリテーションや日常生活での健康モニタリングの支援技術として、靴や衣服へ組み込んだウェアラブルセンサや環境センサを用いた動作計測システムが注目されている。これらは、機械学習を用いてユーザ毎のセンサ計測値と動作パラメータの関係を事前にモデル化し、動作を推定する。しかし、モデルの学習において、装置のリソースやユーザの運動機能低下によりデータの多様性や量が制限される場合、推定精度が低下する。また、計測条件の変化に伴い計測値とパラメータの関係が変化する場合や、動作が複雑でモデル化が困難な場合、単一のモデルでは適応が困難である。本論文では、限定的なデータを用いた動作推定モデルの学習、および複数モデルを用いた適応的推定のための、ヒトのバイオメカニクスに基づく統計的機械学習を提案する。</p> <p>第 1 章では、本論文の背景を述べた。</p> <p>第 2 章では、少数の圧力センサを搭載したインソールから歩行中の床反力を推定するモデルの学習において、センサ計測値と体重値のみの限定的なデータを用いる手法を提案した。方法として、片足立ち中の床反力が体重値に一致する特性に基づき、最小二乗法を用いてセンサ計測値と体重値の線形回帰モデルを学習した。この際、歩行中の床反力ピーク値が立脚期時間と線形となる特性を制約条件として用い、過学習を防止した。</p> <p>第 3 章では、前章と同様の床反力推定モデルの学習において、運動能力の制約により片足立ちや複数歩の歩行が困難な場合に対して、一步の歩行データのみを用いる手法を提案した。方法として、事前に複数ユーザを対象として、歩行の不規則性による複数歩間のセンサ計測値と床反力のばらつきを定義し、一步のデータを複数歩へ仮想的に拡張した。また、少量データに対して過学習を回避可能なガウス過程回帰モデルを学習した。</p> <p>第 4 章では、伸縮性ひずみセンサ搭載サポータを用いた関節角度の推定において、サポータのずれに伴うひずみと関節角度の関係の変化に対する、複数モデルによる適応的推定手法を提案した。方法として、関節付近ほど皮膚が大きく伸縮する特性に基づき、サポータ上下部に伸縮センサを配置し、ずれに伴うひずみの関係の変化を創出した。また、複数ずれ位置でのひずみと角度の関係を混合ガウスモデルにより学習した。推定時は 2 本のひずみの関係から最尤モデルを同定し、ずれに対して適応的に角度を算出した。</p> <p>第 5 章では、レーザレンジセンサを用いた両脚位置の追跡において、片脚が対側脚により隠れた際、同ストライド中の両脚の協調特性に基づき、適応的に位置を推定する手法を提案した。方法として、事前に直進歩行と異なる曲率・方向の旋回歩行を計測し、各歩行タイプの一步行周期中の各脚の移動軌跡と進行方向の関係を混合ガウスモデルにより学習した。追跡時は、両脚が協調的に動作する特性に基づき、一ストライド中の両脚の軌跡の同時確率から歩行タイプを同定し、隠れた脚の進行方向と位置を推定した。</p> <p>第 6 章では、本論文の結論を述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5539 号	氏 名	江口 僚
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	博士（情報学） 小檜山 雅之
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 村上 俊之
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 牛場 潤一

学士（工学）、修士（工学）江口僚君提出の学位論文は「**Biomechanics-driven Stochastic Learning for Human Motion Sensing Systems**（ヒト動作計測システムのためのバイオメカニクスに基づく統計的機械学習）」と題し、全6章から構成されている。

医療・福祉現場でのリハビリテーションや日常生活での健康モニタリングの支援技術として、靴や衣服へ組み込んだウェアラブルセンサや環境センサを用いた動作計測システムが注目されている。これらは、機械学習を用いてユーザ毎のセンサ計測値と動作パラメータの関係を事前にモデル化し、動作を推定している。しかし、モデルの学習において、装置のリソースやユーザの運動機能低下によりデータの多様性や量が制限される場合、推定精度が低下する。また、計測条件の変化に伴い計測値とパラメータの関係が変化する場合や、動作が複雑でモデル化が困難な場合、単一のモデルでは適応が困難である。

本論文では、限定的なデータを用いた動作推定モデルの学習、および複数モデルを用いた適応的推定のための、ヒトのバイオメカニクスに基づく統計的機械学習を提案している。

第1章では、本論文の背景、研究目的を述べ、研究の位置付けと論文構成を概説している。

第2章では、少数の圧力センサを搭載したインソールから歩行中の床反力を推定するモデルの学習において、センサ計測値と体重値のみの限定的なデータを用いる手法を提案している。方法として、片足立ち中の床反力が体重値に一致する特性に基づき、最小二乗法を用いてセンサ計測値と体重値の線形回帰モデルを学習している。この際、歩行中の床反力ピーク値が立脚期時間と線形となる特性をバイオメカニクスに基づいた制約条件として用い、過学習を防止している。

第3章では、第2章と同様の床反力推定モデルの学習において、運動能力の制約により片足立ちや複数歩の歩行が困難な場合に対して、一步の歩行データのみを用いる手法を提案している。方法として、事前に複数ユーザを対象として、歩行のバイオメカニクス的な不規則性による複数歩間のセンサ計測値と床反力のばらつきを定義し、一步のデータを複数歩へ仮想的に拡張している。また、少量データに対して過学習を回避可能なガウス過程回帰モデルを学習している。

第4章では、伸縮変位センサ搭載サポータを用いた関節角度の推定において、サポータのずれに伴うセンサ変位と関節角度の関係の変化に対する、複数モデルによる適応的推定手法を提案している。方法として、関節付近ほど皮膚が大きく伸縮するバイオメカニクスの特性に基づき、サポータ上下部に伸縮センサを配置し、ずれに伴うセンサ変位の関係の変化を創出している。また、複数ずれ位置での変位と角度の関係を混合ガウスモデルにより学習している。推定時はセンサ変位の関係から最尤モデルを同定し、ずれに対して適応的に角度を算出している。

第5章では、レーザレンジセンサを用いた両脚位置の追跡において、片脚が対側脚により隠れた際、同ストライド中の両脚の協調特性に基づき、適応的に位置を推定する手法を提案している。方法として、事前に直進歩行と異なる曲率・方向の旋回歩行を計測し、各歩行タイプの一步行周期中の各脚の移動軌跡と進行方向の関係を混合ガウスモデルにより学習している。追跡時は、両脚が協調的に動作するバイオメカニクスの特性に基づき、一ストライド中の両脚の軌跡の同時確率から歩行タイプを同定し、隠れた脚の進行方向と位置を推定している。

第6章では結論を示し、得られた成果の重要な貢献と今後の展望について総括している。

以上のように、本論文は、バイオメカニクスに基づく統計的機械学習を用いたヒト動作計測システムとモデル構築法を提案し、実際の歩行動作において各種モデル学習の有用性を検証している。その成果は医療・福祉、リハビリテーション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。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5540	Name	Jiang, Can
Thesis Title			
Virtual Data Platform for Modelling and Simulation of Smart Houses with Elderly People Living Alone			
<p>Smart houses with a sensor network and domestic robots have been built to take care elderly people living alone. To ensure the effectiveness of smart houses, developers need to improve and test the control and management system of the sensor networks and robots via a lot of simulations. This thesis investigates the possibility of improving simulation efficiency by developing a virtual data platform. The platform consists of a GUI, database, three generators, and interfaces. The generators produce necessary virtual data for modelling and simulation of smart houses with elderly people. Generated data are stored in the database, and the interfaces convert these virtual data into simulation results and scenarios for multiple simulators. The GUI help users determine the characteristics of the data to be generated and select the generated data they are most satisfied with.</p> <p>A rule-based generator generates virtual indoor spatial data for studio apartments first. This generator follows not only general house design rules, but also principles and interventions for designing houses for elderly residents. These rules, principles, and interventions are converted into mathematical constraints, which define the sample spaces of the locations and sizes of the functional zones, rooms, furniture, walls and doors. The generator produces data by selecting locations and sizes from corresponding sample space.</p> <p>A generator then generates activity schedule to mimic the daily life of elderly people living alone. This generator is on the basis of a possibility-based motivation-driven method. A motivation value represents a resident's desire to perform an activity sequence, the probability of an activity sequence be performed is determined by its corresponding motivation value. The evolution of the motivation values is adaptive to the input indoor spatial data and the resident's profile.</p> <p>A generator next generates the elderly resident's travel pattern in the input indoor space. Activity schedules are also inputted to the generator because walking behavior usually occurs between a resident performs two activities. This generator takes into account that elderly residents may move about in a wandering travel pattern because of dementia. Travel patterns are generated on the basis of a realistic-path model, which takes into account four factors including: (1) trajectory length, (2) discomfort caused by nearby obstacles, (3) discomfort caused by the resident changing his/her walking direction, and (4) resident's most suitable walking stride.</p> <p>Real-time location data is generated in accordance with activity schedule and travel pattern data. An</p>			

interface converts the real-time location data into simulated PIR sensor records. Other two interfaces convert indoor spatial, activity schedule and travel pattern data into files for build simulation scenarios on Stage and Gazebo simulators.

The platform is built with Python3. It automatically outputs diverse simulated PIR sensor records and simulation scenarios for Stage and Gazebo, compared with building models and simulating manually, the efficiency is significantly improved. Generated PIR sensor records can be used to train and test a DCNN classifier which detects wandering travel patterns of elderly residents, while an RL agent which helps robots to avoid obstacles and follow residents can be trained and tested on robot simulators with generated scenarios. The platform is also modular and extensible, which makes secondary developments with it easy.

審査の要旨

報告番号	甲 第 5540 号	氏 名	Jiang Can (蒋 燦)
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 三田 彰
	副査	慶應義塾大学教授	Ph. D. ラドヴィッチ, ダルコ
		慶應義塾大学教授	博士 (工学) 伊香賀 俊治
		慶應義塾大学教授	博士 (工学) 今井 倫太
<p>B.S., M.S. Jiang, Can 君の博士学位請求論文は、「Virtual Data Platform for Modelling and Simulation of Smart Houses with Elderly People Living Alone (一人暮らしの高齢者を対象としたスマートハウスのモデリングとシミュレーションのための仮想データプラットフォーム)」と題し、7章より構成されている。</p> <p>本論文は、一人暮らしの高齢者を対象としてモバイルロボットが見守り、支援することを目的とした仕組みを実装するスマートハウス設計支援に関するもので、住空間プラン生成、高齢者の生活パターン生成、および高齢者の歩行パターン生成を自動的に行うシミュレータに関する研究である。複数のシナリオを一つひとつ想定して、住空間プラン、生活パターン、歩行パターンを生成する手法では成しえない、きわめて多くのパターンを瞬時に提供することを可能として、結果的にロボットの学習効率を高める効果が期待できる。こうした観点からのシミュレータはこれまでになく、博士号取得に十分なレベルの研究といえる。</p> <p>第1章では、本論文の背景と目的について述べている。</p> <p>第2章では、シミュレータのアーキテクチャとワークフローを含む、システムプラットフォームの概要を示している。</p> <p>第3章では、プラットフォームのコンポーネントである屋内空間属性ジェネレータについて説明している。このジェネレータは、建築設計ルールに従ってワンルームマンションの空間属性データを生成する。これらのデータは、家や家具のモデルを構築するために必要なものである。</p> <p>第4章では、プラットフォームのもう一つのコンポーネントであるアクティビティスケジュールジェネレータについて説明している。このジェネレータは、可能性に基づいたモチベーション主導の方法で、高齢者の毎日の活動スケジュールを自動生成する。</p> <p>第5章では、仮想居住者の歩行軌跡を生成する歩行パターンジェネレータを提案している。このジェネレータは、高齢者が認知症のためにさまようような歩行の可能性のあることを考慮に入れている。これとアクティビティスケジュールジェネレータによって生成されたデータは、シミュレーションでの仮想居住者の動作を事前に定義するために使用される。</p> <p>第6章では、生成されたデータを複数のシミュレータのコマンドファイルに変換するいくつかのインターフェイスについて説明している。開発者は対応するシミュレータでファイルを実行するだけでよく、シミュレーションは自動的に実行される。</p> <p>第7章では、本論文全体をまとめた結論と今後の展望を述べた。</p> <p>以上、要するに、本論文で提案されたシミュレータは、高齢化社会に向けたスマートハウスにおけるロボットの活用の枠組み構築への貢献度が極めて高く、工学上寄与するところが少なくない。また、社会的にも大きな貢献が期待される。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。</p>			