

2014（平成26）年度 秋 学 期

博 士 （工 学）
博 士 （理 学） 学 位 論 文

論文の内容の要旨および論文審査の結果の要旨

慶應義塾大学理工学部

目 次

岩崎 麻衣	Variability of inter-individual communication during songbirds' pair formation period –Modulation of vocal pathway and physical distance– (歌鳥のつがい形成過程における個体間コミュニケーションのばらつき –発声経路と身体的距離の調節–)	1
数原 良彦	多様な情報源に対するランキング学習に関する研究	3
(デン 尚昆) DENG, SHANGKUN	Financial Time Series Prediction with Information Fusion (情報融合を用いた金融時系列予測)	5
近藤 瑠歩	Multi-phase-fieldモデルおよび転位-結晶塑性モデルを用いた双晶組織変化を伴う純Mgの塑性変形挙動のモデル化とその均質化FEM解析	7
栗城 康弘	UAV群の協調フォーメーション制御に関する研究	9
高橋 芽意	光増感反応を用いた経カテーテル的頻脈性不整脈治療における光学モニター技術	11
川口 宗紀	母体財務を考慮した企業年金資産運用	13
山下 遥	A Study on Principal Points for a Multivariate Binary Distribution (多変量2値分布におけるPrincipal Pointsに関する研究)	15
滝口 広樹	近赤外レーザー誘起表面波を用いた粘性率・表面張力の高速センシング手法の開発とその応用に関する研究	17
内藤 弘士	Numerical Studies on Control of Flow Around a Circular Cylinder (円柱周り流れの制御に関する数値的研究)	19
伊藤 和幸	次世代LSI配線に向けた多層グラフェンの電気的特性に関する研究	21
(アフィアハヤティ) AFIAHAYATI	Development of <i>de novo</i> assemblers for metagenomic sequencing data (シークエンスデータからメタゲノム配列を決定するアセンブラーの開発)	23
坪 龍志	光学活性1-クロロビニルコバルト(Ⅲ)錯体触媒を用いる不斉合成反応の開発	26
平 敬	カルコゲナイド相変化材料を用いた局在表面プラズモン共鳴スイッチング	28
安田 啓太	氷点下温度域におけるクラスレートハイドレートの相平衡条件と結晶構造	30
田中 貴久	移動度スペクトル解析法を用いた歪シリコン及び歪ゲルマニウム中のキャリア散乱機構の解明	32
平塚 将起	Molecular Dynamics Study of the Vibrational Spectra of Clathrate Hydrates (分子動力学法を用いたクラスレートハイドレートの振動スペクトルの研究)	34
田中 咲	Quantum measurement for state generation and information amplification (量子測定による状態生成と情報増幅)	36
芹澤 信幸	水晶振動子電極による局所物性のその場測定を組み合わせたイオン液体中における金属の電気化学的析出・溶解に関する研究	38
磯 由樹	近紫外→赤色変換YVO ₄ :Bi ³⁺ ,Eu ³⁺ ナノ粒子を分散したコンポジットの作製・評価と単結晶シリコン太陽電池への応用	40
後藤 穰	強磁性微細構造における磁気トポロジカル欠陥のダイナミクスと磁化反転過程	42
玉城 将	卓球の競技力向上支援を目的としたボールの3次元運動計測	44
小崎 信明	大規模組み合わせ回路による演算器アレイを用いたアクセラレータに関する研究	46
高橋 巧一	高速・高精度な顔特徴点検出に関する研究	48

岩岡 伸之	粗視化分子動力学シミュレーションを用いた高分子溶融体系の研究	50
(クスナ ドウィジャヤンティ) KHUSNA DWIJAYANTI	Development of Automatic Process Planning System for Turning-Milling Center Based on Machining Feature Recognition (マシニングフィーチャ認識に基づく複合加工機用自動プロセスプランシステムの開発)	52
阿部 真志	波長3 μ m帯広帯域分光計の高感度高分解能化とメタン基本振動バンドの精密周波数測定	54
小野 峻史	A Study on Brain-Machine Interface Rehabilitation for Stroke Hemiplegia (脳卒中片麻痺に対するブレイン・マシン・インターフェース・リハビリテーションに関する研究)	56
松尾 綾子	A Study on Efficient Medium Access Networks for Proximity Range Millimeter Wave Communications (近接ミリ波通信のためのメディアアクセス方式に関する研究)	58
笠谷 雄一	単結晶強磁性薄膜における異方性磁化緩和に関する研究	60
佐野 昂迪	Generalizations of Darmon's conjecture and the equivariant Tamagawa number conjecture (Darmon予想の一般化と同変玉河数予想)	62
木我 真基	Antitumor effects and predictive marker identification for a novel non-ATP-competitive MEK1/2 selective inhibitor, SMK-17 (新規ATP非拮抗型MEK1/2選択的阻害剤SMK-17の抗腫瘍活性と感受性規定因子同定)	64
岩國 加奈	光周波数コムを用いた赤外分子分光の高度化	66
後藤 陽介	スタンナイト型および混合アニオン型銅硫化物の電氣的・熱的輸送特性と電子構造	68
松尾 洋一	適応的にブロックサイズを決定するGram-Schmidt法の研究	70
(アジブ セテイヨ アリフィン) AJIB SETYO ARIFIN	Distributed Estimation and Capacity Analysis in Wireless Sensor Networks (無線センサネットワークにおける分散推定及び容量解析)	72
(鄭 棟元) JUNG, DONG WON	HCCIエンジンにおける燃焼の素反応数値解析およびエンジン制御への応用	75
菊地 健司	固体撮像素子への適用に向けた低電圧増倍型光電変換膜の研究	77
夏井 敬介	表面改質を利用したホウ素ドーパダイヤモンドにおける超伝導特性の制御に関する研究	80
栗山 怜子	Non-intrusive Measurements of Microscale Thermal Flow Field by Spontaneous Raman Imaging (自発ラマンイメージングによるマイクロスケール熱流動場の非侵襲計測)	82
酒井 雄樹	CsCl型 RuX ($X=\text{Ge, Sn}$)とシャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ の高圧合成と電氣的・磁氣的性質	84
小澤 仁嗣	SQ-DMA分子の輻射遷移過程および無輻射遷移過程に関する理論的研究	86
小熊 祐司	安定性解析に基づく多点型確率的最適化アルゴリズムの設計に関する研究	88
竹 康宏	三次元集積のための誘導結合を用いたパケット転送と共振結合を用いたクロック分配に関する研究	90
寺田 崇秀	メンテナンスフリーセンサネットワークシステム用低電力無線データ通信及び電力伝送回路	92

論文の要旨および審査結果の要旨

本報は、学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第8条による公表を目的として、本大学において2014(平成26)年度秋学期に博士の学位を授与した者の論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨である。収録したものは次のとおり。

慶應義塾大学理工学部

学位の種類	学位記号・番号	授与年月日	氏 名
博士(理学)	甲第 4133 号	平成 26 年 10 月 8 日	岩崎 麻衣
博士(工学)	甲第 4137 号	平成 26 年 11 月 5 日	数原 良彦
博士(工学)	甲第 4140 号	平成 27 年 3 月 23 日	(デン 尚昆) DENG, SHANGKUN
博士(工学)	甲第 4153 号	平成 27 年 3 月 23 日	近藤 瑠歩
博士(工学)	甲第 4154 号	平成 27 年 3 月 23 日	栗城 康弘
博士(工学)	甲第 4159 号	平成 27 年 3 月 23 日	高橋 芽意
博士(工学)	甲第 4160 号	平成 27 年 1 月 30 日	川口 宗紀
博士(工学)	甲第 4161 号	平成 27 年 3 月 23 日	山下 遥
博士(工学)	甲第 4162 号	平成 27 年 3 月 23 日	滝口 広樹
博士(工学)	甲第 4163 号	平成 27 年 1 月 30 日	内藤 弘士
博士(工学)	甲第 4164 号	平成 27 年 3 月 23 日	伊藤 和幸
博士(理学)	甲第 4165 号	平成 27 年 3 月 23 日	(アフィアハヤティ) AFIAHAYATI
博士(理学)	甲第 4166 号	平成 27 年 3 月 23 日	坪 龍志
博士(工学)	甲第 4167 号	平成 27 年 1 月 30 日	平 敬
博士(工学)	甲第 4168 号	平成 27 年 3 月 23 日	安田 啓太
博士(工学)	甲第 4169 号	平成 27 年 3 月 23 日	田中 貴久
博士(工学)	甲第 4170 号	平成 27 年 3 月 23 日	平塚 将起
博士(理学)	甲第 4225 号	平成 27 年 3 月 23 日	田中 咲
博士(工学)	甲第 4226 号	平成 27 年 3 月 23 日	芹澤 信幸
博士(工学)	甲第 4227 号	平成 27 年 3 月 23 日	磯 由樹
博士(理学)	甲第 4228 号	平成 27 年 3 月 23 日	後藤 穰
博士(工学)	甲第 4229 号	平成 27 年 3 月 23 日	玉城 将
博士(工学)	甲第 4230 号	平成 27 年 3 月 23 日	小崎 信明

学位の種類	学位記号・番号	授与年月日	氏 名
博士(工学)	甲第 4231 号	平成 27 年 3 月 23 日	高橋 巧一
博士(理学)	甲第 4232 号	平成 27 年 3 月 23 日	岩岡 伸之
博士(工学)	甲第 4233 号	平成 27 年 3 月 23 日	(クスナ ドウィジャヤンティ) KHUSNA DWIJAYANTI
博士(理学)	甲第 4234 号	平成 27 年 3 月 23 日	阿部 真志
博士(工学)	甲第 4235 号	平成 27 年 3 月 3 日	小野 峻史
博士(工学)	甲第 4236 号	平成 27 年 3 月 23 日	松尾 綾子
博士(理学)	甲第 4237 号	平成 27 年 3 月 23 日	笠谷 雄一
博士(理学)	甲第 4238 号	平成 27 年 3 月 23 日	佐野 昂迪
博士(理学)	甲第 4239 号	平成 27 年 3 月 3 日	木我 真基
博士(理学)	甲第 4240 号	平成 27 年 3 月 23 日	岩國 加奈
博士(工学)	甲第 4241 号	平成 27 年 3 月 23 日	後藤 陽介
博士(工学)	甲第 4242 号	平成 27 年 3 月 23 日	松尾 洋一
博士(工学)	甲第 4243 号	平成 27 年 3 月 23 日	(アジブ セティヨ アリフィン) AJIB SETYO ARIFIN
博士(工学)	甲第 4244 号	平成 27 年 3 月 23 日	(鄭 棟元) JUNG, DONG WON
博士(工学)	甲第 4245 号	平成 27 年 3 月 3 日	菊地 健司
博士(理学)	甲第 4246 号	平成 27 年 3 月 23 日	夏井 敬介
博士(工学)	甲第 4247 号	平成 27 年 3 月 23 日	栗山 怜子
博士(工学)	甲第 4248 号	平成 27 年 3 月 23 日	酒井 雄樹
博士(理学)	甲第 4249 号	平成 27 年 3 月 23 日	小澤 仁嗣
博士(工学)	甲第 4250 号	平成 27 年 3 月 23 日	小熊 祐司
博士(工学)	甲第 4251 号	平成 27 年 3 月 23 日	竹 康宏
博士(工学)	甲第 4252 号	平成 27 年 3 月 23 日	寺田 崇秀

内容の要旨

報告番号	甲 第4133号	氏 名	岩崎 麻衣
主論文題目： Variability of inter-individual communication during songbirds' pair formation period-Modulation of vocal pathway and physical distance- (歌鳥のつがい形成過程における個体間コミュニケーションのばらつき -発声経路と身体的距離の調節-)			
本論文は、全五章により構成されている。 第一章には研究の目的を記した。動物社会における個体間コミュニケーションは、その個体の組み合わせによって異なる特徴を示すことがある。本研究は、各個体がそのコミュニケーションの調節を神経細胞の単位ではどのように行っているのかに洞察を与えるため、一夫一妻制をとる歌鳥・キンカチョウをモデル動物としている。オスとメスのキンカチョウは、①「興奮状態における求愛行動（第二章）」と、②「リラックス状態における身体的な接近（第三章）」を経た後に巣作りを始め、受精に結びつく交尾を開始する。この過程に関して本研究では2つのテーマを扱った。 第二章では、オスにこれまで同居していたメスを見せた場合と、まったく新しいメスを見せた場合とでオスが歌う求愛歌が異なるのかを、音響学的特徴量（基底周波数）と、歌の発声に寄与する Area X(歌鳥の大脳基底核に存在する)の神経発火によって比較した。先行研究では、オスが単独で歌った場合はメスに対して歌った場合に比べて、それに伴う Area X の神経発火と、歌の基底周波数のぶれに関して、歌と歌の間でのばらつきが大きいことが報告されている。予想に反して、同居メスと新しいメスそれぞれに対するオスの歌に、先行研究で示されたような差は見出せなかった。一方、各ニューロン内において、歌と歌との間で神経発火のばらつきが大きいものは、生み出される歌の基底周波数のズレも大きくなっていることを見出した。 第三章では、初期の求愛行動時に高い神経活動を見せる中脳カテコールアミン性ニューロン群が、オスとメスが身体的な距離を近距離または遠距離へと変化させていく過程ではどのような活動パターンを呈するか注目して調べた。まず30分間のデート中のオス・メスの三次元位置情報をビデオトラッキングによって取得し、その位置情報の履歴に対して主成分分析を行うことにより、オス・メスの相性を数値化 (valence score) した。次にここで得られた相性が、各ニューロン群における c-Fos 誘導レベルと相関があるかどうかをオス・メス両者の脳で調べた。その結果、相性の悪いオスと過ごしたメスにおいて、central grey(CG)に位置する A11 ニューロン群の c-Fos 誘導度が高いことがわかった。これはペアの成立開始にメスの恐怖系の抑制が伴っている可能性を示唆している。 第四章では論文全体のまとめを行い、第五章では本研究に残された課題と、将来への展望を記した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4133 号	氏 名	岩崎 麻衣
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
		慶應義塾大学准教授	博士（農学） 伊澤 栄一
学士（理学）、修士（理学）岩崎麻衣君提出の学位請求論文 Variability of inter-individual communication during songbirds' pair formation period -Modulation of vocal pathway and physical distance-(songbird のつがい形成過程における個体間コミュニケーションのばらつき -発声経路と身体的距離の調節 -) は全五章より構成されている。 動物社会における個体間コミュニケーションは、その個体の組み合わせによって異なる特徴を示すことがある。本研究は、各個体がそのコミュニケーションの調節を神経細胞の単位ではどのように行っているのかに洞察を与えるため、一夫一妻制をとる songbird・キンカチョウをモデル動物としている。オスとメスのキンカチョウは、「興奮状態における求愛行動」と「リラックス状態における身体的な接近」を経た後に巣作りを始める。この二つ過程に関して本研究では取り扱っている。 第一章では従来研究を参照し、本研究の目的について説明している。 第二章では、オスにこれまで同居していたメスを見せた場合と、まったく新しいメスを見せた場合とでオスが歌う求愛歌が異なるのかを、音響学的特徴量（基底周波数）と、歌の発声に寄与する Area X（songbird の大脳基底核に存在する）の神経興奮を電気生理学的に解析し、比較した。先行研究では、オスが単独で歌った場合はメスに対して歌った場合と比較して、Area X の神経発火と、歌の基底周波数のばらつきは、歌と歌の間で大きいことが報告されている。その予想に反し、同居メスと新しいメスそれぞれに対するオス歌の基底周波数のばらつきには、先行研究で示されたような差は見出せなかった。一方、歌と歌との間で神経発火頻度のばらつきが大きいものは、生み出される歌の基底周波数のばらつきも大きいことを見出した。 第三章では、初期の求愛行動時に高い神経活動を見せる中脳カテコールアミン性ニューロン群が、オスとメスが身体的な距離を近距離または遠距離へと変化させていく過程で、どのような活動パターンを示すのかに注目して調べた。まず出会わせてから 30 分間のオス・メスの三次元位置情報をビデオトラッキングによって取得し、その位置情報の履歴に対して主成分分析を行うことにより、オス・メスの相性を数値化した。次に得られた相性が、神経活動マーカーである最初期遺伝子 c-Fos の各ニューロン群での発現レベルと相関があるかどうかを、オス・メス両者の脳で調べた。その結果、相性の悪いオスと過ごしたメスにおいて、central grey に位置する A11 ニューロン群の c-Fos 誘導レベルが高いことを見いだした。これはペアの成立開始にメスの恐怖系の抑制が伴っている可能性を示唆している。 第四章では論文全体のまとめを行い、第五章では本研究に残された課題と、将来への展望を記した。 以上本論文の著者はキンカチョウの個体間コミュニケーションを神経細胞レベルから詳細に解析し、そのメカニズムの一部を明らかにすることに成功している。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4137号	氏 名	数原 良彦
主論文題目： 多様な情報源に対するランキング学習に関する研究			
ユーザが望む順序で結果を提示するランキングは様々なアプリケーションにおいて重要である。特に情報検索や推薦においては、ユーザが求める情報を優先的に上位に表示することにより、より少ないコストでユーザが目的を達成する。このように、情報処理の広い分野において、同時には提示不可能な大量の候補群から、ユーザの希望に合うアイテムに優先順位をつけて提示する方法の基盤技術としてランキング技術が用いられてきた。近年では、教師あり学習の枠組みを用いて最適なランキングモデルを構築するランキング学習と呼ばれる技術分野が情報検索コミュニティで盛んに研究されてきた。ランキング学習においては、あらかじめ評価ラベルが付与された訓練事例集合をもとに予測モデルを構築し、未知の事例集合に対して評価ラベルと整合する順位を予測する。本研究では、既存のランキング学習が抱える(1) 複数情報源に対する適用、(2) 大規模データに対する適用、(3) 学習データに含まれるノイズへの対応、(4) 少量の特徴のみ利用可能なデータへの適用という4つの課題を達成し、多様な情報源に対する実用的なランキング学習実現を目指す。 以下に本論文の構成を示す。はじめに第1章において本研究の背景と目的について述べる。第2章では、ランキング学習とその関連研究について述べる。第3章では、人手評価データとクリックログデータという適合性分布が異なる複数情報源を用いる、ブースティングに基づくランキング学習アルゴリズムであるTRankBoostを提案し、実データを用いた評価実験の結果を述べる。第4章では、検索評価指標のマージンへの導入、ノイズに頑健な損失関数の採用、最大損失を与える事例の選択といった特長を持つ選択的ペアワイズ手法によるオンラインランキング学習であるPARank-NDCGを提案し、従来のオンラインランキング学習に対して優れた性能を示すことについて述べる。第5章では、ランキングに用いる多数の要因を抽出できない状況において高精度なランキングを実現するため、自己組織化マップを教師あり順序学習に拡張したOrderSOMを提案し、その評価について述べる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4137 号	氏 名	数原 良彦
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 櫻井 彰人
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 鈴木 秀男
		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(理学) 榊原 康文
学士(工学)、修士(工学)の数原良彦君提出の学位請求論文は「多様な情報源に対するランキング学習に関する研究」と題し、全6章より構成されている。 情報検索において、検索結果を、ユーザが暗黙裡に持つ検索目的に適合する順序で提示するために、検索結果に順位を付すランキングは、情報検索を有用にする上で重要である。しかし、ランキングモデルは、観測・実験により得られるデータから機械学習により構成する必要がある。 本研究においては、ランキング学習における課題のうち3つの課題、(1)ランキングを特徴づける情報源が複数ある場合にその情報が十分に活用できていない、(2)データ量が大きくなったときに学習速度が低下する、(3)少量の特徴量のみが利用可能な場合、例えばデスクトップ検索といった場合に従来方法では十分に学習できない、という課題に対しその解決を図っている。 第1章は、本論文の序論であり、本研究の背景と目的について述べている。 第2章では、ランキング学習とその関連研究について述べている。 第3章では、人手で作成した順位値を持ったデータと、実際のウェブページで表示した結果をユーザが選択することにより得られる間接的な相対順位を持ったデータ(クリックログデータ)とを学習データとする場合を考察している。この2データには上記(1)の課題があり、既存の手法では精度が向上しない。本研究ではブースティングに基づくTRankBoostを提案し、実データを用いた評価実験の結果、既知の手法と異なり、精度向上が達成されることを示している。 第4章では、上記課題(2)を適切なオンライン学習方法を提案することにより解決する。既知のオンラインランキング学習方法では精度が不十分なため、検索評価指標のマージンへの導入、ノイズに頑健な損失関数の採用、最大損失を与える事例の選択を行う選択的ペアワイズ手法PARank-NDCGを提案している。実データを用いることにより、従来のオンラインランキング学習に対して優れた性能を持つことを示している。 第5章では、上記(3)の課題、すなわちランキングに用いる多数の要因を抽出できない状況において高精度なランキングを実現するため、自己組織化マップを教師あり順序学習に拡張したOrderSOMを提案し、実験により従来手法よりよい結果を得ることを示している。 最後に第6章で本論文のまとめと今後の課題および展望について述べている。 以上要するに本研究においては、ランキング学習を実使用する上で解決すべき3つの課題に対し、新たな手法を提案・実装し、それが解決されることを示したものであり、工学・工業上寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No. 4140	Name	DENG, SHANGKUN
Thesis Title			
Financial Time Series Prediction with Information Fusion			
Our proposed prediction and learning method is a hybrid referred to as MKL-GA, which combines multiple kernel learning (MKL) for regression (MKR) and a genetic algorithm (GA) to construct the trading rules. In this study, we demonstrate that the evaluation criteria used to examine the effectiveness of a financial market price forecasting method should be the profit and profit-risk ratio, rather than errors in prediction. Thus, it is necessary to use a price prediction method and a trading rules learning method. We tested the proposed method on the foreign exchange market and stock market, and we tested MKR on crude oil market. The features used for prediction on FX market were extracted from the trading history of multiple markets and multiple time horizons, and the features used for prediction on stock market were from historical stock prices and volumes, as well as social network services (SNS). MKR is essential for utilizing the information contained in many of the features derived from different information sources and for various representations of the same information source. The GA is essential for generating trading rules, which are described using a mixture of discrete structures and continuous parameters. First, the MKR predicts the change in the FX market or stock market based on technical indicators such as the moving average convergence and divergence (MACD). Next, the GA generates a trading rule by combining the results of the MKR with several commonly used overbought/oversold technical indicators. For simulation, we show the application of MKL-GA on FX market and stock market, as well as MKL on crude oil markets. The experimental results show that the proposed method outperforms other benchmark methods in terms of the returns and return-risk ratio.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4140 号	氏 名	Deng, Shangkun
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 櫻井 彰人
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 山口 高平
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 枇々木 規雄
		慶應義塾大学教授	工学博士 萩原 将文
学士、修士（工学）の Deng, Shangkun 君提出の学位請求論文は「Financial Time Series Prediction Using Information Fusion」と題し、全 6 章より構成されている。 株価、外国為替レート、様々な商品価格等の時間変化を表す金融時系列の予測に関する研究は、経済活動における金融の重要性に鑑み、広く行われている。これらの金融時系列はランダムに近く、予測は困難とされている。しかし、多数の人間の経済行為の結果であり、例えばトレンドといった規則性が存在する可能性は否定できない。 そこで、Deng 君は、これまで行われることが少なかった複数の情報源を用いること、これに複数の時間枠から得られる情報を併せ、それらから得られる多様な特徴量を用いること、性質の異なる情報源には異なる非線形関数を用いた変換を施す Multiple Kernel Learning (MKL) を用いて予測器の学習を行うこと、さらに、これら特徴量と予測値とを用いた取引規則を学習するために遺伝的アルゴリズム (GA) を用いることを特徴とする手法を提案している。実データを対象に、予測およびそれに基づく仮想的な取引を行い、従来手法に比し、予測精度においても、リスクを考慮した収益指標である Sharpe ratio においても、既知手法より高い結果が得られることを示した。 第 1 章は、本論文の序論であり、本研究の背景・目的について述べ、本研究全体を概説している。 第 2 章では、本論文で使用する概念・用語・手法の定義および概説を行っている。 第 3 章では、外国為替レートの予測を対象とする本研究の手法・結果を詳述している。本課題においては、ある通貨対の一时间毎の交換レートを予測するにあたり、複数の情報源として複数の通貨対交換レートのヒストリカルデータを用い、複数の時間枠を用いるとともに、矛盾した結果を示しうる複数のテクニカル指標を用いること、学習には MKL と GA を用いることを提案している。評価実験の結果、既知手法に比しよい結果が得られ、また仮想取引の期間中大きなドロウダウン（資産の下落）がないことを示している。 第 4 章では、米国株式市場における個別銘柄の価格を予測するに当たり、取引価格・取引量のヒストリカルデータ、ニュース及び social network service 上の意見を情報源とし、後者の特徴量としては頻度を用いることを提案している。学習手法として MKL 及び GA を用いた。評価実験により、提案手法の有効性を示している。 第 5 章では、原油市場の価格を予測するに当たり、複数の原油市場を情報源とし、複数の時間枠を用い、テクニカル指標として MACD を用い、学習手法には MKL を用いることを提案し、評価実験により提案手法の有効性を示している。 最後に第 6 章で本論文のまとめと今後の課題および展望について述べている。 以上要するに、本研究においては、金融時系列に対し、複数の情報源と時間枠に基づく特徴量を用いることにより、より高精度で予測し、より高い Sharpe ratio で取引可能であることを示したものであり、工学・工業上寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4153 号	氏 名	近藤 瑠歩
主論文題目：			
Multi-phase-field モデルおよび転位-結晶塑性モデルを用いた 双晶組織変化を伴う純 Mg の塑性変形挙動のモデル化とその均質化 FEM 解析			
マグネシウム (Mg) は実用金属中最軽量であり、比強度に優れることから自動車など輸送機器の環境親和性構造材料としての実用化に期待が寄せられ、関連研究が盛んに行われている。その中でも常温における塑性加工性の向上は Mg 基構造材料を普及させるための最重要課題であるが、以下に述べる 2 点において Mg は他の金属材料とは力学的性質が異なるため、変形挙動の把握に困難を伴う。すなわち、(1) 帯状組織形成を伴う双晶変形による応力誘起の固相-固相変態および (2) 六方最密充填 (HCP) 構造に由来した塑性異方性である。そこで本研究では、これら 2 つの現象を統一的に表すため、双晶組織変化と結晶変形を連成させた新たな材料モデルを提案し、それを用いた数値解析を実施することで、本モデルの妥当性および有用性を示す。 第 1 章は緒言であり、Mg の力学的性質と従来の材料モデルの特徴およびその問題点について述べる。また、本研究で提案する Multi-phase-field・転位-結晶塑性 (MPF-DCP) モデルの概要を示す。 第 2 章では、双晶変形によるひずみを従来の結晶塑性モデルに導入する方法について述べる。また、微分幾何学に基づいた転位密度の数学的表記法を示し、それを結晶塑性モデルに適用することで GN 転位密度がすべりのこう配で表されることを示す。 第 3 章では熱力学に基づいて弾性構成式、塑性構成式および自由エネルギーの変分形式で表される MPF モデルの一般形を導出する。また、転位の弾性論に基づいた変形抵抗応力の導出を行い、転位の易動度をすべり系ごとに設定することで HCP 金属の塑性異方性を表し得ることについて述べる。 第 4 章では双晶変形の特徴を列挙するとともに、その挙動を十分に表す自由エネルギー汎関数を構築し、第 3 章で導出した MPF モデルの一般形に適用することで具体的な MPF 方程式を導出する。また、MPF 方程式中に含まれるパラメータと双晶変形を特徴づける物性値、すなわち双晶の臨界分解せん断応力、ひずみ速度感度指数、双晶転位速度および界面エネルギーとの関連付けを行う。 第 5 章では均質化法に基づいて方程式系をスケール分離し、ユニットセル解析のための定式化を行う。 第 6 章では有限要素法 (FEM) による数値解析のための方程式系を変形し、離散化する。また、FEM における転位密度の計算方法について触れる。 第 7 章では本 MPF-DCP モデルを用いた FEM 解析の結果および検討について述べる。対象材料は単結晶純 Mg とし、常温下での単軸一方向圧縮および単軸繰返し負荷に対するシミュレーションを行う。その結果、本モデルが単結晶純 Mg のマクロな応力-ひずみ応答からミクロな双晶組織の発展および転位密度の増大による応力不均一性の拡大までを再現し得ることを示す。さらに、以下のような双晶進展-すべり変形の相互作用を表現することにより、MPF-DCP 連成モデルの有用性を明らかにする。(i) 双晶界面の形成・移動によって著しく不均一な応力場が形成され、その不均一性はすべり変形によって緩和される。ただし、変形の進行に伴って転位蓄積による加工硬化が生じ、すべりによる塑性緩和機構は働きにくくなる。(ii) 異なるバリエントの双晶が存在するとき、一方のバリエントの成長が他方の成長に不利なひずみ場を形成するため、両者は近接して生じにくい。(iii) 繰返し負荷に起因するすべり変形によって結晶回転が生じ、双晶は発生しにくくなる。(iv) 繰返し負荷時には底面すべりによって塑性緩和が生じるため、付与したひずみ速度に対する双晶成長・収縮が緩慢となる。その結果、双晶変形が不可逆性を呈するようになる。(v) 異種バリエントの双晶界面の会合によって双晶収縮に有利な応力場が形成される。 第 8 章は結言であり、本 MPF-DCP モデルの特徴および FEM 解析によって得られた知見を要約する。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4153 号	氏 名	近藤 瑠歩
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 小茂島 潤
		慶應義塾大学教授	工学博士 朝倉 浩一
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 高野 直樹
学士(工学), 修士(工学)近藤瑠歩君の学位請求論文は「Multi-phase-field モデルおよび転位-結晶塑性モデルを用いた双晶組織変化を伴う純 Mg の塑性変形挙動のモデル化とその均質化 FEM 解析」と題し, 8 章から構成されている。 マグネシウム(Mg)は実用金属の中で最も軽量であり, 比強度に優れることから自動車など輸送機器の環境親和性構造材料として実用化に期待が寄せられている。しかしながら, Mg は微細な帯状組織形成を伴う双晶変形による固相-固相変態ならびに六方最密充填(HCP)構造に由来した塑性異方性を有するため, 常温における塑性加工性の向上が重要な課題となっている。そこで本研究では, これら 2 つの現象を統一的に表すため, 双晶組織変化と結晶変形を連成させた新たな材料モデルを提案し, それを用いた有限要素法(FEM)解析を実施することで, Mg における秩序場と変形場の連成挙動を計算力学的に明らかにすることを試みている。 第 1 章は緒言であり, 先行研究の問題点および本研究で提案する Multi-phase-field(MPF)モデルおよび転位-結晶塑性(DCP)モデルを連成した MPF-DCP モデルの概要について述べている。 第 2 章では, 双晶変形によるひずみを従来の結晶塑性モデルに導入する方法について述べるとともに, すべりのこう配で表される幾何学的に必要な転位密度を結晶塑性モデルに導入する方法について説明している。 第 3 章では熱力学に基づいて弾性構成式, 塑性構成式および自由エネルギーの変分形式で表される MPF モデルの一般形を導出している。また, すべり系の流れ応力における転位の易動度をすべり系ごとに設定することで HCP 結晶の塑性異方性を表現している。 第 4 章では双晶変形挙動を表す自由エネルギー汎関数を構築し, 第 3 章で導出した MPF モデルの一般形に適用することで具体的な MPF 方程式を導出している。また, その方程式中に含まれるパラメータである双晶の臨界分解せん断応力, ひずみ速度感度指数, 双晶転位速度および界面エネルギーの関連付けを行っている。 第 5 章では均質化法に基づくユニットセル解析のための定式化を行っている。 第 6 章では FEM 解析の準備として支配方程式系を離散化している。 第 7 章では本モデルを用いた FEM 解析の結果およびその検討について述べている。対象材料は純 Mg 単結晶とし, 常温下での単軸圧縮および単軸繰返し負荷に対するシミュレーションを行っている。その結果, 本モデルが Mg のマクロな応力-ひずみ応答からミクロな双晶組織の発展および転位密度の増大による応力不均一性の拡大までを再現し得ることを示している。さらに, 双晶進展-すべり変形の相互作用について検討することにより, MPF-DCP 連成モデルの有用性を明らかにしている。たとえば, 双晶進展で発生する不均一応力場がすべり変形によって緩和された後, 加工硬化によって塑性緩和機構が働きにくくなること, 繰返し負荷時には底面すべりによって塑性緩和が生じるため, 双晶の成長・収縮が緩慢になり双晶変形が不可逆性を呈すること, 異種バリエーションの双晶界面の会合によって双晶収縮に有利な応力場が形成されることなどを明らかにしている。 第 8 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, 本研究は純 Mg 単結晶における双晶組織進展を表現する MPF モデルおよび結晶変形を表す DCP モデルを連成させ, 秩序場と変形場の相互作用による HCP 結晶特有の種々の変形挙動を計算力学的に再現可能にしたものであり, 非線形固体力学および計算材料科学の分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第4154号	氏 名	栗城 康弘
主 論 文 題 目：			
UAV 群の協調フォーメーション制御に関する研究			
近年、コンピュータ技術、ネットワーク技術、小型センサ技術の急速な進展に伴い、協調制御技術が実システムに適用されつつある。協調制御技術をビークル群に適用することにより、耐故障性、効率性、コストパフォーマンスに優れたマルチビークルシステムを構成することができる。本研究においては、複数の UAV(Unmanned Aerial Vehicle)から構成される UAV 群の協調制御に関する問題を扱った。具体的には、UAV が分散協調的にフォーメーション飛行を達成する制御アルゴリズムを提案した。また、このフォーメーションの形成にあたり、UAV 同士で衝突してしまう危険性があるが、この衝突を回避する制御アルゴリズムを提案した。 第 1 章では、本研究の背景、目的について概説した。第 2 章では、本研究の基礎となる合意アルゴリズムについて説明した。 第 3 章では、合意アルゴリズムを適用してフォーメーションを達成させるための基本的な制御アルゴリズムを提案した。具体的には、1 次システムを制御対象として、合意アルゴリズム及び Leader-Follower 構造を適用したフォーメーション制御アルゴリズムを提案した。その妥当性について、数値シミュレーションにより検証した。 第 4 章では、本論文の主目的である、UAV が分散かつ協調的にフォーメーションを達成する制御アルゴリズムを提案した。まず、UAV である Quadrotor を制御対象として、UAV 及び UAV 群のモデル化を行った。続いて、各 UAV が Leader に追従しつつフォーメーションを達成する制御アルゴリズムを提案した。また、各 UAV が、フォーメーションの目標位置に漸近安定的に収束するよう、制御ゲインに対する条件を導出した。最後に、提案制御アルゴリズムの妥当性について、数値シミュレーションにより検証した。 第 5 章では、フォーメーション飛行を形成する過程において発生する可能性のある UAV 同士での衝突について、この衝突を回避する制御アルゴリズムを複数提案した。衝突回避アルゴリズムについては、人工ポテンシャル場、モデル予測制御を個別に適用し、また、フォーメーション制御アルゴリズムとの親和性を確保した。つまり、フォーメーション制御アルゴリズムと衝突回避アルゴリズムを同時に適用したとしても、引き続き安定性が保証されるアルゴリズムとした。最後に、提案制御アルゴリズムの妥当性について、数値シミュレーションにより検証した。 第 6 章では、提案制御アルゴリズムの妥当性及び有効性について、実機を用いて検証した。本研究では、実験機器として、Parrot 社の AR.Drone を採用した。まず、これを用いて実験を行うための環境構築について説明した。続いて、フォーメーション制御アルゴリズムと衝突回避アルゴリズムを AR.Drone に適用し、検証実験を行った。 第 7 章では、結論として、本研究の成果を要約し、実システムに適用するにあたり、必要となる課題について言及した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4154 号	氏 名	栗城 康弘
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 滑川 徹			
	副査 慶應義塾大学教授 工学博士 大森 浩充		
	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） 高橋 正樹		
学士（工学）、修士（工学）栗城康弘君提出の学位請求論文は「UAV 群の協調フォーメーション制御に関する研究」（A Study on Cooperative Formation Control for a Multi-UAV System）と題し、7 章から構成されている。 ネットワーク技術、コンピュータ技術、小型センサ技術の急速な進展に伴い、協調制御技術が実システムに適用されつつある。協調制御技術をビークル群に適用することにより、耐故障性、効率性、コストパフォーマンスに優れたマルチビークルシステムを構成することができる。本研究においては、複数の UAV(Unmanned Aerial Vehicle)から構成される、マルチ UAV システムの協調制御に関する問題を扱っている。具体的には、UAV が分散協調的にフォーメーション飛行を達成する制御アルゴリズムを提案している。また、このフォーメーションの形成にあたり、UAV 同士で衝突してしまう危険性があるが、この衝突を回避する制御アルゴリズムを提案している。 第 1 章では、本研究の背景、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、本研究の基礎となる合意アルゴリズムについて説明している。 第 3 章では、合意アルゴリズムを適用してフォーメーションを達成させるための基本的な制御アルゴリズムを提案している。具体的には、1 次システムを制御対象として、合意アルゴリズム及び Leader-Follower 構造を適用したフォーメーション制御アルゴリズムを考案している。またその妥当性について、数値シミュレーションにより検証している。 第 4 章では、本研究の主目的である、UAV が分散かつ協調的にフォーメーションを達成する制御アルゴリズムを提案している。まず、UAV である Quadrotor を制御対象として、UAV 及びマルチ UAV システムのモデル化を行っている。続いて、各 UAV が Leader に追従しつつフォーメーションを達成する制御アルゴリズムを提案している。また、各 UAV が、フォーメーションの目標位置に漸近安定的に収束するよう、制御ゲインに対する条件を導出している。最後に、提案制御アルゴリズムの妥当性について、数値シミュレーションにより検証している。 第 5 章では、フォーメーション飛行を形成する過程において生じ得る UAV 同士での衝突について、この衝突を回避する制御アルゴリズムを提案している。衝突回避アルゴリズムについては、人工ポテンシャル場、モデル予測制御を個別に適用し、また、フォーメーション制御アルゴリズムとの親和性を確保している。つまり、フォーメーション制御アルゴリズムと衝突回避アルゴリズムを同時に適用したとしても、引き続き安定性が保証されるアルゴリズムとしている。最後に、提案制御アルゴリズムの妥当性について、数値シミュレーションにより確認している。 第 6 章では、提案制御アルゴリズムの妥当性及び有効性について、実機を用いて検証している。まず、実験環境構築について概説した後に、第 4 章及び第 5 章で提案したフォーメーション制御アルゴリズムと衝突回避アルゴリズムを実機に適用し、検証実験により制御アルゴリズムの有効性を示している。 第 7 章では、本研究の成果を総括し、今後の課題と展望について言及している。 以上要するに、本論文は UAV 群の協調フォーメーション制御問題に対して、合意アルゴリズムに基づく制御則の設計法を提案し、理論と実験の双方からその有効性を実証したもので、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 4159 号	氏 名	高橋 芽意
主 論 文 題 目：			
光増感反応を用いた経カテーテル的頻脈性不整脈治療における光学モニター技術			
申請者は光増感反応を用いた経カテーテル的頻脈性不整脈治療（光線力学アブレーション）を安全確実に運用するための光学モニターを提案し、基礎実験および大型動物を用いた実証実験によりその実用性を検討した。検討した光学モニターは、レーザ光照射に伴う発熱による血液の熱凝固物形成を防止するための血液-光学窓界面の血液熱変性モニター、隣接臓器保全および確実な心筋電気伝導遮断を得るために治療深度を推定する細胞外光増感反応進行モニター、光線過敏症のリスクを管理するための皮膚残留薬剤モニターの3つである。頻脈性不整脈に対するカテーテルアブレーション治療は、心筋傷害によりその電気伝導を遮断して即時的に治療効果を得ることおよび治療に関する物理情報を各種モニターより取得しながら治療を制御することに特徴がある。従来の組織熱凝固による治療とは異なり、光線力学アブレーションは光感受性物質タラポルフィンナトリウムとそのQ帯吸収ピークに相当する664 ± 2 nmの半導体レーザ光を用いた光増感反応による酸化作用により治療を達成するため、従来のモニター技術に加えて、光増感反応による治療原理に立脚した光学モニター技術が必要となる。 血液熱変性モニターの目的は、放射照度 40 W/cm^2 以上の光照射を行う際に血液-光学窓界面の発熱により生成される血液熱凝固物に関して、その発生過程を施術中に観測して塞栓症を予防することにある。レーザ光照射に伴う血液熱凝固物生成過程は、熱作用による赤血球形態変化に由来する光学特性変化に基づく拡散反射光強度変化にて説明できること、また経時的に拡散反射光強度を計測することにより血液熱凝固物生成過程を検出しその生成を未然に検知できることを見出した。 光線力学アブレーションによる治療深度と経カテーテル的に経時計測したタラポルフィンナトリウムの波長 710 ± 2 nm における蛍光の減少総量に対数関数相関を見出し、心筋における光線力学アブレーションをモデル化することでこの相関を説明するとともに、治療深度の推定を行えた。この細胞外光増感反応進行モニター技術により光線力学アブレーションによる治療深度を 1.0 ± 0.6 mm の精度にて推定可能であったことから、貫壁性の治療深度を得つつ近接する重要臓器を保全するために必要な mm 単位での治療深度推定性能を有することがわかった。 皮膚残留薬剤モニターは、光線過敏症が発症する表皮に残留するタラポルフィンナトリウムの相対濃度を推定し、光線過敏症の発症リスク管理に活用することを目的とする。波長 409 ± 16 nm の Soret 帯光励起によって $90\sim 300\text{ }\mu\text{m}$ 深さに分布するタラポルフィンナトリウム蛍光を、長さ 5 cm の光拡散チップにより皮膚測定部位の不均一性を克服しつつ計測可能であることを明らかにした。この皮膚残留薬剤モニターは臨床において遮光措置が解除される投薬 2 週間後の血漿中タラポルフィンナトリウム濃度に相当する $2.5\pm 0.1\text{ }\mu\text{g/ml}$ まで測定可能であり、実用性を有することを示した。 以上本研究では、提案した光学モニター技術により光線力学アブレーションによる頻脈性不整脈治療における塞栓症発症リスクの抑制、mm 単位での治療深度推定、光線過敏症発症リスクの管理の効能が見込め、治療の安全性および確実性を高められることが示唆された。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4159 号	氏 名	高橋 芽意
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 荒井恒憲
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 内山孝憲
		慶應義塾大学准教授	博士(工学)・博士(医学) 塚田孝祐
		慶應義塾大学専任講師	博士(工学) 寺川光洋
		慶應義塾大学名誉教授	医学博士 小川 聡
学士(工学)、修士(工学) 高橋芽意君提出の学位請求論文は「光増感反応を用いた経カテーテル的頻脈性不整脈治療における光学モニター技術」と題して、10章より構成されている。 申請者は光増感反応を用いた経カテーテル的頻脈性不整脈治療(光線力学アブレーション)を安全確実に運用するための光学モニターとして、i)レーザー照射に伴う発熱による血液の熱凝固物形成を防止するための血液-光学窓界面の血液熱変性モニター、ii)隣接臓器保全および確実な心筋電気伝導遮断を得るために治療深度を推定する細胞外光増感反応進行モニター、iii)光線過敏症のリスクを管理するための皮膚残留薬剤モニター、を提案し、基礎実験および大型動物を用いた実証実験によりその実用性を検討した。 第1章は、序論であり本論文の目的と構成に関して述べている。 第2章は、光増感反応を用いた治療とモニター技術に関して述べている。 第3章は、頻脈性不整脈に対するカテーテルアブレーション治療とそのモニター技術に関して述べている。 第4章は、光増感反応を心筋治療に応用した頻脈性不整脈の光線力学的アブレーションの開発に関して述べている。 第5章では、第1章から第4章の内容を踏まえ、光線力学的アブレーションにおいて必要となる各種の光学モニター技術をまとめ、その中より重要な3種類のモニターに関して提案している。 第6章では、レーザー照射に伴う発熱による血液の熱凝固物形成を防止するための血液-光学窓界面の血液熱変性モニターを検討している。加熱による血液の光学特性の変化と形態変化の関係を詳細に調査し、血液と光学窓の界面の後方散乱光経時変化より血液の炭化が生じる前駆現象を検知し、それを防止するモニター技術を開発した。 第7章では、隣接臓器保全および確実な心筋電気伝導遮断を得るために治療深度を推定する細胞外光増感反応進行モニターを検討している。心筋内での細胞外光増感反応に関して、モデル化し薬剤蛍光経時変化から治療作用総量である一重項酸素産生量の相対値を推定する方法を導き、これを治療深度推定法に拡張した。さらにこの方法で求めた推定治療深度と実際に <i>in vivo</i> 動物実験で得られた治療深度を比較し、良好な相関を得た。 第8章では、光線過敏症のリスクを管理するための皮膚残留薬剤モニターを検討した。光増感反応を利用する各種治療で臨床上最大の問題点とされる皮膚日焼け症回避のための遮光期間を定量的に判断する支援方法として、表皮から安定した薬剤蛍光測定が可能な測定方法を提案し、動物実験によってその有効性を確認した。 第9章では、第6章から第8章にて検討したモニター装置の工学技術としての有効性を検証するとともに、医療機器としての有効性に関して論じた。 第10章は、結論である。 以上要するに、本論文は光増感反応を用いた不整脈アブレーション治療技術に付帯して必要な3種類のモニターに関して、工学的手法で詳細に検討し、それぞれ有効な性能を有するモニター技術に発展させた。本研究は循環器医学・医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 4160 号	氏 名	川口 宗紀
主論文題目： 母体財務を考慮した企業年金資産運用			
母体財務と年金制度は、母体財務が倒産した場合でも年金給付の原資を確保するために、原則として分別管理されてきた。そのため母体財務の事業特性を十分考慮されずに、年金資産の運用方針が決められてきた。しかし、年金資産の効率的な運用結果が企業年金制度の健全性に与える影響は大きく、実際には母体財務と企業年金は関係を持っており、切り離すことはできない。 そこで本論文では、年金運用戦略を決定する際に、母体財務の事業特性や財務状態を考慮することの重要性を定量的に明らかにする。このように考えることで企業年金制度の加入者にとっても望ましい年金運用戦略の導出が可能となる。また母体企業の株主や経営者にとっても望ましい運用となっている。 そのために、まず企業年金制度と母体財務との関係について整理し、現状の企業の事業リスクと年金運用リスクの比較を行う。そして、母体財務のリスク特性を考慮した最適な年金運用戦略問題を解くために、過去の決算データをもとに推定したモデルパラメータを設定し、最適化モデルを構築する。企業毎に、母体財務の事業リスクを考慮することによって、それぞれ望ましい年金運用戦略を導出することができる。 母体財務の事業リスクの特性を考慮するために、母体財務の事業リターンと運用資産のリターンとの相関に着目し、実務的にもよく使われている平均分散アプローチによって、最適な年金運用戦略の導出を行う。年金制度と母体財務のトータルリスクを最小化することを目的関数として、問題を定式化する。また、年金資産の運用では期待運用利回りを達成できなければ、将来の給付が確実に行えなくなることから制約条件として年金資産の運用リターンに下限制約を与えた。その結果、年金運用において母体財務の事業リスクと分散化した運用戦略を取ることが望ましいという示唆を得ることができた。具体的には、事業リターンと国内株式のリターンとの相関が高い化学や電気機器では国内株式への資産配分を抑えることや、外需依存度の高い企業では国内資産への資産配分を高めることが望ましいという結果が得られた。また、積立比率が小さい基金では年金運用のリスクを高める必要があり、その結果母体財務のリスクも高まってしまうことが示唆された。 さらに、母体財務の事業収益の景気感応度と年金運用における資産配分の景気感応度との関係について分析を行った。年金運用では景気循環を通じての中長期的見通しと、足もとの景気動向を織り込んだ短期的見通しの2つがあるが、両者を統合して扱うためにレジームスイッチングモデルを用いることで母体財務の事業リターンや資産価格のリターンをモデル化する。そして、多期間最適化モデルを用いて動的資産配分戦略の導出を行い、資産配分の景気感応度について考察した。事業リターンの景気感応度が高い企業は、それに応じて年金運用戦略の景気感応度を高める必要があるという結果を得た。 母体財務のリスク特性を考慮することによって、年金制度のみで考えた場合の運用戦略に比べて、より効率的な年金運用戦略を導出することができ、母体財務を含めたモデル化の重要性を定量的に明らかにすることができた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4160 号	氏 名	川口 宗紀
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 枇々木 規雄
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 今井 潤一
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 高橋 正子
		慶應義塾大学教授	Ph.D 小暮 厚之
学士、修士（工学）の川口 宗紀君提出の学位請求論文は「母体財務を考慮した企業年金資産運用」と題し、全 6 章より構成されている。 母体財務と年金制度は、母体企業が倒産した場合でも年金給付の原資を確保するために、原則として分別管理されている。そのため母体企業の事業特性は十分考慮されずに、年金資産の運用方針が決められてきた。しかし、年金資産の効率的な運用結果が企業年金制度の健全性に与える影響は大きく、実際には母体財務と企業年金は関係を持っており、切り離すことはできない。しかし、このような考え方のもとで最適な年金資産運用戦略を決めるモデルは存在していなかった。 そこで川口君は、現状の企業の事業リスクと年金運用リスクの比較を行うとともに、実務的にもよく使われている平均分散アプローチによる最適な年金運用戦略の導出法を提案した。さらに、レジームスイッチングを含めて景気局面を考慮できる多期間最適化モデルも提案し、母体企業の事業収益の景気感応度と年金運用における資産配分の景気感応度との関係の分析を行った。母体財務のリスク特性を考慮することによって、年金制度のみで考えた場合の運用戦略に比べて、より効率的な年金運用戦略を導出することができ、母体企業の事業特性や母体財務を含めたモデル化の重要性を定量的に明らかにした。 第 1 章では、本論文の背景と目的、本論文の特徴である母体財務を考慮することの重要性について述べている。 第 2 章では、本論文で対象とする日本の企業年金制度について概説を行うとともに、母体財務との関係や先行研究について説明し、本論文の位置づけを述べている。 第 3 章では、企業年金制度と母体財務の関係について整理し、実証分析を行って現状の企業の事業リスクと年金運用リスクの比較結果を示している。 第 4 章では、年金の資産配分を決定する際に、母体財務を考慮するためのモデルを提案している。特性の異なる企業を想定し、このモデルを使って企業に適した資産配分を導出し、企業の特長の違いによって望ましい資産配分が異なることを示すことで、年金運用において母体財務を考慮することの重要性を論じている。 第 5 章では、母体企業の事業収益の景気感応度と年金運用における資産配分の景気感応度との関係について分析を行い、レジームスイッチングモデルを用いることで母体企業の事業リターンや資産価格のリターンをモデル化している。多期間最適化モデルを用いて母体財務の事業リターンの景気感応度の違いが最適な動的運用戦略の景気感応度に影響を与えることを示している。 最後に第 6 章では、本論文のまとめと今後の課題を述べている。 以上要するに、本研究においては、母体財務と関係づけて企業年金の資産運用戦略を決定するモデルを提案し、様々な分析を通して、母体財務を考慮することの重要性を定量的に明らかにした研究成果をまとめたものであり、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4161号	氏 名	山下 遥
主 論 文 題 目： A Study on Principal Points for a Multivariate Binary Distribution (多変量 2 値分布における Principal Points に関する研究)			
近年、統計の分野において Principal Points に関する研究が数多く展開されている。Principal Points は“与えられた分布の代表点”として定義され、その理論的性質や応用について幅広く議論されてきたが、多変量 2 値分布に関する Principal Points に関する議論は今までされてこなかった。 本研究では、多変量 2 値分布における Principal Points を定義し、それを 2 値型 Principal Points と呼ぶことにする。この 2 値型 Principal Points は、k 個の 2 値ベクトルとして与えられ、多変量 2 値分布をその実現値で要約することを可能とする。この方法は、従来までの一連の Principal Points 研究に対して、適用範囲の拡張を可能とするものである。しかしながら、実際のデータ解析に 2 値型 Principal Points を適用する場合、データから真の分布を推定して 2 値型 Principal Points を求める必要がある。また、この問題は NP 困難な問題であり、特に多くの変数を含む分布において最適解を求めることは難しい。 そこで、まず与えられた多変量 2 値データから 2 値型 Principal Points を推定するための 2 つの方法を提案する。1 つ目は、与えられたデータから得られる確率分布をそのまま真の分布として 2 値型 Principal Points を求める方法、もう 1 つは、与えられたデータから得られる確率分布は、対数線形モデルで表されるものと仮定し、最尤法によって推定されたパラメータから得られる真の確率分布を基に 2 値型 Principal Points を求める方法である。前者の 2 値型 Principal Points の推定方法をノンパラメトリック法、後者の推定方法をパラメトリック法と呼ぶことにする。 また、2 値型 Principal Points が NP 困難な問題であることに対して、本研究は 3 つの近似解法を提案する。1 つ目は、貪欲法による近似解法、2 つ目は k-means 法を基礎にした 2 値型 k-means 法、そして、3 つ目は、k 個の 2 値型 Principal Points に対して $2k$ 個の候補を選び、近似解を求める方法である。1 つ目の方法は、2 値型 Principal Points の劣モジュラ性に基づいた近似解法で、その近似解は $(1-1/e)$ 倍以上の精度を保証することを理論的に示すことができる。2 つ目の方法は、Principal Points は少数個の代表点であることに注目して、問題のサイズを小さくしている。3 つ目の方法は、k-means アルゴリズムを多変量 2 値分布の解析のために改良した手法であり、2 値型 Principal Points の問題設定に最もよくフィットするが、初期値の問題を有している。これら 3 つの方法を比較するためにシミュレーションデータおよびアンケートデータに 2 値型 Principal Points の推定および 3 つの近似解法を適用し、それらの結果を比較する。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4161 号	氏 名	山下 遥
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）鈴木 秀男
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）櫻井 彰人
	副査	慶應義塾大学教授	学術博士 栗田 治
	副査	慶應義塾大学教授	Ph.D. 南 美穂子
学士（工学）、修士（工学）山下遥君の学位請求論文は「A Study on Principal Points for a Multivariate Binary Distribution（多変量 2 値分布における Principal Points に関する研究）」と題し、全 7 章からなる。 近年、統計の分野において principal points に関する研究が数多く展開されている。principal points は「与えられた分布の代表点（分布を近似するための点）」として定義され、各点からの 2 乗距離の期待値を最小化するように定める。連続的確率変数を中心に、その理論的性質や応用について幅広く議論されてきたが、多変量 2 値分布に関する principal points に関する議論はほとんど行われていない。本論文では、多変量 2 値分布における principal points を定義し、その principal points の推定方法の定式化および 2 値型 principal points を求める問題が NP 困難な問題であることに対する近似アルゴリズムの提案と有効性の検証を行っている。 第 1 章は本論文の序論である。本研究の背景、目的、関連研究、本論文の構成について述べている。 第 2 章では、Flury による principal points の定義を踏まえて、多変量 2 値分布における principal points（2 値型 principal points）の定義を示している。また、2 値型 principal points と k-means 法、k-medoids 法との比較を議論して、2 値型 principal points の意義を明確にしている。 第 3 章では、与えられた多変量 2 値データから 2 値型 principal points を推定するための 2 つの方法を提案している。1 つ目は、与えられたデータに基づく経験分布に対して 2 値型 principal points を求める方法（ノンパラメトリック法）である。2 つ目は、主効果と交互作用を考慮した対数線形モデルで表される確率モデルを仮定し、最尤法によって推定されたパラメータから得られる確率分布に対して 2 値型 principal points を求める方法（パラメトリック法）を示している。シミュレーションにより両者の比較検討を行っている。 第 4 章と 5 章では、2 値型 principal points を求める問題が NP 困難な問題であることに対して、3 つの近似解法を提案している。1 つ目は、2 値型 principal points の劣モジュラ性に基づいた近似解法であり、その近似解の関数値は最適値の $(1-1/e)$ 倍以上を保証することを理論的に示している。2 つ目は、k-means 法に基づく方法（2 型 k-means 法）であり、principal points が少数個の代表点であることに注目して問題のサイズを小さくしている。3 つ目は、k-means アルゴリズムを多変量 2 値分布の解析のために改良した手法である。2 値型 principal points の問題設定に最もよくフィットするが、初期値の設定が結果に影響する問題を有している。 第 6 章では、第 4 章と 5 章で示した 3 つの方法を比較するために、シミュレーションデータおよびアンケートデータから 2 値型 principal points の推定および 3 つの近似解法を適用し、それらの結果を比較検討している。 第 7 章では、本論文のまとめと今後の課題と展望について述べている。 以上要するに本論文では、多変量 2 値分布における principal points の定義を示し、対数線形モデルを用いて推定された確率モデルに対する 2 値型 principal points の推定法の定式化、2 値型 principal points を求めるための近似アルゴリズムの提案を行い、シミュレーションや実データ解析により有効性を実証したものである。これらの成果は、今後の離散型データ解析の発展に寄与するものと考えられ、また、高次元データの縮約など、ビッグデータ解析への展開も期待でき、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4162号	氏 名	滝口 広樹
主論文題目： 近赤外レーザー誘起表面波を用いた粘性率・表面張力の高速センシング手法の開発とその応用に関する研究			
液体の熱物性値のひとつである粘性率は、食品・医療産業を中心とする工学分野における物性、品質制御や輸送効率の評価指標であり、多様な環境のもとインプロセスで適用できる測定技術の開発が求められている。しかし、キャピラリー粘度計などの古典的従来法では、サンプリングを必要とする接触式である上、原理的に10～100 s程度の測定時間がかかってしまい、<i>in-situ</i>測定に応用するには不十分である。そこで本研究では、ナノ・マイクロスケールの微細な表面波の減衰挙動から粘性率・表面張力を光学的手法により決定できる、近赤外レーザー誘起表面波（Near-infrared Laser-induced Capillary Wave: NIR-LiCW）法を開発した。また、本手法の高時間分解能測定技術への適用可能性を明らかにするために、食品・生体サンプルを用いた検証を行った。 第1章では、研究背景と工学・理学分野における高速センシングの必要性を概説した。本論文では、食品および生体サンプルに着目し、従来の研究例を紹介し問題点を洗い出した。また、実用的な粘性率センシング装置の開発には高速・非接触の要素だけでなく、非ニュートン流体に対応する必要性があることを述べた。 第2章では、NIR-LiCWの測定原理、理論解の導出ならびに実験装置について述べた。また、測定パラメータである粘性率と表面張力に関して、表面波減衰挙動に対する感度解析を行い、両熱物性値の分離解析が可能であることを確認した。さらに、物性値が既知の計10種類のニュートン流体の測定を行い、両熱物性値ともに文献値と±5 %以内の偏差で一致したことより、熱物性計測法としての妥当性を明らかにした。 第3章では、NIR-LiCW特有の加熱方式である「体積加熱」に焦点を当て、本研究で従来採用していた遠赤外レーザー誘起表面波（Far-infrared Laser-induced Capillary Wave: FIR-LiCW）法の加熱方式である表面加熱との比較について4項目検討し、体積加熱がもたらす測定上のメリットを明らかにした。体積加熱の場合、水や有機溶媒の吸収長がミリメートルと表面加熱に比べて相対的に吸収が弱くなるため、液面の温度上昇がミリケルビンまで抑制されることを理論的に確認した。さらに、液面の温度上昇が表面加熱の場合の1/1000以下となることで、表面張力温度依存性の影響が無視できるため測定不確かさが小さくなり、またこのとき表面加熱の場合と同じナノスケールの表面波が誘起できることを明らかにした。 第4章では、第3章で示した体積加熱のメリットを活かし、牛乳たんぱく質および血液凝固を対象としたたんぱく質変性プロセスに関する実験検討について述べている。本測定法の測定時間分解能を向上させるために、サンプルの液面高さ自動制御機構の開発と実験装置への導入について検討している。本機構を用いて、時間分解能1～5 sでの変性プロセスにおける粘性率センシングを行い、食品・生体サンプルを用いた高速センシングへの応用の妥当性を明らかにしている。また、食品増粘剤と医薬製剤を含む非ニュートン流体サンプルの粘性率を測定し、かつ理論的に計算されるせん断速度からサンプルが有する非ニュートン性の評価を行い、本測定法の非ニュートン流体測定への応用可能性について示している。 第5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。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4162 号	氏 名	滝口 広樹
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 工学博士 長坂 雄次			
副査 慶應義塾大学教授 工学博士 澤田 達男			
慶應義塾大学教授 工学博士 寺坂 宏一			
慶應義塾大学准教授 博士(工学) 田口 良広			
学士(工学), 修士(工学)滝口広樹君提出の学位請求論文は「近赤外レーザー誘起表面波を用いた粘性率・表面張力の高速センシング手法の開発とその応用に関する研究」と題し, 5 章から構成されている。 液体の粘性率と表面張力は, 様々な工学分野において輸送効率や品質管理の評価指標となる熱物性値であり, 多様な環境下でインプロセスに適用できる測定技術の開発が求められている。しかし, 毛細管粘度計などの古典的手法は, 試料のサンプリング後 10~100 s 程度の測定時間を要し, インプロセス測定に応用することは困難だった。本論文の著者は, ナノ・マイクロスケールの微細な表面波の減衰振動挙動から粘性率と表面張力を光学的に測定可能な, 近赤外レーザー誘起表面波 (Near-infrared Laser-induced Capillary Wave: NIR-LiCW) 法を開発し, 本手法の高速センシング手法としての適用可能性を明らかにするために, 食品・生体サンプルを用いた検証を行っている。 第 1 章では, 研究背景および様々な分野における粘性率・表面張力高速センシングの必要性を概説し, 特に食品および生体サンプルに着目して, 従来法による問題点を示している。また, 実用的な粘性率センシング装置の開発には高速・非接触の要素だけでなく, 非ニュートン流体に対応する必要性があることも述べている。 第 2 章では, NIR-LiCW 法の測定原理, 理論解の導出ならびに実験装置について述べている。粘性率と表面張力に関して, 表面波減衰振動挙動に対する感度解析を行い, 両熱物性値の分離解析が可能であることを明らかにしている。また, 体積加熱の場合, 水や有機溶媒の吸収長が mm オーダーとなり表面加熱に比べて吸収が相対的に弱くなるため, 液面の温度上昇が mK レベルまで低減されることを理論的に確認している。液面の温度上昇が表面加熱の場合の 1/1000 以下になることで, 表面張力温度依存性の影響が無視できるため, 測定不確かさが小さくなることを示している。さらに, 物性値が既知の 10 種類のニュートン流体の測定を行い, 粘性率と表面張力ともに文献値と$\pm 5\%$以内の偏差で一致することを示し, 本手法の熱物性計測法としての妥当性を明らかにしている。 第 3 章では, NIR-LiCW 法特有の体積加熱に焦点を当て, 従来法の遠赤外レーザー誘起表面波法の表面加熱と比較検討を行い, 体積加熱がもたらす測定上のメリットを明らかにしている。 第 4 章では, 第 3 章で示した体積加熱のメリットを活かし, 牛乳たんぱく質および血液の凝固を対象としたたんぱく質変性プロセスに関する実験検討について述べている。本測定法の測定時間分解能を向上させるために, サンプルの液面高さ自動制御機構の開発と実験装置への導入について検討している。本機構を用いて, タンパク質変性プロセスの粘性率センシングを時間分解能 1~5 s で行い, 食品・生体サンプルを用いた高速センシングへの応用の妥当性を明らかにしている。また, 食品増粘剤と医薬製剤を含む非ニュートン流体サンプルの粘性率を測定し, 理論的に計算されるせん断速度からサンプルの非ニュートン性の評価を行い, 本測定法の非ニュートン流体測定への応用可能性について示している。 第 5 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ている。 以上要するに, 本研究は近赤外レーザー誘起表面波法を開発し, 食品・生体サンプルを用いて粘性率・表面張力を高速センシングすることが可能であることを実証しており, 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 4163 号	氏 名	内藤 弘士
主 論 文 題 目： Numerical Studies on Control of Flow Around a Circular Cylinder (円柱周り流れの制御に関する数値的研究)			
鈍頭物体周りの流れで生じる種々の問題を解決するため、これまで様々な制御手法が提案され、研究されてきた。しかしこれらの制御手法はそれぞれ使用可能な環境が限定されており、またそのパフォーマンスにも未だ改善の余地が残る。本論文では鈍頭物体として最も単純な形状である円柱を取り扱い、その流れ場に対する以下の二種類の制御に関する数値的研究を行った。特に本論文ではエネルギー散逸に着目をし、受動的制御におけるその役割、および制御効果とエネルギー散逸の間の関係を明らかにした。 一つ目の研究では、直接数値シミュレーション (DNS) およびラージエディシミュレーション (LES) を用いて多孔質体表面適用による円柱周りの流れ場の制御に関する調査を行った。まず予備的調査として、レイノルズ数 $Re = 1000$ における DNS により空隙率、透過率の最適な組み合わせを求めた。次いでそれらの値を用いて三次元 DNS を行った。また、異なるレイノルズ数および異なる多孔質体厚さにおける数値シミュレーションを行った。その結果、流れ場の三次元性および変動成分は多孔質体により抑制されており、この制御効果は多孔質体が厚く、レイノルズ数が高いほどより顕著になることが分かった。最も効果的であったケースでは渦放出が完全に抑制され、先行研究の実験結果と同様な流れ場が再現された。さらに、多孔質体表面のすべり速度および多孔質体内部でのエネルギー散逸過程が、流れ場の変化のメカニズムに対して重要な役割を担っていることを明らかにした。 二つ目の研究では、このエネルギー散逸による制御機構を踏まえ、円柱周りの流れ場のエネルギー散逸の最小化を目的とした能動制御を二次元 DNS により調査した。まず、理論解析により流体場のエネルギー散逸と円柱壁面上の物理量を関係づける恒等式を導出し、導出した式を評価関数として取り扱い、準最適制御理論を用いたエネルギー散逸抑制のための新たな制御スキームを構築した。制御効果を最適化するため、制御インターバルに関するパラメータスタディを行い、過去に提案された制御スキームとの比較を行った。その結果、レイノルズ数 $Re = 100$ の場合には既存の準最適制御に対する優位性は見られなかったものの、$Re = 1000$ の場合にはエネルギー散逸がより抑制されていることが分かった。また、抵抗係数やエネルギー効率においても他の制御スキームに対する優位性を示すことが分かった。さらに得られた制御入力にはセンサーを用いないプレデターミンド制御や三次元流れの制御においても高い制御効果を有することが示された。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4163 号	氏 名	内藤 弘士
論文審査担当者： 主査	慶應義塾大学准教授	博士(工学)・TeknD	深淵 康二
副査	慶應義塾大学教授	Dr.-Ing.	小尾 晋之介
	慶應義塾大学教授	博士(工学)	松尾 亜紀子
	慶應義塾大学教授	博士(工学)	小林 宏充

学士(工学), 修士(工学), 内藤弘士君提出の学位請求論文は「Numerical Studies on Control of Flow Around a Circular Cylinder (円柱周り流れの制御に関する数値的研究)」と題し, 本論 5 章, 付録 1 章により構成されている。

円柱や角柱など, 流線形状でない物体, 即ち鈍頭物体周りの流れでは, 流れの剥離・再付着や非定常な渦放出などにより, 振動や騒音などの様々な問題が生じる。例えば, 新幹線のパンタグラフにおける非定常渦放出による騒音は, 高速運転時における最たる騒音源の一つとなっており, それが新幹線の更なる高速運転を妨げる要因の一つとなっている。これら種々の問題を解決するため, 鈍頭物体周りの流れに関して, これまで様々な制御デバイスが提案され研究されてきたが, 既存の制御デバイスは使用可能な環境が限定されており, またその効果にも改善の余地が残る。

本論文ではその鈍頭物体の中で最も基本的な形状である円柱を取り扱い, 特に渦放出の抑制を目的として, 二種類の制御手法に関する数値的研究を行った。その中で特に流体のエネルギー散逸に着目し, 制御効果とエネルギー散逸の間の関係を明らかにした。

各章の内容は以下のとおりである。

第 1 章は序論であり, 研究の背景, 動機, 関連研究, 研究目的を述べている。

第 2 章では, 円柱周り流れの数値シミュレーション手法のうち, 低レイノルズ数流れの計算で用いた, 乱流モデルを用いない手法である直接数値シミュレーション (DNS), および高レイノルズ数流れの計算で用いた, 小スケールの普遍的な渦のみをモデル化するラージ・エディ・シミュレーション (LES) の概略について述べている。

第 3 章では, 多孔質体表面適用による円柱周りの流れ場の制御に関する調査結果について述べている。まずレイノルズ数 $Re = 1000$ における二次元 DNS により空隙率や透過率の最適値を求めた。次いで異なるレイノルズ数および多孔質体厚さにおける三次元 DNS あるいは LES を行った。その結果, 多孔質体による流れ場の三次元性および変動の抑制効果は多孔質体が厚く, レイノルズ数が高いほどより顕著になることを見出した。最も高いレイノルズ数のケースでは渦放出が完全に抑制され, 先行研究の実験結果と同様な流れ場を再現し得た。さらに, 多孔質体の表面すべり速度および内部でのエネルギー散逸が, その機構において重要な役割を担っていることを明らかにした。

第 4 章では, 前章で得られた機構を踏まえ, 円柱周りの流れ場のエネルギー散逸の最小化を目的とした能動制御の効果を二次元 DNS により調査した。まず, 理論解析によりエネルギー散逸と円柱壁面上の物理量を関係づける恒等式を導出し, これを評価関数とした準最適制御を行い, 過去に提案された制御則による制御効果との比較を行った。その結果, レイノルズ数 $Re = 100$ の場合には既存の準最適制御に対する優位性は見られなかったものの, $Re = 1000$ の場合にはエネルギー散逸がより抑制されていることを見出した。さらに得られた制御入力にセンサーを用いないプレデターミンド制御や三次元流れの制御においても既存の制御より高い制御効果を有することを示した。

第 5 章は結論であり, 本研究の結果の総括と今後の展望を述べている。

付録では, 本研究で用いた数値シミュレーション手法の詳細を記述している。

以上をまとめると, 本論文で得られた, 渦放出の抑制にはエネルギー散逸が深く関与しており, これを評価関数とした準最適制御によって渦放出を効果的に減少させる制御則が構築できる, という成果は, 今後より一般的な形状の鈍頭物体の周りの流れにおける渦放出の抑制に対する重要な基礎的知見となっている。また, これらの成果は著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力および豊かな学識を有することを証したものである。

よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第4164号	氏 名	伊藤 和幸
主 論 文 題 目：			
次世代 LSI 配線に向けた多層グラフェンの電気的特性に関する研究			
シリコン大規模集積回路(Si-LSI)の高密度集積に伴う配線の微細化により、従来の銅配線では、電気抵抗の増大とエレクトロマイグレーション等による信頼性低下が顕在化し、さらなる微細化が困難であることが明らかとなってきた。そこで銅に代わる新しい配線材料としてグラフェンに注目が集まっている。炭素の2次元原子状薄膜である単層グラフェンは、電子移動度と電流密度耐性において、いずれも銅を凌ぐことが理論的、実験的に報告されているが、配線応用に適した多層のグラフェンについては、層数に対する伝導特性の変化や金属との低抵抗接合技術、低温での高品質合成技術など、多くの未解決な課題が残されている。以上のような背景のもと、本研究では、多層グラフェンの配線応用実現のため、多層グラフェンの伝導特性及びグラフェンと金属の低抵抗コンタクト構造を解明するとともに、局所加熱による熱ダメージの少ない新しい低温 CVD 成長技術を示すことを目的とした。 第1章は序論であり、現在の Si-LSI の銅配線技術の課題とグラフェンの特長及び配線応用への課題を概説し、本研究の目的を述べた。 第2章では、本研究で用いたグラフェンの転写技術、加工技術、評価技術などについて詳説した。 第3章では、多層グラフェンの伝導特性を明らかにするため、グラフェン表面に付けた Top-contact 構造の電極を電子線描画法によって多数作製し、これらを用いた4端子測定法によって、厳密に層数判定した多層グラフェンによって、電気抵抗の層数依存性を初めて明らかにした。グラフェン層数の局所的厳密評価には、透過型電子顕微鏡(TEM)測定を用いた。またチップサイズでの大まかな層数判定のため、数層グラフェンに使用されてきた簡便な光学的判定法に、RGB 信号別解析を加えることで数10層以上の多層グラフェン用に拡張した光学層数判定法を考案した。得られた層数依存性は、グラフェンの層内抵抗と層間抵抗とを多段に組み合わせた多段梯子回路モデルに基づき考察を加えた。その結果、数μm以上の長さを持つ配線では、層間抵抗よりむしろ層内抵抗が配線抵抗に支配的であることが分かった。また層数が30層以上になると Top-contact 構造電極では、配線抵抗が飽和することが見出された。 第4章では、多層グラフェンと金属電極とのコンタクト構造として、グラフェンのエッジに金属電極を接合した End-contact 構造を作製し、Top-contact 構造とのコンタクト特性の違いについて、伝送長法(TLM 法)を用いて明らかにした。さらに End-contact 構造では、450°C程度の低温熱処理によって、大幅なコンタクト抵抗の低減を確認し、これが接合界面に金属カーバイド層が形成されるために生じた可能性があることを X 線光電子分光測定によって示した。これらの成果を統合し、End-contact 構造によって、Top-contact に比べて2桁低く、またノンドープ多層グラフェンに対して、今まで報告された中で最も低いコンタクト抵抗率である $7.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{cm}^2$ を得た。 第5章では、低温での高品質多層グラフェン合成を目指し、新たに考案したヒートビーム CVD 技術の原理について詳述した。この技術では、加熱した不活性ガスを基板表面に原料ガスとともに吹き付けることで表面のみを局所加熱し、基板全体の熱負荷を減らすことができる。合成したグラフェンのラマン分光法測定と TEM 観察から、多層グラフェンの合成を確認し、さらに基板に対して垂直方向に成長した縦方向に伸びるグラフェン構造を発見した。この構造は、低温での多層グラフェン成長機構として提案されているファセット成長機構を示唆しており、さらには、配線のみならず新たなデバイス応用の可能性を拓げるものであることを示した。 第6章は本研究の結論であり、本研究により得られた結果を総括し、今後の展望について述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4164 号	氏 名	伊藤 和幸
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 工学博士 栗野 祐二			
副査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 齋木 敏治			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 内田 建			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 牧 英之			

学士(工学)、修士(工学)伊藤和幸君の学位請求論文は「次世代 LSI 配線に向けた多層グラフェンの電気的特性に関する研究」と題し、6 章から構成されている。

シリコン大規模集積回路(Si-LSI)の高密度集積化に伴う配線の微細化により、従来の銅配線では、電気抵抗の増大とエレクトロマイグレーション等による信頼性低下が顕在化し、さらなる微細化が困難であることが明らかとなりつつある。そこで銅に代わる新しい金属材料として、電子移動度や電流密度耐性で銅を凌ぐことが報告されている炭素の 2 次元原子状薄膜であるグラフェンに注目が集まっている。しかしながら、配線応用に適した多層グラフェンについては、その伝導特性や接合技術、低温での高品質合成法など、未解決な課題が多く残されている。そこで本研究では、多層グラフェンの LSI 配線応用に向けて、グラフェン層数に対する伝導特性の変化や低抵抗コンタクト構造を明らかにし、さらには熱ダメージの少ない低温 CVD 成長技術の提案を行っている。

第 1 章は序論であり、現在の Si-LSI の銅配線技術の課題とグラフェンの特長及び配線応用への課題を説明し、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、本研究で用いたグラフェンの転写、加工、評価技術について詳説している。

第 3 章では、多層グラフェンの伝導特性を明らかにするため、厳密に層数判定した多層グラフェンを用い、電子線描画法によって作製した Top-contact 電極による 4 端子測定を行い、電気抵抗の層数依存性を初めて明らかにしている。層数の局所的厳密評価には、透過型電子顕微鏡 (TEM) 測定を用いている。また数 10 層以上のグラフェンに対する簡便な光学層数判定法も考案している。得られた層数依存性は、層内抵抗と層間抵抗とを多段に組み合わせた多段梯子回路モデルに基づいて考察し、数 μm 以上の配線では、層間よりむしろ層内抵抗が配線抵抗に支配的であることを明らかにしている。また Top-contact 構造では 30 層以上で配線抵抗が飽和することを見出している。

第 4 章では、多層グラフェンと金属電極との最適なコンタクト構造解明のため、グラフェンのエッジに金属接合した End-contact 構造を作製し、Top-contact 構造との特性の違いについて伝送長法 (TLM 法) によって明らかにしている。また End-contact 構造では 450°C 程度の低温熱処理によって、大幅なコンタクト抵抗低減が確認され、このとき接合界面に金属カーバイド層が形成されていることを X 線光電子分光測定から明らかにしている。これらの考察から、End-contact 構造によって Top-contact に比べ 2 桁低く、またノンドープ多層グラフェンでは、今まで報告された中で最も低いコンタクト抵抗率である $7.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{cm}^2$ を得ている。

第 5 章では、低温での高品質多層グラフェン合成を目指し、新たに考案したヒートビーム CVD 技術について詳述している。この技術では、加熱した不活性ガスを基板表面に原料ガスとともに吹き付けることで表面のみを局所加熱し、基板全体の熱負荷を減らすことができる。合成したグラフェンのラマン分光法測定と TEM 観察から、多層グラフェン合成を確認し、さらに基板に対して垂直方向に成長した縦方向に伸びるグラフェン構造を発見している。この構造は、低温での多層グラフェンの成長機構として提案されているファセット成長機構を示唆するものであり、配線のみならず新たなデバイス応用の可能性を拡げるものであることを示している。

第 6 章は本研究の結論であり、本研究の成果を総括し、今後の展望について述べている。

以上要するに、本研究は多層グラフェンの伝導特性の層数依存性及び最適コンタクト構造を実験によって明らかにし、また低温での高品質多層グラフェン合成のための新しい CVD 合成法を提案するものであり、半導体デバイス・集積回路分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4165	Name	Afiahayati
Thesis Title			
Development of <i>de novo</i> assemblers for metagenomic sequencing data			
Next-generation sequencing (NGS) technologies allow the exploration of complex metagenomes in an effective manner, at lower cost and higher throughput. The throughput of metagenomic sequencing data generated by NGS technologies raise the bottlenecks in the computational analysis. Metagenomes has presented a number of additional assembly challenges, how to assemble multiple genomes from mixed sequence reads of multiple species. Assemblers that can generate longer and more accurate scaffolds help to extract more information for analysis tasks of metagenomes. A <i>de novo</i> assembler for single-genome is not capable of resolving metagenomic sequence data, therefore <i>de novo</i> assemblers designed specifically for metagenomes are indispensable. In this dissertation, we present two <i>de novo</i> assemblers for metagenomic sequencing data generated by the NGS technologies. First, we propose a <i>de novo</i> metagenomic assembler specifically designed for the huge numbers of short reads (36-150 bp) generated by Illumina-type next-generation sequencers. This NGS technology enables deep sequencing of the inhomogeneous and divergent species in a microbial community. Second, we propose a <i>de novo</i> metagenomic assembler specifically designed for rather long sequence reads generated by 454 sequencing technology (200-500 bp). The 454 sequencing technology has been used for metagenomic analysis. In Chapter 1, the importance of <i>de novo</i> metagenomic assemblers was introduced. In Chapter 2, a <i>de novo</i> metagenomic assembler for short sequence reads was described. We extended a <i>de novo</i> assembler for single genome, Velvet, to a <i>de novo</i> metagenomic assembler utilizing supervised learning, named MetaVelvet-SL. MetaVelvet-SL improved a metagenomic assembler, MetaVelvet, in classifying chimeric nodes. MetaVelvet detects chimeric nodes in the assembly (de Bruijn) graph using simple heuristics which results in low accuracy and low sensitivity preventing the generation of longer contigs and scaffolds. MetaVelvet-SL significantly improved the original MetaVelvet in classifying chimeric nodes and generating accurate longer assemblies. MetaVelvet-SL also outperformed other state-of-the-art metagenomic assemblers, IDBA-UD, Ray Meta and Omega to reconstruct accurate longer assemblies. In Chapter 3, a <i>de novo</i> metagenomic assembler for sequence reads generated by 454 sequencing technology was described. We extended a <i>de novo</i> metagenomic assembler,			

Genovo, by incorporating paired-end information, named Xgenovo, so that it generates accurate longer assemblies with paired-end reads. Genovo, is a de novo assembler for metagenomes under a generative probabilistic model. Paired-end sequencing is currently widely-used yet Genovo was designed for 454 single end reads. Unlike other assemblers which used paired-end information to generate scaffold, we attempted to increase the assembly performance without the aim of generating scaffold but attempted to map reads to the contigs in correct location. Xgenovo successfully generated longer N50 than the original Genovo and another metagenomic assembler for 454 sequencing technology, MAP. Xgenovo also demonstrated the potential to decrease the computational cost.

In Chapter 4, this study was summarized and future works were discussed.

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4165 号	氏 名	Afiahayati
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 榊原 康文
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡 浩太郎
		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（地球環境科学） 土居 信英
Gadjah Mada University (Indonesia) 修士課程(Computer Science) 修了の Afiahayati 君提出の学位請求論文は「Development of <i>de novo</i> assemblers for metagenomic sequencing data (シーケンズデータからメタゲノム配列を決定するアセンブラーの開発)」と題し、4 章から構成されている。 全細菌の 99% 以上を占め、生物資源として有望な難培養性細菌の研究手法として、培養を経ずに環境細菌叢 DNA の配列情報を直接かつ網羅的に抽出するメタゲノム解析が提案されている。メタゲノム解析における重要な情報解析の一つは、細菌叢中から抽出された様々な菌種由来の断片配列が混合したシーケンズデータから、複数のゲノム配列を復元することである。ゲノム断片配列（リード）を重ね合わせて、より長い配列（コンティグ）を復元する処理をアセンブリといい、アセンブリを行うソフトウェアをアセンブラーと呼ぶ。メタゲノム専用のアセンブラーの開発により、配列長が長くキメラの少ない高品質なコンティグの決定が可能になれば、菌種組成同定の精度向上や、新規遺伝子の発見など、より有益な知見が得られる。 本研究は、近年のゲノム解読に対して革新をもたらした次世代シーケンサーの二つのプラットフォームに対して、新しいアセンブリ手法を提案した。第 1 の手法は、Illumina 型シーケンサーの短い大量のリードデータからメタゲノム配列をアセンブリする問題を扱う。第 2 の手法は、454 型シーケンサーのややリード長が長いデータからアセンブリする問題を扱う。 本論文の第 1 章では、メタゲノム解析とアセンブリ手法の問題の重要性について述べるとともに、本研究で扱う 2 つの課題について概説した。 第 2 章では、まずメタゲノム配列のアセンブリで存在する問題点について述べた。それは、異なる菌種間で高度に保存されている共通配列の存在により、複数種由来の配列を含むキメラコンティグが発生してしまうことである。この問題を解決するためにメタゲノム対応型アセンブラー MetaVelvet が提案されている。しかし、その精度が十分でないという課題が残されていた。本研究は、この課題を機械学習の方法を適用して解決し、より長くかつ質の高いアセンブリを行う MetaVelvet-SL を設計して実装した。シミュレーションによる人工メタゲノム配列データとヒト腸内メタゲノム配列の実データを用いて MetaVelvet-SL の性能を評価したところ、MetaVelvet-SL は、元の MetaVelvet より高精度のアセンブリを出力し、またこれまでに提案されている他手法と比べても高性能であることが示された。 第 3 章では、ややリード長の長いデータからアセンブリを行うために、ゲノムアセンブリ問題を、リードデータを生成する確率モデルの同定問題として捉えることにより、従来のアセンブリグラフを用いる方法とは異なる新しいメタゲノムアセンブラー Xgenovo を設計して、実装した。ペアエンドと呼ばれるリードデータを活用して、確率モデルを精度良く効率的に求めるアルゴリズムを考案した。人工データを用いて性能評価を行った結果、Xgenovo は従来の手法よりも高精度かつ高速にアセンブリを行うことを示すことができた。 第 4 章では、本研究を総括するとともに、開発したメタゲノムアセンブラーについて今後の応用可能性を議論した。 以上結論として、高精度かつ効率的なメタゲノムアセンブラーを開発することで、メタゲノム解析研究の加速に大きく貢献することが示された。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4166 号	氏 名	坪 龍志
主 論 文 題 目：			
光学活性 1-クロロビニルコバルト(III)錯体触媒を用いる不斉合成反応の開発			
カルボニル化合物やイミン類に対する不斉還元反応は、医薬や農薬、機能性材料など光学活性化化合物の合成原料の効率的な供給手段として活発に研究されている。筆者の所属する研究グループでは、光学活性なケトイミナトコバルト錯体を用いる触媒的不斉ボロヒドリド還元反応により、種々の芳香族ケトン類が対応する光学活性第二級アルコールが高エナンチオ選択的に得られることを報告した。しかし、脂肪族ケトン類にこの反応系を適用した場合、得られる脂肪族第二級アルコールの不斉収率は満足できるレベルではなく、エナンチオ選択性の向上が課題として残されていた。 芳香族ケトンの還元反応では、溶媒量または触媒量のクロロホルムが高いエナンチオ選択性の発現に必須であり、分析および理論化学計算的手法によりクロロホルム由来のジクロロメチル基がコバルト錯体の軸配位子として結合し、触媒として作用していることが示唆されていた。第1章では提案された遷移状態モデルに基づき、脂肪族ケトンの還元反応におけるエナンチオ選択性の向上を目的とし、効果的に作用する新たな軸配位子の探索を行った。種々のハロアルカン類を検討した結果、1,1,1-トリクロロエタンを用いた場合に選択性に大幅な改善がみられ、第三級アルキルケトンに対し高い不斉収率で対応する第2級アルコールを得ることに成功した。反応溶液の質量分析に加え、反応終了後回収された錯体の NMR 測定および X 結晶構造解析によってコバルト錯体中間体の構造が決定された。その結果、コバルト錯体には予想していた 1,1-ジクロロエチル基ではなく 1-クロロビニル基が軸配位子として結合していることが示された。また、回収された 1-クロロビニルコバルト(III)錯体は反応活性種の前駆体であり、本還元反応において触媒として高いエナンチオ選択性を実現していることも明らかとなった。さらに、1-クロロビニルコバルト(III)錯体が複数回再利用可能であることも見出し、脂肪族ケトンおよび芳香族ケトンの不斉ボロヒドリド還元反応において触媒リサイクルを実現した。 第2章では、新たに得られた 1-クロロビニルコバルト(III)錯体の安定性および特徴的な構造に基づく高い不斉認識能力を活用した新たな不斉合成反応への展開について述べている。クリーンで効率的な炭素-炭素結合形成反応である Michael 付加反応に対し、1-クロロビニルコバルト(III)錯体の適用を試みた。還元反応においてもコバルト錯体の軸配位子とともに高い選択性の発現に不可欠であったアルカリ金属イオンを対カチオンとする塩基を用い最適な反応条件の検討を行った。その結果、触媒量のコバルト(III)錯体およびナトリウムアルコキシド存在下、様々なマロン酸エステルと α,β-不飽和ケトンとの組み合わせにおいて Michael 付加反応は触媒的かつエナンチオ選択的に進行し、対応する 1,4-付加体を高いエナンチオ選択性で得ることに成功した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4166 号	氏 名	坪 龍志
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 山田 徹
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 垣内 史敏
		慶應義塾大学教授	工学博士 戸嶋 一敦
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 高尾 賢一
学士（理学）、修士（理学）坪 龍志 君の学位請求論文は、「光学活性 1-クロロビニルコバルト (III)錯体触媒を用いる不斉合成反応の開発」と題し、4 章 1 3 節から構成されている。 医薬品など生体機能化合物の合成では特定の立体異性体を選択的に供給することが求められており、その方法として特に触媒的不斉合成反応の開発が重要な研究分野として認識されている。著者の所属する研究グループではこれまでに、工業的に利用可能な水素化ホウ素ナトリウムを還元剤とするカルボニル化合物の不斉還元を実現する、光学活性ケトイミナトコバルト(II)錯体の不斉触媒反応を報告した。しかしこれまでは、基質の適用可能範囲は芳香族ケトン類に限定されており、より一般的な不斉触媒反応への展開が望まれていた。また、高価な触媒の回収再利用も触媒化学上の重要な課題であり、著者は反応中間体の構造の詳細な分析に基づく新規な触媒設計により、これらの課題の解決に成功した。 第 1 章では、光学活性ケトイミナトコバルト錯体を用いる触媒的不斉ボロヒドリド還元反応の脂肪族ケトンへの展開について述べている。芳香族ケトンに対する還元反応において分析化学的または理論化学的に提案された遷移状態モデルに基づき、脂肪族ケトンに対する反応において錯体触媒の軸配位子に関する検討を行った結果、1,1,1-トリクロロエタンを軸配位子の前駆体として添加した場合に、種々の第三級アルキルケトンに対し高いエナンチオ選択性が発現することを見出した。質量分析による詳細な検討の結果、本還元反応では 2 価のコバルト錯体と 1,1,1-トリクロロエタンから、1-クロロビニル基が結合した 3 価のコバルト錯体が生成していることが明らかとなり、不斉触媒として対応する光学活性第二級アルコールを与えることがわかった。 第 2 章では、1-クロロビニル基が結合した比較的安定な中間体の NMR 分析に成功したほか、得られた単結晶の X 線結晶構造解析により、1-クロロビニルコバルト(III)錯体が中間体であることを確認したことについて述べている。 第 3 章では、1-クロロビニルコバルト(III)錯体が比較的安定である性質に基づき、不斉触媒のリサイクル系構築に取り組み、錯体の回収方法の検討の結果複数回の再利用に成功したことを詳細に述べている。 第 4 章では、新たに得られた 1-クロロビニルコバルト(III)錯体の安定性および特徴的な構造に基づく高い不斉認識能力を利用し、新たな不斉合成反応への展開について述べている。Michael 付加反応に 1-クロロビニルコバルト(III)錯体触媒を適用し、共役付加反応による不斉炭素 - 炭素結合形成反応の開発に取り組んだ。還元反応においてもコバルト錯体の軸配位子とともに高い選択性の発現に不可欠であったアルカリ金属を対カチオンとする塩基を用い検討を行ったところ、触媒量のコバルト(III)錯体およびナトリウムアルコキシド存在下、様々なマロン酸エステルと α, β-不飽和ケトンとの組み合わせにおいて Michael 付加反応は触媒的かつエナンチオ選択的に進行し、対応する 1,4-付加体を高いエナンチオ選択性で得ることに成功したことについて述べている。 以上のように本論文の著者は、光学活性化合物の合成に関して、新しい構造の不斉合成触媒の開発研究に多大の貢献が認められる。 よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第4167号	氏 名	平 敬
主論文題目：			
カルコゲナイド相変化材料を用いた局在表面プラズモン共鳴スイッチング			
ナノスケールの金属粒子や金属構造体に特有の光学現象である局在表面プラズモン共鳴 (Localized Surface Plasmon Resonance, LSPR)は、周辺媒質との電磁気相互作用によってその特性が大きく変調されるため、ナノ光デバイスやナノ光センシングへの応用が期待されている。一方、LSPR によってナノ金属粒子近傍には増強電場が発生し、非線形過程によって周辺媒質の屈折率変化を誘起し得る。このような金属ナノ粒子と周辺媒質のアクティブな相互作用は、光のみによる LSPR の変調とその読み出しを可能にし、全光ナノスイッチを実現する。全光ナノスイッチは高速かつ省電力な非ノイマン型コンピュータの構成要素として期待されており、その実現に向け、安定性、耐久性までを含めた、LSPR 制御のための周辺媒質が模索されている。 そこで本研究では、光ディスク媒体として実績のあるカルコゲナイド相変化材料 GeSbTe に着目し、金ナノ粒子の LSPR スペクトルシフトの制御媒体として利用する全光スイッチの提案とその実証を目的とした。GeSbTe はアモルファス相と結晶相の屈折率差が大きく、光による高速相変化特性や室温での両相の安定性とあわせて、全光 LSPR スwitchングに用いる周辺媒質として有望である。近赤外単一粒子顕微分光によって全光スイッチ動作を確認し、時間領域差分法による数値計算との比較により、その動作メカニズムを詳細に議論した。 第1章では、LSPR を用いた光デバイス、ならびに LSPR の変調手法に関する先行研究、最近の研究動向を説明している。全光ナノスイッチングデバイスの意義を明確にし、本研究の目的を述べている。 第2章ではカルコゲナイド相変化材料の物性と相変化のメカニズム、金属ナノ粒子における LSPR と周辺媒質による LSPR 変調、ならびに LSPR のスペクトル的性質を定量的に理解するための数値計算手法について述べている。 第3章では大きなスイッチングコントラストが期待される、金ナノロッド/GeSbTe/金薄膜サンドイッチ構造を用いた全光ナノスイッチを提案し、単一金ナノロッドのスイッチング動作を近赤外顕微分光測定により示している。波長 1100 nm 近傍において散乱光強度のスイッチングコントラストが 3.9 に達し、100 回以上の繰り返しスイッチングが可能であることを確認した。数値計算との比較により、このサンドイッチ構造では GeSbTe の屈折率変化が高コントラストスイッチングの主要なメカニズムであることを明らかにした。 第4章では GeSbTe の表面形態とその変化がスイッチングに与える影響を明確にするため、GeSbTe 薄膜上に配置した金ナノ球粒子のスイッチング特性を議論している。単一金ナノ粒子に対する顕微分光測定により、相変化に伴うスペクトル形状変化を詳細に調査した。ナノスケールの表面凹凸を考慮した数値計算との対比により、GeSbTe の屈折率変化と同程度に、相変化にともなう表面形状変化が LSPR スwitchングに寄与していることを明らかにした。 第5章では本研究の総括を行っている。GeSbTe の屈折率変化と表面形状変化が、ナノ光スイッチにおける個別の設計パラメータとなり得ることを指摘し、ナノ光スイッチの展望について述べている。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第4167号	氏 名	平 敬
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎木 敏治
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 栗野 祐二
		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） 田邊 孝純
学士（工学）、修士（工学）平敬君提出の学位請求論文は「カルコゲナイド相変化材料を用いた局在表面プラズモン共鳴スイッチング」と題し、5章から構成されている。 ナノスケールの金属構造体に特有の光学現象である局在表面プラズモン共鳴(Localized Surface Plasmon Resonance, LSPR)は、周辺媒質との電磁気相互作用によってその特性が大きく変調される。一方、LSPRによって金属ナノ粒子近傍には増強電場が発生し、光励起過程によって周辺媒質の屈折率変化を誘起し得る。このような金属ナノ粒子と周辺媒質のアクティブな相互作用は、光のみによるLSPRの変調とその読み出しを可能にし、全光ナノスイッチを実現する。全光ナノスイッチは高速かつ省電力な非ノイマン型コンピュータの構成要素として期待されており、その実現に向け、安定性、耐久性までを含めた、LSPR制御のための周辺媒質が模索されている。 このような背景のもと本論文では、光ディスク媒体として実績のあるカルコゲナイド相変化材料GeSbTe (GST)に着目し、これをLSPR制御用媒質として利用する全光ナノスイッチの提案と動作実証を目的としている。GSTはアモルファス相と結晶相の屈折率差が大きく、相変化の高速性や室温での安定性も兼ね備えている。GSTのこれらの特性を活かした試料設計のもと、単一金ナノ粒子に対して全光スイッチ動作を確認し、数値計算との比較により、そのメカニズムを詳細に議論している。 第1章ではLSPRを用いた光デバイス、ならびにLSPRの変調手法に関する先行研究、最近の研究動向を説明している。全光ナノスイッチングデバイスの意義を明確にし、本研究の目的を述べている。 第2章ではカルコゲナイド相変化材料の物性と相変化のメカニズム、金属ナノ粒子におけるLSPRと周辺媒質によるLSPR変調、ならびにLSPRのスペクトルの性質を定量的に理解するための数値計算手法について述べている。 第3章では大きなスイッチングコントラストが期待される、金ナノロッド/GST/金薄膜サンドイッチ構造を用いた全光ナノスイッチングを提案し、その動作を近赤外顕微分光測定により実証している。波長1100 nm近傍において散乱光強度のスイッチングコントラストが3.9に達し、100回以上の繰り返し動作を確認している。数値計算との比較により、GSTの屈折率変化、ならびに表面形状変化が高コントラストスイッチングのメカニズムであることを明らかにしている。 第4章ではGSTの表面形状変化の影響をより明確にするため、GST薄膜単層上に配置した金ナノ球粒子のスイッチング特性を議論している。単一金ナノ球粒子に対する顕微分光測定により、相変化に伴う散乱スペクトル変化を詳細に調査している。ナノスケールの表面凹凸を考慮した数値計算により、屈折率変化の寄与と比較し、表面形状変化の寄与がスイッチングメカニズムとして支配的であることを明らかにしている。 第5章では本研究の総括を行っている。GSTの屈折率変化と表面形状変化が、ナノ光スイッチにおける個別の設計パラメータとなり得ることを指摘し、全光ナノスイッチの展望について述べている。 以上要するに、本論文は将来の高速・低消費電力コンピューティング機能を見据え、全光ナノスイッチの提案と実証、ならびにその動作メカニズムの解明を行ったものであり、ナノ光工学、情報記録・処理デバイス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4168号	氏 名	安田 啓太
主論文題目：			
氷点下温度域におけるクラスレートハイドレートの相平衡条件と結晶構造			
本論文は「氷点下温度域におけるクラスレートハイドレートの相平衡条件と結晶構造」と題し、クラスレートハイドレート生成系の相平衡条件の測定と結晶構造の解析を行い、氷点下温度域におけるクラスレートハイドレートの物性について論じている。 クラスレートハイドレート(以下ハイドレート)は水分子が作る籠状構造の内部を多岐にわたるゲスト物質の分子が占有することによって生成する氷状の固体化合物である。ハイドレートは高いガス包蔵性、大きな生成・分解熱、ゲスト物質の選択性などの特性を持つことから多くの既存技術と関わりがあり、さまざまな新技術が提案されている。これらの技術でハイドレートと共存する相の状態はそのプロセス設計をする上で重要な要素である。本論文では共存する水の相が氷である場合、すなわち氷点下温度域でのハイドレートの物性に着目し相平衡条件測定と結晶構造解析を行った。 1 章ではハイドレートの特性と関連技術について概説し、本論文の目的と構成について述べている。 2 章では天然ガスの輸送・貯蔵媒体としてハイドレートを利用する技術を想定し、その輸送・貯蔵プロセスのオペレーション温度である 243 K から 273 K におけるメタン、エタン、プロパン、二酸化炭素、およびメタン + エタン + プロパン混合ガスハイドレート生成系の相平衡条件を測定し報告している。測定に際し、氷点下温度域での相平衡条件測定のために従来用いられてきた定容積法と呼ばれる測定方法を拡張し、測定データの健全性の確認を行った。 3 章では南極やグリーンランドの氷床と呼ばれる氷の層に含まれる気泡が周囲の氷と反応し空気ハイドレートを形成するための条件を明らかにするために測定した窒素および窒素+酸素混合ガスハイドレート生成系の氷点下温度域における相平衡条件を示す。空気ハイドレートの生成は氷床に含まれる気泡を用いた過去の気候変動の調査に影響を与える。本論文で測定した相平衡条件にもとづいて空気ハイドレート生成領域について考察を行い、これまでに行われてきた氷床コアを用いた空気ハイドレートの視覚的観察との対応関係について論じている。 4 章では親水性で、単独ではハイドレートを形成することが難しいアルコール類がメタン加圧環境下でゲストとして作用する可能性に着目し、メタン + アルコールハイドレートの形成を結晶構造解析を通じて明らかにした。その結果から、天然ガスパイプラインでのアルコールの熱力学的阻害剤としての利用や、アルコール類をゲストとしたハイドレートを用いた 273 K 以下の作動温度を持つヒートポンプへの応用について議論を行っている。 5 章では本論文の総括を行い、結論を述べている。 以上要約すると、本論文ではハイドレート関連科学技術でしばしば直面する氷とハイドレートが共存する際の現象の理解を進めるため、相平衡条件測定と結晶構造解析を通じて氷点下温度域におけるハイドレートの物性・特性を明らかにした。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4168 号	氏 名	安田 啓太
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学准教授 博士（工学）大村 亮			
副査 慶應義塾大学教授 工学博士 鈴木 哲也			
慶應義塾大学教授 工学博士 朝倉 浩一			
慶應義塾大学専任講師 博士（農学）奥田 知明			
学士(工学)、修士(工学)の安田 啓太君提出の学位請求論文は「氷点下温度域におけるクラスレートハイドレートの相平衡条件と結晶構造」と題し、全 5 章からなる。 クラスレートハイドレート(以下ハイドレート)は水分子が作る籠状構造の内部を多岐にわたるゲスト物質の分子が占有することによって生成する氷状の固体化合物である。ハイドレートは高いガス包蔵性、大きな生成分解熱、ゲスト物質の選択性などの特性を持つことから多くの既存技術と関わりがあり、さまざまな新技術が提案されている。これらの技術でハイドレートと共存する相の状態はそのプロセス設計をする上で重要な要素である。本論文では共存する水の相が氷である場合、すなわち氷点下温度域でのハイドレートの物性に着目し相平衡条件測定と結晶構造解析を行っている。 1 章ではハイドレートの特性と関連技術について概説し、本論文の目的と構成について述べている。 2 章では天然ガスの輸送貯蔵媒体としてハイドレートを利用する技術を想定し、その輸送貯蔵プロセスのオペレーション温度である 243 K から 273 K におけるメタン、エタン、プロパン、二酸化炭素、およびメタン+エタン+プロパン混合ガスハイドレート生成系の相平衡条件を測定し報告している。測定に際し、氷点下温度域での相平衡条件測定のために従来用いられてきた定容積法と呼ばれる測定方法を拡張し、測定データの健全性の確認を行っている。 3 章では南極やグリーンランドの氷床と呼ばれる氷の層に含まれる気泡が周囲の氷と反応し空気ハイドレートを形成するための条件を明らかにするために測定した窒素および窒素+酸素混合ガスハイドレート生成系の氷点下温度域における相平衡条件を示している。空気ハイドレートの生成は氷床に含まれる気泡を用いた過去の気候変動の調査に影響を与える。本論文で測定した相平衡条件にもとづいて空気ハイドレート生成領域について考察を行い、これまでに行われてきた氷床コアを用いた空気ハイドレートの視覚的観察との対応関係について論じている。 4 章では親水性で、単独ではハイドレートを形成することが難しいアルコール類がメタン加圧環境下でゲストとして作用する可能性に着目し、メタン+アルコールハイドレートの形成を結晶構造解析を通じて明らかにしている。その結果から、天然ガスパイプラインでのアルコールの熱力学的阻害剤としての利用や、アルコール類をゲストとしたハイドレートをを用いた 273 K 以下の作動温度を持つヒートポンプへの応用について議論を行っている。 5 章では本論文の総括を行い、結論を述べている。 以上要約すると、本論文ではハイドレート関連科学技術でしばしば直面する氷とハイドレートが共存する際の現象の理解を進めるため、相平衡条件測定と結晶構造解析を通じて氷点下温度域におけるハイドレートの物性・特性を明らかにしている。本論文は氷とハイドレートの共存下で起こる現象の重要性を明確化していて、天然ガス輸送・貯蔵技術、自然界でのハイドレート生成、熱エネルギー利用技術といったハイドレート関連科学技術のさらなる発展のため、ひいては工学上寄与することが少なくない。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 4169 号	氏 名	田中 貴久
主論文題目： 移動度スペクトル解析法を用いた歪シリコン及び歪ゲルマニウム中の キャリア散乱機構の解明			
集積回路を構成するトランジスタは微細化により高集積化と高速化が実現されてきた。一方、個々のトランジスタの消費電力の削減は微細化に対して遅れをとってきたため、集積回路あたりの消費電力は増加している。そこで本研究では、トランジスタの消費電力削減を可能とする高移動度材料に着目した。III-V 族半導体、歪シリコン(Si), 歪ゲルマニウム(Ge)に代表される高移動度材料中では、キャリアの速度が集積回路の標準材料である Si 中より高い。これがトランジスタの消費電力削減につながる。特に歪 Si と歪 Ge は既存のトランジスタ作製のプロセスに組み込みやすく、回路設計に必要な n 型と p 型の両方のトランジスタが作製できる。ただし歪 Si と歪 Ge 素子の電気特性をモデル化するためには、キャリア散乱機構の理解に基づく移動度のモデル化が必要となる。そこで本研究では移動度スペクトル解析を用いて歪 Si と歪 Ge 中のキャリア移動度を求め、数値計算と定量的に比較することからキャリア散乱機構を解明した。その結果に基づき電気特性の予測に必要な移動度計算モデルを完成させ、理想的な素子で得られる移動度の上限を示した。 本論文は 5 章で構成される。第 1 章は研究背景で、トランジスタの微細化と歪 Si と歪 Ge の先行研究が概観され、本研究の位置づけが示される。第 2 章では、本研究で用いた歪 Si/SiGe ヘテロ構造と歪 Ge/SiGe ヘテロ構造の試料構造、伝導特性測定で用いた実験系、そして移動度スペクトル解析の詳細が示される。第 3 章は歪 Si/SiGe ヘテロ構造を用いた歪 Si 中の電子散乱機構の解明である。移動度スペクトル解析を用いることにより、歪 Si 中の移動度の温度依存性と 10 K における移動度の濃度依存性が得られ、低温では遠隔イオン化不純物散乱が移動度を抑制する主要因であることが示される。そこで遠隔イオン化不純物散乱に加えて谷内音響フォノン散乱を含めた移動度計算モデルで低温における移動度の実験結果のフィッティングを行うことで谷内音響フォノン散乱に関わる変形ポテンシャルの値を決定した。次にデバイスが動作する室温付近で谷間光学フォノン散乱を考慮することで光学フォノンの変形ポテンシャルを決定した。これらの結果から、遠隔イオン化不純物、谷内音響フォノン、谷間光学フォノンによる三種類の散乱を考慮することで歪 Si 中の移動度の温度依存性がモデル化できることが示される。第 4 章では、歪 Ge/SiGe ヘテロ構造における正孔の散乱機構の解析が示される。実験結果の移動度スペクトル解析から歪 Ge 中の正孔移動度の温度依存性を得た。さらに温度 5 K において Shubnikov-de Haas 振動を観測し、その結果を用いて界面ラフネス散乱を記述するモデルを開発した。さらに室温付近の散乱機構を解析することで、音響フォノン散乱と光学フォノン散乱それぞれに関する変形ポテンシャルを決定し、様々な膜厚と歪量の歪 Ge 中の移動度を統一的に記述するモデルを完成させた。この統一モデルを用いて理想的な歪 Ge で得られる移動度の上限が提示される。第 5 章は本論文のまとめで、本研究の成果により歪 Si および歪 Ge で高移動度のトランジスタが得られること、そしてトランジスタのデバイスシミュレーションが実行できることが示される。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4169 号	氏 名	田中 貴久
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授 Ph.D.	伊藤 公平
	副査	慶應義塾大学教授 工学博士	太田 英二
	副査	慶應義塾大学教授 博士（工学）	内田 建
	副査	慶應義塾大学准教授 博士（工学）	牧 英之
学士（工学）、修士（工学）田中貴久君の学位請求論文は「移動度スペクトル解析法を用いた歪シリコン及び歪ゲルマニウム中のキャリア散乱機構の解明」と題し、全 5 章より構成される。 集積回路を構成するトランジスタの高集積化と高速化は、個々のトランジスタの微細化により進められてきた。しかし、その消費電力は年々増加している。そこで本研究では、トランジスタの消費電力削減を可能とする高移動度材料として歪シリコン(Si)と歪ゲルマニウム(Ge)に着目し、電気特性の予測に必要な移動度のモデル化に取り組んだ。移動度スペクトル解析を用いて歪 Si と歪 Ge 中のキャリア移動度を測定し、数値計算と定量的に比較することからキャリア散乱機構を解明した。その結果に基づき移動度計算モデルを完成させ、理想的な素子で得られる移動度の上限を示した。 本論文の第 1 章は研究背景で、先行研究の概観とともに本研究の位置づけが示される。第 2 章では、本研究で用いた歪 Si 試料と歪 Ge 試料の構造、伝導特性測定で用いた実験系、そして移動度スペクトル解析の詳細が示される。第 3 章では歪 Si 中の電子散乱機構の解明が示される。移動度スペクトル解析により、10K 程度の低温では遠隔イオン化不純物散乱が移動度を抑制する主要因であることが明らかにされる。これに加えて谷内音響フォノン散乱を含めた移動度計算モデルを確立し、さらに室温付近で谷間光学フォノン散乱を考慮することから、歪 Si 中の電子移動度の温度依存性を定量的に記述するモデルが確立される。第 4 章では、歪 Ge における正孔の散乱機構の解析が示される。移動度スペクトル解析から歪 Ge 中の正孔移動度の温度依存性が得られ、さらに温度 5 K において Shubnikov-de Haas 振動を観測し、その結果を用いて界面ラフネス散乱のモデルが記述される。つづいて室温付近の散乱機構を解析し、音響フォノン散乱と光学フォノン散乱それぞれに関する変形ポテンシャルの値を決定することから、膜厚や歪量が異なる試料の移動度を統一的に記述するモデルが確立される。そして、この統一モデルに基づき理想的な歪 Ge で得られる正孔移動度の上限を提示される。第 5 章は本論文のまとめである。 以上要するに、本論文の著者は、歪 Si および歪 Ge における移動度解析モデルを確立し、これらの材料を用いて高移動度のトランジスタが得られることを示すことに成功した。この移動度解析モデルは今後の先端素子開発の加速に寄与することが期待される。 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。			

内容の要旨

報告番号	甲 第4170号	氏 名	平塚 将起
主論文題目： Molecular Dynamics Study of the Vibrational Spectra of Clathrate Hydrates (分子動力学法を用いたクラスレートハイドレートの振動スペクトルの研究)			
クラスレートハイドレートは水分子がかご状の構造（ケージ）を作り、内部にメタンのようなゲスト分子が取り込まれることで形成される結晶状の固体である。ハイドレートの振動スペクトルは、ケージに内包されたゲスト分子のダイナミクスやケージ内の環境を反映している。このため振動スペクトルはハイドレートの構造やゲスト分子の占有率比の推定に広く用いられるが、ピークの起源の決定は容易ではなく、経験的な判断に依る場合が多い。またゲスト-ホスト間の複雑な相互作用に影響を受けるゲスト分子の運動を直接的に観察することは困難であり、振動数が変化するメカニズムも十分に明らかとなっていない。そこで本研究では、ハイドレートに内包されたゲスト分子の振動スペクトルを分子動力学法を用いて計算することで、振動数変化のメカニズムやゲスト分子のケージ内でのミクロな挙動を調べた。（１）まず、振動の起源が明らかにされている構造Ⅰメタンハイドレートを対象とし、第一原理分子動力学法を用いて振動スペクトルの計算を行い本手法の有効性を確認した。その結果、本手法によってメタンの振動数を計算することができ、実験的に知られているケージごとの振動数の差を再現することができた。特に伸縮振動の振動数は、ゲスト-ホスト間の相互作用によってC-H結合距離が変化し、振動数が変化することが示された。また実験では観察が難しい曲げ、揺れ振動の振動数も計算し、振動モードごとにケージから受ける影響が異なることが明らかとなった。（２）続いてスペクトルのピークの起源がはっきりと分かっていなかった構造Ⅱメタンハイドレートの振動スペクトルを計算し、ピークがどの種類のケージに内包された分子によるものかを明らかにした。（３）ついで、水分子を重水に置き換えた場合の振動スペクトルの変化を計算した。重水への置き換えは実験的によく行われるが、これによって水分子のみでなく、ゲスト分子の分子内の振動スペクトルも変化する可能性が示唆された。また振動数だけでなく、ケージ内のメタン分子の運動や、ゲスト-ホスト間のカップリングにも影響が生じていた。（４）最後に、アミルアルコール（$C_5H_{12}O$）を含む構造Ⅱ、構造Ⅲのハイドレートの振動スペクトルを計算した。これらの分子を含むハイドレートでは、メタンの場合とは異なりゲスト-ホスト間に水素結合が形成され、振動スペクトルが大きく変化することが示された。また水素結合が形成されることが、アミルアルコールのような比較的大きい分子が、構造Ⅱの相対的に小さなケージに取り込まれる要因となっていることが示唆された。これらの成果によって、分子シミュレーションを用いたクラスレートハイドレートの振動スペクトル計算の有効性が示されたほか、ゲスト-ホスト間のさまざまな相互作用が、ハイドレートの構造や安定性に及ぼす影響について新たな知見をもたらした。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4170 号	氏 名	平塚 将起
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士(工学)・TeknD 深淵 康二
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 泰岡 顕治
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 大村 亮
		慶應義塾大学准教授	博士(理学) 山内 淳
学士(工学), 修士(工学), 平塚将起君提出の学位請求論文は「Molecular Dynamics Study of the Vibrational Spectra of Clathrate Hydrates (分子動力学法を用いたクラスレートハイドレートの振動スペクトルの研究)」と題し, 本論 7 章により構成されている。 クラスレートハイドレートとは, 水分子がかご状の構造(ケージ)を作り, 内部にメタンのようなゲスト分子が取り込まれることで形成される結晶状の固体であり, 新規エネルギー技術としての利用をはじめ, その工学的な応用が期待されている。ハイドレートの振動スペクトルは, ケージに内包されたゲスト分子のダイナミクスやケージ内の環境を反映しており, このため振動スペクトルはハイドレートの構造やゲスト分子の占有率比の推定に広く用いられるが, ピークの起源の決定は容易ではなく, 経験的な判断に依る場合が多い。またゲスト-ホスト間の複雑な相互作用に影響を受けるゲスト分子の運動を直接的に観察することは困難であり, 振動数が変化するメカニズムも十分に明らかとなっていない。 本論文ではハイドレートに内包されたゲスト分子の振動スペクトルを, 分子動力学法を用いて求め, 振動数変化のメカニズムやゲスト分子のケージ内でのミクロな挙動を調査している。 各章の内容は以下のとおりである。 第 1 章は序論であり, 研究の背景, 動機, 関連研究, 研究目的を述べている。 第 2 章では, 数値シミュレーションに用いた手法である, 古典分子動力学法と第一原理分子動力学法について述べている。 第 3 章では, 振動の起源が明らかにされている構造 I メタンハイドレートを対象とし, 第一原理分子動力学法を用いて振動スペクトルの計算を行い, 本手法の有効性を確認している。その結果, 本手法によってメタンの振動数を計算することができ, 実験的に知られているケージごとの振動数の差を再現することができた。 第 4 章では, スペクトルのピークの起源がはっきりと分かっていなかった構造 H メタンハイドレートの振動スペクトルを計算し, ピークがどの種類のケージに内包された分子によるものかを明らかにした。 第 5 章では, ホスト分子である水分子を重水に置き換えた場合の振動スペクトルの変化を計算している。このような重水への置き換えは実験的によく行われているが, 本数値シミュレーションによって, 水分子のみでなくゲスト分子の分子内の振動スペクトル等も変化する可能性が示唆された。 第 6 章では, アミルアルコール($C_5H_{12}O$)を含む構造 II, 構造 H のハイドレートの振動スペクトルを計算した。これらの分子を含むハイドレートでは, メタンの場合とは異なりゲスト-ホスト間に水素結合が形成され, 振動スペクトルが大きく変化することが示された。また水素結合が形成されることが, アミルアルコールのような比較的大きい分子が, 構造 II の相対的に小さなケージに取り込まれる要因となっていることが示唆された。 第 7 章は結論であり, 一連の研究で得られた成果を総括している。 以上をまとめると, 分子シミュレーションを用いたクラスレートハイドレートの振動スペクトル計算の有効性が示されたほか, ゲスト-ホスト間のさまざまな相互作用が, ハイドレートの構造や安定性に及ぼす影響についての重要な基礎的知見が与えられた。また, これらの成果は著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力および豊かな学識を有することを証したものである。 よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4225 号	氏 名	田中 咲
主 論 文 題 目： Quantum measurement for state generation and information amplification (量子測定による状態生成と情報増幅)			
本論文は全5章により構成されている。 第1章では、本論文の研究背景と構成について説明する。とくに、本研究を貫くコンセプトである量子測定理論が量子情報科学において果たす役割について大まかに述べる。 第2章では、本研究で用いる量子測定理論の基礎事項について説明する。具体的には、まず、第3章で用いる量子連続測定を導出する。また、第4章で用いる量子統計理論の基礎、とくにパラメトリックモデルに基づく統計的推測理論について簡単にまとめる。 第3章では、「適応測定を用いた2準位量子状態の確定的生成法」について説明する。これは、Jacobs によるスキームを多面的に改善するものである。一般に、量子系を測定すると反作用が起こり、それが状態を変化させる。Jacobs の手法は、測定結果に基づいて測定強度および被測定物理量を時間連続的に変化させるという適応測定のスキームとなっており、これにより、任意の2準位量子状態を確定的に生成することができる。本研究では、Jacobs の手法とは異なる適応測定法を提案した。この手法では測定強度を時間一定に取れるという利点があり、物理的実現に向いている。さらに、この手法は Jacobs の手法に比べて目標状態への収束が速く、かつシステムの不確かさに対するロバスト性を有することが数値的に示された。 第4章では、Aharonov らによる「弱測定」の概念を用いた信号増幅法を、統計的推測理論に基づいて評価した研究について説明する。弱測定では、対象系に事後選択を行い、その結果が所望の値を返したときに限って、測定器の値を読み取るという特殊な操作を行う。この測定値は「弱値」と呼ばれ、単純な議論によれば、条件によっては時に極めて大きな値を取る。これを微小信号の増幅に応用する、という研究が近年盛んに行われている。本研究では、この手法を統計的観点から解析し評価を行った。その結果、検出したい信号(未知パラメータ)の推定誤差は、事後選択の成功確率を考慮に入れると、事後選択を行わない通常の信号検出法によるものを下回らないことが、ある一般的な状況下で判明した。つまり、弱測定による信号増幅法は、統計的には一般に優位性を持たないことが、初めて証明された。この成果は、弱測定による信号増幅法全般に再考を促すとともに、微小信号検出に関する研究分野に大きな貢献を与えることが期待される。 第5章では、本論文のまとめと展望を行う。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4225 号	氏 名	田中 咲
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授 博士(情報理工学)	山本 直樹
	副査	慶應義塾大学教授 Ph. D.	伊藤 公平
	副査	慶應義塾大学教授 博士(理学)、医学博士	藤谷 洋平
	副査	慶應義塾大学准教授 博士(情報理工学)	清 智也
	副査	早稲田大学教授 博士(理学)	湯浅 一哉
学士(理学)、修士(理学)田中咲君の学位請求論文は「Quantum measurement for state generation and information amplification (量子測定による状態生成と情報増幅)」と題し、全5章より構成される。 量子力学系における測定は、根底に難解な原理を含んでおり、かつ本質的に確率過程であるため、量子測定そのものの性質に立脚した応用法に関する研究は、近年に至るまでほとんど見られなかった。しかし、とくに量子情報科学においては、量子測定過程を積極的に解析・設計し役立てることが重要であり、また実際にそれが可能であることが判明しつつある。近年とくに注目されている応用法は、測定の反作用を利用する状態生成法と、量子エンタングルメントを活用する信号増幅法である。本研究は、制御理論と統計的推測理論に基づき、これらの方法をさらに深化させるものである。 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、本研究で用いる量子測定理論、および量子制御・量子推定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、「適応測定を用いた二準位量子状態の確定的生成法」に関する研究成果について説明がされている。これは、2010年にJacobsが提案した方法を多面的に改良するものである。一般に、量子系を測定すると反作用が起こり、それが状態を確率的に変化させる。Jacobsの方法は、測定結果に基づいて測定強度および被測定物理量を時間連続的に変化させるという適応測定のスキームであり、これは任意の二準位量子状態を確定的に生成することができる。本研究では、Jacobsの方法とは異なる適応測定法を提案している。この方法では測定強度を適応的に変化させる必要がないという利点があり、実装に向いている。さらに、この方法はJacobsのそれと比べて目標状態への速い収束を実現し、かつシステムの不確かさに対する頑強性を有することを数値的に示している。 第4章では、「弱測定による信号増幅法の推定論的評価」に関する研究成果が説明されている。弱測定とは、Aharonovらが提唱した量子測定法であり、これは対象系に事後選択を行い、その結果が所望の値を返したときに限り測定器の値を読み取るという特殊な処理を行うものである。この測定値は弱値と呼ばれ、単純な議論によると条件によっては極めて大きな値を取り得る。これを微小信号の増幅に応用する研究が、近年盛んに行われている。本研究では、この信号増幅法による計測精度を量子推定理論を用いて解析・評価している。とくに、検出したい信号の推定誤差の下限が、事後選択を用いない通常の方法によるものを下回らないことを、ある広範な一般的設定で初めて証明している。つまり、弱測定による信号増幅法は、この設定では統計的優位性を持たない。この成果は、弱測定による信号増幅法に関する研究全般に再考を促すものである。 第5章では、本論文のまとめと展望が記述されている。 量子測定の確率的性質を最大限利用する状態生成法と信号増幅法は、近年になってその有用性が認識されつつある強力な方法である。本研究の成果は、これらの理論を数理工学に基づく新しい視点から深化させるものであり、量子情報科学のさらなる発展に寄与することが期待される。 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 4226 号	氏 名	芹澤 信幸
主論文題目： 水晶振動子電極による局所物性のその場測定を組み合わせたイオン液体中における金属の電気化学的析出・溶解に関する研究			
カチオンとアニオンのみから構成されるイオン液体は、還元安定性が高いために水溶液からの電析が不可能な金属や合金の析出が期待され、代替めっき浴としての可能性がある。めっき技術では目的の形態、外観への制御が極めて重要であるが、これらに影響する電析反応機構についてイオン液体中での検討は少ない。そこで本研究では、銀の析出・溶解反応をモデルケースとして析出形態に影響する電極表面へのイオン吸着と結晶化過程の關係に着目した。また、イオン液体は粘性率の金属塩濃度依存性が大きく、金属析出・溶解反応に伴って電極近傍では電解液の物性が大きく変化していると推測される。難燃性を示すイオン液体はリチウム二次電池の高安全な電解液としても注目されているが、粘性率の高さに起因してイオン液体中での充放電速度は一般に遅いとされており、電極/電解液界面近傍でのイオン輸送現象についての理解が求められている。そこで本研究では、電極質量変化および電極近傍の電解液の局所物性（粘性率と密度の積）をその場測定できる水晶振動子電極法を用いて金属析出・溶解反応およびリチウム二次電池反応の反応解析を行った。 第 1 章ではイオン液体、金属電析、水晶振動子電極法およびリチウム二次電池を概説し、本研究の背景と目的について述べている。 第 2 章では、アニオンを共通としてカチオンの異なる三種のイオン液体中で得られる銀析出物および Ag^+ の溶存状態を水溶液中と比較している。析出電位が比較的高い金属の析出反応では、電極上に吸着したアニオンが結晶成長に影響して粒状の析出物が得られることを見出し、イオン液体からの析出物の形態および外観制御には電極表面のイオン吸着を考慮する必要があることが示唆されている。 第 3 章では、水晶振動子電極を用いて、イオン液体中での銀およびスズの析出・溶解反応時の電極質量変化および電極近傍における電解液の局所物性変化の観測に成功している。この物性変化は電極反応に伴い電極近傍に形成される金属イオンの濃度分布により説明でき、特に溶解反応時には電極近傍で粘性率が大きく上昇することで電極反応速度および物質輸送速度に影響していることが示唆されている。 第 4 章では、第 3 章で確立した水晶振動子による局所物性測定手法をリチウム二次電池電極反応であるリチウム析出・溶解反応、リチウム合金化反応およびチタン酸リチウムへの Li^+ の挿入・脱離反応に適用して、電極上の皮膜形成や充放電反応中の電極近傍で生じるリチウム化学種の濃度分布について考察している。また、反応中の体積変化が小さいチタン酸リチウムでは、軽元素であるリチウムの質量変化の定量的な観測に成功している。 第 5 章では結論として各章の結果をまとめ、本研究の成果を記している。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4226 号	氏 名	芹澤 信幸
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） 栄長 泰明
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 緒明 佑哉
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 近藤 寛
学士（工学）・修士（工学）芹澤信幸君の学位請求論文は「水晶振動子電極による局所物性のその場測定を組み合わせたイオン液体中における金属の電気化学的析出・溶解に関する研究」と題し、5章から構成される。 カチオンとアニオンのみからなるイオン液体は金属電析やリチウム二次電池などの電解液への応用が期待されている。イオン液体の粘性率や密度などの物性は、イオン液体に溶解させた金属塩の種類や濃度に大きく依存する。金属の析出・溶解反応やリチウム二次電池活物質のリチウム挿入・脱離反応では、反応の進行に伴う局所的な金属イオンの濃度変化が予想されるが、その変化を実際にとらえることは容易ではない。そこで、本研究では水晶振動子電極の共振周波数と共振抵抗が電極質量と電極に接する流体の物性に応答することに着目し、電極反応に伴う質量変化と電解液の局所物性変化を同時測定することにより、イオン液体中における金属の析出・溶解反応の特徴を明らかにすることを目的としている。また、有機電解液中におけるリチウム二次電池活物質に対するリチウム挿入・脱離反応の解析への同手法の適用可能性について検討を行っている。 第1章は序論であり、イオン液体、金属電析、リチウム二次電池および水晶振動子電極法に関する概要と本研究の背景および目的をまとめ、本論文の構成について述べている。 第2章ではイオン液体中における金属の析出・溶解反応に関する基礎的な知見を得ることを目的として、カチオンの異なるイオン液体中における銀の析出・溶解反応について検討している。銀の析出・溶解反応が観察される高い電位域では、イオン液体のカチオンの違いによる差異はみられず、主に電極表面へのアニオンの吸着が析出・溶解反応の速度、結晶成長および析出形態に影響を及ぼすことを明らかにしている。 第3章では、水晶振動子電極を用いてイオン液体中における銀およびスズの析出・溶解反応について検討している。金属の析出・溶解に伴う電極質量の増減と電極近傍のイオン液体の局所物性の同時測定に成功し、この局所物性変化が電極反応の進行に伴う局所的な金属イオン濃度変化に基づくことを明らかにしている。これより、イオン液体中における金属の析出・溶解反応では、物質移動過程が電極反応の進行に伴う局所物性変化の影響を受けることを見いだしている。 第4章では、水晶振動子電極を用いてリチウム二次電池負極反応の解析を試みている。イオン液体中におけるリチウムの析出・溶解反応においても電極近傍におけるイオン液体の局所物性変化が観測され、負極反応の速度応答性に大きな影響を与えることを明らかにしている。また、有機電解液中におけるチタン酸リチウムに対するリチウム挿入・脱離反応においても、電極の質量変化および電極近傍の電解液の局所物性変化を定量的に計測することに成功している。 第5章では、以上の結果を総括して、本論文の成果をまとめている。 以上、要するに本論文は、水晶振動子電極を用いた電極反応に伴う電極質量と電解液の局所物性変化の同時測定およびその解析手法の確立と、電解液の局所物性変化がそれらの電極反応における物質移動過程に与える影響について新たな知見を与えており、イオン液体中における金属析出・溶解反応ならびにリチウム二次電池電極反応の解析およびその応用において、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4227号	氏 名	磯 由樹
主 論 文 題 目：			
近紫外→赤色変換 $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子を分散したコンポジットの 作製・評価と単結晶シリコン太陽電池への応用			
$\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$は近紫外光を赤色光に変換する蛍光体である。可視光の波長より小さな $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子は、光散乱強度が小さく高い透光性を有する。この蛍光ナノ粒子が透明なマトリクスに分散したコンポジットは、近紫外光に対して分光感度の低い単結晶シリコン太陽電池の光電変換効率を向上できる期待がある。この応用には可視域で高い透光性が求められるため、透明なマトリクス中にナノ粒子を凝集しないように分散させる必要がある。取り扱うナノ粒子の表面は、吸着したクエン酸イオンにより負に帯電している。そこで本研究では、静電的な反発を利用してナノ粒子をマトリクス中に良好に分散させることで、透光性の高いコンポジットの作製を検討した。 第1章では、従来の研究を概説しながら本研究の背景と目的を述べた。 第2章では、本研究で用いた特性評価法を述べた。 第3章では、液相法でクエン酸前駆体から合成した YVO_4、$\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+}$ および $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子の光学特性を比較した。また、バーコート法でこれらのナノ粒子と親水性ポリウレタン樹脂とのコンポジット膜をガラス基板上に作製した。膜試料は可視域で80%以上の透過率を示した。膜中のナノ粒子により近紫外光が吸収された。また、膜試料の蛍光特性は利用したナノ粒子の特性に依存することが示された。 第4章では、$\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子とシリカとの複合化を検討した。ケイ酸テトラメチルアンモニウム水溶液にナノ粒子を分散させて、ゾルーゲル法で板状コンポジットを作製した。試料は可視域で75%以上の透過率を示し、含有するナノ粒子の蛍光特性を有した。励起波長での光学密度に対して蛍光強度が比例したことから、ナノ粒子の光散乱強度が無視できるほど小さいことが示唆された。 第5章では、$\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子とシリコン変性アクリル樹脂ナノ粒子との複合化を検討した。これらが分散した水系塗料液を調製し、電気泳動堆積法で透明導電性基板上に膜を作製した。膜厚3 μm の試料は可視域で80%以上の透過率を示した。しかし、膜厚が増大すると樹脂ナノ粒子による可視光の散乱が増大した。蛍光強度と光学密度との関係から、光散乱による蛍光ナノ粒子の励起効率の増大が示唆された。 第6章では、$\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子波長変換膜の太陽電池への応用を検討した。第3章で作製した膜試料を単結晶シリコン太陽電池に接着して測定を行うことで、波長変換効果が太陽電池の光電変換効率に影響を与えることを明らかにした。 第7章では、焼成した $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子の蛍光特性を評価した。300 $^{\circ}\text{C}$ の焼成で、蛍光量子効率と光安定性が改善した。前者は励起状態にある Eu^{3+} を失活させる吸着水の除去、後者は光還元能を有するクエン酸イオンの熱分解に起因すると考えられる。一方、400 $^{\circ}\text{C}$ 以上の焼成では蛍光強度が低下した。これは、副生成物の生成や表面修飾剤の熱分解による表面欠陥の増大に起因すると推察される。 第8章では、結論として本研究を総括し、今後の展望を示した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4227 号	氏 名	磯 由樹
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） 藤本 啓二			
慶應義塾大学教授 博士（理学） 近藤 寛			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 藤原 忍			
学士（工学）、修士（工学）磯由樹君提出の学位請求論文は「近紫外→赤色変換 $\text{YVO}_4\text{:Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子を分散したコンポジットの作製・評価と単結晶シリコン太陽電池への応用」と題し、8章から構成されている。 $\text{YVO}_4\text{:Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ は近紫外光を赤色光に変換する蛍光体である。可視光の波長より小さな $\text{YVO}_4\text{:Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子は、光散乱強度が低く高い透光性を有している。この蛍光ナノ粒子が透明なマトリクスに分散したコンポジットは、近紫外光に対して分光感度の低い単結晶シリコン太陽電池の光電変換効率を向上させることが期待できる。この応用には可視域で高い透光性が求められるため、透明なマトリクス中にナノ粒子を凝集しないように分散させる必要がある。取り扱うナノ粒子の表面は、吸着したクエン酸イオンにより負に帯電している。そこで本研究では、静電的な反発を利用してナノ粒子をマトリクス中に良好に分散させることで、透光性の高いコンポジットの作製を検討している。 第1章では、従来の研究を概説しながら本研究の背景と目的を述べている。 第2章では、本研究で用いた特性評価法を述べている。 第3章では、液相法でクエン酸前駆体から合成した YVO_4、$\text{YVO}_4\text{:Bi}^{3+}$ および $\text{YVO}_4\text{:Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子の光学特性を比較している。また、これらのナノ粒子と親水性ポリウレタン樹脂とのコンポジット膜をガラス基板上に作製し、可視域で80%以上の透過率を有することを示している。 第4章では、$\text{YVO}_4\text{:Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子とシリカとの複合化を検討している。ケイ酸テトラメチルアンモニウム水溶液にナノ粒子を分散させ、ゾル-ゲル法で板状コンポジットを作製している。この試料は可視域で75%以上の透過率を有し、励起波長での光学密度に対して蛍光強度が比例することから、ナノ粒子の光散乱強度が無視できるほど低いことを示している。 第5章では、電気泳動堆積法で $\text{YVO}_4\text{:Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子とシリコン変性アクリル樹脂ナノ粒子が複合化した膜を透明導電性基板上に作製することを検討している。膜厚3 μm の試料は可視域で80%以上の透過率を示すが、膜厚が増大すると樹脂ナノ粒子による可視光の散乱が増大することを明らかにしている。 第6章では、$\text{YVO}_4\text{:Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子波長変換膜の太陽電池への応用を検討している。第3章で作製した膜試料を単結晶シリコン太陽電池に接着して測定を行うことで、波長変換膜が太陽電池の光電変換効率に与える影響を考察している。 第7章では、焼成した $\text{YVO}_4\text{:Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子の蛍光特性を評価している。300 $^{\circ}\text{C}$ の焼成で、蛍光量子効率と光安定性が改善することを明らかにしている。前者は励起状態にある Eu^{3+} を失活させる吸着水の除去、後者は光還元能を有するクエン酸イオンの熱分解に起因すると考察している。一方、400 $^{\circ}\text{C}$ 以上の焼成では蛍光強度が低下したが、これは、副生成物の生成や表面修飾剤の熱分解による表面欠陥の増大に起因すると考察している。 第8章では、結論として本研究を総括し、今後の展望を示している。 以上要するに、本論文の著者は、静電的な反発を利用して蛍光ナノ粒子が分散した透光性の高いコンポジットを作製する方法を確立し、そのコンポジットを太陽電池用途の波長変換層として応用するための指針を示しており、これらの成果は、蛍光体材料分野において、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4228号	氏 名	後藤 穰
主 論 文 題 目： 強磁性微細構造における磁気トポロジカル欠陥のダイナミクスと磁化反転過程			
情報素子の効率化のため、磁化ダイナミクスの理解が求められている。中でも磁性薄膜における非一様な磁化構造(磁気トポロジカル欠陥)は構造を保持して伝搬するため、磁化ダイナミクスの理解に極めて有用である。特に、vortex や antivortex と呼ばれる磁気トポロジカル欠陥では中心に数 nm の微細な磁化構造(vortex core)が存在し、その大きさがフェルミ波長に近いため、伝導電子と強く相互作用する。この伝導電子と強く結合する vortex core は、伝導電子が磁化に与えるスピントランスファートルクを定量的に理解する上で理想的な磁化構造である。しかし、vortex と antivortex を用いたスピントランスファートルク測定には以下の問題点が存在する。vortex は強磁性円盤中に自己形成されるため、vortex の運動を電氣的に検出するためには電極を円盤に接続する必要がある。この様な素子構造では、電極周辺に発生する磁場や円盤内の不均一な電流密度が磁化に影響を及ぼすため、スピントランスファートルクの正確な評価が難しい。これに対し、antivortex は二本の交差細線の中央に形成できるため、中央から離れた位置に電極を接続すれば、前記の様な電極による磁化への影響を防ぐことができる。しかし、円盤中に自己形成される vortex とは異なり、antivortex は磁化過程が複雑なため再現性良く形成することが難しい。そこで本研究では vortex と antivortex の形成過程、およびそれらの磁化ダイナミクスを詳しく調べることで、スピントランスファートルクの定量評価を試みた。 まず、磁気抵抗効果の測定、磁気力顕微鏡観察、およびマイクロマグネティクス計算より、vortex と antivortex の形成過程を調べた。その結果、小さな突起構造を有する円盤を作製し、円盤面の法線方向から 10° 傾けて磁場を印加することで、core の磁化の向きと渦磁化の旋回方向を同時に制御できることが分かった。また、交差細線のマイナー磁化過程で発現する磁化構造を調べた結果、細線の磁化反転順序により antivortex の他に四種類の一様磁区が形成され、これらの構造が antivortex 形成の再現性を妨げることが分かった。また、antivortex 形成確率を調べることで antivortex を高効率生成できる着磁過程がわかった。 次に、整流効果の測定から交流電流により励起される vortex と antivortex の磁化ダイナミクスを調べた。その結果、共鳴スペクトル形状と vortex の磁化構造、電極位置には相関があり、Thiele 方程式を用いた解析計算とよく一致することが分かった。そこで、解析計算より明らかになった共鳴スペクトル形状の磁化構造と外部磁場依存性を利用して、高周波磁場と電極位置の影響を取り除き、スピントランスファートルクの一部である β 項の大きさを測定した。その結果、β 項の大きさは磁壁やスピン波で報告された値よりも大きく、円盤や正方形の薄膜パターンに形成される vortex で報告される値と同程度になることが分かった。これはナノメートルスケールの vortex core による運動量移行が原因と考えられる。 第 1 章では研究背景と目的について説明する。第 2 章では基礎物理について説明する。第 3 章では実験装置、および試料作製手順について述べる。第 4 章では強磁性微細構造における vortex と antivortex 形成について議論する。第 5 章では交流電流による vortex および antivortex のダイナミクスについて実験と解析の両面から議論する。最後に、第 6 章で本研究を総括する。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4228 号	氏 名	後藤 穰
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士(理学) 能崎 幸雄
	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) 渡邊 紳一
		慶應義塾大学専任講師	博士(工学) 安藤 和也
		東洋大学准教授	博士(理学) 柴田 絢也
学士(理学)、修士(理学) 後藤 穰君提出の学位請求論文は、「強磁性微細構造における磁気トポロジカル欠陥のダイナミクスと磁化反転過程」と題し、全6章より構成されている。 強磁性薄膜中に形成される磁気渦(vortex)、磁気反渦(antivortex)などの非一様な磁化構造(磁気トポロジカル欠陥)は、磁場やスピントランスファートルク(伝導電子が局在電子の磁化へ及ぼすトルク)が作用した場合、磁化構造を保ったまま変位する。そのため、伝導電子スピンと局在電子スピンの相互作用などの微視的領域の現象を、磁化や電気抵抗などの巨視的な量の測定により調べることができる。特に vortex や antivortex は、その中央に伝導電子と強く相互作用する直径数 nm 程度の磁化構造(vortex core)があるため、伝導電子スピンと磁化の相互作用を解明する理想的な系である。著者は、vortex と antivortex の磁化構造を電氣的に検出する手法を確立し、交流の電流・磁場による磁化構造の共鳴運動の振動振幅を周波数領域で測定している。また、スピントランスファートルクと電流磁場、電極位置の非対称性を考慮した計算モデルを考案し、共振スペクトル信号の解析解を導出し、vortex core に作用する β 項を見積もることに成功している。 第1章では、磁気トポロジカル欠陥の従来研究を紹介し、研究の位置付けと目的を述べている。 第2章では、電子スピンと磁化の相互作用や磁化ダイナミクスの理論について概説している。 第3章では、vortex を閉じ込める $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 円盤と antivortex を閉じ込める $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 交差細線の作製方法、磁化構造を観察する磁気力顕微鏡観察法、交流の磁場およびスピントランスファートルクにより誘引される vortex core の共振運動を周波数領域で測定する方法を説明している。 第4章では、vortex の磁化構造制御、および antivortex の磁化過程と電氣的検出について述べている。小さな突起構造を有する $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 円盤を作製し、円盤面の法線方向から 10° 傾けて磁場を印加することで、vortex core の磁化の向きと渦磁化の旋回方向を同時に制御できることを確かめている。また、$\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 交差細線のマイナー磁化過程を調べた結果、細線の交差部には antivortex の他に四種類の単磁区構造が確率的に形成されることを解明している。さらに、マイナー磁化過程後に antivortex が形成された場合、残留磁化状態の電気抵抗が $10 \pm 5 \text{ m}\Omega$ 以上増加することを明らかにしている。この結果は、antivortex 形成の電氣的検出を可能にする極めて重要な成果である。 第5章では、交流電流により誘引される vortex と antivortex の磁化ダイナミクスを周波数領域で調べている。まず、集団座標を用いて vortex の運動を記述する Thiele 方程式より、交流磁場とスピントランスファートルクによる vortex core の軌道の解析解を求めている。筆者は、共鳴スペクトル測定に用いた電極の位置ずれを考慮した計算モデルにより、共鳴スペクトルの磁場依存性、および vortex の磁化構造依存性を忠実に再現することに成功している。その結果、直交する面内磁場による共鳴スペクトルの形状変化より、vortex の磁化構造(vortex core の磁化方向と渦磁化の旋回方向)を検出している。さらに、渦磁化の旋回方向と磁場印加方向の異なる4種類の共鳴スペクトルを演算することにより、β 項を測定することに成功している。vortex に作用する β 項は、磁壁やスピン波で報告された値よりも大きく、nm スケールの vortex core による運動量移行が原因と論じている。 第6章は結論であり、各章を総括するとともに、本提案手法の有用性と今後の課題を示している。 以上、著者の研究は、電子と強く相互作用する磁気トポロジカル欠陥である vortex と antivortex に注目し、独自に提案した解析モデルを用いて実験結果を詳細に調べることににより、β 項を求めることに成功している。これにより、β 項の材料依存性や磁化構造依存性を系統的に調べることが可能になり、スピントロニクスの基礎物理解明や電子デバイスの高性能化に重要な役割を果たすと考えられる。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4229 号	氏 名	玉城 将
主 論 文 題 目：			
卓球の競技力向上支援を目的としたボールの 3 次元運動計測			
スポーツ試合中の客観的情報に基づいた試合の分析、いわゆるパフォーマンス分析が盛んに行われるようになり、現在、人の目視に基づいた従来の情報収集が膨大な時間を要すること、さらには幾つかの重要な情報を記録できないことが問題となっている。この問題を解決するには、コンピュータ・ソフトウェアを用いた情報入力の実自動化が必要となる。そこで本研究では、卓球のパフォーマンス分析における情報収集の自動化を目的とし、ボールの運動、すなわち 3 次元軌跡と回転を計測するための、高精度且つ競技現場において実用的な方法を提案する。まず、1 台の RGB-D カメラで撮影した場合など、ボールの 3 次元位置を安定して計測できない場合であっても、その 3 次元軌跡を復元できる方法を提案する。本手法は、3 次元空間中のボールの軌跡が平面的であると近似することにより、その軌跡復元の頑健性を高めるものである。実験により、平面近似によって生じる誤差は小さく、且つ本手法によって軌跡復元の頑健性が向上することを示す。しかし、現状の RGB-D カメラではフレームレートや露光時間の制約上、高速なボールは対象とできない問題があり、ラリー全体の 3 次元軌跡を復元するには複数の RGB カメラを用いる必要がある。複数の RGB カメラを用いた一般的な三次元計測では、カメラ間の露光を同期させ、且つ三次元座標が既知の点群をプレー領域内に配置して事前にカメラ間の位置関係を計算することが求められる。しかし、特殊な撮影機器が必要になること、プレー領域に立ち入ることができないケースが多いことから、この方法は多くのスポーツの競技現場では実用できない問題がある。この問題に対し、事前にカメラの位置関係を求める必要が無く、且つカメラを同期させる必要が無いボールの 3 次元軌跡計測法を提案する。本手法は、プレー中のボールを用いることで、高精度にカメラ間の時刻ずれおよび位置関係を算出するものである。実験により、本手法によって高精度にボールの 3 次元軌跡が復元できることを示す。また、卓球ではボールの回転も重要な要素であるため、その計測法も検討する。従来の回転計測法は、表面全体にマークを追加したボールを高速度カメラを用いて撮影するものであり、撮影されるデータ量が膨大になる、あるいは試合と同じ条件下の回転による攻防を分析できない問題がある。この問題に対し、高速度カメラの使用を前提とせず、且つ試合で用いられる卓球ボールを対象とできる回転計測法を提案する。本手法は、マークの重心から算出された回転角速度の候補値に基づいて複数の軌跡をシミュレートし、その中から実測された軌跡に最も近いものを探索するものである。実験により、本手法が実用的な精度で回転軸および回転角速度を計測できることを示す。ボールの 3 次的な運動を計測する方法は従来から存在するが、いずれも画像計測のための理想的な撮影環境を前提とするものであり、多くのスポーツの競技現場において実用可能なものではない。本研究で提案する手法は、ボールの軌跡あるいは回転に基づいたパフォーマンス分析に適用できる。このことにより、今後スポーツの競技力向上の効率が最適化されること、さらには多くのスポーツ種目について時空間的な特性の理解が促進されることが期待される。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4229 号	氏 名	玉城 将
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
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 杉本 麻樹
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 青木 義満
学士（工学）、修士（工学）玉城 将 君提出の学位請求論文は、「卓球の競技力向上支援を目的としたボールの3次元運動計測」と題し、6章より構成されている。 近年、スポーツの競技力向上支援のために、スポーツ映像によるパフォーマンス分析が盛んに行われるようになってきた。しかし、人の目視による映像からの情報収集が膨大な時間を要することや、さらには目視だけでは簡単に記録できない情報も多く、コンピュータによる情報収集の自動化が望まれている。本論文ではスポーツとして卓球に注目し、競技現場で撮影した卓球競技映像からのパフォーマンス分析のため情報収集の自動化を目的として、ボールの3次元運動である軌跡と回転を高精度に計測する実用的な方法を提案し、実験によりその有効性を確認したものである。 第1章では、卓球のほか、各種スポーツにおける競技力向上支援のためのパフォーマンス分析に関する関連研究を紹介し、本論文の目的と位置づけについて述べている。 第2章では、卓球ボールの3次元軌跡と回転をカメラで計測するために必要となるカメラの射影幾何理論について述べている。 第3章では、1台のRGB-Dカメラで撮影した場合など、ボールの3次元位置を安定して計測できない場合であっても、ボールの物理的特性を利用して3次元軌跡を復元する方法を提案している。本手法は、3次元空間中のボールの軌跡が平面的であると近似することにより、その軌跡復元の頑健性を高めるものであり、実験により、平面近似によって生じる誤差は小さく、かつ本手法によって軌跡復元の頑健性が向上することを示している。 第4章では、卓球競技中のボールを用いて複数カメラの時間的および幾何学的なカメラ校正を同時に行う手法と、ボールを用いた時間的および幾何学的カメラ校正によって実現するボールの3次元軌跡復元の全工程を新たに提案している。本手法は、従来必要とされていた、複数カメラ間の時間的校正のための露光同期と、幾何学的校正のためのマーカ物体を競技空間に設置した事前画像撮影処理が不要なボールの3次元軌跡復元法であり、複数カメラによるボール3次元軌跡計測の卓球競技への導入が容易である。本章では、試合を撮影対象とした実験より、提案手法によって実用的に十分高い精度でカメラ校正とボールの3次元軌跡復元を実現できることを示している。 第5章では、卓球では重要な要素となるボールの回転の計測法について提案している。従来の回転計測法は、表面全体に特殊なパターンを追加したボールを高速度カメラにより撮影するものであり、撮影されるデータ量が膨大になる、あるいは試合と同じ条件下の回転による攻防を分析できない問題があった。この問題に対し、高速度カメラの使用を前提とせず、かつ表面全体に追加した特殊パターンではなく、ボールに通常印刷されているマークを利用した回転計測法を提案している。本手法は、マークの重心から算出された回転角速度の候補値に基づいて複数の軌跡を力学的計算により算出し、その中から実測軌跡に最も近いものを探索するものである。実験により、本手法が実用的な精度で回転軸および回転角速度を計測できることを示している。 第6章は結論であり、本論文で得られた成果をまとめ、本研究成果の将来展望を議論している。 以上要するに本研究は、卓球の競技現場において実用可能なボールの軌跡と回転の計測法を提案したものであり、これらの成果によるパフォーマンス分析の実現により、卓球の競技力向上の効率が最適化されることが期待でき、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4230号	氏 名	小崎 信明
主論文題目： 大規模組み合わせ回路による演算器アレイを用いたアクセラレータに関する研究			
近年、スマートフォンやコンパクトデジタルカメラなどモバイル端末の多機能化に伴い、モバイル端末に対してはこれらの処理の高速化とバッテリー駆動時間長期化の両立が求められるようになった。これらの要求を満たすために、低電力で高性能なアクセラレータである粗粒度動的再構成プロセッサ (CGDRP) が注目されている。CGDRP はアレイ状に配置された演算素子 (PE) とメモリから構成され、演算素子の接続網や演算内容を毎クロック切り換えることで様々な画像処理アプリケーションを実現する。しかし、動的再構成や PE 間の同期をとるためのクロックツリーで多くの電力を消費しており、電力効率に改善の余地がある。 そこで、同等の性能をより低消費電力で実現するアーキテクチャとして Cool Mega Array(CMA) を提案する。CMA は大規模な組み合わせ回路による PE アレイ、マイクロコントローラ、データメモリの 3 つのモジュールで構成する。PE アレイは再構成する頻度をアプリケーション毎とするが、比較的大規模化することで柔軟性を維持する。また、PE アレイからメモリを排除することでクロックツリーをマイクロコントローラに集約でき、クロックツリーによる電力オーバーヘッドに悩まされず PE アレイを拡張できる。CGDRP ではパイプライン段数を増やす際に演算毎の遅延時間の差が性能オーバーヘッドになっていた。CMA では組み合わせ回路を用いることでこのオーバーヘッドを削減し、効果的に性能を制御できる。 本論文では 8×8 サイズの PE アレイをもつ CMA-1 を提案し、アプリケーションの実装手法と制御手法の最適化を行う。次に PE アレイ接続網の最適化により面積効率を高める。最後にオフロードエンジン型とコプロセッサ型の CMA を比較し、より電力効率の高いアーキテクチャを明らかにする。CMA-1 にアプリケーションを実装する際、一つの入力データに対する演算を PE アレイの列方向に配置し、直結網を優先的に用いることで PE アレイの遅延を最小化できる。また、PE アレイに与えるデータ幅を 8bit から 24bit に拡張してアプリケーションを実装することで PE アレイ使用率を高めつつコントローラの負荷を下げる。これにより、CMA-1 は最大で 2.72 GOPS/11.2 mW(247 MOPS/mW) の電力効率を達成した。これは同じプロセスで同じサイズに実装された CGDRP である MuCC RA-3 の 10 倍の電力効率で、世界でも最高レベルの電力効率を達成した。 また、PE アレイへの供給電圧を下げると電力効率が悪化する課題を解決するために、ウェーブパイプラインを適用する。そのために、PE アレイの遅延時間をモデル化し、アプリケーション構成情報から動作周波数を算出可能にした。ウェーブパイプラインの適用により、PE アレイへの供給電圧が 0.45V の時の電力効率を最大で 2.1 倍改善し、CMA-1 の PE アレイへの供給電圧が 0.6V 以下の領域ではウェーブパイプラインの適用で電力効率を改善できることを明らかにした。次に、PE アレイ接続網の最適化を行った。PE アレイの行に対して同じ定数を供給する定数パスを設けることで、柔軟性を損なうことなく配線資源を削減し、PE アレイの面積を 22%、電力を 23%削減した。 最後にオフロードエンジン型とコプロセッサ型の CMA を比較し、コプロセッサ型の CMA は面積を 24.8%削減し、性能を 2.7 倍改善でき、システム全体で消費される電力が少ないと判明した。これにより、65 nm CMOS プロセスを用いた小規模なシステムではコプロセッサ型のアクセラレータの方が効率が良いことを明らかにした。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4230 号	氏 名	小崎 信明
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) 斎藤 英雄
		慶應義塾大学専任講師	博士(工学) 松谷 宏紀
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 黒田 忠広
学士(工学)、修士(工学)、小崎信明君の学位請求論文は、「大規模組み合わせ回路による演算器アレイを用いたアクセラレータに関する研究」と題し、10 章から成る。 センサネットワークやウェアラブルコンピューティングの発達により、非常に低い電力で高い性能を実現するアクセラレータの必要性が高まっている。この目的には、多数の PE(Processing Element)を配列状に接続する高並列型アクセラレータが用いられてきたが、従来は PE 内のレジスタを用いてパイプライン処理を行う方法により高い性能を実現し、電源電圧を下げて低い周波数で動作させることで、高いエネルギー効率を実現してきた。これに対して、電源電圧をこれ以上下げることができない領域では、むしろ大規模な組み合わせ回路による演算器を用いることで、レジスタやクロック分配のエネルギーを節約して高いエネルギー効率ができる、というのが著者の提案である。 1 章、2 章、3 章で研究の背景と従来の高並列型アクセラレータのアーキテクチャおよび低電力化手法についてまとめており、4 章でこれを解決する方法として大規模組み合わせ回路による演算器アレイを用いた CMA(Cool Mega Array)アーキテクチャを提案し、5 章で 65 nm プロセスを用いたプロトタイプチップ CMA-1 の設計と実装について述べている。CMA-1 は組み合わせ回路で構成された 64 個の PE アレイ、小規模なマイクロコントローラ、データメモリから構成されている。PE アレイとマイクロコントローラの電源電圧を個別に制御することによって、演算性能とデータ転送性能のバランスを最適化し、2.72 GOPS(Giga-Operations Per Second)の演算性能を 11.2 mW の電力で達成した。これは同じプロセスで実装した従来手法のアクセラレータの約 10 倍の電力効率に相当する。 6 章以降では、この CMA-1 を元にして、その性能と電力を最適化する手法を試みている。まず 6 章では、組み合わせ回路の PE アレイを利用する場合、問題のマッピングにより性能が大きく影響することを明らかにし、最適化手法を提案し、様々な画像処理アプリケーションに適用している。次に 7 章では利用可能な電力が限られる場合に、高い性能を実現する手法としてウェーブパイプラインに着目し、PE アレイへの供給電圧が 0.45V と極めて低い場合に、性能を 2.1 倍改善した。8 章では、PE アレイの接続網の最適化に取り組み、定数を供給するパスを別に設けることにより、柔軟性を損ねることなく PE アレイの面積を 22%、電力を 23%削減した。9 章は、CMA のホストプロセッサへの組み込み方について検討を行い、CMA-1 で採用したオフロードエンジン型よりも効率の良いコプロセッサ型の方式を提案し、この採用により、全体として面積は 24%、性能は 2.7 倍改善できることを示した。10 章には結論と今後の課題をまとめている。 以上、本論文は、新しい高並列アクセラレータアーキテクチャを提案し、様々な最適化手法を適用してその効果を明らかにした点で、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。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4231 号	氏 名	高橋 巧一
主 論 文 題 目： 高速・高精度な顔特徴点検出に関する研究			
個人認証や表情認識などの顔画像処理技術は、近年盛んに研究が行われており、セキュリティ分野における監視カメラ解析やエンターテインメント分野における拡張現実をはじめ、様々な分野への産業応用が期待されている。これらの応用分野において、目や口などの特徴点を自動検出する顔特徴点検出は、顔画像処理技術の根幹となる重要な役割を担う。 現在ではデジタルカメラの普及と計算機器の性能向上に伴い、汎用 PC を用いた顔特徴点検出システムが実用化されている。一方、犯罪捜査をはじめとする膨大な画像データを短時間で高精度に解析するための静止画像に対する顔特徴点検出や、タブレット機器などの多様な機器を用いた実時間顔特徴点検出が近年注目を集めており、これらの実現に向けて顔特徴点検出の計算コスト削減と高精度化が切望されている。顔特徴点検出に関する研究において、静止画像の場合は各画像で独立に顔特徴点検出する手法、動画画像の場合は時系列信号処理に基づく追跡手法が主に採用されている。しかしながら、既存手法はいずれも計算コストや精度に問題があり、これらの問題解決は重要課題とされている。そこで本研究では、静止画像および動画画像のそれぞれについて、新たに高速・高精度な顔特徴点検出手法を提案する。 第 1 章では、顔特徴点検出に関する背景を概説し、本研究の目的を述べた。 第 2 章では、本研究について理解する上で必要となる基礎的な知識として、顔特徴点検出の関連研究と本論文の位置づけについて記した。 第 3 章では、静止画像の顔特徴点検出の高速・高精度化について述べた。従来の手法では、特徴量の記述子およびモデルの構造を経験的に決定することが問題であったが、これらの設計パラメータを適応的に決定することで高精度化が可能であることを示した。また、特徴量の記述子の計算過程に着目し、簡易演算によって高速計算できることを明らかにした。顔特徴点検出のデータセットを用いた実験では、従来手法と比較して高速・高精度な顔特徴点検出の実現が示された。 第 4 章では、動画画像の顔特徴点検出の高速・高精度化のための基礎理論として、平面画像を対象とする時系列追跡手法について述べた。従来の平面画像追跡手法は、非線形最適化問題として定式化されているが、これを直接解く場合は計算コストが高いことが問題であった。そこで、3 次元の平面画像追跡問題を、2 次元の局所的な追跡問題と 3 次元の大域的な追跡問題に分割する 2 ステップアルゴリズムを提案し、計算コストの削減が可能であることを示した。 第 5 章では、第 4 章で得られた知見を基に、動画画像の顔特徴点検出の高速・高精度化について述べた。従来の顔特徴点の時系列追跡手法は、計算量の削減および手振れなどの予期せぬ動きへの適応が課題であった。提案手法は、顔特徴点の時系列追跡問題に対して 2 ステップアルゴリズムを適用することで、計算コストを削減すると共に、予期せぬ動きに対する頑健性を持つことを示した。また、タブレット機器を用いた拡張現実システムの応用事例により、多様な機器による実時間顔特徴点検出の応用が可能であることを明らかにした。 第 6 章では、本研究で得られた成果を総括し、結論と今後の展望を記した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4231 号	氏 名	高橋 巧一
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学 准教授 博士（工学）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）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 専任講師 博士（工学）久保 亮吾			
学士（工学）修士（工学）高橋巧一君提出の学位論文は「高速・高精度な顔特徴点検出に関する研究」と題され、6章から構成されている。 個人認証や表情認識などの顔画像処理技術は、近年盛んに研究が行われており、セキュリティ分野における監視カメラ解析やエンターテインメント分野における拡張現実をはじめ、様々な分野への産業応用が期待されている。現在、タブレット端末やスマートフォンなどのモバイル機器のカメラを用いた実時間顔特徴点検出や、インターネット上の膨大な顔画像を利用したビッグデータ解析のための静止画像に対する顔特徴点検出が近年注目を集めており、これらの実現に向けて顔特徴点検出の高速・高精度化が切望されている。そこで本研究では、計算コスト削減のための2ステップアルゴリズムと精度向上のための形状回帰モデルの自動設計を用いて動画像および静止画像のそれぞれについて適用し、新たに高速・高精度な顔特徴点検出手法を提案している。 第1章では、顔特徴点検出に関する背景を概説し、本研究の目的と位置づけを述べている。 第2章では、本研究について理解する上で必要となる基礎的な知識として、顔特徴点検出の理論および関連研究について記している。 第3章では、静止画像の顔特徴点検出の高速・高精度化について述べている。従来の手法では、特徴量の記述子およびモデルの構造を経験的に決定することが問題であったが、これらの設計パラメータを適応的に自動で決定することで高精度化が可能であることを示した。また、特徴量の記述子の計算過程に着目し、簡易演算によって高速計算できることを明らかにした。顔特徴点検出のためのデータセットを用いた実験では、従来手法と比較して高速・高精度な顔特徴点検出が実現できたことを示している。 第4章では、動画像の顔特徴点検出の高速・高精度化のための基礎理論として、平面画像を対象とする時系列追跡手法について述べている。従来の平面画像追跡手法は、非線形最適化問題として定式化されているが、これを直接解く場合は計算コストが高いことが問題であった。そこで、3次元の平面画像追跡問題を、2次元の局所的な追跡問題と3次元の大域的な追跡問題に分割する2ステップアルゴリズムを提案し、計算コストの削減が可能であることを示している。 第5章では、第4章で得られた知見を基に、動画像の顔特徴点検出の高速・高精度化について述べている。従来の顔特徴点の時系列追跡手法は、計算量の削減および手振れなどの予期せぬ動きに対して適応できない事が課題であった。提案手法は、顔特徴点の時系列追跡問題に対して2ステップアルゴリズムを適用することで、計算コストを削減すると共に、予期せぬ動きに対する頑健性を保証している事を示している。また、タブレット機器を用いた拡張現実システムの応用事例により、多様な機器による実時間顔特徴点検出の応用が可能であることを明らかにした。 第6章では、本研究で得られた成果を要約し、結論を述べている。 以上要するに、本研究は画像処理分野における実環境応用のための高速・高精度な顔特徴点検出を実現したものであり、これらの成果は工学上、工業上寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4232 号	氏 名	岩岡 伸之
主 論 文 題 目：			
粗視化分子動力学シミュレーションを用いた高分子溶融体系の研究			
高分子は非常に多数のモノマーが連結してできた巨大分子であり、多様な物性を示す。特に、高分子系の巨視的な物性にみられる特徴的な緩和挙動は、高分子鎖のダイナミクスに強く影響を受ける。そのため、微視的な高分子鎖のダイナミクスを理解することは、基礎・応用物理学的に重要な意味をもつ。近年、計算機性能の大幅な向上により、高分子系の普遍的な性質を再現できる粗視化分子動力学シミュレーションに注目が集まっており、高分子材料の物性予測やその物理的機構の解明を目指した研究が盛んに行われている。本論文では、粗視化分子動力学シミュレーションを用いた高分子溶融体を対象に、微視的な緩和ダイナミクスを援用した粘弾性挙動の予測方法の開発と過冷却状態における高分子鎖の緩和ダイナミクスの物理的機構の解明を試みた。 第 1 章に本論文の目的と概略を記す。第 2 章で本論文の背景となる高分子の動的な性質を説明する。第 3 章では本論文で用いたモデル系とシミュレーションデータから高分子鎖の緩和ダイナミクスを抽出する方法、緩和モード解析について述べる。 第 4 章の高分子溶融体の線形粘弾性評価の研究では、溶融体系の緩和弾性率を効率的に評価することを目的に、高分子鎖の緩和ダイナミクスを利用した評価方法を提案し、モデル系への適用結果を報告する。一般に、線形粘弾性の応答関数である緩和弾性率の計算データは多大な雑音を含む。特に、高分子系の緩和弾性率は極めて遅い緩和挙動を示すため、高精度な計算結果を得るには膨大な計算コストが必要となる。近年開発された計算アルゴリズムを用いても、雑音を除いた緩和弾性率を得るには最長緩和時間の数十倍～数百倍もの計算コストが要求される。本研究では、緩和モード解析で得られる高分子鎖の緩和率が一般化 Maxwell 模型の時間スケールに対応付くことを示し、雑音を含む緩和弾性率の計算データを緩和モードの緩和率を援用した一般化 Maxwell 模型に当てはめることで、緩和弾性率の振る舞いの推定を試みた。推定結果の妥当性をモデル系で検証し、従来の 10 分の 1 程度の計算コストで高分子溶融体の緩和弾性率を予測できることを確認した。 第 5 章の過冷却溶融体中の高分子鎖の緩和ダイナミクスの研究では、過冷却系で一般に発現する動的不均一性の概念を考慮しつつ高分子鎖の緩和モード・緩和率を調べるために、1 本 1 本の鎖に緩和モード解析を適用した結果を報告する。特に、自由エネルギー曲面上におけるある局所的な最小点周りの構造ゆらぎを解析できるように、シミュレーション時間を低温における高分子鎖の最長緩和時間程度に調整した。温度が下がるにつれ、溶融体中の高分子鎖の緩和が遅くなり、系全体でみた緩和率の分布には広がりが増大された。さらに、高分子鎖の緩和モードの振る舞いは Rouse モードで記述できず、鎖ごとに不規則であることが分かった。これらの結果から、低温では高分子コンフォメーションレベルで動的不均一性が発現することが明らかになった。また、最長緩和時間に比べて十分に長いシミュレーションを別途行い、過冷却溶融体の液体的な性質を解析した。この場合にも動的不均一性を反映した緩和率の分布が得られたが、緩和モードの動きは低温でも Rouse モードに近いことが分かった。過冷却液体としての溶融体の構造緩和時間の温度依存性は、Vogel-Fulcher-Tammann 則に従うことを示した。 第 6 章に本論文の結論を与え、得られた知見の総括を記す。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4232 号	氏 名	岩岡 伸之
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 高野 宏
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 白濱 圭也
		慶應義塾大学教授	博士（理学）・医学博士 藤谷 洋平
		慶應義塾大学准教授	工学博士 横井 康平
		お茶の水女子大学大学院教授	博士（理学） 出口 哲生
学士（理学）、修士（理学）岩岡伸之君提出の学位請求論文は、「粗視化分子動力学シミュレーションを用いた高分子溶融体系の研究」と題し、全6章から成る。 高分子溶融体の巨視的な物性、特に動的性質を、高分子鎖の微視的ダイナミクスから理解することは、高分子物理学の基礎的かつ重要な問題である。近年、計算機の性能の著しい向上により、粗視化分子動力学シミュレーションにより高分子溶融体の物性予測や、その物理的機構の解明を行うことができるようになってきている。本論文では、高分子溶融体を対象に、粗視化分子動力学シミュレーションを行い、緩和モード解析と呼ばれる統計物理学的解析方法で高分子鎖の微視的緩和ダイナミクスを解析し、高分子溶融体の緩和弾性率の効率的評価方法の提案と、過冷却高分子溶融体の動的不均一性の解明を行っている。 第1章では、本論文の背景、目的と結果の概略を述べている。 第2章では、本論文の背景となる高分子系のダイナミクスの概略を説明している。 第3章では、本論文で用いた粗視化高分子模型と、シミュレーションのデータから高分子鎖の微視的緩和ダイナミクスを解析する方法である緩和モード解析について説明している。 第4章では、高分子溶融体の線形粘弾性を記述する緩和弾性率の効率的評価方法を提案し、モデル系への適用によりその有効性を示している。Green-Kubo 公式を用いてシミュレーションから緩和弾性率を計算する従来の評価方法では、緩和弾性率の長時間での収束が悪く、精度の良い計算結果を得るためには非常に長時間のシミュレーションを必要とする。近年開発された計算アルゴリズムを用いても、高分子鎖の最長緩和時間の数十倍から数百倍の時間に相当するシミュレーションを行う必要がある。本論文では、緩和モード解析で得られる高分子鎖の緩和時間分布が、緩和弾性率を指数関数的に緩和する項の和で表した一般化 Maxwell 模型の緩和時間分布と対応づけられることを示している。実際に、短時間のシミュレーションから得られた統計誤差の大きい緩和弾性率のデータを、緩和モード解析から得られた緩和時間分布を用いた一般化 Maxwell 模型に当てはめ、緩和弾性率を推定している。長時間のシミュレーションの結果との比較によって、推定結果が妥当であることを確かめ、シミュレーション時間を従来の約十分の一にできることを示している。 第5章では、過冷却高分子溶融体のシミュレーションを行い、高分子鎖一本一本の緩和を緩和モード解析の方法により調べている。特に、過冷却状態での自由エネルギーの極小に捕らえられた状態を見るために、シミュレーション時間を制限した上で、isoconfigurational ensemble を作り解析している。高温では高分子鎖の緩和が等方的で一様で、Rouse モードで記述されるのに対し、温度を下げていくと、各高分子鎖の緩和が非等方的かつ不均一になり、Rouse モードから外れていくことを明らかにしている。全ての高分子鎖の緩和時間の分布は、高温では縮退していて離散的であるのに対し、低温では緩和時間が長くなると同時に連続的になることを示している。 第6章では、本論文の結論をまとめている。 本論文で提案された効率的な緩和弾性率の評価方法は、今後さらに発展することが期待される粗視化分子動力学シミュレーションによる高分子系の粘弾性の研究にとって非常に重要である。また、過冷却高分子溶融体の解析結果は、ガラス転移の研究で重要な動的不均一性を、高分子の配座の緩和で初めて示した重要な結果である。これらの研究成果は、高分子物理学および統計物理学において基礎的かつ重要な成果である。 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。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4233	Name	Khusna Dwijayanti
Thesis Title Development of Automatic Process Planning System for Turning-Milling Center Based on Machining Feature Recognition			
The objective of this research is to develop an automatic process planning system for a turning-milling center based on machining feature recognition. Machining feature recognition is carried out based on delta volume decomposition and surface identification. The system can recognize the machining features with surfaces such as planar, inclined planar, cylindrical, spherical, conical, and toroid. The SolidWorks Application Program Interface (API) is used in the designed system for delta volume extraction: disassembly of the delta volume into the machining features, surface parameter identification, machining feature recognition, sequence determination, and prediction of processing time. Furthermore, the process planning system can generate all possible machining solutions, evaluate the machining plan, and choose the appropriate machining plan based on the user's evaluation criteria. At this stage, the developed system is capable of selecting the best machining process plan based on the shortest processing time. Finally, this thesis proposes a new process planning method for a turning-milling center with the two turrets system and presents the result of process planning simulation. Chapter 1 introduces the process planning systems and machining feature recognition, presents a literature review on previously reported process planning and machining feature recognition methods, and describes the objective of this research. Chapter 2 proposes the methodology of machining feature recognition used in this study. This chapter elaborates on the implementation of the machining feature recognition method based on surface identification with SolidWorks API. This chapter also demonstrates the effectiveness of the proposed method when it is applied to various simple shapes. Chapter 3 presents the development of the automatic process planning system for a turning-milling center based on machining feature recognition. The development of the program involves several steps. The program is created by SolidWorks API with Visual Basic for Application. Chapter 4 describes the results of implementation of the automatic process planning system in SolidWorks. This chapter elaborates on the integration of the machining feature recognition method as well as the applicability of the automatic process planning method as a design support system in SolidWorks by the use of its API. In addition, the automatic process planning system of the two turrets machining system is presented to complement the developed system. Chapter 5 presents concluding remarks and a summary of the study.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4233 号	氏 名	Khusna Dwijayanti
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 青山 英樹			
副査 慶應義塾大学教授 工学博士 青山 藤詞郎			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 柿沼 康弘			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 閻 紀旺			
学士(工学), 修士(工学)Khusna Dwijayanti 君の学位請求論文は,「Development of Automatic Process Planning System for Turning-Milling Center Based on Machining Feature Recognition (マシニングフィーチャ認識に基づく複合加工機用自動プロセスプランシシステムの開発)」と題し, 5 章から構成されている。 本研究の目的は, マシニングフィーチャの認識に基づき, 複合加工機(ターニング・ミリングセンタ)の加工工程を自動設計するシステムを開発することにある。マシニングフィーチャの認識は, 加工工程によって除去すべき形状(除去形状)を, それを構成している面(平面, 円筒面, 球面, 円錐面, 円錐曲線回転面など)に基づいて分割し, 最小加工単位形状を導出するとともに, 最小加工単位形状を構成している各面の状態(加工要求形状面であるか否か)を認識することにより実現される。加工工程は, 認識されたマシニングフィーチャの加工順として設計される。 除去形状の抽出, 最小加工単位形状への分解, 最小加工単位形状を構成する面の状態認識, 最小加工単位形状のマシニングフィーチャへの認識は, CAD システム(SolidWorks)とその Application Program Interface (API)を用いて開発されたシステムにより自動的に実行される。同システムは, 全ての加工工程候補を抽出し, 加工時間が最短となる加工工程を最適加工工程として決定しており, 2 タレット型複合加工機への対応も可能としている。 第 1 章では, 加工工程の設計とマシニングフィーチャの認識に関する意義・背景が紹介されている。また, 加工工程の設計とマシニングフィーチャの認識に関する従来研究およびその問題点が明らかにされ, 本研究の目的が述べられている。 第 2 章では, 本研究におけるマシニングフィーチャの認識方法が述べられている。除去形状抽出法, 除去形状の最小加工単位形状への分解法, 面の状態認識法, マシニングフィーチャ認識法について, アルゴリズムが詳述されている。 第 3 章では, マシニングフィーチャの認識に基づいた複合加工機用加工工程設計システムの開発について述べられている。その実装においては, SolidWorks の API および Visual Basic for Application が使われている。また, 単純形状に対して提案手法が適用され, その有用性が示されている。 第 4 章では, 開発された自動加工工程設計システムを複雑な加工要求形状に対して適用した結果が示され, その有用性が確認されている。また, 複数タレット型複合加工機に対応する加工工程設計システム開発のための基礎研究として, 2 タレット型複合加工機用加工工程設計システムの開発について述べられている。 第 5 章では, 本研究の成果がまとめられ, 今後の課題と展望について言及されている。 以上, 要するに, 本論文は, 加工除去形状からマシニングフィーチャを認識し, その加工順として複合加工機用の加工工程設計を実現する手法を提案し, 同提案に基づき自動加工工程設計システムを開発してその有用性を確認しており, 機械加工学・機械加工技術開発の分野において, 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 4234 号	氏 名	阿部 真志
主 論 文 題 目：			
波長 3 μm 帯広帯域分光計の高感度高分解能化とメタン基本振動バンドの精密周波数測定			
中赤外領域における分子の振動遷移の分光学的研究は、物理学、化学、天文学の基礎科学から、物質の検出・同定の応用分野まで大きな貢献をしてきた。レーザー等のコヒーレント光源を用いる分光計はスペクトル分解能と検出感度を著しく向上し、質の高い基礎データを供給している。 これまでに、差周波発生法による波長 3 μm 帯のコヒーレント光源に光共振器吸収セルを組み合わせ、広帯域、高感度、高分解能分光計が開発され、さらに、光周波数コムを基準にした周波数掃引法が導入された。この分光計を用いて分子のサブドップラー分解能高感度分光が行なわれ、遷移周波数の絶対測定が報告された。 本論文では、この分光計に、新たに2つの非線形光学結晶を導入して同調波長域を約 1.6 倍に拡張した。高い回転状態の遷移を含むメタンの振動バンド全体にわたるサブドップラー分解能分光を行い、遷移周波数を相対不確かさ 10^{-11} で決定した。また、禁制遷移の測定を行い、振動基底状態の分子定数を高い精度で決定した。通過時間幅を狭めるために太い光ビーム径を持つ光共振器吸収セルを導入して、スペクトル線幅を狭窄化した。さらに光周波数コムのキャリアエンベロップオフセット周波数を制御し、これまでに観測できなかった CH_3D の低い回転状態の A_1-A_2 分裂の分離に成功した。これを解析してエネルギー準位の分裂を決定し、分子定数の改善を行った。 本論文の第 1 章では、中赤外領域の分子分光、サブドップラー分解能分光、遷移周波数測定、および、分子分光における本論文の位置づけを述べた。 第 2 章では、飽和吸収分光法、スペクトル線幅、光共振器、周波数制御法、メタン分子の振動回転準位構造、光周波数コムについて基本的な理論を述べた。 第 3 章では、分光計の構成と用いられた差周波中赤外光源、光共振器吸収セルについて述べ、光周波数コムの役割について述べた。 第 4 章では、メタン分子 ν_3 バンドのサブドップラー分解能分光について述べた。新たに R ブランチと高い回転状態の P, Q ブランチの計 131 本の遷移の絶対周波数測定を行った。また、19 本の禁制遷移の絶対周波数測定を行った。これらから振動基底状態のエネルギー準位間隔を決定した。また、振動基底状態の回転定数を従来より 40 倍高い精度で決定した。 第 5 章では、太い光ビーム径をもつ光共振器吸収セルを使ったスペクトル線幅の狭窄化について述べた。これによりメタン分子の通過時間によるスペクトル広がり半値半幅で 38 kHz まで減った。観測された Lamb ディップのスペクトル線幅は 80 kHz で、従来の 1/3 まで狭窄化された。 第 6 章では、光共振器吸収セル（5 章）とキャリアエンベロップオフセット周波数を制御した光周波数コムを組み合わせた分光計を用いた CH_3D ν_1, ν_4 バンドの A_1-A_2 分裂の観測について述べた。22 組の A_1-A_2 分裂を初めて測定し、振動基底状態の A_1-A_2 分裂係数を 1.5624(22) Hz と決定した。 第 7 章を結論とし、本研究の総括および今後の展望を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4234 号	氏 名	阿部 真志
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 佐々田 博之
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(理学) 岡 朋治
		慶應義塾大学准教授	博士(理学) 山内 淳
		慶應義塾大学教授	工学博士 神成 文彦
		東京理科大学教授	理学博士 盛永 篤郎
学士(理学)、修士(理学) 阿部真志君提出の学位論文は「波長 $3\text{ }\mu\text{m}$ 帯広帯域分光計の高感度高分解能化とメタン基本振動バンドの精密周波数測定」と題して全7章から構成されている。 中赤外領域における分子の振動遷移の分光学的研究は、物理学、化学、天文学の基礎科学から、物質の検出・同定の応用分野まで大きな貢献をしてきた。レーザー等のコヒーレント光源を用いる分光計はスペクトル分解能と検出感度を著しく向上し、質の高い基礎データを供給している。 これまでに、差周波発生法による波長 $3\text{ }\mu\text{m}$ 帯のコヒーレント光源に光共振器吸収セルを組み合わせ、広帯域、高感度、高分解能分光計が開発され、さらに、光周波数コムを基準にした周波数掃引法が導入された。この分光計を用いて分子のサブドップラー分解能高感度分光が行なわれ、遷移周波数の絶対測定が報告された。 本論文では、この分光計に、新たに2つの非線形光学結晶を導入して同調波長域を約 1.6 倍に拡張した。高い回転状態の遷移を含むメタンの振動バンド全体にわたるサブドップラー分解能分光を行い、遷移周波数を相対不確かさ 10^{-11} で決定した。また、禁制遷移の測定を行い、振動基底状態の分子定数を高い精度で決定した。通過時間幅を狭めるために太い光ビーム径を持つ光共振器吸収セルを導入して、スペクトル線幅を狭窄化した。さらに光周波数コムのキャリアエンベロープオフセット周波数を制御してこれまでに観測できなかった CH_3D の低い回転状態の A_1-A_2 分裂の分離に成功した。これを解析してエネルギー準位の分裂を決定し、分子定数の改善を行った。 本論文の第1章では、中赤外領域の分子分光、サブドップラー分解能分光、遷移周波数測定、および、分子分光における本論文の位置づけを述べている。 第2章では、飽和吸収分光法、スペクトル線幅、光共振器、周波数制御法、メタン分子の振動回転準位構造、光周波数コムについて基本的な理論を述べている。 第3章では、分光計の構成と用いられた差周波中赤外光源、光共振器吸収セルについて述べ光周波数コムの役割について述べている。 第4章では、メタン分子 ν_3 バンドのサブドップラー分解能分光について述べている。新たに R ブランチと高い回転状態の P, Q ブランチに属する計 131 本の遷移について絶対周波数測定を行った。また、19 本の禁制遷移の絶対周波数測定を行った。これらから振動基底状態のエネルギー準位間隔を決定した。また、振動基底状態の回転定数を従来の $1/40$ の不確かさで決定した。 第5章では、太い光ビーム径をもつ光共振器吸収セルを使ったスペクトル線幅の狭窄化について述べている。これによりメタン分子の通過時間によるスペクトル広がり半値半幅で 38 kHz まで減った。観測された Lamb ディップのスペクトル線幅は 80 kHz で、従来の $1/3$ まで狭窄化された。 第6章では、光共振器吸収セル(5章)とキャリアエンベロープオフセット周波数を制御した光周波数コムを組み合わせた分光計を用いた CH_3D ν_1, ν_4 バンドの A_1-A_2 分裂の観測について述べている。22 組の A_1-A_2 分裂を初めて測定し、振動基底状態の A_1-A_2 分裂係数を $1.5624(22)\text{ Hz}$ と決定した。 第7章を結論とし、本研究の総括および今後の展望を述べている。 以上のように、本研究は高性能の中赤外分光計を改良発展させ、その性能を実証し、多くの精密な分光データを提供している。これらの成果は、広く高分解能分光学、分子科学、度量衡学に画期的な貢献をし、学術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 4235 号	氏 名	小野 峻史
主 論 文 題 目：			
A Study on Brain-Machine Interface Rehabilitation for Stroke Hemiplegia (脳卒中片麻痺に対するブレイン・マシン・インターフェース・リハビリテーションに関する研究)			
ブレイン・マシン・インターフェース (Brain-Machine Interface, BMI) は、脳信号をリアルタイムに計測し、推定された活性状態に基づいて外部機器を駆動させる工学技術である。脊髄損傷や筋萎縮性側索硬化症など、重度に身体運動が障害される傷害や疾病に対して BMI は有効な補綴技術と目されており、その研究展開が期待されている。BMI 研究は、ヒューマンインターフェース分野あるいはロボティクス分野を源流のひとつに持つことから、従来の BMI 研究では、脳信号からの有効特徴量の選択や高精度識別関数の構築といった、工学的検討が支配的であった。しかしながら BMI の継続利用は、脳の活性状態に基づく視覚的、体性感覚的なフィードバックを脳に対して与えるものであり、このような閉ループ性が脳の可塑的適応性に影響を及ぼすことは想像に難くない。BMI によって脳の可塑的適応性を誘導することができれば、脳内の非傷害経路を選択的に賦活化させて運動障害を克服する「BMI リハビリテーション」を実現することが可能であり、その将来的な医療応用も期待される。そこで本論文では、BMI によって健常者および片麻痺患者の頭皮脳波から推定された体性感覚運動野の活性度をフィードバックした際の、脳活動ならびに身体運動機能に対する修飾効果を検討した。 第一章では、ヒトの身体運動の発現に関わる中枢神経系の活動様式に関する知見をまとめ、過去 15 年に急進した、身体運動障害の BMI による補綴研究の動向を概説した。 第二章では、BMI における視覚フィードバック様式が運動関連脳活動の適応過程に与える影響を調べた。1 日 1 時間の運動イメージ訓練を 5 日間にわたって実施した結果、身体知覚性が最も高い視覚フィードバック条件において、運動関連脳活動量のトライアル間分散が小さくなり、安定的な BMI 制御が可能になることを明らかにした。 第三章では、脳卒中片麻痺患者の運動企図時に計測される運動関連脳波が、体性感覚運動皮質の興奮性の指標になり得るか、機能的磁気共鳴画像装置 (Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI) を用いて検討した。その結果、運動関連脳波の信号強度は、fMRI で同定した体性感覚運動皮質の興奮性と正の相関を認めた。このことから、脳卒中片麻痺症例においても、運動関連脳波は体性感覚運動皮質の興奮性を表す指標として適切であると結論づけた。 第四章では、第三章で示した運動皮質の興奮性指標である運動関連脳波に対応する視覚フィードバックを用いた BMI 訓練と、体性感覚フィードバックを用いた BMI 訓練を慢性期脳卒中片麻痺症例に適用し、運動機能回復効果のグループ間比較をおこなった。その結果、体性感覚フィードバック BMI でのみ、訓練後に随意筋電図と臨床スコアの向上を認めた。体性感覚は感覚運動皮質における Hebb 的可塑性や誤差学習など、複数の作用点を持つ介入手法である可能性があり、このことが身体運動の機能回復をもたらしたと考えられた。 第五章では、以上の研究を総括し、BMI による脳卒中片麻痺リハビリテーションの現状と課題について結言を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4235 号	氏 名	小野 峻史
論文審査担当者：主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	牛場 潤一
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	岡 浩太郎
	慶應義塾大学教授	工学博士	本多 敏
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	満倉 靖恵

学士（工学）、修士（工学）小野峻史君提出の学位請求論文は、「A Study on Brain-Machine Interface Rehabilitation for Stroke Hemiplegia（脳卒中片麻痺に対するブレイン・マシン・インターフェース・リハビリテーションに関する研究）」と題し、全5章から成っている。

成人の脳を構成する神経細胞は、修復能や再生能が著しく低下しているため、脳卒中による部分損傷は完治せず、運動障害が半永続的に残存する。神経リハビリテーションでは、器質的損傷を有した中枢神経系において、神経細胞間における接続強度の変更をうながすことで機能再構成を図る治療法が開発されている。本論文では、身体運動が全くおこなえない超重度片麻痺に対して、運動関連脳電位を頭皮上から計測し、実時間で電動装具やディスプレイを応答させて状態フィードバックを与えるというブレイン・マシン・インターフェース（以後、BMI）による新しいリハビリテーション法を提案した。

本論文の第1章は序論であり、脳卒中片麻痺に対するクリニカルパスの現状と課題、および神経リハビリテーション研究の現状とBMIの応用可能性について概説している。

第2章では、身体運動の生成に必要な脳活動を再構築するための、BMIの構成要件について検討した。運動生成に必要な脳活動電位を、再現よく持続的に生成できるように被験者を訓練するためには、脳活動電位の状態を視覚情報として実時間的にフィードバックし、学習をうながすことが必要である。しかし従来のBMIで汎用に用いられてきた、脳活動電位の状態遷移をバーグラフ表示する方式では、学習者が身体運動を想起するプロセスを十分に誘導できないと考え、掌握運動をアニメーション表示して自己身体近傍に投影する表示方式を提案し、その即時効果と5日間にわたる訓練効果を健常成人において評価した。その結果、提案方式は運動関連脳電位の反応性を高めたほか、トライアル間分散を減少させ、BMIに対する高い訓練効果があることを示した。

第3章では、重度な上肢運動障害を呈する慢性期脳卒中片麻痺患者に対してBMIを適用し、運動関連脳電位の状態を視覚情報として実時間フィードバックした場合の脳活動パターンの可塑的再構成過程について検討した。約1ヶ月間にわたり、1日1時間程度のBMIを利用した場合、患者間で多様な異常状態を呈していた脳活動パターンが、障害半球の体性感覚運動野ならびに両側の補足運動野に局限することを確認した。また、頭皮上から計測される運動関連脳電位は、機能的磁気共鳴イメージング法で計測された体性感覚運動野の活動レベルを反映していることを明らかにし、このことがBMIによる脳活動パターンの可塑的再構成を促進する要因である可能性を示した。

第4章では、体性感覚運動野の活性化レベルを、視覚情報として実時間フィードバックするBMIと、麻痺手に装着した電動装具による体性感覚をフィードバックするBMIについて、機能回復効果に関する比較をおこなった。運動関連脳波と随意筋活動電位を指標として定量的な比較をおこなった結果、体性感覚フィードバックを用いたBMIは従来手法よりも麻痺手指の随意性を高めることが示された。

第5章では、本研究を総括するとともに、開発したBMIリハビリテーションに関する今後の応用可能性を示した。

本論文の成果は、脳卒中片麻痺に対する新たな治療戦略としてBMIの可能性を見いだしただけでなく、脳に対する非侵襲的な外的介入が、脳の内在的な可塑性原理に働きかけられることを示した点にある。これらのことは、今後の神経リハビリテーション研究に貢献し、その発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（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4236号	氏 名	松尾 綾子
主論文題目： A Study on Efficient Medium Access Networks for Proximity Range Millimeter Wave Communications (近接ミリ波通信のためのメディアアクセス方式に関する研究)			
60GHz を用いるミリ波帯は、免許が不要で、数 GHz に及ぶ広帯域が使用でき高速通信が可能であるという特徴をもつ。ミリ波を用いた通信は自動車衝突防止用のレーダや高速無線 LAN といった活用が検討されているが、その一つとして本論文では、ミリ波の高速性や距離減衰特性を生かす、送信端末 1 台受信端末 1 台の 1 対 1 に限定した近接高速無線通信に注目する。ミリ波を用いた近接高速無線通信に適する高効率、低消費電力及び他システム共存可能なメディアアクセス方式に関して検討する。 1 章では、ミリ波帯システムの特性、各種アプリケーションや 1 対 1 アプリケーション時の要求仕様について述べる。また、無線 LAN 等で用いられる主要メディアアクセス方式である CSMA/CA や TDMA を 1 対 1 近接高速無線通信に適応した場合の特徴を述べる。 2 章では、2 端末間で異なるフレーム間隔を設定し 2 端末間の衝突を避けるアクセス方式を採用し、2 端末かつ近接で基本的には良好な通信状況での送受信であることを生かし、否定応答(NACK)の導入を提案する。NACK は受信側で誤りの場合のみ応答信号を送信するため、通信状況が良い場合には肯定応答(ACK)よりも効率的な送受信が可能な反面、通信状況の悪化を見落とす可能性が高い。本論文では応答信号として ACK 及び NACK を混在させた ACK/NACK 適応切り替え方式を提案する。数値解析、シミュレーション及び実機評価により、ACK/NACK 適応切り替え方式を用いることでスループットが向上することを示す。 3 章では、近接させた 1 対 1 通信のみ反応し高速な接続処理を行いつつ、通信時以外の消費電力を抑える低消費電力待ち受け方式を 2 つ提案する。接続要求信号を一定間隔送信かバースト送信かの 2 つを考案し、前者では接続要求信号の送信端末、後者は受信端末の消費電力低減に効果があることを示す。数値解析及びシミュレーションより、提案待ち受け方式が従来方式よりも接続要求信号の受信端末の消費電力低減に効果があることを示す。提案方式のミリ波チップへの実装を行い、実機にて動作検証及び性能評価を行い、効果があることを確認した。 4 章では、同一周波数、同一エリアに近接高速無線通信と通信距離数メートルの近距離通信である IEEE801.11ad 対応端末が混在する場合における、近接高速無線通信による干渉推定及び共存方式を提案する。提案方式は、近接ミリ波無線においてフレーム間隔を一定期間毎に調整することで近距離通信にも同等の送信機会を与える方式、近距離通信のバックオフタイミングを検出、本期間中に近接高速無線通信にてフレーム送信を行う方式、及び両方式を組み合わせた方式である。各方式のスループット特性をシミュレーションにより評価し、提案方式の有効性及び干渉具合と各方式の適応性を示す。 最後に 5 章で本論文をまとめる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4236 号	氏 名	松尾 綾子
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) 重野 寛
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 眞田 幸俊
工学士、修士（工学）、松尾綾子君提出の学位請求論文は、「A Study on Efficient Medium Access Networks for Proximity Range Millimeter Wave Communications (近接ミリ波通信のためのメディアアクセス方式に関する研究)」と題し、全5章から構成される。 60GHz帯を用いるミリ波は、免許が不要で数GHzに及ぶ広帯域が使用できるという優れた利点を有しており、自動車衝突防止用のレーダなどで用いられている。ミリ波は電波の直進性が強く、距離減衰も大きく、デバイスも比較的高価であったため、これまで通信ではあまり利用されていなかった。しかし、近年、デバイスの小型化・低廉化が進み、ミリ波を用いた近距離高速通信での有効活用に対する検討が活発に行われ始めている。また、パスモやスイカに代表される数センチメートル以下の低速な近接通信は広く普及しているが、カメラとPC、あるいは携帯電話とKIOSK端末などの近接端末間での、静止画・動画・データ送受信の高速化・大容量化が強く求められている。 本論文では、ミリ波の広帯域性や距離減衰特性を活かす、送信端末と受信端末が対向する1対1通信に限定した近接高速大容量無線通信に注目し、近接ミリ波通信の高効率、低消費電力化、及び、他システム共存可能なメディアアクセス方式に関して検討を行っている。 第1章では、ミリ波帯システムの特性、1対1アプリケーション時の要求仕様について述べている。また、無線LAN等で用いられるメディアアクセス方式であるCSMA/CAやTDMAを1対1ミリ波近接無線通信に適応した場合の研究課題についてまとめている。 第2章では、2端末間で異なるフレーム間隔を設定することにより衝突を避けるアクセス方式を採用し、また、2端末間の送受信通信状況は基本的には良好であることを生かし、受信側で誤りの場合のみ応答信号を送信する否定応答(NACK)の導入を検討している。しかし、NACKは肯定応答(ACK)よりも効率的な送受信が可能な反面、通信状況の悪化を見落とす可能性が高い。そこで、応答信号として、ACK/NACKを適応的に切り替える方式を提案し、数値解析、シミュレーション、及び、実機評価により、提案方式によりスループットが向上できることを明らかにしている。 第3章では、近接させた1対1通信のみ反応し高速な接続処理を行いつつ、通信時以外の消費電力を抑える2つの低消費電力待ち受け方式を提案している。数値解析、及び、シミュレーションより、接続要求信号として一定間隔送信とバースト送信の2方式を検討した結果、前者では接続要求信号の送信端末、後者は受信端末の消費電力低減に効果があることを示している。また、提案待ち受け方式が従来方式よりも接続要求信号の受信端末の消費電力低減に効果があることを明らかにしている。さらに、提案方式のミリ波チップへの実装を行い、実機にて動作検証及び性能評価を行い、提案方式の有効性を確認している。 第4章では、同一周波数、同一エリアに近接高速無線通信と、通信距離数メートルの近距離通信であるIEEE802.11ad対応の無線LAN端末が混在する場合における、近接高速無線通信による干渉推定、及び、共存方式を提案している。近接ミリ波無線通信において、提案方式のフレーム間隔を一定期間毎に調整することにより、無線LANの干渉を抑えつつ、スループット特性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、提案方式の有効性を示している。 第5章は本論文の結論であり、各章で得られた知見を総括し、本研究の成果を要約している。 以上要するに、本研究は近接ミリ波通信のためのメディアアクセス方式を提案したものであり、無線通信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 4237 号	氏 名	笠谷 雄一
主 論 文 題 目：			
単結晶強磁性薄膜における異方性磁化緩和に関する研究			
磁化と伝導電子スピンの相互作用を研究対象とするスピントロニクス分野において、単結晶強磁性金属はデバイス性能を飛躍的に向上させる材料として盛んに研究されている。また、磁化ダイナミクスを支配する磁化緩和過程の微視的機構を理解しこれを制御することは、スピントロニクスデバイス的高速動作や低消費電力化にとって極めて重要である。磁化緩和過程は、磁性体中のスピン軌道相互作用や電子状態密度などの電子状態に強く依存するため、単結晶強磁性金属では、磁化緩和が結晶方位を反映して異方的に振る舞う可能性がある。しかし、磁化緩和定数（ダンピング定数）の異方性に関する研究は、実験、理論ともあまり行われておらず、応用上重要な磁化容易軸と磁化困難軸のダンピング定数の大小や、その他の結晶方位にける振る舞いなど未解明な点が多い。ダンピング定数の異方性を定量的に理解することは、単結晶スピントロニクスデバイスにおいてナノ秒以下的高速磁化ダイナミクスを実現するためにも不可欠である。 一般的には、強磁性共鳴(FMR)スペクトルの線幅の印加磁場の面外角度依存性から外因性の線幅増大効果を取り除き、物質固有のダンピング定数を求める方法がよく用いられている。しかし、この方法はダンピング定数が結晶方位に依存しないことを前提としており、単結晶強磁性金属薄膜において予想される異方的ダンピング定数の測定には適していない。そこで本研究では、ベクトルネットワークアナライザ FMR 測定法により、磁化を任意の結晶方位に固定した状態で磁場とマイクロ波周波数を変化させながら FMR スペクトルを測定し、線幅の周波数依存性から物質固有のダンピング定数を求めた。その結果、単結晶 Fe(100)薄膜のダンピング定数が磁気異方性と同じ 4 回対称の異方性を有すること、ダンピング定数が磁化困難軸よりも磁化容易軸で小さくなること、中間方位ではダンピング定数が連続的に変化することが分かった。さらに、単結晶 Fe 細線において磁壁移動度が結晶方位や磁場強度に依存する現象を発見し、これがダンピング定数の異方性と磁壁移動時の磁化回転モードを考慮したモデルで説明できることが分かった。 次に、ダンピング定数に大きく影響するフェルミ準位の状態密度がスピンサブバンド間で非対称な Co 基ホイスラー規則合金薄膜について、組成比により電子状態を系統的に変化させながらダンピング定数の異方性を調べた。その結果、$L2_1$-Co₂FeSi(111)薄膜のダンピング定数の異方性が誘導磁気異方性の対称性を反映している一方、磁化容易軸と困難軸のダンピング定数の差はあまり無く、中間方位で大幅に減少することが分かった。またダンピング定数は、Co を Fe に置換し、状態密度のスピンサブバンド間での非対称性を小さくするにしたがって、等方的になることが分かった。この結果は、次世代スピントロニクス材料として期待されているホイスラー規則合金薄膜をスピン源や記憶素子などに利用する際にダンピング定数の異方性を考慮して結晶方位の設計を行う必要があることを示しており、応用上非常に重要な知見である。 本論文は、第 1 章でスピントロニクスの現状と、強磁性体中での磁化ダイナミクスと磁化緩和過程の理論について説明する。第 2 章では、試料作製法と FMR 測定原理、解析手法について述べる。第 3 章では、単結晶 Fe 薄膜における磁化緩和定数と磁気異方性の関係について議論し、第 4 章では、単結晶 Fe 薄膜における異方性磁化緩和と磁壁移動に及ぼす影響について説明する。第 5 章では、単結晶ホイスラー合金 Co_{3-x}Fe_xSi 薄膜および Co₂FeSi_{1-y}Al_y 薄膜における磁化緩和定数の組成比・結晶方位依存性について述べる。最後に第 6 章で本論文で得られた知見をまとめる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4237 号	氏 名	笠谷 雄一
論文審査担当者： 主査	慶應義塾大学准教授	博士(理学)	能崎 幸雄
副査	慶應義塾大学教授	理学博士	高野 宏
	慶應義塾大学教授	理学博士	白濱 圭也
	慶應義塾大学教授	工学博士	佐藤 徹哉
	理化学研究所	博士(理学)	多々良 源

学士(理学)、修士(理学) 笠谷雄一君提出の学位請求論文は、「単結晶強磁性薄膜における異方性磁化緩和に関する研究」と題し、全6章より構成されている。

伝導電子のスピン角運動量を電子デバイスの機能動作に利用するスピントロニクスにおいて、単結晶強磁性薄膜はデバイス性能を飛躍的に向上させる材料として注目を集めている。単結晶スピンドバイスの高速動作や省電力化には、磁化ダイナミクス(磁化緩和)の微視的機構を理解し、制御することが重要である。単結晶強磁性薄膜の磁化緩和定数(Gilbert ダンピング定数)は、結晶方位を反映して異方的に振舞うと理論的に予想されている一方、実験報告がほとんど無く、これを明らかにすることが急務である。著者は、本論文で強磁性共鳴(FMR)スペクトルの線幅からダンピング定数の結晶方位依存性を測定する新しい手法を提案し、単結晶 Fe 薄膜および次世代スピンドバイス材料の Co 基ホイスラー合金薄膜について、ダンピング定数の異方性を詳しく調べている。

第1章の序論では、磁化緩和機構の微視的理論と外因的 FMR 線幅の起源、磁壁易動度とダンピング定数の関係、およびホイスラー合金のダンピング定数に関する従来研究について述べている。

第2章では、ダンピング定数の結晶方位依存性の測定に用いた単結晶薄膜の微細加工法、およびベクトルネットワークアナライザ(VNA)-FMR スペクトル測定法を説明している。

第3章では、Fe 単結晶薄膜におけるダンピング定数の結晶方位依存性について述べている。従来研究では、FMR 線幅の磁化方向依存性を測定することにより、外因的な線幅増大効果を取り除き、物質固有の内因性ダンピング定数を求めていた。しかし、この方法はダンピング定数が等方的な場合でのみ適用でき、単結晶強磁性薄膜の異方的ダンピング定数の測定には適さない。そこで著者は、内因性ダンピングと外因性ダンピングの周波数依存性の違いに着目し、磁化を所望の結晶方位に固定しながら FMR 線幅の周波数依存性を測定することにより、物質固有のダンピング定数を求める方法を考案した。その結果、単結晶 Fe(100)薄膜のダンピング定数は、磁化困難軸よりも磁化容易軸の方が小さく、磁気異方性と同じ4回対称の角度変化を示すことを明らかにしている。

第4章では、単結晶 Fe 細線の磁壁易動度について述べている。単結晶 Fe 薄膜では、磁場の印加角度と強度により、複数の磁化回転モードが出現することが知られている。筆者は、Fe[001]細線の磁壁易動度が磁場により2段階変化することを発見し、それぞれ磁壁内の磁化回転がダンピング定数の大きな磁化困難軸を経由するモードと経由しないモードに由来することを明らかにしている。

第5章では、Co 基ホイスラー規則合金薄膜について、組成比により電子状態を系統的に変化させながらダンピング定数の異方性を調べている。その結果、単結晶 Fe 薄膜とは異なり、 L_{21} -Co₂FeSi(111)薄膜は、容易軸と困難軸のダンピング定数に差はあまり無く中間方位で3分の1以下に減少すること、Co を Fe に置換し状態密度のスピンサブバンド間での非対称性を小さくするにしたがって等方的になることを明らかにしている。この結果は、ホイスラー規則合金薄膜をスピントロニクスや記憶素子などに利用する際にダンピング定数の異方性を考慮して結晶方位の設計を行う必要があることを示しており、応用上重要な知見である。

第6章は結論であり、各章を総括するとともに、本提案手法の有用性と今後の課題を論じている。

以上、著者の研究は、自らが提案した実験・解析手法により単結晶 Fe 薄膜と Co 基ホイスラー合金膜の異方的ダンピング定数を測定することに成功し、単結晶薄膜の磁化緩和機構の解明に重要な知見を得ており、基礎物理、工学応用双方の観点から大きな貢献が認められる。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4238 号	氏 名	佐野 昂迪
主 論 文 題 目： Generalizations of Darmon's conjecture and the equivariant Tamagawa number conjecture (Darmon 予想の一般化と同変玉河数予想)			
1980年代に、Mazur-Tate、Gross らにより、L 関数の値に関する古典的な類数公式の精密化が予想として定式化された。これに啓発され、Darmon は1995年に、彼らの予想の円単数に対する類似を定式化した。この予想は、実二次体上の円単数が、局所相互写像を用いて定義される「代数的レギュレーター」と合同関係式で結ばれることを主張する。Darmon 予想は Dirichlet による実二次体の古典的な類数公式の精密化である。 本論文では、Darmon 予想の一般化として二つの異なる予想を定式化し、その応用を与える。 一つ目の予想の定式化は、Rubin-Stark 予想の精密化という形でなされる。Rubin-Stark 予想は、大域体の L 関数の $s=0$ での値から、ある整性を持つ元が定まることを主張する。この元は Rubin-Stark 元と呼ばれ、円単数の一般化となる元である。我々が定式化する新しい予想は、二つの異なる Rubin-Stark 元を関係づける予想である。より正確には、大域体のアーベル拡大の塔 $L'/L/k$ に対し、L'/k と L/k に対してそれぞれ定まる Rubin-Stark 元の間に成り立つ関係式を予想する。我々はこの予想のいくつかの証拠を与え、またこの新しい予想は実際に Darmon 予想の一般化となっていることを証明する。我々の一つ目の主定理は、いくつかの仮定の下で、我々の新しい予想の大部分が同変玉河数予想から導かれることを述べる。応用として、Burns、Greither、Flach による同変玉河数予想に関する結果を用いることで、我々は Darmon 予想の完全証明を与える（二つ目の主定理）。Mazur-Rubin は2011年に Kolyvagin 系の理論を用いて Darmon 予想の奇素数部分を解いていたが、我々の結果は彼らの結果の改良である。 Darmon 予想の第二の一般化は、円単数が Euler 系の典型例であることに着目し、一般の p 進表現の Euler 系に対する Darmon 予想の一般化である。我々はこの予想を Kolyvagin 系の理論の標準的な仮定（コア・ランクが1であるという仮定を含む）の下で証明する（三つ目の主定理）。この結果は、Euler 系が Selmer 群のサイズの上からの評価を与えるという重要な事実の別証明を与える。証明中で「代数的 Kolyvagin 系」という、通常の Kolyvagin 系を代数的に一般化する概念を導入する。我々は四つの異なる代数的 Kolyvagin 系を定義し、それらがすべて同型であることを証明する。また、ユニット系という新しい系を導入し、ユニット系から代数的 Kolyvagin 系に自然な射を構成する。我々の Euler 系に対する Darmon 予想を、この射が全射であることに帰着させて証明を完成させる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4238 号	氏 名	佐野 昂迪
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(理学) 栗原 将人
	副査	慶應義塾大学教授	博士(理学) 井関 裕靖
		慶應義塾大学教授	工学博士 本多 敏
		慶應義塾大学准教授	博士(数理学) 坂内 健一
		慶應義塾大学専任講師	博士(理学) 田中 孝明
学士(理学), 修士(理学) 佐野昂迪君提出の学位請求論文は, 「Generalizations of Darmon's conjecture and the equivariant Tamagawa number conjecture (Darmon 予想の一般化と同変玉河数予想)」と題し, 全 5 章からなる. ゼータ関数およびその一般化である L 関数の整数における値に, イdeal類群や K 群などの整数論的に重要な群の情報が含まれることの研究は, 現代整数論の主要テーマである. このことは, 解析数論の端緒となった 19 世紀の Dirichlet による有名な類数公式の発見に始まり, それ以来その一般化や精密化にあたる関係を証明することが整数論の重要なテーマとなっている. ゼータ関数の値と関係のある代数的な元のことをゼータ元と呼ぶ. たとえば, 古くから知られている円単数や, 1970 年代に Stark によって予想された Stark 単数などがその典型である. 佐野昂迪君による本論文は, このようなゼータ元について, 数多くの新しい知見をもたらすものである. 論文の第 1 章は序論であり, Dirichlet の類数公式以来のゼータ関数の特殊値に関する整数論の発展の概説を行うと共に, 本論文の主定理を述べ, その意味を説明している. 第 2 章では, 外冪やある種の性質をみたす格子の理論についての代数的な準備を行っている. 第 3 章では, Stark 単数の一般化である Rubin-Stark 元についての新しい性質が予想として述べられる. この新しい予想は, Darmon による円単数についての予想や, Gross による p 進 L 関数に関する Gross-Stark 予想を含むもので, 今までさまざまな数学者が個別の事象として考えていたものを統一する予想であり, きわめて興味深いものである. さらに第 3 章では, この予想が同変玉河数予想からほぼ導かれることが証明されている. 同変玉河数予想は, ゼータ元に関するきわめて一般的な予想であるが, 確実に正しいと信じられている予想である. このことから, この第 3 章で著者によって定式化された予想も確実に正しいと考えられる. さらに第 4 章では, 第 3 章で得られた同変玉河数予想と著者の予想との関係を使って, Darmon による円単数に関する予想を完全に証明している. Darmon の予想については, 最近 Mazur と Rubin が $p=2$ の成分を除いては証明していたのだが, 本論文における著者による証明は $p=2$ を含めた完全な証明である. 方法に関しても, Mazur と Rubin による証明が Kolyvagin 系というものを使うのに対して, 著者による証明は同変玉河数予想を用いるまったく異なるものであり, 方法論的にも興味深いものである. 第 4 章までは, 代数体の単数群の外冪に値を取るゼータ元を考えていたのだが, 第 5 章では一般の p 進表現に関する Euler 系に対して, Darmon 予想を(ほぼ)一般化する新しい予想を定式化している. さらにその予想を Kolyvagin 系の理論が使えるような標準的な仮定の下で証明している. その証明の方法もきわめて興味深い. 通常の Kolyvagin 系を代数的に一般化するような新しい 4 つの概念を導入し, それらが同値であることを代数的に証明していく. その中でも, ユニット系という新しい系の概念は, この証明以外でも有用な概念であると考えられる. 以上のように本論文において著者は, 未解決問題であった円単数に関する Darmon 予想を完全に解決し, さらに Rubin-Stark 元に関する新しい性質を発見し, それが確実に正しいということと同変玉河数予想と結びつけることによって証明した. それに加えて, 円単数についての Darmon 予想を一般の p 進表現の Euler 系に一般化することにも成功している. 以上の業績は, Stark 予想の世界や岩澤理論において特筆すべき業績であり, 世界的に注目されている. 以上の理由により, 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 4239 号	氏 名	木我 真基
主 論 文 題 目： Antitumor effects and predictive marker identification for a novel non-ATP-competitive MEK1/2 selective inhibitor, SMK-17 (新規 ATP 非拮抗型 MEK1/2 選択的阻害剤 SMK-17 の抗腫瘍活性と感受性規定因子同定)			
(1) 研究背景 Ras/MEK/MAPK シグナル経路は、細胞の増殖/生存シグナルを制御する重要な経路であり、この経路を構成するキナーゼである MEK1/2 の上流には、複数の癌遺伝子が存在している。これら上流遺伝子の変異による恒常的活性化は、腫瘍細胞の悪性形質獲得に寄与していることが以前より知られていた。MEK1/2 に対する低分子阻害剤は複数存在していたが、癌治療薬として高活性でより選択性が高い化合物が求められていた。本研究では、新規 MEK1/2 選択的阻害化合物の取得、および MEK1/2 阻害薬の新たな感受性規定因子同定を試みた。 (2) 新規高活性 MEK1/2 阻害剤 SMK-17 の創出 新規 MEK1/2 阻害剤の取得を目指し、化合物スクリーニングを行った結果、ジフェニルアミンスルファミド構造を持つ compound 1 を見出した。この化合物をリードに誘導体展開した 1,000 以上の類縁化合物の MEK 阻害活性および化学物性を評価した結果、高活性かつ高水溶性の化合物である SMK-17 を取得した。SMK-17 は、ヒト MEK1 に対する結合ドメイン解析から、MEK1 の ATP 結合ドメインとは異なるポケット構造に入りこみ、さらに ATPγ リン酸とも相互結合していることが予想された。この知見は、SMK-17 が、他の多くの化合物で見られる ATP 結合競合とは異なる阻害様式を有していることを示唆していた。Kinetics 解析からも、SMK-17 が ATP 濃度によらず MEK1 を阻害できる ATP 非拮抗型の阻害剤であることが示された。さらに、233 種のキナーゼに対する阻害試験では、MEK1/2 以外のキナーゼを阻害せず (1000 nM でいずれも 30%以下の阻害活性)、MEK1/2 に対して極めて特異性が高いことを確認した。 さらに、SMK-17 は、BRAF 変異型大腸癌細胞 HT-29 に、<i>in vitro</i> で増殖抑制活性を示した。この際、MEK 下流で制御されている cyclin D1 の発現低下による G1 期細胞周期停止を誘導した。<i>In vivo</i> では、経口投与により HT-29 担癌マウスにおいて移植腫瘍の完全増殖抑制を示した。 (3) SMK-17 を用いた MEK1/2 阻害剤の感受性規定因子の同定 SMK-17 の詳細な感受性規定因子の同定を目的に、ヒト癌細胞株計 24 株の感受性プロファイリングを実施した。この結果、BRAF 活性化型変異だけではなく、β-catenin 活性化型変異を有する腫瘍細胞株ではアポトーシス誘導を伴う強い感受性を示すことが明らかになった。これをさらに検証するため、β-catenin 野生型細胞に、活性化型 β-catenin を強制発現したところ (gain of function)、SMK-17 添加によりアポトーシスが誘導され、逆に β-catenin 変異癌に、Wnt/β-catenin pathway 下流の TCF4 を不活化する dominant negative TCF4 を強制発現した結果 (loss of function)、アポトーシスが減弱された。ヒト腫瘍皮下移植モデルを用いた解析でも、上記の培養細胞の結果と同様に、ヒト大腸癌細胞株 SW48 や colo-205 のような β-catenin 変異癌に特異的にアポトーシス誘導ならびに腫瘍退縮が確認された。これらのことから、β-catenin の活性化型変異が MEK1/2 阻害薬の新たな感受性規定因子となることが示唆された。 (4) 結論 新規 MEK1/2 選択的阻害剤 SMK-17 を見出し、この化合物を使った解析から、β-catenin 変異が MEK1/2 阻害薬の新たな感受性規定因子となる可能性を見出した。本研究結果は、MEK1/2 阻害薬の β-catenin 変異癌に対する新たな治療戦略を提案できると考えられた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4239 号	氏 名	木我 真基
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	農学博士 井本 正哉
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡 浩太郎
		慶應義塾大学教授	工学博士 佐藤 智典
		慶應義塾大学教授	博士(理学) 榊原 康文
		慶應義塾大学准教授	博士(地球環境科学) 土居 信英
学士(工学)、修士(工学) 木我真基君提出の学位請求論文は、「Antitumor effects and predictive marker identification for a novel non-ATP-competitive MEK1/2 selective inhibitor, SMK-17 (新規 ATP 非拮抗型 MEK1/2 選択的阻害剤 SMK-17 の抗腫瘍活性と感受性規定因子同定)」と題し、全6章から成っている。 Ras/MEK/MAPK シグナル経路は、細胞内シグナルを制御する重要な経路であり、これを構成するキナーゼである MEK1/2 に対する低分子阻害剤は、臨床応用されているものが複数存在するが、その効果は限定的であった。本研究では、新規 MEK1/2 選択的阻害化合物である SMK-17 を創製し、さらに SMK-17 を用いてその抗腫瘍活性及び感受性規定因子同定を試みた結果、感受性規定因子の同定に至り、新しい治療方法を提案した。 第1章は序論であり、Ras/MEK/MAPK シグナル経路や感受性規定因子の応用例について、従来研究をまとめている。さらに本論文後半で登場する Wnt/β-catenin 経路についても概説している。 第2章では、新規 MEK1/2 阻害薬獲得を目指し、<i>in vitro</i> スクリーニング系構築、及びジフェニルアミンスルファミド類縁化合物の <i>in vitro</i> MEK 阻害活性や化学物性スクリーニングを実施し、SMK-17 を含む複数の高活性化合物を見出すに至った結果を述べている。 第3章では、<i>in vitro</i> MEK 阻害活性や化学物性の SAR study から、SMK-17 に着目し、結合ドメイン解析から、SMK-17 が MEK の ATP 近傍ポケット構造に入りこみ、さらに ATPγリン酸とも相互結合していることを予想した。この知見は、SMK-17 が、他の多くの化合物で見られる ATP 結合競合とは異なる様式、つまりアロステリック阻害をしていることを示唆していた。動力学的解析からも、ATP 濃度によらず MEK1 を阻害できることから、完全な ATP 非競合阻害薬であることが示された。さらに、200 種以上のキナーゼに対する阻害評価実験からは、SMK-17 は MEK1/2 以外のいかなるキナーゼも阻害しないことを確認した。 第4章では、MEK1/2 阻害剤の詳細な感受性規定因子同定をするため、複数のヒト癌細胞株の網羅的な感受性プロファイリングを実施し、β-catenin 変異を有する腫瘍細胞株に強い感受性を示すことを明らかにした。この知見をさらに検証するため、β-catenin 野生型細胞に、活性化型 β-catenin を強制発現したところ (gain of function)、SMK-17 添加によりアポトーシスが誘導され、逆に β-catenin 変異癌に Wnt pathway 下流の TCF4 を不活化する dominant negative TCF4 を強制発現した結果 (loss of function)、アポトーシスが減弱された。また、マウスをもちいた <i>in vivo</i> 抗腫瘍実験での解析でも、上記の培養細胞と同様の感受性の結果を取得したことから、β-catenin 変異が MEK1/2 阻害薬の新規感受性規定因子となることが示唆した。 第5章では、APC 変異細胞に対して部分的な TCF4 転写活性の抑制で、MEK1/2 阻害薬によるアポトーシスが誘導されることも示唆している。 第6章では、本研究で得られた結果から MEK1/2 阻害剤と β-catenin 変異の関連について今後の展望を議論し総括としている。 本論文は、新規 MEK1/2 阻害剤を見出したことに留まらず、新規治療法の可能性を示したことにまで及ぶ。本研究成果は、今後のがん研究や薬理学研究に貢献するものである。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4240 号	氏 名	岩國 加奈
主論文題目：			
光周波数コムを用いた赤外分子分光の高度化			
15 年前に登場した光周波数コム(OFC)により、光周波数の高精度測定は画期的に簡便になった。OFC のスペクトルは、多数の縦モードが等間隔に並んでおり、その間隔を国際原子時にリンクした Rb 時計に安定化すると、各モードの絶対周波数が値付けされる。そのため、OFC は周波数のものさしとして分光実験に適用できる。一方、OFC のスペクトルは 1 オクターブ以上にわたって広がっており、高分解能・高精度・広帯域コヒーレント光源としても利用できる。 本研究では、OFC を周波数ものさし(第 4,5 章)あるいは光源(第 6,7 章)として分光実験に用いた。前者では、OFC を差周波光源と飽和吸収分光法に組み合わせて高精度高感度の中赤外分光測定を実現した。また、後者では、デュアルコム分光計を開発した。その帯域は先行研究の約 10 倍で、デュアルコム分光計が従来のフーリエ分光計を凌駕する可能性を示した。 本論文の第 1 章では、OFC の発展と分光実験への貢献を概説した。 第 2 章では、フーリエ分光法と飽和吸収分光法の基本的な理論を述べた。 第 3 章では、OFC の動作原理と、本研究で用いた OFC の製作と制御法について述べた。 第 4 章では、OFC を用いて絶対周波数に値付けられた中赤外分光計の開発について述べた。OFC の繰り返し周波数を掃引することで、絶対周波数で目盛付された吸収スペクトルを観察した。また、周波数ドリフトに影響されないスペクトルの積算や変調により感度向上を実現した。 第 5 章では、開発した中赤外分光計を用いた H^{35}Cl と H^{37}Cl の振動バンドの絶対周波数計測について述べた。電気四重極相互作用による超微細分裂とクロスオーバー共鳴を観察した。観測したスペクトル線幅は約 250 kHz で、遷移周波数を不確かさ 10 kHz で決定し、さらに振動励起状態の 6 つの分子定数を決定した。 第 6 章では、デュアルコム分光計の原理と広帯域デュアルコム分光計の開発について述べた。相対線幅を狭めた OFC を用いることにより、1.0–1.9 μm にわたる約 140 THz のドップラー分解能スペクトルを 1 ショットで観察し、C_2H_2、CH_4、H_2O の吸収バンドを記録した。また、$^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ の絶対周波数計測の結果がサブドップラー分解能分光データと 1 MHz 以下で一致し、装置の信頼性を実証した。この分光計は従来の FTIR と同程度の帯域と分解能で、測定時間は 4 桁短縮した。 第 7 章では、開発したデュアルコム分光計を用いたアセチレンの絶対周波数計測について述べた。$^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ と $^{12}\text{C}^{13}\text{CH}_2$ のホットバンドを含む 1.5 μm 帯の吸収スペクトルを観察し、数 MHz の不確かさで遷移周波数を決定した。 第 8 章では、導波路型周期分極 LiNbO_3 (PPLN)を用いた広帯域コム発生について述べた。1–2 μm に広がるスペクトルを持つ OFC を直接 PPLN に入射し、和周波・差周波発生や高次高調波発生により 500–4500 nm に広がる OFC を得た。また、発生した広帯域 OFC が分光や計測に有用であることを示した。 第 9 章を結論とし、本研究の総括と今後の展望を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4240 号	氏 名	岩國 加奈
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 佐々田 博之
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 江藤 幹雄
		慶應義塾大学准教授	博士(理学) 渡邊 紳一
		慶應義塾大学准教授	博士(理学) 早瀬 潤子
		電気通信大学教授	理学博士 中川 賢一
学士（理学）、修士（理学）岩國加奈君提出の学位論文は「光周波数コムを用いた赤外分子分光の高度化」と題して全 9 章から構成されている。 15 年前に登場した光周波数コム(OFC)により、光周波数の高精度測定は画期的に簡便になった。OFC のスペクトルは、多数の縦モードが等間隔に並んでおり、その間隔を国際原子時にリンクした Rb 時計に安定化すると、各モードの絶対周波数が値付けされる。そのため、OFC は周波数のものさしとして分光実験に適用できる。一方、OFC のスペクトルは 1 オクターブ以上にわたって広がっており、高分解能・高精度・広帯域コヒーレント光源としても利用できる。 本研究では、OFC を周波数ものさし(第 4,5 章)あるいは光源(第 6,7 章)として分光実験に用いた。前者では、OFC を差周波光源と飽和吸収分光法に組み合わせて高精度高感度の中赤外分光測定を実現した。また、後者では、デュアルコム分光計を開発した。その帯域は先行研究の約 10 倍で、デュアルコム分光計が従来のフーリエ分光計を凌駕する可能性を示した。 本論文の第 1 章では、OFC の発展と分光実験への貢献を概説している。 第 2 章では、フーリエ分光法と飽和吸収分光法の基本的な理論を述べている。 第 3 章では、OFC の動作原理と、本研究で用いた OFC の製作と制御法について述べている。 第 4 章では、OFC を用いて精密な周波数軸をもつ中赤外分光計の開発について述べている。OFC の繰り返し周波数を掃引することで、絶対周波数で目盛付された吸収スペクトルを観察している。また、周波数ドリフトに影響されないスペクトルの積算や変調により感度向上を実現している。 第 5 章では、開発した中赤外分光計を用いた H^{35}Cl と H^{37}Cl の振動バンドの絶対周波数計測について述べている。電気四重極相互作用による超微細分裂とクロスオーバー共鳴を観察している。観測したスペクトル線幅は約 250 kHz で、遷移周波数を不確かさ 10 kHz で決定し、さらに振動励起状態の 6 つの分子定数を決定している。 第 6 章では、デュアルコム分光計の原理と広帯域デュアルコム分光計の開発について述べている。相対線幅を狭めた OFC を用いることにより、波長 1.0–1.9 μm にわたる約 140 THz のドップラー分解能スペクトルを 1 ショット 130 ms で観察し、C_2H_2、CH_4、H_2O の吸収バンドを記録している。また、$^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ の絶対周波数計測の結果がサブドップラー分解能分光データと 1 MHz 以下で一致し、装置の信頼性を実証している。この分光計は従来のフーリエ変換赤外分光計と同程度の帯域と分解能をもち、測定時間は 10^{-4} に短縮している。 第 7 章では、開発したデュアルコム分光計を用いた C_2H_2 の絶対周波数計測について述べている。$^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ と $^{12}\text{C}^{13}\text{CH}_2$、それらの振動励起状態からのバンドを含む波長 1.5 μm 帯の吸収スペクトルを観察し、数 MHz の不確かさで遷移周波数を決定している。 第 8 章では、導波路型周期分極 LiNbO_3 (PPLN)を用いた広帯域コム発生について述べている。波長 1–2 μm に広がるスペクトルを持つ OFC を直接 PPLN に入射し、和周波・差周波発生や高次高調波発生により波長 500–4500 nm に広がる OFC を得ている。また、発生した広帯域 OFC が分光や計測に有用であることを示している。 第 9 章を結論とし、本研究の総括と今後の展望を述べている。 以上のように、本研究は光周波数コムを用いて赤外分光計の性能を飛躍的に向上させ、それを実証している。これらの成果は、広く高分解能分光学、分子科学、度量衡学に画期的な貢献をし、学術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4241号	氏 名	後藤 陽介
主論文題目： スタナイト型および混合アニオン型銅硫化物の電気的・熱的輸送特性と電子構造			
熱電変換デバイスは熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換する固体デバイスであり、作動流体を必要とせず、小型化が容易といった長所のために、1960年代以降宇宙探査機の電力源として採用されてきた。一方で、その日常生活への普及のためには、より高い性能指数を有する材料の探索が今なお必要である。また、従来の熱電材料の多くは鉛やテルルといった有毒・希少な元素を構成元素としている点も克服すべき課題である。本研究は、スタナイト型および混合アニオン型銅硫化物の電気的・熱的輸送特性を、特に熱電材料としての観点から明らかにした。 第一章は諸言であり、熱電効果の諸性質に加え、従来の熱電材料およびその性能指数向上の基本的な設計指針を述べる。熱電変換デバイスの現状についてまとめ、本研究で対象とする物質群について関連する過去の報告を記述する。 第二章は固相反応による試料合成をはじめとした実験手法、および電子状態計算法について述べる。室温から800 Kにおける電気抵抗率、Seebeck 係数、および700 Kまでの熱伝導率測定装置の構築について、標準試料による検定を含めて述べる。Boltzmann 輸送方程式において放物線バンドの描像から得られる輸送係数を、特に格子振動による散乱が支配的である場合についてまとめる。 第三章ではスタナイト-クラマイト固溶体 $\text{Cu}_{2+x}\text{Fe}_{1-x}\text{SnS}_{4-y}$ の結晶構造および輸送特性を報告する。本固溶体の結晶構造は Cu/Sn アンチサイトで特徴付けられる。特にクラマイト Cu_3SnS_4 相においては、金属イオンのアンチサイト欠陥は粉末 X 線回折を用いて容易に解析できる。さらに、縮退伝導を示すという点で類縁化合物に比して特徴的である。 第四章ではクラマイト $\text{Cu}_{3-y}\text{SnS}_4$ の300 Kから623 Kにおける電気的・熱的輸送特性を明らかにする。キュービックアンビルを用いた高圧熱処理により試料を緻密化し、輸送特性を定量的に評価する。$\text{Cu}_{3-y}\text{SnS}_4$ の室温における電気抵抗率およびキャリア密度は、$0.4 \text{ m}\Omega\text{cm}$ および $3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ である。また、格子の熱伝導率は Cu/Sn アンチサイト欠陥によって低減され、室温において $2.6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ である。 $\text{Cu}_{3-y}\text{SnS}_4$ の金属的な電子構造とは対照的に、ファマティナ Cu_3SbS_4 は0.9 eVの光学バンドギャップを持つ p 型半導体である。第五章では $\text{Cu}_3\text{Sn}_x\text{Sb}_{1-x}\text{S}_4$ を合成し、キャリア密度制御による性能指数の向上を報告する。キャリア密度は $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $8 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で制御され、ZT は573 Kで0.1である。Boltzmann 輸送方程式を用いて輸送現象を解析することで、キャリアの有効質量は $3.0 m_e$ と求められる。 第六章では透明 p 型半導体である混合アニオン LaCuSO の輸送特性に対する銅欠陥効果を明らかにする。本物質の電気抵抗率は銅欠陥によって $\sim 10^5 \Omega\text{cm}$ から $\sim 10^{-1} \Omega\text{cm}$ まで減少する。銅欠陥を有する試料は可視光を吸収するが、これは銅欠陥を補償するために導入された硫黄欠陥、あるいはアニオンのアンチサイト欠陥に由来することを、電子状態計算により示す。LaCuSO ひいては銅系カルコゲン化合物の輸送現象において銅欠陥が本質的に重要であることを示す。 第七章は結言であり、本研究で得られた知見を総括する。また、より高い性能指数を持つ硫化物熱電材料を見出すための指針を議論する。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4241 号	氏 名	後藤 陽介
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 的場 正憲
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 太田 英二
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 栄長 泰明
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 神原 陽一
学士(工学)、修士(工学) 後藤陽介君提出の学位請求論文は、「スタンナイト型および混合アニオン型銅硫化物の電氣的・熱的輸送特性と電子構造」と題して、全7章より構成されている。 世界中で消費される一次エネルギーの約3分の2は排熱となって利用されずに捨てられている。この莫大な未利用エネルギーを有効活用することが21世紀における重要課題の一つであり、この課題を解決する鍵となるのが高効率熱電変換デバイスである。ゼーベック効果を利用して熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換する熱電変換デバイスを用いた熱電発電は、化石燃料を必要としないため地球温暖化ガスを排出せず、さらに、機械的な可動部がないため、長寿命・静音・無振動という長所も併せ持つことから、廃熱などの有効利用手段として期待されている。しかしながら、現存する熱電変換デバイス材料の性能は低く、鉛やテルルといった有毒・希少な元素を構成元素としている材料が多い。そこで、本研究では、レアメタルレスで低毒性元素からなるスタンナイト型および混合アニオン型銅硫化物に着目し、その電氣的・熱的輸送特性を明らかにするとともに、熱電変換材料としての可能性を探索している。 第1章では、研究背景および目的を明確に示し、熱電効果の諸性質や熱電変換デバイス材料の現状について述べるとともに、本研究で対象とする物質群を俯瞰している。 第2章では、固相反応による試料合成法をはじめとした実験手法、および第一原理計算・解析方法について述べている。また、室温から800 Kにおける電気抵抗率とゼーベック係数、および600 Kまでの熱伝導率を測定できる装置を構築し、標準試料による検定を含めた注意深い熱電特性の評価方法を述べている。 第3章では、スタンナイトークラマイト固溶体 $\text{Cu}_{2+x}\text{Fe}_{1-x}\text{SnS}_{4-y}$ の結晶構造および輸送特性を探索している。粉末X線回折解析により、本固溶体の結晶構造はCu/Sn アンチサイトで特徴付けられることを明らかにし、クラマイト Cu_3SnS_4 相における金属イオンのアンチサイト欠陥の存在を見出している。さらに、類縁化合物 $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ は半導体であるのに対して、本固溶体 $\text{Cu}_{2+x}\text{Fe}_{1-x}\text{SnS}_{4-y}$ は縮退伝導を示すことを明らかにしている。 第4章では、クラマイト $\text{Cu}_{3-y}\text{SnS}_4$ の300 Kから623 Kにおける電氣的・熱的輸送特性を明らかにしている。キュービックアンビルを用いた高圧熱処理により緻密化した試料について輸送係数を注意深く測定することで、輸送特性を定量的に評価している。$\text{Cu}_{3-y}\text{SnS}_4$ の室温における電気抵抗率およびキャリア密度は、$0.4 \text{ m}\Omega\text{cm}$ および $3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ であり、格子の熱伝導率はCu/Sn アンチサイト欠陥によって低減され、室温において $2.6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ の値を示すことを明らかにしている。 第5章では、$\text{Cu}_3\text{Sn}_x\text{Sb}_{1-x}\text{S}_4$ を合成し、キャリア密度制御による性能指数の向上を報告している。キャリア密度は $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $8 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で制御され、無次元性能指数 ZT は573 Kで0.1に達する。また、Boltzmann 輸送方程式を用いて輸送現象を解析することで、キャリアの有効質量は $3.0 m_e$ と見積っている。 第6章では、透明p型半導体である混合アニオン化合物 LaCuSO の輸送特性に対するCu欠陥効果を明らかにしている。本物質の電気抵抗率は、Cu欠陥によって $10^5 \Omega\text{cm}$ から $10^{-1} \Omega\text{cm}$ まで6桁程度減少する。Cu欠陥を有する試料は可視光を吸収するが、これはCu欠陥を補償するために導入された硫黄欠陥あるいはアニオンのアンチサイト欠陥に起因していることを電子状態計算により明らかにし、Cu欠陥が本質的に重要であることを指摘している。 第7章では、本研究で得られた科学的知見をまとめ、総括し、より高い性能指数を持つ熱電材料を見出すための設計指針を議論するとともに、今後の展望について述べている。 以上要するに、本研究は、レアメタルレスで低毒性元素からなるスタンナイト型および混合アニオン型銅硫化物の熱電性能制御要因を元素戦略的な観点から探索したものであり、探索的材料工學上寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士(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 4242 号	氏 名	松尾 洋一
主論文題目： 適応的にブロックサイズを決定する Gram-Schmidt 法の研究			
科学技術計算における Gram-Schmidt(GS)法は、行列計算の中で重要な算法の 1 つであり、今までに多くの GS の計算手法が提案されている。その応用分野は広く、固有値問題を解く Arnoldi 法や Lanczos 法、特殊な構造を持つ固有値問題に対する Symplectic 法、線形方程式を解くための GMRES 法のような Krylov 部分空間法に GS 法は使われている。 本論文では GS 法のブロック化とブロックサイズについて考察し、GS 法の改良手法とその効率的な実装を提案する。Block Gram-Schmidt(BGS)法は、行列 X を m 列のブロック行列ごとに直交化することで、正規直交基底列の計算を高速に行う手法である。しかし、行列 X を分割するブロックサイズの大きさ m の取り方によって計算速度が変わるので、ユーザーが問題ごとにブロックサイズを検討し、適宜に決定する必要がある。そこで本論文では、計算時間の増加と計算量の増加に着目し、計算量を用いてブロックサイズごとの計算時間を予測することによって、適応的にブロックサイズを決定する手法を提案する。 近年、大規模な行列問題を高速に解くことが必要となり、そのためには並列化により計算を高速に処理することが重要である。本論文では列方向分散によって BGS 法を並列化し、並列化による速度向上について検討する。さらに、並列化されたブロックサイズの決定手法を用いた Parallel Block Gram-Schmidt(PBGS)法を提案する。 また Symplectic Gram-Schmidt(SGS)法は、Gram-Schmidt 法の応用手法の 1 つであり、Hamiltonian 行列のような特殊構造を持つ行列の固有値を求めることに適している。現在、大規模疎行列に対しては Symplectic Lanczos 法が提案されており、そこで Symplectic なベクトル列を生成する際に SGS 法が使われている。しかし、SGS 法はパラメーターの選択によっては J-直交性の崩れが起きやすいなどの問題点が指摘されている。本論文では、SGS 法のブロック化を提案し、算法の高速化について考察する。そして適応的なブロックサイズの決定手法を SGS 法に適用させるとともに、再直交化の条件についても検討し、J-直交行列を安定的に高速に計算する手法を提案する。 最後に数値実験を用いて、これらの提案手法の有用性の検証を行う。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4242 号	氏 名	松尾 洋一
論文審査担当	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 野寺 隆
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 田村 明久
		慶應義塾大学教授	工学博士 萩原 将文
		慶應義塾大学准教授	博士(理学) 小田 芳彰
		慶應義塾大学名誉教授	理学博士 谷 温之
学士(理学), 修士(工学), 松尾 洋一 君提出の学位請求論文は, 「適応的にブロックサイズを決定する Gram-Schmidt 法の研究」と題し, 全 5 章から構成されている。 科学技術計算における Gram-Schmidt 法は, 大規模な行列計算の重要な算法の 1 つである。現在, その応用分野は広く Gram-Schmidt 法は, 電磁界解析や構造工学から生じる固有値問題の解法である Arnoldi 法, Lanczos 法や, さらに大規模な連立 1 次方程式の近似解法としての Krylov 部分空間法の一部に組み込まれて広く利用されている。 本論文は, Gram-Schmidt 法のブロック化とブロックサイズの新しい決定法と計算効率の優れた実装法を提案し, 高速計算機による提案手法の有効性を実証したものである。 第 1 章は序論であり, 科学技術計算分野における古典的な Gram-Schmidt 法の基礎的な性質やその役割について述べている。さらに, 大規模な行列問題に対して, 高速で効率よく直交分解できる Block Gram-Schmidt 法の必要性について述べている。 第 2 章は, Gram-Schmidt 法のブロック化とブロックサイズの自動決定法を 3 つ考案し, 安定した高速計算が可能な Block Gram-Schmidt 法を提案している。Block Gram-Schmidt 法は, 行列 X を m 列のブロック行列ごとに直交化することで, 正規直交基底列の計算を高速に行う手法である。本論文の著者は, ブロックサイズ m による計算時間の変化を Block Gram-Schmidt 法の計算量から予測することで, 適応的にブロックサイズを決定する斬新な方法を提案している。 第 3 章は, Block Gram-Schmidt 法の並列化を行い, 大規模な行列問題を高速処理する実装法について述べている。著者は, 列方向分散を用いて Block Gram-Schmidt 法を並列化することで, ブロックサイズ m を適応的に決定する Parallel Block Gram-Schmidt 法を提案した。さらに, 並列化による速度向上について考察し, 数値実験により提案手法の有効性を実証している。 第 4 章は, Block Gram-Schmidt 法の応用である Symplectic Gram-Schmidt 法について述べている。この算法は, Riccati 方程式の離散近似から生じる Hamiltonian 行列のような特殊な行列構造を持つ固有値問題の解法として適しているが, パラメーターの選択が難しく, J-直交性が崩れやすい欠点もある。それを改善するために, Symplectic Gram-Schmidt 法にブロック化を導入することで, 高速な計算を可能にしている。さらに, 再直交化条件について検討を行い, 計算精度を向上させる安定した J-直交分解を考案している。 第 5 章は, 本論文の総括と結論について述べている。 以上, 本論文の著者は, 大規模な科学技術計算において重要な役割をなす Block Gram-Schmidt 法と Parallel Block Gram-Schmidt 法に対して適応的にブロックサイズを決定する手法を提案し, 数値実験によりその有効性を確かめた。さらに, Symplectic Gram-Schmidt 法のブロック化を提案し, 算法の高速化を図り, J-直交分解の計算精度を保証した。これは, 大規模な固有値問題の解法に新しい見地と数値的に安定した解を計算するツールを考案したものであり, 理工学上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No. 4243	Name	Ajib Setyo Arifin
Thesis Title			
Distributed Estimation and Capacity Analysis in Wireless Sensor Networks			
Wireless sensor networks (WSNs) have many potential application areas including environmental monitoring, health, security and surveillance, and robotic exploration. The goal of WSNs is often to deliver the sensing data from all sensors to a Fusion Center (FC). The received signals at FC are estimated. One of the concerns in WSNs is the power constraint, because the sensors have only small-size batteries whose replacement can be costly. In this dissertation, we focus on distributed estimation and capacity analysis in WSNs with power constraint. In Chapter 1, we describe the background of WSNs consisting of source, sensors, and FC. We explain the fundamental theory related to the dissertation, i.e., mutual information and estimation theory. In Chapter 2, we present survey on distributed estimation and capacity analysis in WSNs. We discuss the distributed estimation problem based on several factors including bandwidth constraint, energy constraint, Multiple Access Channel (MAC) models, and the presence/absence of Channel State Information (CSI). We review the capacity analysis following the existing model including physical model and protocol model. In Chapter 3, we consider distributed estimation in WSNs considering correlated data. We obtain a closed-form solution which follows water-filling strategy. We observe that when the data is more correlated, the distortion in terms of Mean Square Error (MSE) degrades. Simulation results show that the proposed method is better than equal power method in terms of MSE.			

In Chapter 4, we investigate the properties of data collection in WSNs, in terms of both capacity and power allocation strategy. Based on the relationship between Mutual Information and Minimum Mean Square Error (I-MMSE), we derive the capacity of data collection in coherent and orthogonal MAC models. We obtain closed-form expressions of capacity under coherent and orthogonal MAC models. We show through simulation results that for both coherent and orthogonal MAC models, the capacity of the optimal power is larger than that of the equal power. We also show that the capacity of coherent MAC is larger than that of orthogonal MAC, particularly when the number of sensors is large and the total power is fixed.

In Chapter 5, we conclude with key points of this dissertation and future works, such as outage distortion probability

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4243 号	氏 名	Ajib Setyo Arifin
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 大槻 知明
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬 巖
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 重野 寛
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 眞田 幸俊
Bachelor of Engineering, Master of Engineering, Ajib Setyo Arifin 君提出の学位請求論文は、「Distributed Estimation and Capacity Analysis in Wireless Sensor Networks (無線センサネットワークにおける分散推定及び容量解析)」と題し、全5章から構成されている。 無線センサネットワーク(WSN: Wireless Sensor Network)は、対象環境に多くのセンサを設置し、センシングデータを無線通信により集めるネットワークセンシング手法である。従来のセンシング手法と異なり、対象環境から非常に多くのセンシングデータを集めることができるため、これまでのセンシング手法では実現できなかった様々なアプリケーションが期待されている。近年、構造物モニタリングや農作物モニタリングなどで実用化が始まっている。WSNでは、環境に設置された数多くのセンサからの情報をセンターで統合し、情報を抽出する。その際、数多くのセンサが対象環境に密に配置されるため、観測データ間に相関が生じる。また、観測対象に設置されるセンサは小型・安価であることが求められ、数の多さや設置環境からバッテリー交換も容易ではない。そのため、電力制限がある状況での長期運用が求められる。WSNでは、そのような環境・制約下で、観測データを正しく推定することが求められる。 本論文では、様々な環境・制約下で運用される WSN について、観測データの推定法である分散推定と、種々のデータ収集法を用いた際の容量について理論的に解析・評価している。 第1章は序論であり、本研究の背景、並びに本研究の目的と意義を述べている。 第2章では、WSNで想定される帯域制限・電力制限・多元接続通信路 (MAC: Multiple Access Channel)・通信路状態情報 (CSI: Channel State Information) 等の観点から、WSNにおける分散推定及び容量解析に関する従来研究を紹介している。また、容量解析の従来研究として、物理モデルとプロトコルモデルに基づく解析を紹介している。 第3章では、WSNにおける各センサの観測データ間の相関を考慮して、WSNにおける分散推定の特性を解析・評価している。水充填法に基づく電力割り当て時の推定値の平均自乗誤差を解析により導出し、評価の結果、データ間の相関が平均自乗誤差に与える影響を明らかにしている。また、等電力割り当てに比べ、水充填法に基づく電力割り当ては、平均自乗誤差を低減できることを明らかにしている。 第4章では、WSNにおける各データ収集法の容量を解析している。相互情報量と平均自乗誤差の関係式から、コヒーレント MAC 及び直交 MAC の各データ収集法を用いた場合の容量の閉形式を導出している。数値解析及び計算機シミュレーションにより、直交 MAC に比べコヒーレント MAC の容量特性が優れ、特にセンサ数が多いときに改善が大きくなることを明らかにしている。また、両データ収集法に対し、等電力割り当て時に比べ、最適電力割り当てを用いた方が、容量が大きくなることを明らかにしている。 第5章は結論であり、本論文で得られた結果を総括している。 以上、本論文の著者は、様々な環境・制約下で運用される WSN について、観測データの推定法である分散推定と、種々のデータ収集法を用いた際の容量について理論的に解析・評価し、WSN の特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 4244 号	氏 名	鄭 棟元
主 論 文 題 目： HCCI エンジンにおける燃焼の素反応数値解析およびエンジン制御への応用			
レシプロ型内燃機関は自動車用動力源として広く使用されているが、二酸化炭素排出量削減の要求から熱効率の高いエンジンが求められる。予混合圧縮自己着火エンジン（Homogeneous Charge Compression Ignition Engines）は、燃料と空気の超希薄な予混合気をシリンダ内に導入し、圧縮行程における温度および圧力の上昇により予混合気を自己着火・燃焼させ、動力を取り出すものであり、既存の SI エンジンやディーゼルエンジンに比べて燃焼温度が低いため、高い熱効率を確保しつつ、NO_x 排出濃度の低減が可能である。しかし、燃焼の開始タイミングが火花点火や燃焼噴射など物理過程ではなく、混合気の反応過程に依存することから、急激な負荷変動における燃焼位相の制御および急峻な圧力上昇によるノッキングの回避が課題として挙げられる。その課題を解決するためには HCCI 燃焼の化学反応機構を把握する必要がある。 本研究は、HCCI エンジンにおける供給予混合気の燃料種、温度、圧力、当量比、EGR（排気再循環）が燃焼位相に及ぼす影響を素反応数値計算により解明するとともに、燃焼時の圧力上昇率の支配因子を明らかにすることを目的とする。また素反応数値解析から得られた知見をエンジン制御に応用し、HCCI エンジンの燃焼制御の可能性について検証する。 第 1 章では、HCCI エンジンの燃焼過程の特徴、燃焼機構解析における素反応数値計算の必要性を示し、本論文の目的を述べた。 第 2 章では、素反応数値計算で用いる反応モデルおよび計算モデルについて説明し、エンジン回転速度をパラメータとした HCCI 燃焼実験と計算結果とを比較することで、素反応数値計算の妥当性を検証した。 第 3 章では、供給予混合気の温度および圧力が燃焼位相に及ぼす影響を調査し、圧力の依存性が小さく、温度の依存性が大きいことを示し、また、最大圧力上昇率と燃焼位相に強い相関があることを明らかにした。 第 4 章では、EGR の影響について調査し、EGR 率を増加すると燃焼時の圧力上昇が低減することを示した。これは作動ガス中の CO₂ や H₂O の濃度増加により予混合気の比熱比 κ が減少し、圧縮行程での温度上昇量が低下して燃焼位相が遅延化する効果、および EGR 率の増加で燃焼温度が低下して HCCI 燃焼反応が低下する効果が複合したものであることを明らかにした。 第 5 章では、着火遅れのアレニウスプロットにて NTC 領域が現れる燃料種（ジメチルエーテル、ノルマルヘプタン）と NTC 領域が現れない燃料種（メタン、イソオクタン）について素反応数値計算を行い、HCCI 燃焼特性の違いを明らかにした。 第 6 章では、リブレッシング EGR 型 HCCI エンジンを用いて実験を行い、素反応数値計算の結果と比較し、供給温度、EGR 率の影響について計算の現象再現性を検証した。 第 7 章では、実験において燃焼位相の遅延化により生じる HCCI 燃焼のサイクル変動のメカニズムを検討するため、サイクル毎の燃焼効率の変動により生じる次サイクルの EGR ガス組成および燃焼位相の変化量を素反応数値計算により推算した。その知見をエンジン制御に応用して燃焼変動抑制の可能性を検証した。 第 8 章では、本研究の結論を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4244 号	氏 名	鄭 棟元
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 飯田 訓正
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 植田 利久
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 松尾 亜紀子
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 横森 剛
工学士、工学修士鄭棟元君提出の学位請求論文は「HCCI エンジンにおける燃焼の素反応数値解析およびエンジン制御への応用」と題し、8章で構成されている。 レシプロ型内燃機関は自動車用動力源として広く使用されているが、二酸化炭素排出量削減の要求から高い熱効率が求められる。予混合圧縮自己着火エンジン（Homogeneous Charge Compression Ignition Engines）は、燃料と空気の超希薄な予混合気をシリンダ内に導入し、圧縮行程における温度および圧力の上昇により予混合気を自己着火・燃焼させ、動力を取り出すものであり、既存のSI エンジンやディーゼルエンジンに比べて燃焼温度が低いため、高い熱効率を確保しつつ、NOx 排出濃度の低減が可能である。しかし、燃焼の開始タイミングが火花点火や燃焼噴射など物理過程ではなく、混合気の化学反応過程に依存することから、急激な負荷変動における燃焼位相の制御および急峻な圧力上昇によるノッキングの回避が課題として挙げられる。 本論文の著者は、この課題の解決策として HCCI 燃焼の化学反応機構を把握することを試みた。すなわち HCCI エンジンにおける供給予混合気の燃料種、温度、圧力、当量比、EGR（排気再循環）が燃焼位相に及ぼす影響を素反応数値計算により解析するとともにその機構を解明し、燃焼時の圧力上昇率の支配因子を検証している。また、素反応数値解析から得られた知見をエンジン制御に応用し、HCCI エンジンの燃焼制御の可能性について検討している。 第1章は、序章であり HCCI エンジンの燃焼課題と研究の目的を述べている。 第2章では、素反応数値計算で用いる反応モデルおよび計算モデルについて説明し、エンジン回転速度をパラメータとした HCCI 燃焼実験と計算結果とを比較することで、素反応数値計算の妥当性を検証している。 第3章では、供給予混合気の温度および圧力が燃焼位相に及ぼす影響を調査し、圧力の依存性が小さく、温度の依存性が大きいことを示し、また、最大圧力上昇率と燃焼位相に強い相関があることを明らかにしている。 第4章では、EGR の影響について調査し、EGR 率の増加に伴い燃焼時の圧力上昇率が低減する機構を解析している。作動ガス中の CO₂ や H₂O のモル数が増加し、比熱比 κ が減少して圧縮行程での温度上昇が低下して燃焼位相が遅延化する効果、および、EGR 率の増加で燃焼温度が低下して HCCI 燃焼時の反応速度が低下する効果、が複合したものであることを示している。 第5章では、着火遅れのアレニウスプロットにて NTC 領域（負の温度依存性）が現れる燃料種（ジメチルエーテル、ノルマルヘプタン）と NTC 領域が現れない燃料種（メタン、イソオクタン）について素反応数値計算を行い、HCCI 燃焼特性の違いを明らかにしている。 第6章では、リブレス EGR 型 HCCI エンジンを用いて実験を行い、素反応数値計算の結果と比較し、供給温度、EGR 率の影響について計算の現象再現性を検証している。 第7章では、実験において燃焼位相の遅延化により生じる HCCI 燃焼のサイクル変動のメカニズムを検討するため、サイクル毎の燃焼効率の変動により生じる次サイクルの EGR ガス組成および燃焼位相の変化量を素反応数値計算により推算し、その知見をエンジン制御に応用して燃焼変動抑制の可能性を検証している。 第8章は結論であり、以上の成果を総括している。 以上要するに本論文は、HCCI 機関における着火および燃焼の機構を明らかにし、燃焼位相の制御およびノッキングの回避により HCCI 機関の効率および出力の向上に資する指針を与えたものであり、内燃機関の燃焼技術の分野において、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4245号	氏 名	菊地 健司
主論文題目： 固体撮像素子への適用に向けた低電圧増倍型光電変換膜の研究			
本研究では、感度低下が課題となっている高精細固体カメラの抜本的な高感度化を目指し、固体撮像素子の耐電圧以下で信号電流の増倍が可能な低電圧増倍膜の提案および基礎検討を行った。低電圧増倍膜は、光信号を電気信号に変換したのち、高い電界により信号電荷を加速してインパクトイオン化を起こして新たな電荷を生成し大きな信号を得るアバランシェ増倍現象を想定した膜である。一般に、アバランシェ増倍を引き起こすには、10^7 V/m 程度の高い電界が必要となるが、固体撮像素子の電氣的耐圧は数 V から数十 V のため、光電変換膜内にアバランシェ増倍に必要な電界を発生するには、膜厚を数 μm 以下に薄膜化する必要がある。しかし、現在主流の光電変換膜材料であるシリコンの膜厚を数 μm 以下薄膜化すると、可視光（波長 450～700 nm）、特に長波長側である赤色光の十分な吸収が得られない。そこで、本研究では光電変換膜として高い光吸収係数（$\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$）をもち膜厚 1 μm で可視光を 99%以上吸収することが可能であり、高い光電変換効率を有するカルコパイライト系材料 $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x(\text{Se}_{1-y}\text{S}_y)_2$ (CIGS) を適用した。CIGS は、膜厚 1 μm 以下に薄膜化できるため、10 V 以下の印加電圧でアバランシェ増倍の一般的な所要電界 10^7 V/m を膜内に発生させることができる。一方、撮像素子では、S/N を低下させる暗電流を低減することが重要である。本研究では、撮像管に適用され実用化されているアバランシェ型超高感度光電変換膜 High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor (HARP) における、正孔注入阻止機構について詳細に検討し、電極からの注入電荷に対する高いポテンシャル障壁、正孔注入阻止層をなす膜内の準位の低減、が重要になることを明らかにした。この結果を鑑み、本研究では、CIGS の			

暗電流を低減するためワイドギャップn型半導体 酸化ガリウム (Ga_2O_3) を正孔注入阻止層として適用した。この結果、暗電流は印加電圧 3 V 時に 10^{-9} A/cm² 台まで低減された。一方、 Ga_2O_3 のキャリア濃度が CIGS と比較して 5 桁以上低いことから、形成される空乏層が Ga_2O_3 側に支配的に広がり分光感度が紫外領域に偏る問題が生じた。そこで、パルスレーザ蒸着法(Pulsed laser deposition: PLD) を使用し Ga_2O_3 にスズ (Sn) 添加を行い Ga_2O_3 のキャリア濃度を向上させた。この結果、空乏層を CIGS 側に広げることに成功し、可視光領域で約 30%の量子効率を得た。さらに PLD レーザのパルス周波数を最適化することで、Sn 添加 Ga_2O_3 の透過率および平坦性を改善し量子効率を約 50%まで向上した。また、Sn 添加 Ga_2O_3 の上にノンドープ Ga_2O_3 を成膜して下地電極と上部電極間の導通を防止することでダイオード特性を改善し、10 V 以下の低電圧印加で信号電流の増倍現象を確認した。スパッタリング法で成膜した CIGS 膜では、蒸気圧の高いセレン (Se) や硫黄 (S) 欠損が生ずるなど、組成ずれが生じていたが、多元蒸着法を導入し CIGS 膜の組成および結晶性を改善した結果、可視光量子効率は 95% (4 V 印加) まで向上した。また、多元蒸着法による CIGS 膜を適用した素子においても信号電流の増倍現象が再現され、印加電圧 5V で量子効率は 100%を超えた。

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4245 号	氏 名	菊地 健司
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 太田英二
	副査	慶應義塾大学教授	Ph.D. 伊藤公平
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 牧 英之
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 神原陽一
学士(工学)、修士(工学) 菊地健司君提出の学位請求論文は「固体撮像素子への適用に向けた低電圧増倍型光電変換膜の研究」と題し、6章より構成されている。 近年、テレビ・ビデオカメラの多画素化や高フレームレート化が進んだ結果、カメラの画質、動解像度は大きく向上している。一方、画素の微細化や高フレームレート化に伴い、一画素あたりの入射光量が減少し、感度の低下という問題が生じる。本論文の著者は、カメラの感度の抜本的な改善と省電力化のため、光電変換した信号電荷を固体撮像素子の耐電圧以下で増倍可能な、低電圧増倍型光電変換膜について実験的研究を行っている。光電変換材料としては、光吸収係数や光入射により発生するキャリアを外部に取り出す効率(一次量子効率)の大きい $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x(\text{Se}_{1-y}\text{S}_y)_2$ (CIGS) を、暗電流を低減する正孔注入阻止材料としてワイドギャップ n 型半導体酸化ガリウム (Ga_2O_3) を用いた $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 半導体ヘテロ構造について低電圧増倍型光電変換膜としての特性を検討している。 第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。 第2章では、$\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造の構成と特性の基礎となる光電変換および暗電流低減のための正孔注入阻止の考え方と理論について述べている。 第3章では、撮像管方式で高感度と高画質を両立している超高感度アバランシェ増倍型非晶質光導電膜の正孔注入阻止機構を解析し、これを CIGS 材料に応用した結果、$\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造を提案している。また、$\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造のバンド構造の解析や光電特性の評価を行い、$\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造では、高い正孔注入阻止障壁を形成することを示し、10^{-8} A/cm^2 以下の暗電流を得ている。 第4章では、$\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造光電変換膜における可視光感度の増強について述べている。Ga_2O_3 のキャリア濃度は CIGS と比較して数桁低いため、感度域となる空乏層は主として Ga_2O_3 層中に広がる。そこで Ga_2O_3 にスズ(Sn)を添加することでキャリア濃度を増加させた $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造を作製し、空乏層が CIGS 側に広がることにより可視光域の感度が上昇することを示している。さらに、表面平坦化により $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ 層の光透過率を改善することで $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造の一次量子効率は約 50%に向上する。 第5章では、$\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造にみられる電極間の導通の防止とキャリア増倍について述べている。$\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造に半絶縁性 Ga_2O_3 層を付加することにより接合の逆バイアス電流特性を改善して暗電流を低減した結果、5 V 以下の低電圧で信号電流の増倍効果を観測し、さらに多元蒸着法を導入して CIGS の組成比と結晶性を改善することにより、$\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造の一次量子効率が約 95%まで向上し、キャリア増倍効果を含めた量子効率が 100%を超える安定した信号増倍を実現することを示した。 第6章では、本研究を総括して、結論および今後の課題を述べている。 以上本論文の著者は、$\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造光電変換膜を提案して、Ga_2O_3 および CIGS の膜質を改善した結果、一次量子効率 95%、暗電流 10^{-8} A/cm^2 以下を達成して、現在の固体撮像素子の耐電圧以下で信号増倍を実現することにより、固体撮像素子の更なる高感度化を実現する低電圧増倍型光電変換膜として $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{CIGS}$ 構造が有望であることを示しており、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 4246 号	氏 名	夏井 敬介
主 論 文 題 目：			
表面改質を利用したホウ素ドーパダイヤモンドにおける 超伝導特性の制御に関する研究			
光などの外部刺激による電子物性の制御は、分子エレクトロニクスの重要課題のひとつである。磁気物性に関しては、これまでに磁性体と光応答性分子との接合界面の形成によって、光化学反応を利用した磁気物性の可逆制御が達成されている。これは、光化学反応に伴った、接合界面における電子状態の変化に起因しており、他の電子物性にも適用可能であると考えられる。一方、ダイヤモンドは高濃度のホウ素ドーピングによって超伝導を示す。また、ダイヤモンドは化学反応を用いて表面改質でき、これまでに表面改質に伴った電気伝導度の変化が報告されている。 以上を鑑みて本論文では、超伝導を示すホウ素ドーパダイヤモンドにおいて、表面改質が超伝導特性に及ぼす影響を明らかにするとともに、光応答性分子を表面に固定化することによって、光制御可能な超伝導体の創製を目的とした。 第 1 章では、研究背景を概説し、本論文の目的および概要について述べた。 第 2 章では、本論文を通じて用いる、超伝導を示すホウ素ドーパダイヤモンドの合成と物性評価についてまとめた。 第 3 章では、表面改質が超伝導特性に及ぼす影響を明らかにするため、水素および酸素終端の超伝導ダイヤモンドの特性を比較検討した。その結果、水素終端ダイヤモンドがより大きな臨界電流密度かつ超伝導体積分率を示し、表面改質による臨界電流密度の制御が可能であることを見出した。 第 4 章では、超伝導特性を光変調するため、超伝導ダイヤモンドと光磁気相転移を示す Co-Fe プルシアンブルー磁性体とのヘテロ構造を作製した。その結果、Co-Fe プルシアンブルーの光磁気相転移に伴って形成した磁壁が強いピンニングサイトとして作用することに起因した、臨界電流密度の光変調を達成した。 第 5 章では、超伝導特性を光化学反応によって可逆に制御するため、光異性化を示すアゾベンゼン化合物を超伝導ダイヤモンドに固定化させた接合界面を作製した。その結果、アゾベンゼンの光異性化に伴って超伝導ダイヤモンドの表面電子密度が不均一化し、変化率が 55% に及ぶ臨界電流密度の可逆な光制御を達成した。 第 6 章では、本論文の総括、および表面改質を利用することによるダイヤモンドの高機能化に関する展望を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4246 号	氏 名	夏井 敬介
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 栄長 泰明			
	副査 慶應義塾大学准教授 博士（工学） 牧 英之		
	慶應義塾大学准教授 博士（工学） 羽曾部 卓		
	慶應義塾大学准教授 博士（工学） 神原 陽一		
学士（理学）、修士（理学）夏井敬介君提出の学位請求論文は、「表面改質を利用したホウ素ドーパダイヤモンドにおける超伝導特性の制御に関する研究」と題するものであり、全 6 章から構成されている。 光などの外部刺激による電子物性の制御は、分子エレクトロニクスの重要課題のひとつに挙げられている。本論文では、超伝導を示す高濃度ホウ素ドーパダイヤモンドに関し、超伝導特性の制御を実現する手法として表面改質を提案・実証している。 第 1 章は序論であり、超伝導特性の制御に関する研究背景および先行研究を概説し、本研究の目的と位置づけをまとめている。 第 2 章では、本研究で用いる超伝導体である、高濃度ホウ素ドーパダイヤモンドの合成、構造、超伝導特性の評価をまとめている。 第 3 章では、高濃度ホウ素ドーパダイヤモンドの表面改質が超伝導特性に及ぼす影響を明らかにするため、ダイヤモンドの代表的な表面終端である水素終端および酸素終端に関して構造および超伝導特性を詳細に比較・検討している。その結果、超伝導転移温度を維持したまま、臨界電流密度が表面改質に伴って大きく変化することが示され、超伝導体積分率の変化に起因する現象であることを明らかとしている。 第 4 章では、高濃度ホウ素ドーパダイヤモンドの超伝導特性を光変調させるために、光磁気相転移する Co-Fe プルシアンブルーとのヘテロ構造を作製し、構造および超伝導特性の評価を行っている。その結果、磁性体である Co-Fe プルシアンブルーとのヘテロ構造の形成によって、上部臨界磁場が変化することが示され、これは、常磁性体である Co-Fe プルシアンブルーから発生する磁場による影響であることが明らかとなった。さらに、Co-Fe プルシアンブルーの光磁気相転移に伴って臨界電流密度を光変調できることが示されている。これは、常磁性から強磁性への磁気相転移によって形成される磁壁が磁束を強くピンニングするサイトとして作用しているためであると結論づけられている。 第 5 章では、高濃度ホウ素ドーパダイヤモンドの超伝導特性を光化学反応によって可逆に制御するため、可逆な光異性化を示すアゾベンゼン化合物を超伝導ダイヤモンド表面に固定化させたヘテロ接合界面を作製し、構造および超伝導特性の評価を行っている。その結果、アゾベンゼン化合物の光異性化反応に伴って臨界電流密度が可逆に変化し、その際の変化率は 55%に達することが示されている。これは、アゾベンゼン化合物の光異性化反応によって、高濃度ホウ素ドーパダイヤモンド表面の電子密度が不均一化しているためであると結論づけられている。 第 6 章では、本研究の成果および今後の展望を述べ、結論としている。 以上要するに、本論文は材料の界面に注目して高機能化するための新規な概念を提示しており、新規な材料開発への展開という観点のみならず、その基礎的な評価に基づいた詳細な知見は、界面物性物理、そして機能材料化学の発展への寄与が少なくない。よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4247 号	氏 名	栗山 怜子
主論文題目： Non-intrusive Measurements of Microscale Thermal Flow Field by Spontaneous Raman Imaging (自発ラマンイメージングによるマイクロスケール熱流動場の非侵襲計測)			
近年発展が目覚ましいマイクロ熱流体システムにおいて、その効率や機能性は微小流れ場のベクトル量およびスカラー量分布に依存する。そのため、マイクロスケールの熱流動場を正確に把握するために様々な計測法が開発されてきた。しかし現在最も一般的な計測法（マイクロ粒子画像流速計やマイクロレーザ誘起蛍光法）は、流体中に蛍光物質を添加する必要があることから、試料特性や流れ場への潜在的影響が懸念される。一方で、ラマン分光法は無標識かつ化学種選択的な顕微分析を実現するが、流れ場の二次元的な可視化にはこれまで殆ど適用されていない。本研究では、微小流動場に適用可能な非侵襲二次元計測法の確立に向けて、自発ラマンイメージングに基づく、温度・速度ならびに壁面極近傍濃度分布計測法の提案を行う。 第1章では、研究背景、従来研究の概要、ならびに本研究の目的を示している。 第2章では、マイクロ流れに関する基礎事項、ラマンイメージングや顕微計測に関連する光学の基礎事項、ならびに流路作成方法について概説している。 第3章では、微小空間における非侵襲二次元温度分布計測の実現に向けて、光学フィルタとカメラを用いたラマンイメージング法の開発を行っている。水分子のOH基伸縮振動に起因するラマン散乱光の温度依存性を利用することで、散乱光画像から水温分布を算出することが可能となる。非一様な励起光強度の影響を低減するため、対照的な温度依存性を有する2種類のラマン散乱光（水素結合状態によりHB（hydrogen-bonded）及びNHB（non-hydrogen bonded）と分類する）の強度比から温度を決定した。 第4章では、非定常温度場の非侵襲二次元計測に向けて、二波長ラマンイメージングの開発を行っている。2台のカメラと2種類のフィルタを組み合わせたイメージングシステムを構築することにより、HB及びNHB領域のラマン散乱光の同時計測が可能となった。また本システムは、励起光の時空間的な揺らぎの補正にも効果的である。本手法による時系列の温度計測結果を熱電対と比較したところ、両者の良好な一致が確認された。 第5章では、蛍光物質の混入を必要としない非侵襲な速度計測の確立に向けて、二波長ラマンイメージングによる温度マーカー追跡に基づく速度算出法を提案している。温度分布計測における誤差に注目し、提案手法の実現性について考察した。光電子増倍ゲインや空間平均処理法などを変更しながら様々な計測条件においてラマン散乱光画像を取得し、各パラメータが温度計測誤差に与える影響について実験的に検証した。 第6章では、界面極近傍（100 nm 程度）において発生するエバネッセント波をラマン散乱過程の励起光として用いることで、全反射ラマンイメージング法の開発を行っている。ラマン散乱光強度が分子数に比例することを利用し、全反射ラマン散乱光画像から壁面極近傍における濃度分布を算出した。ダブルプリズム式的全反射顕微鏡とラマンイメージングシステムを組み合わせることにより、計測システムを新たに構築した。水と重水が非一様に混合するT字型マイクロ流路内のガラス・溶液界面において、各成分の濃度分布の可視化に成功した。 第7章では、各章において得られた知見を総括し、本研究で開発した計測技術の応用ならびに今後の課題について触れ、本論文の結言としている。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4247 号	氏 名	栗山 怜子
論文審査担当者：主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	佐藤 洋平
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	菱田 公一
	慶應義塾大学教授	工学博士	岡 浩太郎
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	田口 良広
	慶應義塾大学専任講師	Ph.D.	安藤 景太

学士（工学）、修士（工学）栗山 怜子 君提出の学位請求論文は「Non-intrusive Measurements of Microscale Thermal Flow Field by Spontaneous Raman Imaging（自発ラマンイメージングによるマイクロスケール熱流動場の非侵襲計測）」と題され、7章から構成されている。

近年発展の目覚ましいマイクロ熱流体システムにおいて、その効率や機能性は微小流れ場のベクトル量およびスカラー量分布に依存する。従って、システムの高効率化・多機能化に向けて、マイクロスケールの熱流動場を正確に把握するための計測法が不可欠である。しかし現在最も一般的な計測法（マイクロ粒子画像流速計やマイクロレーザ誘起蛍光法）は、流体中に蛍光物質を添加する必要があることから、試料特性や流れ場への潜在的影響が懸念されている。一方で、ラマン分光法は無標識かつ化学種選択的な顕微分析を実現するが、流れ場の二次元的な可視化には殆ど適用されていない。本研究では、微小流動場に適用可能な非侵襲二次元計測法の確立に向けて、自発ラマンイメージングに基づく、温度・速度ならびに壁面極近傍濃度分布計測法の開発を目的としている。

第1章では、研究の背景および従来の研究を概説し、研究目的を述べている。

第2章では、マイクロ流れに関する基礎事項、ラマンイメージングや顕微計測に関連する光学の基礎事項、ならびに流路作製方法について概説している。

第3章では、定常温度場の非侵襲二次元計測に向けて、光学フィルタとカメラを利用したラマンイメージングの開発を行っている。水分子のOH基伸縮振動に起因する自発ラマン散乱光のうち、対照的な温度依存性を示す2つの波長帯（水素結合状態によりHB（hydrogen-bonded）及びNHB（non-hydrogen bonded）と分類する）に着目して、両者の強度比から温度を算出することにより、非一様な励起光強度の影響を低減し、 $12.8 \times 12.8 \mu\text{m}^2$ の空間分解能を有する温度分布計測に成功している。

第4章では、非定常温度場の非侵襲二次元計測に向けて、二波長ラマンイメージングの開発を行っている。2台のカメラと2種類のフィルタから成る光学システムを構築することで、HB及びNHB領域の散乱光の同時計測を可能にし、励起光の時空間的な揺らぎの補正を実現している。本手法による時系列温度計測結果を熱電対と比較したところ、約0.3 K以内の良好な一致が確認されている。

第5章では、非侵襲速度計測法の開発に向けて、二波長ラマンイメージングによる温度マーカー追跡に基づく速度算出法を提案している。温度分布計測におけるばらつきに注目し、提案手法の実現性について考察している。光電子増倍ゲインや空間平均処理法などの条件を変更しながら散乱光画像の取得を行い、各パラメータが温度のばらつきに与える影響について実験的に検証している。

第6章では、界面極近傍濃度場の非侵襲二次元計測に向けて、全反射ラマンイメージングの開発を行っている。物質界面を選択的に励起可能なエバネッセント波を用い、ラマン散乱光強度と分子数との比例関係を利用することで、界面に特化した濃度計測を可能としている。ダブルプリズム式の全反射顕微鏡とラマンイメージングシステムを組み合わせた装置を新たに構築し、水と重水が非一様に混合するマイクロ流路内のガラス・溶液界面において、各成分濃度の可視化を実現している。

第7章では、本論文全体の結論を述べている。

以上要するに、本論文では自発ラマンイメージングに基づく画期的な計測技術を提案することにより、微小空間における輸送現象について非侵襲な二次元計測を実現したものであり、マイクロ熱流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 4248 号	氏 名	酒井 雄樹
主論文題目：			
CsCl 型 RuX ($X=\text{Ge}, \text{Sn}$) とシャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ の高压合成と電気的・磁氣的性質			
圧力は温度と同様に物質の状態を決める重要なパラメータの一つである。そして、圧力下で熱処理を行う高压合成法は常圧下で合成できない物質を作成する方法として、物性物理分野のみならず、化学、及び材料科学においても着目されている。本論文は、高压合成と計算機科学を併用することで CsCl 型 RuX ($X=\text{Ge}, \text{Sn}$) の合成とシャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ の Fe 固溶限界の拡大を新規に実証した。CsCl 型 RuX ($X=\text{Ge}, \text{Sn}$) は本研究で発見された新規 Ru 化合物であり、シャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ は理論計算からハーフメタルであることを示唆されている強磁性転移温度(T_C) 178 K の強磁性体である。本研究では CsCl 型 RuX ($X=\text{Ge}, \text{Sn}$) とシャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ の圧力対温度相図、電気的・磁氣的性質を明らかにした。高压下での結晶構造分析は放射光施設 SPring-8 での高温高压下その場観察エネルギー分散 X 線回折により行った。密度汎関数理論(DFT)によるシミュレーションを、CsCl 型 RuX ($X=\text{Ge}, \text{Sn}$) の圧力下での安定性、シャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ の磁性に対して行ない、それぞれの電子状態を理論的に得た。1 章では研究背景と目的について述べている。2 章では実験方法と諸理論について述べている。3 章では CsCl 型 RuX ($X=\text{Ge}, \text{Sn}$) の高压合成と電気的性質について述べている。CsCl 型 RuGe は 10 GPa 以上、CsCl 型 RuSn は 5 GPa 以上の圧力領域で結晶相がその場観測された。また、これらの結晶相は常圧下で回収されることができ、常圧下でも RuGe は 673 K 以下、RuSn は 773 K 以下の温度領域において分解せずに構造を保つ。CsCl 型 RuX ($X=\text{Ge}, \text{Sn}$) はいずれも $\mu\Omega\text{ cm}$ 程度の電気抵抗率と金属伝導を示した。DFT によるシミュレーションにより CsCl 型の電子状態と高压下での相安定性を求め、CsCl 型はバンド構造から共に金属であること、高压下では常圧相に比べて CsCl 型 RuX ($X=\text{Ge}, \text{Sn}$) の方が安定になることを明らかにした。これら理論計算の結果は実験とよく一致している。4 章ではシャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ の高压合成の磁氣的性質について述べている。シャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ の Fe 固溶量は高压合成により常圧での $x < 0.6$ から $x \geq 1.0$ へと拡大した。Fe 置換により磁化及び T_C は低下し、T_C は $x = 1.0$ の試料で 68(3) K まで低下することが分かった。DFT を利用し、ユニットセル中の Co を Fe に部分置換したシミュレーションにより得た Fe 固溶体の理論的自発磁化は実験と同様に Fe 置換とともに減少するが、実験と異なり $x = 1.0$ で自発磁化はクエンチする電子状態を得た。この実験値と理論値との相違は、実験上生じると予想される Fe に部分置換される Co イオンサイトの不均一性に起因すると考えられる。$\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ のユニットセルには 9 つの Co イオンサイトがあり、Fe に置換される Co イオンサイトの選び方には複数のパターンが存在する。このため、実験的に得られる結晶では複数の磁気構造が混在すると考えられる。5 章では本論文の総括と今後の課題について述べている。 これらの結果は、Ru 化合物と遷移金属硫化物の新物質探索において、高压合成法は可能性を広げるアプローチであることを示す。Ru 化合物の圧力下での相安定性は理論計算と実験が、± 2 GPa の範囲で一致する。高压合成を利用した新物質探索は、理論計算を活用し仮想結晶相とその物性の予測を行うことで、より効率的となる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4248 号	氏 名	酒井 雄樹
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 神原 陽一
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 佐藤 徹哉
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 的場 正憲
		慶應義塾大学教授	博士(理学) 大橋 洋士
学士(工学)、修士(工学) 酒井雄樹君の学位請求論文は、「CsCl 型 RuX ($X=\text{Ge}, \text{Sn}$)とシャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ の高压合成と電氣的・磁氣的性質」と題し、全 5 章から構成されている。 Ru 化合物は様々な化学反応に対し優れた触媒作用を示すことが知られている。シャンド鉱型化合物 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ は低温で遍歴強磁性と比較的高い電力因子を併せて示す金属である。いずれの系も、その結晶構造・化学組成の可能性を広げる探索手法が求められている。一方、近年の高压力発生技術の進歩により、試料セル体積の大容量化が実現され、温度のみならず圧力を自由度として利用することで、新規結晶相の探索が可能となった。本論文の著者は、この技術的進歩に着目し、比較的大きな試料体積が期待できるキュービック型とカワイ型の二種のアンビルを用いた高压セルを併用することで、常圧下では合成不可能であった体心立方格子型(CsCl 型)の二元 Ru 化合物の結晶相と、シャンド鉱型 Co 化合物の単位格子中に存在する Co サイトへの Fe 置換量を上昇させたバルク試料を、常温常圧下で回収することに初めて成功した。さらに、得られた結晶相の圧力に対する安定性と電子状態を、放射光を光源としたエネルギー分散型 X 線回折による「その場結晶相観察」と非経験的な電子状態計算により明らかにしている。 第 1 章は序論であり、本研究に関連する Bridgman による静的圧力発生技術の確立や、放射光の原理、圧力発生手法の分類、および近年のカワイ型高压セルの高压力化、高温化について説明した後、研究目的が述べられている。 第 2 章では、本研究で用いた実験装置と理論解析手法が詳述されている。圧力実験について、高压セル中の圧媒体構成、加圧下での圧力と温度の決定方法を説明している。また、高温高压下で結晶構造解析を行うためのエネルギー分散型 X 線回折法、密度汎関数法による電子状態解析、および、実験結果の解析に用いる Vegard 則についても説明している。 第 3 章では、本研究の高压実験手法により、CsCl 型 RuX ($X = \text{Ge}, \text{Sn}$)の結晶相をはじめて常圧下で回収することに成功したことが、得られた試料の純度とともに述べられている。さらに、この結晶相の圧力下での安定性を、実験データと密度汎関数法による電子状態計算の結果とを比較しながら議論している。RuGe で観測された結晶相転移圧力は理論値と ± 2 GPa の誤差で一致しており、この差の原因として、力学的温度の変化により生じるアンチサイトの可能性が指摘されている。 第 4 章では、シャンド鉱型 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ の合成と磁性の研究について述べている。常圧下での固相反応で得られるシャンド鉱型 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ 結晶相では Co サイトの内の Fe 置換量は 20 at.%程度が上限であったが、本研究の高压実験により、Fe 置換量は 30 at.%を超えることが述べられている。Co を Fe に部分置換するにつれ強磁性転移温度が減少し、この研究で得られた最も Fe 置換量の高いシャンド鉱型硫化物 $\text{Co}_{3-x}\text{Fe}_x\text{Sn}_2\text{S}_2$ では、化学式当たりおよそ $0.05\mu_B$ の強磁性体になることを実験的に明らかにしている。この結果に基づき、さらなる Fe の置換量増加により量子相転移の出現が期待できることを指摘している。また、この物質においてこれまでに調べられていなかった硫黄欠損についても強磁性状態に与える影響を実験データと電子状態計算に基づき議論している。 第 5 章では、本研究の成果を総括し、計算機科学と高压合成・放射光を利用した効率的な試料作製・評価手法に関し、今後の展望を述べている。 本論文は、材料探索という観点のみならず、非経験的手法と極限環境を利用した新しい結晶構造・化学組成を有する材料開発の実例を示すものであり、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 4249 号	氏 名	小澤 仁嗣
主 論 文 題 目：			
SQ-DMA 分子の輻射遷移過程および無輻射遷移過程に関する理論的研究			
Bis[4-(dimethylamino)phenyl]squaraine (SQ-DMA) 分子は、長波長領域に蛍光を持つ色素であり、これまでの様々な実験的及び理論的な研究にも関わらず、その励起状態の特性及び緩和過程は解明されていない。この分子において特に興味深い点は、発光の起源と、無輻射遷移速度が極性溶媒中で顕著な温度依存性をもつことである。本論文では、これら2つの重要な点を解明するために、理論的観点から研究を行った。 第1章では、電子移動反応の一般論や蛍光過程や無輻射遷移など励起分子の緩和過程の一般論を説明し、さらにこれまでに行われた SQ-DMA の研究背景を説明する。発光の起源として、当初は3つの起源が存在することが提案されていたが、その後の研究で起源が1つであることが提案されたこと、および、無輻射遷移過程の顕著な温度依存性が分子内内部回転により Twisted intramolecular charge transfer (TICT) を経由する反応過程であることが提案されたことを述べる。 第2章では、計算方法の詳細を述べる。主に密度汎関数法とその応用計算上の重要事項を述べる。 第3章では、SQ-DMA の平面構造の励起状態特性、および吸収・蛍光スペクトル、輻射遷移速度の計算結果を述べ、蛍光スペクトルの起源が$\pi-\pi^*$型の B_{1u} 励起状態であることを具体的に明らかにしたことを述べる。 第4章では、SQ-DMA の励起状態の内部回転に関する議論を行う。ここでは、SQ-DMA 分子のさまざまなねじれ構造の検討を行っており、片方のフェニル基とジメチルアミノ基が同時にねじれた場合が最も反応熱が低いことが分かった。また、この内部回転のポテンシャルエネルギー曲線 (PES) の計算結果から、SQ-DMA 分子に TICT 励起状態は存在するが、TICT の代表分子である dimethylamino benzonitrile (DMABN) 分子の場合とは違って高い励起状態に存在するため、無輻射遷移には直接的に関与しないこと、そしてその相違の原因が、SQ-DMA のπ共役の長さによるものであること、そして、$n-\pi^*$型の励起状態がねじれ構造の S_1 であるが、反応熱がすべての溶媒中において高く、さらに溶媒極性が高くなる程反応熱が高くなる振舞になることを明らかにした。このため、これまで考えられてきた TICT 経由の機構は矛盾することを示す。 第5章では、SQ-DMA の極性溶媒中の顕著な温度依存性の原因が、溶質—溶媒間 electron driven proton transfer (EDPT) 過程によるものであることを述べる。SQ-DMA の電子構造は双極イオン対的であり、光塩基性が大きいことから、プロトン性溶媒分子と水素結合を形成し、励起状態 PT 反応が起こる。その際に、溶質—溶媒間ホール移動が起こり、トンネル型非断熱遷移によって反応が進行する。そして、その反応速度が Marcus 型電子移動反応と同じ振舞をすることから、顕著な温度依存性を持つことを示す。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4249 号	氏 名	小澤 仁嗣
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 藪下 聡
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 吉岡 直樹
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 近藤 寛
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 羽曾部 卓
学士（理学）、修士（理学）小澤 仁嗣 君提出の学位請求論文は、「SQ-DMA 分子の輻射遷移過程および無輻射遷移過程に関する理論的研究」と題し、全 6 章からなっている。 Bis[4-(dimethylamino)phenyl]squaraine (SQ-DMA) 分子は、長波長蛍光色素の一つで、これまでの多くの実験的・理論的研究にも関わらず、その励起状態の特性及び緩和過程は不明確である。特に興味深い点は、その発光起源と、無輻射遷移速度が極性溶媒中で顕著な温度依存性を示すことである。小澤君は本論文で、これら 2 つの重要な点を解明するために、理論的観点から研究を行った。 第 1 章では、電子移動反応および蛍光や無輻射遷移など励起分子の緩和過程に関する一般論を概説し、さらに過去になされた SQ-DMA の研究を説明している。この分子の発光起源として、当初は 3 つの起源が提案されたが、その後の研究でその起源は 1 つであるという提案、および、無輻射遷移過程の顕著な温度依存性の原因として、分子内回転により Twisted intramolecular charge transfer (TICT) 状態を経由するためという提案がなされたことを述べている。 第 2 章では、本論文で用いた計算方法の詳細を述べている。 第 3 章では、SQ-DMA の平面構造の励起状態特性、および吸収・蛍光スペクトル、輻射遷移速度の計算結果を述べ、蛍光スペクトルは π-π^* 型の B_{1u} 励起状態に起因することを明らかにしている。 第 4 章では、SQ-DMA の励起状態における様々なねじれ構造を検討し、片方のフェニル基とジメチルアミノ基が同時にねじれる場合が最も反応熱が低いことを明らかにしている。また、この計算結果から、SQ-DMA 分子に TICT 型励起状態は存在するが、その代表分子である dimethylamino benzonitrile 分子の場合と比べ高エネルギー領域に存在するため、無輻射遷移には直接的に関与しないこと、そしてその相違の原因は、SQ-DMA の長い π 共役鎖によること、n-π^* 型励起状態はねじれ構造の最低励起状態であるが、反応熱はすべての溶媒中で高く、さらに溶媒極性が高くなるほど反応熱が高くなることを明らかにした。このため、これまで考えられてきた TICT 状態経由の機構は矛盾することを明らかにしている。 第 5 章では、SQ-DMA の無輻射遷移速度がアルコール溶媒中で顕著な温度依存性を示す原因が、溶質-溶媒間の electron driven proton transfer (EDPT) 過程によることを明らかにしている。つまり SQ-DMA の電子構造は双極イオン対型であるため、水素結合した隣接アルコール分子の電子を効果的に不安定化することにより、溶質-溶媒間電子移動反応が低い活性化エネルギーを伴って起こり、それが励起状態プロトン移動反応を引き起こすという 1 連の機構に対して Marcus 型電子移動反応機構に基づき、無輻射遷移速度を具体的に評価し、実験で得られた温度依存性を明らかにしている。 第 6 章では、本論文の総括を行うとともに本研究の意義を述べている。 以上要するに、本論文の著者は、SQ-DMA 分子の蛍光起源とその極性溶媒中における無輻射遷移速度の顕著な温度依存性の原因を明らかにした。本論文の対象は SQ-DMA という特定の分子に限定されているが、その研究成果や著者が開発した解析手法は一般の分子系にも広く適用可能な概念を含み、今後この分野の研究に対して、重要な指針を与えるものとして、分子科学の発展に寄与するところが少なくない。よって本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第4250号	氏 名	小熊 祐司
主論文題目：			
安定性解析に基づく多点型確率的最適化アルゴリズムの設計に関する研究			
近年、計算機の演算能力の飛躍的発達と工学・工業における「最適化」の重要性の向上を背景に、最適化アルゴリズムの高度化に関する研究が活発化し、とくにメタヒューリスティクスとよばれる計算パラダイムが注目を集めている。メタヒューリスティクスとは、最適化問題に対して、たとえば目的関数の勾配や Hesse 行列といった解析的情報などの事前知識を必要とせず、良質な近似解の計算が短時間で可能な最適化アルゴリズムの総称であり、たとえば遺伝的アルゴリズム (GA)、Particle Swarm Optimization (PSO)、Differential Evolution (DE) などがあげられる。 多くのメタヒューリスティクスでは、(1) 複数の探索点を用いた多点型探索、(2) 擬似乱数を用いた確率的探索、という 2 つの基本方略を採用することで、目的関数の勾配や Hesse 行列を利用せず、かつそのうえで大域的な最適解探索を実現している。しかしながら、これらの基本方略はいずれも数理的な取扱いが困難であり、アルゴリズムに固有のパラメータ調整などに対する数理的根拠を明確にしづらいという課題がある。また、メタヒューリスティクスを用いて実問題を解く場合、その特長である実装の柔軟性を活かし、具体的な問題に対する事前知識に基づいて既存のアルゴリズムを改良することも可能であるが、その際のアルゴリズム改良の指針は確立されていない。 本研究では上述の課題を踏まえ、以下で述べる 2 つのアプローチにより、メタヒューリスティクスを「多点型確率的最適化アルゴリズム」と解釈してその動特性の解析をおこない、最適化問題を解く際のアルゴリズム設計やパラメータ調整の数理的根拠を提供する。 第 1 のアプローチとして、有力なメタヒューリスティクスである PSO と DE に対し、動特性の数理的解析によってそれらの収束性を解析し、大域的最適化性能に優れたパラメータの設定指針を提供する。PSO のように探索点位置の更新式中に擬似乱数が内在されるアルゴリズムでは、その動特性を決定論的に解析することは原理的に不可能である。そこで本研究では、最適アルゴリズムが多数回の計算の反復を前提とすることから、巨視的な時間間隔での挙動に着目した安定性解析をおこない、PSO のパラメータ設定と収束性の関係を示している。 第 2 のアプローチとして、動特性解析が数理的に可能な多点型確率的最適化アルゴリズムの「フレームワーク」を具体的に提案するとともに、そのなかで解きたい問題に合わせてアルゴリズムを設計する考え方を示す。そのうえで、このフレームワークに対して、探索点位置の分散共分散行列を指標とする探索点分布に関する安定性定理を与える。この定理は、このフレームワークに基づいて構築されるアルゴリズムすべてに対して適用可能なものであり、その適用結果を用いれば、個々のアルゴリズムに対して探索点分布の制御則を与えることが可能となる。このフレームワークに従えば、たとえば勾配や Hesse 行列といった目的関数に対する解析的情報を組み入れつつ、かつ数理的に解析可能な動特性を有するアルゴリズムの設計が可能となる。 以上の成果により、最適化問題に対して PSO や DE を適用する場合、数理的な根拠・指針をもとにパラメータを調整することが可能となり、また、問題にあわせて独自に最適化アルゴリズムを設計する場合でも、その動特性の数理的解析に基づく適切なパラメータの設定が可能となる。これらのことは、たとえば産業上の実問題に対する最適化に寄与することが期待される。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4250 号	氏 名	小熊 祐司
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 相吉 英太郎
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 足立 修一
		慶應義塾大学教授	工学博士 本多 敏
		慶應義塾大学准教授	博士(情報理工学)山本 直樹
		首都大学東京教授	工学博士 安田 恵一郎

学士(工学)、修士(工学) 小熊祐司君 提出の学位請求論文は、「安定性解析に基づく多点型確率的最適化アルゴリズムの設計に関する研究」と題し、6章より構成されている。

工学システムにおける「最適化」の重要性の高まりと計算機の演算能力の飛躍的発達を背景に、最適化アルゴリズムの高速化・高機能化が求められ、それに呼応する形で新しいタイプの最適化手法が登場している。たとえば、目的関数の数式表現やその勾配情報などを用いずに、大域的最適解を近似する良質な解を比較的短時間で計算することができるメタヒューリスティクスとよばれる計算パラダイムをあげることができるが、それらの多くは、(1) 複数の探索点を用いる多点型探索法であること、(2) 更新則中に擬似乱数を用いる確率的探索法であること、などを特徴とした「多点型確率的最適化アルゴリズム」である。このため、それらの更新則自体の数理的な取り扱いが容易ではなく、本来最適性条件を与えることができない大域的最適解への収束性の立証や、有限の計算時間内でのそれへの収束性の保証を著しく困難にしている。そこで申請者は、メタヒューリスティクスにおいて、相互に干渉しあいながら確率的に挙動する複数の探索点に対し、それら探索点群の広がりやを一定に保ちつつ、局所的探索と大域的探索を繰り返しながら、許容される計算時間内で最適解を探索し続ける新しい計算論を提唱し、探索点群の動特性に対する安定性解析に基づき、更新則中のパラメータを安定-不安定境界領域に設定するアルゴリズムの設計指針を確立している。

本論文では、以上のような研究の背景や目的を、第1章において論文の構成や表記法とともに述べ、また、第2章において、多点型確率的最適化アルゴリズムの構造を数理的に解説したうえで、メタヒューリスティクスとして代表的な手法である Particle Swarm Optimization (以降 PSO と略記) と Differential Evolution (以降 DE と略記) を取り上げ、更新則中のパラメータ設定に関する課題を提起している。これを受けて、第3章では、乱数の影響を考慮した安定性解析を PSO に対しておこない、その持続的探索のためのパラメータ設定法を提案し、数値実験によりその有効性を確認している。これに続く第4章では、最大エントロピー法を用いた探索点の分布解析により、DE の探索点とその初期収束を回避して持続的探索をするための更新則中のパラメータ設定条件を示している。以上の二つの手法に対する各論的な洞察を踏まえ、本論文の核心部である第5章において、持続探索可能なパラメータの設定が可能な多点型確率的最適化アルゴリズムの包括的枠組みを与え、この枠組のアルゴリズムに対し、分散共分散行列を指標とする探索点分布に関する安定性定理の導出に成功している。この包括的なアルゴリズムの枠組みとそれに対する安定性定理により、大域的最適解を求めて探索し続ける新たな多点型確率的最適化アルゴリズムの数理的な設計を可能にしている。なお、その具体的な設計例として、PSO の設計思想をこの枠組みで構成し、導出した安定性定理を用いて安定-不安定境界領域にパラメータ設定することで、第3章において実現した持続探索型 PSO と同等の最適化性能が得られることを、数値実験によって確認している。最後の第6章では、この安定性定理に基づく設計指針による新たな多点型確率的最適化アルゴリズムの提案の可能性、およびそれらの応用の可能性について論じている。

以上のメタヒューリスティクスに対する課題提起とそれを克服する新たな計算論の提唱、及びそのもとで導出された安定性定理に基づく多点型確率的最適化アルゴリズムの設計指針の提示は、この分野における最適化アルゴリズム開発のブレークスルーになりうるものとして期待される。

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。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4251 号	氏 名	竹 康宏
主論文題目：			
三次元集積のための誘導結合を用いたパケット転送と 共振結合を用いたクロック分配に関する研究			
三次元集積は、スケーリングに依らずに高性能 LSI を設計するための重要な技術である。近年まで、集積回路の性能向上は、ムーアの法則に従うスケーリングによって達成されてきた。しかし、物理的制約によるムーアの法則の減速が議論されており、スケーリングに依らない性能向上として、三次元集積が注目されている。チップ間を無線接続する誘導結合インタフェースは、従来の CMOS プロセスのみで三次元集積を可能とする。多様なシステム間のデータ転送のためにはパケット転送が望ましいが、積層チップ間のデータ通信に用いた場合に、拡張性が高い転送方式と回路技術の研究はこれまでになかった。また、誘導結合を用いてクロックを各チップに転送すると、転送遅延に起因する位相誤差の問題があった。位相誤差の少ないクロックをチップ内で分配する回路技術の研究はこれまでにあったが、積層チップ間で分配する技術はこれまでになかった。そこで本研究では、誘導結合を用いたパケット転送と磁界の共振結合を用いたクロック分配を提案することを目的とした。 第 1 章に、本研究の背景と、他の集積方式に比べた誘導結合の利点を概説した。 第 2 章では、拡張性の高いパケット転送方式として、リング型垂直バブルフローパケット転送方式を提案した。65 nm CMOS プロセスの試作チップを評価して、従来の仮想チャネル方式に比べて、33.5%の小面積化と、最大で 12.5%のスループット向上を確認した。 第 3 章では、広帯域なパケット通信を実現する誘導結合インタフェースの回路技術を提案した。誘導結合型注入同期クロック再生技術により、クロック伝送コイルを削除し、1 コイルリピータ伝送技術により、通信に必要なデータ伝送コイルを削減することで、単位面積あたりの帯域を広帯域化した。0.18 μm CMOS プロセスの試作チップを評価して、単位面積あたりの帯域が、従来に比べて 6 倍である 730 Gb/s/mm² に広帯域化することを確認した。 第 4 章では、磁界の共振結合を用いたクロック分配技術について提案した。発振器同士を結合させることにより、互いのばらつきを補正する。加えて、結合された発振器を外部参照クロックに同期させる調律回路を提案した。0.18 μm CMOS プロセスの試作チップを評価して、積層されたチップ全体において、18 ps 以内の位相誤差と 1.72 ps のジッターで外部参照クロックに同期したクロック分配を達成した。 第 5 章では、各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4251 号	氏 名	竹 康宏
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 黒田 忠広			
副査 慶應義塾大学教授 工学博士 天野 英晴			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 石黒 仁揮			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 中野 誠彦			
学士（工学）、修士（工学）竹康宏君提出の学位請求論文は「三次元集積のための誘導結合を用いたパケット転送と共振結合を用いたクロック分配に関する研究」と題し、5章から構成されている。 ムーアの法則の減速に伴い、チップを積層して三次元集積する研究が注目されている。誘導結合は、チップを貫通したデータ通信を実現できる点が特長である。積層チップ間のデータ通信に用いることができ、拡張性が高く単位面積あたりの通信帯域が広いパケット転送方式と回路技術の研究は、これまでに報告がなかった。また、誘導結合を用いてクロックを転送すると、転送遅延に起因した位相誤差を生じる問題があった。本論文は、誘導結合を用いたパケット転送と磁界の共振結合を用いたクロック分配に関する研究の成果を示したものであり、回路の三次元集積に大きく貢献するものである。 第1章は序論であり、本論文の背景と目的、従来の研究について説明している。 第2章では、拡張性の高い、リング型垂直バブルフローパケット転送方式を提案している。積層されたチップを周回するリング構造の通信チャネルを誘導結合で構成し、データを連続させずに間隔を空けて転送することにより、パケットの停滞を防いでいる。65 nm CMOS プロセスで試作したチップを評価したところ、パケットの停滞は全く起こらず、パケットを一時的に退避するためのバッファを設ける仮想チャネル方式に比べて、レイアウト面積を 33.5%低減しながら、スループットを最大で 12.5%上げることに成功している。 第3章では、第2章で示したパケット転送方式を小さなレイアウト面積で効率よく実現する誘導結合インタフェースの回路技術を提案している。磁界はコイルの上下に等しく放射されるため、送信したデータが送信先でリピート転送される際に、データは送信元にも戻り、次に送信されるデータと衝突する。これを避けるためには、データとクロックの転送に合計6つのコイルが必要であった。そこで、データからクロックを再生する誘導結合型注入同期クロック再生回路を考案し、クロック用のコイルを不要にしている。さらに、リピート転送時にデータが衝突しないように、次のデータの送信タイミングを調整する回路を考案している。その結果、1つのコイルでリピート転送できるようになった。0.18 μm CMOS プロセスで試作したチップを評価して、単位面積あたりの通信帯域を従来に比べて 6 倍広い 730 Gb/s/mm² にできることを実証している。 第4章では、磁界の共振結合を用いたクロック分配技術を提案している。発振器のコイルを共振結合させることで、周波数と位相の揃ったクロックを各チップ上に生成できる。しかし、クロックの周波数は共振結合によってそれぞれの共振周波数からずれているため、所望の周波数に戻す調律が必要になる。共振結合している系の共振周波数を一部の発振器だけで調律できる周波数範囲は狭いため、全ての発振器を同時に調律して、調律範囲を広げるための方式と回路を考案している。0.18 μm CMOS プロセスで試作したチップを評価した結果、周波数の調律範囲を従来の 2 倍の 110 MHz に拡大でき、クロックの位相誤差を 18 ps 以下に低減できることを確認している。 第5章は結論であり、各章で得られた内容をまとめ、本研究によって得られた成果を要約している。 以上要するに、本論文は、誘導結合を用いたパケット転送と磁界の共振結合を用いたクロック分配のための通信方式と回路技術を提案し、その有効性を実証したものであり、集積回路工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4252 号	氏 名	寺田 崇秀
主論文題目：			
メンテナンスフリーセンサネットワークシステム用低電力無線データ通信 及び電力伝送回路			
(内容の要旨) 発電機の回転軸や工場内の過酷な環境などに適用するセンサネットワークシステムでは、メンテナンスフリーの運用が求められている。一般に、センサノードはセンサ回路と無線通信回路、バッテリーを含む電源回路で構成され、無線通信部の消費電力が大きいことから、定期的なバッテリー交換(メンテナンス)が必要であった。メンテナンスフリーを実現するためには、バッテリー交換を不要にする、またはバッテリーそのものを不要にすることが求められる。そこで本研究では、センサデータを低電力で伝送する無線通信回路技術と、センサノードへ電力を安定に供給する無線電力伝送回路技術の開発を目的とした。 第 1 章では、本研究の背景と従来の研究について述べた。 第 2 章では、極近距離無線通信用ウルトラワイドバンドインパルスラジオ(UWB-IR)送受信機について述べた。アナログ回路の定常電流を低減するため、インパルス信号を用いる UWB-IR に着目し、無線通信アナログ回路のデジタル化、クロック動作化を提案した。0.18 μm CMOS プロセスで試作した送受信機チップを用いた実験により、通信距離 1 m, データレート 1 Mbps, 消費電力 1.0 mW を確認した。 第 3 章では、近距離無線通信用 UWB-IR 送受信機について述べた。通信距離 30 m の UWB-IR 受信機に対して、受信回路のパルス単位(ns 単位)での間欠動作を提案した。0.18 μm CMOS プロセスで試作した送受信機チップを用いた実験により、受信性能を評価した。受信アナログフロントエンド回路の消費電力は 90 mW から 38 mW に低減した。 第 4 章では、無線電力伝送用の高効率回路技術について述べた。安定した電力伝送を行うため、2 次元導波シート方式に着目し、センサノードの消費電力と電力伝送効率の変動に対応可能な送受信機アーキテクチャを提案した。パワーアンプ(PA)と並列整流回路のプロトタイプを用い効率を評価した。最大送信電力から 10 dB 低い送信電力における PA 効率を 2.5 倍に改善した。18dB の入力電力範囲における並列整流回路効率を 1.5 倍に改善した。 第 5 章では、2 次元導波シートを用いた無線電力伝送用のビームフォーミング技術について述べた。導波シート上に設置したリファレンスデバイスから送信機とセンサノードにクロックを分配することで、送信機間の回路遅延ばらつきを補償し、センサノードから水晶発振器を除去するユニバーサルオンシートリファレンス方式を提案した。0.18 μm CMOS プロセスで試作した送信機チップを用いた実験により、提案方式の動作と電力伝送効率を評価した結果、電力伝送効率は 23 倍に改善した。 第 6 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。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4252 号	氏 名	寺田 崇秀
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 黒田 忠広			
副査 慶應義塾大学教授 工学博士 天野 英晴			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 石黒 仁揮			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 中野 誠彦			
学士（工学）、修士（工学）寺田崇秀君提出の学位請求論文は「メンテナンスフリーセンサネットワークシステム用低電力無線データ通信及び電力伝送回路」と題し、6 章から構成されている。 発電機の回転軸や工場内の過酷な環境などに適用するセンサネットワークシステムでは、メンテナンスフリーの運用が求められている。従来、センサノードは無線データ通信回路の消費電力が大きいことから、定期的なバッテリー交換が必要であった。メンテナンスフリーを実現するためには、無線データ通信回路の電力を低減してバッテリー交換を不要にするか、もしくは、センサノードへの電力伝送によりバッテリーそのものを不要にすることが求められる。本論文は、センサデータを低電力で伝送する無線データ通信回路技術と、センサノードへ電力を安定に供給する無線電力伝送回路技術を示したものであり、メンテナンスフリーなセンサネットワークシステムの実現に大きく貢献するものである。 第 1 章は序論であり、本論文の背景と目的、従来の研究について説明している。 第 2 章では、1 m 以内の極近距離無線データ通信回路について、アナログ回路の消費電力を低減するクロック動作技術を提案している。インパルス信号を用いるウルトラワイドバンドインパルスラジオ (UWB-IR) を採用し、アナログ回路をデジタル化してクロック動作させる工夫をしている。0.18 μm CMOS プロセスで試作した送受信機チップを評価して、通信距離 1 m で転送速度 1 Mbps のデータ通信に必要な消費電力を従来の 40 mW から 1 mW に低減できることを実証している。 第 3 章では、30 m 以内の近距離無線データ通信に用いられる UWB-IR 受信機について、アナログフロントエンド回路のインパルス単位での間欠動作技術を提案している。アナログデジタル変換器のサンプリングクロックに同期して各回路の動作を高精度に制御する工夫をしている。0.18 μm CMOS プロセスで試作した送受信機チップを評価して、アナログフロントエンド回路の消費電力を 90 mW から 38 mW に低減できることを実証している。 第 4 章では、2 次元導波シート方式を用いた無線電力伝送用の回路技術について、電力伝送効率とセンサノードの消費電力の変動に応じて高い電力効率を実現する送受信機アーキテクチャを提案している。センサノードの位置によって変動する電力伝送効率に応じて、パワーアンプ(PA)の電源電圧と入力電力を協調制御する工夫をしている。さらに、センサノードの消費電力の変動に応じて整流回路の並列整流素子数を動的に切り替える工夫をしている。PA と整流回路のプロトタイプを用いた実験評価により、送信電力が 10dB 変動する場合に PA の効率が 2.5 倍に向上することと、消費電力が 4 倍変動する場合に整流回路の効率が 1.5 倍に向上することを確認している。 第 5 章では、2 次元導波シートを用いた無線電力伝送のビームフォーミング技術について、導波シート上に設置したリファレンスデバイスから全ての送信機とセンサノードにクロックを分配するユニバーサルオンシートリファレンス方式を提案している。提案方式により送信機間の回路遅延ばらつきを補償できることに加え、センサノードから水晶発振器を除去することができるので、消費電力を低減できる。0.18 μm CMOS プロセスで試作した送信機チップを評価して、電力伝送効率が 23 倍に向上し、センサノードの位置による電力伝送効率の変動が 11 分の 1 に低減できることを確認している。 第 6 章は結論であり、各章で得られた内容をまとめ、本研究によって得られた成果を要約している。 以上要するに、本論文は、センサデータを低電力で伝送する無線データ通信回路技術と、センサノードへ電力を安定に供給する無線電力伝送回路技術を提案し、その有効性を実証したものであり、集積回路工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

2015（平成27）年3月までの新制博士学位授与者数は次のとおり。

学位の種類	課程修了によるもの (課程博士・・・・・・甲)	論文提出によるもの (論文博士・・・・・・乙)	計
工学博士	451	389	840
博士（工学）	1,188	314	1,502
理学博士	26	8	34
博士（理学）	319	48	367
学術博士	0	1	1
博士（学術）	1	1	2
計	1,985	761	2,746

本書に記載した論文審査担当者の所属および職位は2014（平成26）年度秋学期のものである。

2015(平成27)年6月8日 発行	
発行者	理工学部長 青山 藤詞郎
編集	慶應義塾大学理工学部学生課学事担当
〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1	