

2020（令和2）年度 春 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

鏡原 大地	極低温Fermi原子気体におけるずり粘性率の理論研究	1
山田 貴大	遺伝子制御ネットワーク推定を用いたPv11細胞における乾燥耐性制御機構に関する研究	3
Cortes Torres, Carlos Cesar (コルテス トレス, カルロス セサル)	Body Bias Control for Real-Time Systems -Optimization and its Switching Parameters Analysis for FD-SOI Technology- (リアルタイムシステムのためのボディバイアス制御 -FD-SOI テクノロジー用最適化とスイッチングパラメータ解析-)	5
片浦 哲志	Chemical Biological Studies for the Development of Drug Seeds for Parkinson's Disease (ケミカルバイオロジーによるパーキンソン疾患治療薬シードの創出研究)	7
池田 拓慧	Chemical Biological Studies of Small Molecules Targeting Mutant β -catenin Tumor (β -catenin変異がんを標的とする化合物を用いたケミカルバイオロジー研究)	9
須藤 雅子	データ共有により加工精度と生産性を向上する統合CNCシステムの開発	11
上田 真広	CAM-system-based Intelligent Process Planning and Control of Directed Energy Deposition for Easy Fabrication of Accurate Shape (簡易で正確な造形のためのCAMシステムをベースにした指向性エネルギー堆積法の知的工程計画と制御)	13
Nguyen Trung Nghiep (グエン チュン ギエプ)	High-Precision Forming Method Based on Prediction of Shrinkage Error in Selective Laser Sintering Combined with Milling (ミリング機能付き選択的レーザ焼結における収縮誤差の予測に基づく高精度造形法)	15
Xu, Jing (徐 静)	Tailored Design of Boron-Doped Diamond Electrodes for Electrochemical Reduction of CO ₂ (CO ₂ の電解還元に適するダイヤモンド電極のデザイン)	17
都倉 勇貴	層状構造を活用した高感度化学センサの開発	19
前島 健人	コンシューマーエレクトロニクスの紙基板分析デバイスへの統合	21
Manjum, Marjanul (マンジャム, マージャヌル)	Electrochemical Preparation of Nanostructures of Sm, Co, and Sm-Co Alloy in an Amide-type Ionic Liquid (アミド系イオン液体中におけるSm, CoおよびSm-Co合金ナノ構造体の電気化学的作製)	23
David, Romain Marie Arnaud (ダビド, ロマン マリエ アルノ)	Functionalization of Room-Temperature Liquid Metals via Galvanic Replacement (ガルバニック置換法による常温での液体金属機能化)	25
藤井 瞬	Dispersion Engineering of High-Q Optical Microresonators for Frequency Comb Generation (光周波数コム発生のための高Q値微小光共振器の分散設計)	27
Ke, Yuanzhi (柯 遠志)	Radical-based Representation Learning for Japanese Processing (日本語処理における部首に着目した表現学習)	29
立木 智也	回転下固体ヘリウムの弾性に関する研究	32
定光 勇太	銀触媒および有機塩基を用いる二酸化炭素固定化反応の開発と精密有機合成への適用	34
杉浦 健太	有性生殖クマムシの進化的背景解明に向けた生殖行動と配偶子形態観察	36
金井 関利	離散分布に従う系列データの高精度かつ安定な学習のためのRecurrent Neural Networkの研究	38
平川 義之輔	Uniform Construction of Non-singular Ternary and Quaternary Homogeneous Forms Violating the Local-global Principle (局所大域原理を満たさない3変数及び4変数の非特異斉次形式の一樣な構成)	40
片桐 渉	Development of Optical Platforms for Elucidating the Intracellular Molecular Mechanisms and Immune Cell Dynamics Induced by Multispectral Near Infrared Laser (マルチスペクトル近赤外レーザ光に対する細胞内分子反応と免疫細胞応答を解明する光学プラットフォームの開発)	42

Sohail, Ahsan (ソヘイル, アフサン)	Equalization Schemes for Distortion Caused in Propagation Medium (伝送媒体で発生するひずみに対する等化方式)	44
伊藤 暢彦	Network Resource Management for Delay-Sensitive Applications in Mobile Networks (モバイルネットワークにおける遅延センシティブアプリケーションのためのネットワーク資源管理)	46
Bin Mohamad Nor, Mohamad Hafizulazwan (ビン モハマドノル, モハマド ハフィズラズワン)	Coordination and Control for Connected and Automated Vehicles at Signal-free Intersections (コネクテッド自動運転車の無信号交差点における協調制御)	48
橋本 将明	光バイオブシーのためのミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの開発	50
山崎 潤也	LCIA手法に基づく国内外の行政区域の環境影響評価に関する研究	52
家永 直人	サイバーフィジカル空間の構築に向けた画像計測による幾何・行動モデリング	54
Hoang Tien Dat (ホアン ティエン ダク)	Development of Stochastic Nonlinear Multiscale Computational Method for Short Fiber Reinforced Composites to Study the Influence of Microstructural Variability on Damage Propagation (短繊維強化複合材料のミクロ構造におけるばらつきが損傷進展に及ぼす影響調査のための確率的非線形マルチスケール解析手法の開発)	56
高木 基宏	Image Quality Recovery for Image Recognition with Deep Learning (深層学習を用いた画像認識のための画質復元)	58
中島 侑江	Effect of Indoor Thermal Environment on Resident's Condition of Long-term Care Need (室内温熱環境が居住者の要介護状態に及ぼす影響)	60

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2020(令和二)年度春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 5353 号	令和 2 年 9 月 21 日	鏡原 大地
博士(理学)	甲 第 5354 号	令和 2 年 9 月 21 日	山田 貴大
博士(工学)	甲 第 5358 号	令和 2 年 9 月 21 日	Cortes Torres, Carlos Cesar (コルテス トレス, カルロス セサル)
博士(理学)	甲 第 5359 号	令和 2 年 6 月 10 日	片浦 哲志
博士(理学)	甲 第 5362 号	令和 2 年 7 月 8 日	池田 拓慧
博士(工学)	甲 第 5371 号	令和 2 年 9 月 21 日	須藤 雅子
博士(工学)	甲 第 5372 号	令和 2 年 9 月 21 日	上田 真広
博士(工学)	甲 第 5373 号	令和 2 年 9 月 21 日	Nguyen, Trung Nghiep (グエン チュン ギエブ)
博士(工学)	甲 第 5374 号	令和 2 年 9 月 21 日	Xu, Jing (徐 静)
博士(工学)	甲 第 5375 号	令和 2 年 9 月 21 日	都倉 勇貴
博士(工学)	甲 第 5376 号	令和 2 年 9 月 21 日	前島 健人
博士(工学)	甲 第 5377 号	令和 2 年 9 月 21 日	Manjum, Marjanul (マンジャム, マージャヌル)
博士(工学)	甲 第 5378 号	令和 2 年 9 月 21 日	David, Romain Marie Arnaud (ダビド, ロマン マリエ アルノ)
博士(工学)	甲 第 5379 号	令和 2 年 9 月 21 日	藤井 瞬
博士(工学)	甲 第 5380 号	令和 2 年 9 月 21 日	Ke, Yuanzhi (柯 遠志)
博士(理学)	甲 第 5393 号	令和 2 年 8 月 27 日	立木 智也
博士(理学)	甲 第 5394 号	令和 2 年 8 月 27 日	定光 勇太
博士(理学)	甲 第 5395 号	令和 2 年 9 月 21 日	杉浦 健太
博士(工学)	甲 第 5396 号	令和 2 年 9 月 21 日	金井 関利
博士(理学)	甲 第 5397 号	令和 2 年 9 月 21 日	平川 義之輔
博士(工学)	甲 第 5398 号	令和 2 年 9 月 21 日	片桐 渉
博士(工学)	甲 第 5399 号	令和 2 年 9 月 21 日	Sohail, Ahsan (ソヘイル, アフサン)

学位の種類	学位記号・番号	授与年月日	氏 名
博士(工学)	甲 第 5400 号	令和 2 年 9 月 21 日	伊藤 暢彦
博士(工学)	甲 第 5401 号	令和 2 年 9 月 21 日	Bin Mohamad Nor, Mohamad Hafizulazwan (ビン モハマドノル, モハマド ハフィズラズワン)
博士(工学)	甲 第 5402 号	令和 2 年 9 月 21 日	橋本 将明
博士(工学)	甲 第 5403 号	令和 2 年 8 月 27 日	山崎 潤也
博士(工学)	甲 第 5404 号	令和 2 年 8 月 27 日	家永 直人
博士(工学)	甲 第 5405 号	令和 2 年 9 月 21 日	Hoang Tien Dat (ホアン ティエン ダク)
博士(工学)	甲 第 5406 号	令和 2 年 9 月 21 日	高木 基宏
博士(工学)	甲 第 5407 号	令和 2 年 9 月 21 日	中島 侑江

内容の要旨

報告番号	甲 第 5353 号	氏 名	鏡原 大地
主 論 文 題 名： 極低温 Fermi 原子気体におけるずり粘性率の理論研究			
本論文では、極低温 Fermi 原子気体の正常相におけるずり粘性率 η を理論的に研究し、可変な引力相互作用で制御された対形成揺らぎがこの物理量に与える影響を、Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS)–Bose-Einstein Condensation (BEC) クロスオーバー領域で明らかにする。また、この系のエントロピー密度 s を計算、η/s が $\hbar/(4\pi k_B)$ を下回らないとする Kovtun、Son、Starinets らの予想 (KSS 予想) を、この系に対し検証する。 第 1 章で当該研究分野を概観、研究の動機を述べた後、定式化の説明を第 2 章で行う。ずり粘性率 η について、まず、対形成揺らぎの効果を自己無撞着 T 行列近似 (SCTMA) で考慮し 1 粒子温度 Green 関数中の自己エネルギーを評価、次に、これを用い η の計算に必要な相関関数を計算し、最後にそれを解析接続する、という手順で求めることを説明する。この時、運動量保存則を満たすよう相関関数と自己エネルギーが選ばれていることを強調する。更に、解析接続を数値的に実行する手法についても述べる。また、エントロピー密度 s について、同じ SCTMA の枠組みで、内部エネルギーや圧力、コンタクトを計算することで評価できることを説明する。 第 3 章では、前章で説明した強結合理論を用い、BCS-BEC クロスオーバー領域における η の温度依存性、および、相互作用依存性を明らかにする。弱結合領域では、高温領域から温度を下げていくと η は最初減少するが、Fermi 縮退領域に入ると Pauli ブロッキングにより増大、超流動転移温度近傍で超流動揺らぎの影響により再び減少することを示す。また、低温に向かった η の増大は強結合 BEC 領域でも見られるが、この場合の原因は 2 体束縛状態の形成であることを指摘する。 第 4 章では、ずり粘性率とエントロピー密度の比 η/s を議論する。BCS-BEC クロスオーバー領域でこの値を評価した結果、ユニタリ極限より少し強結合側で最小となり、その値は KSS 予想の下限値の約 4.5 倍であることを示す。また、対形成に関与する 2 種類の Fermi 原子の質量が異なる場合についても研究、η/s の最小値やそれが得られる相互作用強度は、質量比にほとんど依存しないことを明らかにする。更に、Fermi 原子気体では、Pauli の排他律と 2 体束縛状態の形成という 2 つの量子力学的効果が、η/s の最小値を得るうえで重要であることを指摘する。 第 5 章で、本論文のまとめと今後の展望を述べる。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5353 号	氏 名	鏡原 大地
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 大橋 洋士
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学）・医学博士 藤谷 洋平
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 渡邊 紳一
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 神原 陽一

学士（理学）、修士（理学）鏡原大地君の学位請求論文は、「極低温 Fermi 原子気体におけるずり粘性率の理論研究」と題し、全 5 章より構成されている。

2005 年に、Kovtun、Son、Starinets (KSS) らにより、「ずり粘性率 η とエントロピー密度 s の比 η/s にはゼロより大きいある下限値が存在し、しかも、その下限値は強相関領域で実現する」という理論的予想（KSS 予想）が提案されて以来、 η に対する相互作用効果が、液体 ^4He や、極低温 Fermi 原子気体、クォーク・グルーオン・プラズマなど、様々な量子多体系で注目を集めている。特に、本研究が対象とする極低温 Fermi 原子気体は、原子間にはたらく引力相互作用強度をはじめ、様々な物質パラメータを実験的に制御できることから、KSS 予想の検証とその背景にある量子多体効果の解明に役立つと期待されている。しかし、現状、この系での KSS 予想は、ユニタリ極限と呼ばれる特殊な場合でのみ検証実験が行われており、この系の相互作用-温度相図上での η/s の下限値や、その実現条件、および、下限値を与える物理的機構については、未だ明らかとなっていない。

本研究は、この状況を打開すべく、正常相にある 2 成分 Fermi 原子気体を理論的に研究、自己無撞着 T 行列近似 (SCTMA) と呼ばれる強結合理論を駆使し、 η と s を弱結合領域から強結合領域まで数値的に求めている。そして、この系では、 η/s の最小値が KSS 予想の下限値の約 4.5 倍となり、それがユニタリ極限よりも強結合側で実現することを明らかにする、という非常に重要な成果を挙げている。更に、相互作用する 2 種類の Fermi 原子の質量が異なる場合（質量インバランス Fermi 原子気体）でも、同様の結果が得られることを見出している。

第 1 章は序論である。極低温 Fermi 原子気体の基本的性質を概観した後、本研究が扱う η 、および、KSS 予想が説明されている。最後に、本研究の目的が述べられている。

第 2 章では、SCTMA に基づく定式化が詳説されている。原子間にはたらく強い引力相互作用に起因する対形成揺らぎの効果がこの強結合理論でどのように考慮されているのか、が説明された後、この理論の枠組みで、正常相における η と s を計算する方法がまとめられている。

第 3 章では、第 2 章で説明された理論に基づき計算された、様々な相互作用強度における η の正常相での温度依存性が示されている。弱結合側では、高温領域から温度を下げると η ははじめ減少するが、Fermi 温度以下になると、Fermi 面形成に伴う Pauli ブロッキングに因り準粒子散乱が抑制されるため η は増加、しかし、超流動転移温度 T_c 近傍では、対形成揺らぎの影響で再び減少することを明らかにしている。また、 η の低温での増大は強結合領域でも見られるが、その原因は弱結合側の場合とは異なり、強い引力相互作用に因る分子ボソンの形成であることを指摘している。

第 4 章では、 η/s の振る舞いを、相互作用強度-温度相図上で明らかにしている。この結果から、相互作用強度としてはユニタリ極限より少し強結合側、温度としては T_c より少し高温側で η/s が最小となること、および、その値は KSS 予想の下限値の約 4.5 倍であることを見出している。また、質量インバランス系の場合についても同様の研究を行い、温度-相互作用相図上のほとんどの領域で、 η/s の値は質量インバランスの度合いに依存するものの、最小値やそれが得られる相互作用強度には影響しないことを明らかにしている。更に、 η や s の相互作用依存性や温度依存性の分析から、弱結合領域での Fermi 面形成と強結合領域での分子ボソン形成という 2 つの量子効果が、 η/s の最小値を得る際に重要な役割を果たしていることを指摘している。

第 5 章では、結論として本研究の成果がまとめられている。

本研究により、極低温 Fermi 原子気体の正常相における η の振る舞いが幅広い相互作用領域で理論的に明らかとなったことは、この系の物性を理解するうえで非常に重要である。また、本研究で得られた η/s の最小値や実現条件は、この系における KSS 予想の検証実験の指針となるだけでなく、この問題が議論されている他の研究分野の発展にも大きく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 5354 号	氏 名	山田 貴大
主 論 文 題 名： 遺伝子制御ネットワーク推定を用いた Pv11 細胞における乾燥耐性制御機構に関する研究			
生命にとって水は必要不可欠であり、陸生の生物は水を失う乾燥ストレスに常に晒されている。この乾燥ストレスによる死から逃れるために、多くの生物は進化の過程で乾燥ストレスを寛容する分子機構である乾燥耐性を獲得してきた。特にこのメカニズムの一つである無代謝状態への移行は 99%以上の水を失った場合でも水を再度与えられることで元の生活環境に戻る仕組みである。これまでにワムシ、クマムシ、線虫や植物、そしてネムリユスリカの幼虫など様々な生物がこの機構により乾燥による死を寛容することが報告されてきた。さらに、2010 年に樹立されたネムリユスリカの胚由来培養細胞である Pv11 細胞は、乾燥・再水和により細胞分裂を再開し、乾燥耐性が細胞単位で達成される機構であることを示した。一方で、この Pv11 細胞の乾燥耐性機構について分子レベルで解明した研究事例はなく、本機構は未知であった。本研究では、Pv11 細胞における乾燥耐性機構の解明を目指し、本機構を構成する遺伝子群及びそれらを制御する転写制御ネットワークの推定を行った。 第 1 章は緒言で、乾燥耐性を有する生物に関してこれまでに報告されてきた分子生物学的な知見について包括的に紹介した。そして、乾燥耐性機構解明に有用な遺伝子制御ネットワーク推定方法を概説し、次いで本研究の目的について述べた。 第 2 章では、Pv11 細胞の乾燥耐性に関わる遺伝子群の同定に関して述べた。乾燥耐性獲得段階では生体障害緩和関連遺伝子の発現が誘導されること、また再水和段階では DNA を修復する遺伝子の発現が誘導されることを明らかにした。 第 3 章では、第 2 章で得られた Pv11 細胞の乾燥耐性関連遺伝子群の発現を制御する転写制御ネットワークの推定に関して述べた。推定した遺伝子制御ネットワークから、植物での干ばつストレス応答への関与が示されている nuclear transcription factor Y subunit gamma-like (NF-YC)が乾燥耐性関連遺伝子群の主要な制御を担う可能性を示した。さらに NF-YC によって制御される転写制御関係には多数の Coherent Feed Forward Loop 構造、及びそれらの間において Positive Feedback Loop 構造が存在することを明らかにした。 第 4 章では、明らかになった遺伝子制御ネットワークから考えられる乾燥耐性機構に関してまとめ、この推定した乾燥耐性機構の検証方法、そして今後の乾燥耐性機構の制御による別生物種への乾燥耐性付与に関する展望について議論した。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5354 号	氏 名	山田 貴大
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 舟橋 啓
	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	博士（理学） 榊原 康文
		慶應義塾大学教授	博士（地球環境科学） 土居 信英
学士（理学）、修士（理学）山田貴大君提出の学位請求論文は、「遺伝子制御ネットワーク推定を用いた Pv11 細胞における乾燥耐性制御機構に関する研究」と題し全 4 章から構成されている。 生命にとって水は必要不可欠であり、陸生の生物は水を失う乾燥ストレスに常に晒されている。この乾燥ストレスによる死から逃れるために、多くの生物は進化の過程で乾燥ストレスを寛容化する分子機構である乾燥耐性を獲得してきた。特にこのメカニズムの一つである無代謝状態への移行は 99%以上の水を失った場合でも水を再度与えられることで元の生活環境に戻る仕組みである。これまでにワムシ、クマムシ、線虫や植物、そしてネムリユスリカの幼虫など様々な生物がこの機構により乾燥による死を回避することが報告されてきた。このように個体の乾燥耐性については関連遺伝子が報告されてきた一方で、個体の乾燥耐性は細胞間相互作用などを含む複雑なシステムであるため解明が困難であり、乾燥耐性のシステム的理解は達成されていなかった。これに対して、2010 年に樹立されたネムリユスリカの胚由来培養細胞である Pv11 細胞は、乾燥・再水和により細胞分裂を再開し、乾燥耐性が細胞単位で達成される機構であることを示した。これにより細胞レベルのシンプルな乾燥耐性システムの理解が期待されるが、Pv11 細胞の乾燥耐性機構について分子レベルで解明した研究事例はなく、未知であった。本論文では、Pv11 細胞における乾燥耐性機構の解明を目指し、乾燥耐性システムを構成する遺伝子群及びそれらを制御する転写制御ネットワークの推定を行っている。 第 1 章では、緒言として、乾燥耐性を有する生物に関してこれまでに報告されてきた分子生物学的な知見について包括的に紹介している。続いて乾燥耐性機構解明に有用な遺伝子制御ネットワーク推定方法を概説し、次いで本論文の目的について述べている。 第 2 章では、Pv11 細胞の乾燥耐性に関わる遺伝子群の同定について記述している。CAGE-seq データに基づく発現変動遺伝子解析より、乾燥耐性獲得段階では生体障害緩和関連遺伝子の発現が誘導されること、また再水和段階では DNA を修復する遺伝子の発現が誘導されることを明らかにしている。 第 3 章では、第 2 章で得られた Pv11 細胞の乾燥耐性関連遺伝子群の発現を制御する転写制御ネットワークの推定について記述している。時系列 RNA-seq データに基づく転写制御ネットワーク推定および協調発現モジュールの検出により、Pv11 細胞の遺伝子制御ネットワークを推定している。推定した遺伝子制御ネットワークから、植物での干ばつストレス応答への関与が示されている転写因子 NF-YC が乾燥耐性関連遺伝子群の主要な制御を担うことが示唆されている。さらに NF-YC によって制御される転写制御関係には多数のコヒーレントフィードフォワードループ構造、及びそれらの間においてポジティブフィードバック構造が存在することを明らかにしている。 第 4 章では、第 2 章及び第 3 章で明らかにした遺伝子制御ネットワークから考えられる乾燥耐性機構に関してまとめ、推定した乾燥耐性機構の検証方法、そして今後の乾燥耐性機構の制御による別生物種への乾燥耐性付与に関する展望について議論している。 以上本論文は時系列遺伝子発現データ解析により、Pv11 細胞の乾燥耐性制御機構に対する重要な知見を得ることに成功しており、今後のシステム生物学研究に大いに資するものである。 よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5358	Name	Cortes Torres, Carlos Cesar
Thesis Title			
Body Bias Control for Real-Time Systems -Optimization and its Switching Parameters Analysis for FD-SOI Technology-			
In the past decade, real-time systems (RTSs), which must maintain time constraints to avoid catastrophic consequences, have been widely introduced into various embedded systems and Internet of Things (IoTs). It is essential for any of these embedded systems be energy efficient due to battery life is important. Such systems tend to work intermittently and reducing leakage power in the idle state is essential. However, traditional energy models idealize overheads, they often require a significant amount of power since they must directly control the system supply voltage or cannot deal with the overhead of adjusting the BB voltage. Moreover, when the power supply is powered down the data in the memory element is lost, thus the models are not accurate. Dynamic Body bias (BB) scaling is a promising approach to managing leakage energy and operational speed. In this study, we investigated the RTS energy efficiency by analyzing the ability of BB, applying dynamic body bias control in providing a satisfying tradeoff between performance and energy. Although BB is an efficient technique to reduce the leakage power, it has not been commonly used dynamically because of the large timing and energy overhead when a conventional CMOS process is used. However, recent System On Insulator (SOI) technologies enabled to use dynamic body bias control with acceptable overhead. Here, we focus on Silicon On Thin Box (SOTB), a type of Fully Depleted (FD) SOI technology which can control BB widely with a small overhead. For the BB control, we analyzed the timing and energy overhead of two simple microcontrollers and a dynamically reconfigurable processor with SOTB technology. We propose a practical energy and timing model that includes switching transition and idle regions analysis. It is based on extracted real-chip parameters. First, we optimize VDD and BB voltages by using brute force coarse-grain method. Secondly, we propose a more accurate energy overhead model by using an analytical double exponential expression; we transform the real-chip physical parameters of the double exponential waveform into analytical function coefficients. Finally, we build an optimization model with a Non-Linear Programming. The use of the proposed model resulted in an energy reduction of about 32% at lower frequencies as compared with the conventional model. Moreover, the energy overhead was reduced to approximately 14% of the total energy consumption. This methodology provides a framework and design guidelines for real-time systems and CAD.			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5358 号	氏 名	Cortes Torres, Carlos Cesar	
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）	山崎 信行
		慶應義塾大学准教授	博士（工学）	松谷 宏紀
		慶應義塾大学准教授	博士（工学）	中野 誠彦
修士（工学）、CORTEST TORRES Carlos Cesar 君の学位請求論文は、「Body Bias Control for Real-Time Systems -Optimization and its Switching Parameters Analysis for FD-SOI Technology-（リアルタイムシステムのためのボディバイアス制御 -FD-SOI テクノロジー用最適化とスイッチングパラメータ解析-）と題し 6 章から成る。 身の周りで定常的に動作する IoT(Internet of Things)用デバイスにとって、エネルギー消費の低減は重要な課題である。このような IoT デバイスは、リアルタイムシステムを構成する場合が多く、必要なデッドラインを守って動作する時以外は、クロックを停止して動的電流を抑える省電力モードを利用する。しかし、デジタルデバイスの漏れ電流は、クロックを停止しても流れ続けるため、省電力モードでもエネルギーを浪費する。漏れ電流を抑えるための手法としては、パワーゲーティングが広く知られているが、頻繁にパワースイッチを切り替える場合は、切り替えのための電力消費とノイズを被り、記憶素子中のデータが消失する問題への対処も必要である。 これに対して、ボディバイアス制御は、トランジスタのボディに対して電圧を印加することで、スレッショルドレベルを制御して漏れ電流を抑制する方法である。この手法は特に FD-SOI (Fully-Depleted Silicon On Insulator) 技術において有効であり、デバイスの主電源を制御せず、記憶素子のデータも保持したまま、漏れ電流を抑制することができる。しかし、この手法は、デバイス作成時にモデル化することが難しく、動的に制御する場合の応答時間と電力面でのオーバーヘッドの解析が十分行われて来なかった。 本論文では、実際に動作しているチップの電気的な特性を測定して、パラメータを抽出することで、ボディバイアスを動的に制御する場合のエネルギー消費量と時間的なオーバーヘッドのモデルを構築する。次に、このモデル式を利用し、与えられたデッドラインとタスクの実行時間から、Interior point linear programming を用いて、短時間に最適なボディバイアス電圧を求める方法を提案している。 本論文の構成は以下の通りである。まず、1 章で本研究の動機、既存の研究および研究の目的を示し、2 章で提案するモデルの元となる法則と式を提示している。3 章では、FD-SOI を用いた三種類の実チップ、車載用マイクロコントローラ V850、動的リコンフィギュラブルプロセッサ MuCCRA-4、MIPS R3000 互換プロセッサ Geyser について、ボディバイアスを動的に変化させた場合の、漏れ電流の変化と安定までの時間、ボディバイアス電流のオーバーヘッド、最大動作周波数を測定し、これに基づいてパラメータ抽出を行っている。4 章では、本論文におけるボディバイアスの動的制御のモデル式を提案し、3 章のパラメータを用いて、実チップにおけるモデルの有効性を検証している。5 章は、4 章で提案した式のボディバイアス電流の変動分を Double Exponential Waveform で近似する方法を提案し、与えられたデッドラインとタスクに応じて、最適なボディバイアス電圧を Interior point linear programming を用いて最適化する方法を示している。これにより、1m 秒から 1 秒までのデッドラインの範囲で、それぞれ最も消費エネルギーが小さくなるボディバイアス電圧、電源電圧、動作周波数の組み合わせを見つけることができた。6 章では結論を述べ、今後の課題を示している。 以上、本研究は、ボディバイアスを動的に変化させた場合の漏れ電流の時間的変化について、実チップに基づくモデルを構築し、これに基づいてボディバイアス電圧を最適化する手法を提案している。このことにより、ボディバイアスの制御によるリアルタイムシステムのスケジューリングアルゴリズム構築に向けて、その基礎となるモデルを確立した点で、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 5359 号	氏 名	片浦 哲志
主 論 文 題 名： Chemical biological studies for the development of drug seeds for Parkinson's disease (ケミカルバイオロジーによるパーキンソン疾患治療薬シードの創出研究)			
パーキンソン病 (PD) は中脳黒質ドパミン神経細胞の変性に伴う運動障害を主症状とする神経変性疾患だが、内服等による対症療法しか存在せず、根本的治療薬の開発には至っていない。本研究では新規 PD 治療薬シードの開発を目的に、ケミカルバイオロジーの手法を用いて薬剤スクリーニングとヒット化合物の作用機序解析を実施した。 (1) 細胞内ビリルビン代謝を標的とする新規パーキンソン病治療薬シードの創出 PD では酸化ストレスの亢進に伴う神経変性が病因の一端を担っている。近年、PD 患者では抗酸化物質であるビリルビンの量が血漿中で有意に低下していることが報告された。したがって、ビリルビン量を回復させる薬剤は PD の有効な新規治療薬となることが期待された。そこで本研究では細胞内ビリルビン量の増減を簡便に評価できる独自のスクリーニング系を開発し、本系を用いて 1 万化合物の中から細胞内ビリルビン量を回復させる薬剤として BRUP-1 を同定した。さらに BRUP-1 は Keap1 と Nrf2 の結合を直接阻害することで、HO-1-ビリルビン経路を活性させるという作用機序を明らかにした。そして、BRUP-1 は期待通りビリルビン経路の活性化を介して PD モデル細胞に対し顕著な神経保護作用を示したことから、BRUP-1 を用いたビリルビン経路の活性化が PD の新規治療戦略となり得ることが示唆された。 (2) 低分子化合物によるオートファジー誘導を介した神経保護 PD ではオートファジーの機能低下により不良タンパク質が細胞内に蓄積し、これが神経を障害すると考えられている。そこで本研究では神経細胞に対しオートファジーを誘導する薬剤を探索し 26 化合物を同定した。これら化合物は PD モデル細胞内に蓄積する異常タンパク質凝集体を顕著にクリアランスしたことから、オートファジー誘導剤の PD 治療薬としての有用性が示唆された。さらに、独自のケミカルゲノミクス解析を行い、これまでオートファジー誘導機構が不明であった FDA 承認薬メマンチンおよびクレマスチンが小胞体ストレス応答を介してオートファジーを誘導することを示唆すると同時に、新規オートファジー誘導剤 SMK-17 が PKC-TFEB 経路を介してオートファジーを誘導し、神経保護活性を示すことを明らかにした。 以上の研究により新規 PD 治療薬シーズを複数同定し、その有効性を示唆した。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5359 号	氏 名	片浦 哲志
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡 浩太郎
	副査	慶應義塾大学教授	博士（地球環境科学） 土居 信英
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 松原 輝彦
		慶應義塾大学名誉教授	農学博士 井本 正哉
学士（理学），修士（理学） 片浦哲志君提出の学位請求論文は、「Chemical biological studies for the development of drug seeds for Parkinson's disease (ケミカルバイオロジーによるパーキンソン疾患治療薬シードの創出研究)」と題し，全 4 章より構成されている。 パーキンソン病は未だ根治薬の存在しない難治性疾患であり，病因とされる中脳黒質の神経細胞死を抑制するような画期的新薬の開発が強く求められている．本論文では，パーキンソン病態と深い関連のある酸化ストレスとオートファジーを標的とし，ケミカルバイオロジーの手法を用いた薬理活性化化合物の探索とその作用機構解析に関して述べている。 第 1 章（序論）ではケミカルバイオロジーによる創薬研究と，これまでに明らかになっているパーキンソン病の分子機構について概説するとともに，既存の抗パーキンソン病薬の問題点とそれに対する解決策として抗酸化ストレス応答・オートファジー経路の活性化剤の可能性について，本研究の内容とともに概説している。 第 2 章では，抗酸化物質であるビリルビンを経細胞レベルで増加させることにより神経保護効果を示す BRUP-1 という化合物について述べている．ビリルビンは生体内の強力な抗酸化物質であり，パーキンソン病患者ではビリルビン量が有意に減少していることが知られている．そこで，ビリルビン量の簡便な測定系を開発し，10,000 化合物の中から細胞内ビリルビン量を増加させる化合物として BRUP-1 を同定した．BRUP-1 は Keap1 と Nrf2 の結合阻害を介して抗酸化応答シグナルである Nrf2-HO-1-ビリルビン経路を活性化させる．そして BRUP-1 はビリルビン量の増加を介して，パーキンソン病モデル細胞における活性酸素の増加・Lewy 小体様の細胞内凝集物の増加・神経細胞死の全てを強力に抑制する有望な新規パーキンソン病治療薬シードであることを示している。 第 3 章では，様々なオートファジー誘導剤について作用機序と神経保護活性を統合した解析研究について述べている．神経様細胞に対しオートファジーを誘導する化合物を 39 種同定し，うち 26 種についてケミカルゲノミクスの手法を用いてオートファジー誘導パターンを分類した．その結果，メマンチンとクレマスチンという FDA 承認薬によるオートファジー誘導が ER ストレス応答を介したものであることを示唆し，また，新規オートファジー誘導剤として同定した SMK-17 が PKC-TFEB 経路を介してオートファジーを誘導することを示した．さらにその後の神経保護活性解析により，プロテアソームおよび解糖系の阻害以外のメカニズムで誘導されるオートファジーには細胞内の異常凝集物を除去する活性があることを示した．以上のようにケミカルゲノミクスの手法を用いていくつかのオートファジー誘導剤について作用機序を明らかにすると同時に，オートファジー誘導がパーキンソン病治療の有効な治療戦略になり得ることを示唆している。 第 4 章では，本研究で得られた内容を総括すると同時に将来展望について言及している．BRUP-1 等を用いた酸化ストレス応答の活性化は，残存する神経細胞の保全に寄与することからパーキンソン病の早期において有効である一方，病状が進行して細胞内に異常タンパク質が蓄積した後でもオートファジー誘導によるこれらのクリアランスにより細胞恒常性の維持を実現できるのではないかと，さらにこれら複数の治療戦略を組み合わせることがパーキンソン病治療に有効であろうと示唆し，本論文を締めくくっている。 本論文の成果は，ケミカルバイオロジーの手法によってパーキンソン病治療に繋がる二つの戦略を示唆する有用な知見を示したことにある．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 5362 号	氏 名	池田 拓慧
主 論 文 題 名： Chemical biological studies of small molecules targeting mutant β-catenin tumor (β-catenin 変異がんを標的とする化合物を用いたケミカルバイオロジー研究)			
β-catenin は Wnt シグナル伝達経路の中心を担う重要な分子であり、細胞増殖を厳密に制御している。しかし、β-catenin (<i>CTNNB1</i>) に活性型の変異が生じると、β-catenin は常に安定化し核内に蓄積、増殖シグナルが異常に亢進する。β-catenin の変異は大腸がんの約 10%、肝細胞がんの約 20% など様々ながん種で認められるが、このようながんに対して有効な治療薬は未だ開発されていない。そこで本論文では β-catenin 変異型がん細胞選択的にアポトーシスを誘導する化合物を取得し、その薬理活性評価と作用機構解析を行うことで、β-catenin 変異がんを標的とする新たながん化学療法戦略を模索した。β-catenin 変異型 HCT116 細胞にアポトーシスを誘導し、β-catenin 野生型 A375 細胞にはアポトーシスを誘導しない化合物を探索し、天然物ライブラリーより metacycloprodigiosin (mcPG)、合成化合物ライブラリーより DS37262926 (miclxin) に目的の活性を見出した。 (1) vacuolar-type H^{+}-ATPase (V-ATPase) 阻害剤による β-catenin 変異型がん細胞選択的アポトーシス誘導 放線菌 K622 株培養液に目的の活性を見出し、mcPG を活性本体として同定した。mcPG は V-ATPase を阻害することが報告されており、他の V-ATPase 阻害剤 bafilomycin A1 および concanamycin A も同様に β-catenin 変異型がん細胞選択的にアポトーシスを誘導することを見出した。さらに、β-catenin 野生型 HEK-293T 細胞に変異 β-catenin を過剰発現させると V-ATPase 阻害剤によりアポトーシスが誘導されたことから、V-ATPase 阻害剤は変異 β-catenin 依存的にアポトーシスを誘導することが示唆された。 (2) MIC60 阻害剤による変異 β-catenin 依存的ミトコンドリアストレス誘導 第一三共株式会社より供与された合成化合物ライブラリーより miclxin に目的の活性を見出した。miclxin は β-catenin 野生型アレルを欠損した HCT116 <i>CTNNB1</i> $\Delta 45/-$ にアポトーシスを誘導したが、変異型アレルを欠損した HCT116 <i>CTNNB1</i> $+/-$ にはアポトーシスを誘導しなかった。miclxin アフィニティビーズを用いて結合タンパク質を探索した結果、miclxin がミトコンドリア内膜タンパク質複合体(MICOS)構成因子である MIC60 と結合することが分かった。miclxin は、MIC60 を標的とすることでミトコンドリア膜電位を低下させ、eIF2α-ATF4-CHOP 経路の活性化を伴うミトコンドリア・ストレスを誘発した。このストレス応答として Bcl-2 の発現減少、AIF の核内移行によるアポトーシスが誘導されることを明らかにした。また β-catenin ノックダウンによって miclxin によるミトコンドリア・ストレス誘導が阻害された。これらの結果から、MIC60 の阻害によって変異 β-catenin 依存的にミトコンドリア・ストレスが誘導されることが示唆された。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5362 号	氏 名	池田 拓慧
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 佐藤 智典
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 宮本 憲二
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 堀田 耕司
		慶應義塾大学名誉教授	農学博士 井本 正哉
学士(理学)、修士(理学) 池田拓慧君提出の学位請求論文は、「Chemical biological studies of small molecules targeting mutant β-catenin tumor (β-catenin 変異がんを標的とする化合物を用いたケミカルバイオロジー研究)」と題し、全 4 章から成っている。 合成致死とは、あるタンパク質に変異を有するがん細胞に対し別のタンパク質を阻害することで致死性を示す現象であり、特定の変異を有するがんに対して副作用が少なく根治できる可能性を秘めている。本論文では様々ながん種で認められるβ-catenin 変異を標的とし、合成致死誘導剤の探索とケミカルバイオロジー的手法を用いた合成致死誘導機構の解析を行った。 第 1 章(序論)では従来開発されてきた分子標的治療薬の問題点とそれに対する解決策として合成致死誘導剤の可能性を述べている。また、本研究の対象とする Wnt/β-catenin シグナル伝達経路および Wnt/β-catenin シグナルを標的としたこれまでの治療薬開発について概説している。 第 2 章では、変異β-catenin に対する合成致死誘導物質として放線菌培養液より単離した metacycloprodigiosin (mcPG) について述べている。mcPG はβ-catenin 野生型細胞に変異β-catenin を強制発現させることでアポトーシスを誘導し、変異β-catenin に対して合成致死を誘導した。また mcPG は V-ATPase を阻害することを見出し、この V-ATPase 阻害によって変異β-catenin に対する合成致死が誘導されることを見出した。さらに mcPG を作用させるとβ-catenin 変異型がん細胞選択的に death receptor 4 (DR4)の細胞表面発現量が上昇し、その下流で caspase-8 の活性化を介したアポトーシスが誘導されることを見出した。このことから mcPG による変異β-catenin に対する合成致死誘導機構を明らかにした。 第 3 章では、さらなるβ-catenin 変異がんに対する合成致死誘導剤の探索により発見した新規化合物 miclxin について述べている。Miclxin はβ-catenin 変異型 HCT116 細胞選択的にアポトーシスを誘導したが、β-catenin をノックダウンするとアポトーシスがキャンセルされた。このことから、miclxin によるアポトーシス誘導が変異β-catenin 依存的であることを示した。Miclxin アフィニティビーズを用いて結合タンパク質を探索した結果、ミトコンドリア内膜タンパク質複合体構成因子である MIC60 を結合タンパク質として同定した。Miclxin は MIC60 を阻害する世界初の化合物であった。さらに miclxin および siRNA を用いて MIC60 の機能を阻害すると、ミトコンドリア膜電位が低下してミトコンドリア・ストレスが引き起こされること、そのストレス応答の結果として Bcl-2 の発現が減少し、caspase を介さない AIF 依存性アポトーシスが誘導されることを見出し、miclxin によるβ-catenin 変異がん細胞におけるアポトーシス誘導機構を明らかにした。一方、変異β-catenin をノックダウンすることで miclxin による一連のミトコンドリア・ストレスおよびアポトーシスの誘導が阻害されたことから、miclxin による MIC60 の機能不全によるミトコンドリア・ストレスが変異β-catenin 依存的に誘発されると結論づけている。 第 4 章では本研究で得られた内容を総括すると同時に、本研究で見出した本来の細胞増殖や生存への寄与とは異なるβ-catenin の新たな作用について述べている。さらに変異β-catenin 特有の機能を明らかにすることが今後のβ-catenin 変異がんに対する治療薬開発に繋がると締めくくっている。 本論文の成果は、ケミカルバイオロジー的手法により、β-catenin 変異がんに対する新しい治療薬開発戦略を提案する有用な知見を得たと考えられる。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5371号	氏 名	須藤 雅子
主 論 文 題 名：			
データ共有により加工精度と生産性を向上する統合 CNC システムの開発			
コンピュータ数値制御（CNC: Computerized numerical control）は、高速・高精度に工作機械を制御する技術であり、そのための NC プログラムは、制御点の補間を基礎として記述されている。同プログラムに含まれる情報が限られているため、形状により必要精度を確保できない問題がある。また、NC プログラムおよび加工条件は、生産現場のオペレータの経験や知見から修正されるとともに、加工結果を基に改良されている。現状の生産システムでは、それらの修正・改良情報を共有する仕組みがないため、オペレータの経験・知見が継承されない、あるいは、改良情報が次の加工に反映されていない問題がある。これらの問題に対し、本論文では、構造化データモデルに基づく共有データベースを活用する統合 CNC システムを開発した。共有データベースに CAD データを含ませることにより、設計形状データを直接利用することを可能とし、要求形状の推論をすることなく、高精度な加工を実現する工具経路の生成を可能とした。また、共有データベースにオペレータの経験・知見、および、加工結果に基づく加工技術情報を自動蓄積し、誰でも活用できるシステムを開発することにより、生産性を向上した。 第1章では、本研究の背景と課題について概説した。 第2章では、制御方式がコンピュータ化されることにより、制御の高精度化や知能化が達成されてきた技術的发展について概説した。 第3章では、統合 CNC システムの基本構造となる共有データベースを構築する構造化データモデルについて述べた。構造化データモデルは、国際標準 STEP の NC データモデルを拡張することにより、設計情報、加工指令情報、加工技術情報の共有を実現した。本研究で独自に開発した加工指令情報は、その生成において、他のシステム情報を利用できることを可能とした。加工技術情報は、実加工結果より得られる加工改良情報の再利用を実現した。共有データベースにより、加工プロセス間での情報の欠損を最小化し、共有した情報を有効活用できた。 第4章では、共有データベースにおける CAD の設計形状データを活用する方法について述べた。加工指令情報を拡張した設計形状の特徴点情報から、幾何学的に特徴部の工具軌跡を制御することにより、従来、速度制御に起因して発生していた加工誤差を必要精度以下にすることができた。また、自由曲面形状の加工においては、設計形状データを活用することにより、隣接する工具経路において制御点を整列させることが可能となり、面品質を向上できた。 第5章では、実加工で得られた振動などの機械データと機械オペレータの経験・知見を、共有データベースに蓄積して再活用することについて述べた。評価指標に基づき提示される加工条件を選択することで、未熟練オペレータでも熟練オペレータと同等あるいはそれ以上の加工効率を達成できた。 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。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5371 号	氏 名	須藤 雅子
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	博士（工学） 村上 俊之
		慶應義塾大学教授	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）須藤雅子君提出の学位請求論文は「データ共有により加工精度と生産性を向上する統合 CNC システムの開発」と題し、6 章から構成されている。 コンピュータ数値制御（CNC: Computerized numerical control）は、高速・高精度に工作機械を制御する技術であり、そのための NC プログラムは、制御点の補間を基礎として記述されている。同プログラムに含まれる情報が限られているため、形状により必要精度を確保できない問題がある。また、NC プログラムおよび加工条件は、生産現場のオペレータの経験や知見から修正されるとともに、加工結果を基に改良されている。現状の生産システムでは、それらの修正・改良情報を共有する仕組みがないため、オペレータの経験・知見が継承されない、あるいは、改良情報が次の加工に反映されていない。これらの問題に対し、本論文では、構造化データモデルに基づく共有データベースを活用する統合 CNC システムを開発している。共有データベースに CAD データを含ませることにより、設計形状データを直接利用することを可能とし、要求形状の推論をすることなく、高精度な加工を実現する工具経路の生成を可能としている。また、共有データベースにオペレータの経験・知見、および、加工結果に基づく加工技術情報を自動蓄積し、誰でも活用できるシステムを開発することにより、生産性を向上させている。 第 1 章では、本研究の背景と課題について概説している。 第 2 章では、コンピュータ制御により、工作機械の高精度化や知能化が達成されてきた技術的發展について概説している。 第 3 章では、統合 CNC システムの基本構造となる共有データベースを構築する構造化データモデルについて述べている。構造化データモデルは、国際標準 STEP の NC データモデルを拡張することにより、設計情報、加工指令情報、加工技術情報の共有を実現している。本研究で独自に開発した加工指令情報は、その生成において、他のシステム情報を利用することを可能としている。加工技術情報は、実加工結果より得られる加工改良情報の再利用を実現している。共有データベースにより、加工プロセス間での情報の欠損を最小化し、共有した情報を有効活用している。 第 4 章では、共有データベースにおける CAD の設計形状データを活用する方法について述べている。加工指令情報を拡張した設計形状の特徴点情報から、幾何学的に特徴部の工具軌跡を制御することにより、従来、速度制御に起因して発生していた加工誤差を必要精度以下にしている。また、自由曲面形状の加工においては、設計形状データを活用することにより、隣接する工具経路において制御点を整列させることが可能となり、面品質を向上させている。 第 5 章では、実加工で得られた振動などの機械データと機械オペレータの経験・知見を、共有データベースに蓄積して再活用することについて述べている。評価指標に基づき提示される加工条件を選択することで、未熟練オペレータでも熟練オペレータと同等あるいはそれ以上の加工効率を達成している。 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ている。 以上要するに、本論文では、生産準備段階の情報および生産現場からの情報を共有することにより加工精度と生産性を向上する統合 CNC システムを開発しており、生産工学の分野において、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 5372 号	氏 名	上田 真広
主 論 文 題 名： CAM-system-based Intelligent Process Planning and Control of Directed Energy Deposition for Easy Fabrication of Accurate Shape (簡易で正確な造形のための CAM システムをベースにした 指向性エネルギー堆積法の知的工程計画と制御)			
指向性エネルギー堆積法 (Directed Energy Deposition (以下 DED)) は、複雑な部品を、最終形状に近い形状で、金属粉末から直接短時間で製造することだけでなく、損傷した部品の修理や異種材のコーティングにも独自に適している。そのため幅広い分野において、次世代の製造技術として期待されている。DED では、レーザノズルの動作制御に加えて、レーザ照射と粉体供給を含む複雑な操作が必要であるため、その工程計画と積層装置の制御には専用の CAM システムが強く求められている。一方で、DED 用の CAM に関する研究は非常に限られており、また市販の CAM ソフトウェアであっても DED 特有の操作を実行させるための機能を十分に備えていない。そこで本研究では、DED の工程計画と積層装置の制御を行うための知的な手法を提案し、アドインモジュールとして従来の切削加工用の CAM ソフトウェアへ実装することで、正確な形状を簡易に造形できるようにするための、DED 専用の CAM システムの試作を開発した。 第 1 章に、本研究の背景と目的を概説した。 第 2 章では、開発した CAM システムによる工程計画の流れについて述べた。積層対象をすべて除去する仮想切削工具パスを作成し、その逆再生により DED の生成的なノズルパスを作成することを提案した。また、仮想切削シミュレーションデータに基づいて各積層点での操作変数を調整することにより、積層量を適応制御する方法を提案した。さらに、重力方向に固定されたレーザノズルに対して、被積層面が常に垂直になるようにワークの姿勢を制御することが、安定した積層を実現するのに重要であることを指摘し、本研究で提案する CAM システムを用いた工程計画で実現した。 第 3 章では、本研究で使用した DED 型 AM 装置の応答性を特定する手法、及びその応答性を補正し目標の幾何形状を得る手法について述べた。応答性を特定する手法を実行した結果、レーザノズルの動作制御は、レーザ出力の制御および粉末供給の制御に対し、比較的短い応答遅れ時間を持つことが明らかになり、積層量を調整するための操作変数として選択した。 第 4 章では、過去の研究で使用された分析モデルを参照し、本研究での積層試験環境に適用して、積層に使用される操作変数の妥当性を確認した。また過去の研究に準じて、直線形状の積層試験データに対して回帰分析を行い、操作変数と積層量の関係式を得た。 第 5 章では、開発した CAM システムの実行可能性を検証するために、単純形状から 3 次元形状までの部品に対し NC プログラムを生成し、積層試験を実施した。その結果、幾何学的に正確な積層形状が得られることを確認した。また積層中の溶融池観察から、安定した積層のためのワーク姿勢制御の必要性を示唆した。 第 6 章に、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5372 号	氏 名	上田 真広
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 柿沼 康弘
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 青山 英樹
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 閻 紀旺
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 小池 綾
		カリフォルニア大学デービス校教授	工学博士 山崎 和雄

学士（工学）、修士（工学） 上田真広君提出の学位請求論文は「CAM-system-based Intelligent Process Planning and Control of Directed Energy Deposition for Easy Fabrication of Accurate Shape」（簡易で正確な造形のための CAM システムをベースにした指向性エネルギー堆積法の知的工程計画と制御）と題し、6 章から構成されている。

指向性エネルギー堆積法（Directed Energy Deposition, 以下 DED）は、レーザノズルの動作制御に加えて、レーザ照射と粉体供給を含む複雑な操作が必要であるため、その工程計画と積層装置の制御には専用の CAM システムが強く求められている。本論文の著者は、DED の工程計画と積層装置の制御手法を提案し、これに基づき正確な形状を簡易に造形できるようにするための DED 専用 CAM システムの開発を行うとともに、その有効性を評価している。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と従来の研究について概説し、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、①積層対象をすべて除去する仮想切削工具パスを生成し、その逆再生により DED のノズルパスを生成する方法、②仮想切削シミュレーションデータに基づいて各積層点での操作変数を調整することにより、積層量を適応制御する方法を提案している。また、重力方向に固定されたレーザノズルに対して、被積層面が常に垂直になるようにワークの姿勢を制御することが、安定した積層を実現するのに重要であることを示している。

第 3 章では、DED 型積層装置の応答性を特定する手法、およびその応答性を補正し目標の幾何形状を得る手法について述べている。応答性を特定する手法を実行した結果、レーザノズルの動作制御は、レーザ出力の制御および粉末供給の制御に対し、相対的に短い応答遅れ時間を持つことを明らかにしている。この結果に基づき、レーザノズルの動作を、積層量を調整するための操作変数として設定している。

第 4 章では、過去の研究で使用された分析モデルを参照し、本研究での積層試験環境に適用して、積層に使用される操作変数の妥当性を確認している。また過去の研究に準じて、直線形状の積層試験データに対して回帰分析を行い、操作変数と積層量の関係式を導出している。

第 5 章では、開発した CAM システムの実行可能性を検証するために、単純形状と 3 次元複雑形状部品に対し NC プログラムを作成し、積層試験を実施している。その結果、幾何学的に正確な積層形状が得られることを確認している。また積層中の溶融池観察から、安定した積層のためのワーク姿勢制御の必要性を示唆している。

第 6 章は結論であり、上記の内容を総括している。

以上要するに、本研究では仮想切削工具パスの逆再生によるノズルパス生成法に、積層時のワーク姿勢制御とレーザノズルの動作を操作変数とした制御を組み合わせることで、DED における複雑形状造形が可能になることを実証しており、生産加工学分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No. 5373	Name	Nguyen, Trung Nghiep
Thesis Title: High-Precision Forming Method Based on Prediction of Shrinkage Error in Selective Laser Sintering Combined with Milling			
Selective laser sintering combined with milling (SLSM) is an advanced technique in selective laser sintering (SLS). The SLSM has the ability to easily and accurately form products with complex shapes. In the forming process, it has shrinkage error that significantly affects the form accuracy in SLSM. However, since the shrinking mechanism is not clear, the shrinkage error is currently corrected by trial and error. The objective of this study is to develop an effective method to solve the shrinkage error problem in SLSM. The scope of this study includes determining a useful method for analyzing SLSM shrinkage errors, understanding the occurring mechanism of shrinkage errors, developing an effective method for predicting shrinkage errors, and finally, finding an efficient solution to the shrinkage error problem. In Chapter 1, a brief introduction to the study is presented, including the background of the SLSM technique, shrinkage errors in SLSM, main issues and specific objectives of the study, research methods used in the study, and the organization of this dissertation. In Chapter 2, the proposed finite element analysis (FEA) processes used for investigating the shrinkage errors in SLSM are explained. The effectiveness of the proposed processes is confirmed by comparing the FEA result and an experiment result. In Chapter 3, a developed mathematical model used for estimating the shrinkage errors in the SLSM is described. The mathematical model is developed based on the FEA results, and is introduced to replace the FEA processes for practical application. In Chapter 4, definition processes of the proposed equations in the mathematical model are discussed. The parameters in the equations are determined by interpolation based on the data obtained from FEA results. In Chapter 5, the shrinkage error results obtained by the proposed mathematical model are presented and evaluated. The evaluation is executed by comparing the results of the mathematical model with the results of both FEA and experiments. In Chapter 6, techniques used to compensate shrinkage errors in SLSM are discussed. One technique is based on the simulation results of the FEA model, whereas the other technique is based on the calculation results by the mathematical model. The effectiveness of these techniques is assessed by the results of experiments. In Chapter 7, the conclusions, achievements, and limitations of the study are highlighted, and future research directions are provided.			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5373 号	氏 名	Nguyen, Trung Nghiep	
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	博士（工学）	柿沼 康弘
		慶應義塾大学専任講師	博士（情報科学）	大家 哲朗
		慶應義塾大学教授	工学博士	鈴木 哲也
学士（工学）、修士（工学）NGUYEN, Trung Nghiep（グエン チュン ギエプ）君提出の学位請求論文は「High-Precision Forming Method Based on Prediction of Shrinkage Error in Selective Laser Sintering Combined with Milling」（ミーリング機能付き選択的レーザ焼結における収縮誤差の予測に基づく高精度造形法）と題し、7章から構成されている。 ミーリング機能付き選択的レーザ焼結（SLSM）は、選択的レーザ焼結（SLS）における高度な技術であり、複雑な形状の製品を簡単かつ正確に形成できる。しかし、その成形工程において、形状精度に大きく影響する収縮誤差が生じている。その収縮メカニズムは明確ではないため、現在、収縮誤差は試行錯誤で修正されている。本研究の目的は、SLSM の収縮誤差問題を解決する効果的な方法を開発することである。そのために、SLSM 収縮誤差を分析するための有効な方法の決定、収縮誤差の発生メカニズムの理解、収縮誤差を予測するための効果的な方法の開発、収縮誤差の問題に対する効率的な解決を行っている。 第1章では、SLSM 技術の背景、SLSM の収縮誤差、研究の課題と目的、研究で用いた方法、および論文の構成について述べている。 第2章では、SLSM の収縮誤差を分析するために適用した有限要素解析（FEA）プロセスについて説明している。適用した FEA プロセスの有効性は、FEA の結果と実験結果の比較により確認されている。 第3章では、SLSM の収縮誤差を推定するために使用された数学モデルについて説明している。同数学モデルは、FEA の結果に基づいて導出され、FEA プロセスを実行することなく収縮誤差を推定するために導入されている。 第4章では、数学モデルで提案された方程式の定義プロセスについて説明している。同方程式のパラメータは、FEA の結果に基づいて補間によって決定されている。 第5章では、提案された数学モデルによって得られた収縮誤差の結果について評価している。同評価は、数学モデルの結果と FEA および実験の結果の比較により行っている。 第6章では、SLSM の収縮誤差を補正するための手法について説明している。1つの手法は FEA モデルのシミュレーション結果に基づいており、もう1つの手法は数学モデルによる計算結果に基づいている。これらの技術の有効性は、実験結果によって評価されている。 第7章では、研究の成果がまとめられ、結論が述べられている。また、将来の研究の方向性が示されている。 以上要するに、本論文では、金属 3D プリンタによる造形の収縮誤差を推定し、それを補正することにより高精度な造形を実現しており、生産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。				

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5374	Name	Xu, Jing
Thesis Title Tailored Design of Boron-Doped Diamond Electrodes for Electrochemical Reduction of CO₂			
Electrochemical reduction of green-house gas CO₂ into useful chemicals is a promising method for developing sustainable society. However, CO₂ conversion meets difficulties, since high overpotential is needed to activate the inert gas of CO₂ and competitive reaction of hydrogen generation happens at the same time. Boron doped diamond (BDD) has been substantially applied on CO₂ reduction in recent decades, since it has attractive electrochemical properties such as wide potential window, low background current, chemical stability and mechanical durability compared to conventional electrodes. Although, so far, several researches of CO₂ reduction on BDD were reported, the instinct characters of BDD electrodes such as boron doping level and sp² carbon impurity for CO₂ reduction have not been studied. This research aims at describing the influence of instinct character of BDD on electrochemical properties and CO₂ reduction. Furthermore, it provides guidance of using tailored designed BDD electrodes for CO₂ reduction. Chapter 1 describes the background and purpose of this research. Chapter 2 describes the relationship between the boron doping level of BDD electrodes and the products of CO₂ reduction. BDDs with various boron contents were manufactured by microwave plasma chemical vapor deposition (MPCVD). Structural characterization, electrochemical characterization, and electrochemical reduction of CO₂ were conducted. With these investigations, the most proper boron doping level (0.1%) for HCOOH production was found and the heavily doped BDD seems benefit for producing CO. This research opens new insights on boron doping level for CO₂ reduction. Chapter 3 describes an unexpected phenomenon that displayed on low-boron-doped BDD electrodes. Generally, the presence of sp² carbon impurities in BDD electrodes causes undesirable electrochemical properties, such as a reduced potential window and increased background current. However, it was found that the potential window and redox reaction in normally doped (1%) BDD and low-doped (0.1%) BDD exhibited the opposite tendencies depending on the extent of sp² carbon. Moreover, it was found that contrary to the usual expectations, low-doped BDD containing sp² carbon hinders electron transfer, whereas in line with expectations, normally doped BDD containing sp² exhibits enhanced electron transfer. Surface analyses by X-ray/ultraviolet photoelectron spectroscopy and electrochemical methods were utilized to explain these unusual phenomena. This work indicates that the electrochemical properties of low-doped BDD containing sp² might be due partially to the high level of surface oxygen, the large work function, the low carrier density, and the existence of different types of sp² carbon. Chapter 4 describes the effect of sp² carbon within BDD electrode on the electrochemical reduction of CO₂. With increasing sp² content, the faradaic efficiency for the production of H₂ under a constant current density increased while that for the production of HCOOH decreased. Moreover, favorable electrolysis conditions for producing HCOOH shifted in the negative potential direction with increasing sp² content. This phenomenon was ascribed to the presence of adsorption sites on the sp² carbon. This work provides guidance for selectively controlling of CO₂ reduction by adjusting the distribution of carbonaceous species in the BDD electrode. Chapter 5 summarizes the results of this thesis and presents conclusions with future perspectives.			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5374 号	氏 名	Xu, Jing
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	慶應義塾大学教授	博士（工学）	羽曾部 卓
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	緒明 佑哉
	慶應義塾大学准教授	Ph. D.	清水 智子
学士（理学）、修士（理学）XU, Jing（シュウ、ジン）君提出の学位請求論文は「Tailored Design of Boron-Doped Diamond Electrodes for Electrochemical Reduction of CO₂」（CO₂の電解還元に適するダイヤモンド電極のデザイン）と題し、5章から構成されている。 地球環境、エネルギー問題に鑑み、二酸化炭素（CO₂）を有用物質に変換する技術が求められている中、優れた電気化学特性と耐久性をもつダイヤモンド電極を用いた電気化学還元法が注目されている。本論文では、はじめにホウ素濃度や sp² 不純物炭素の含有量を制御したダイヤモンド電極の作製を行い、それらの物性評価、電気化学特性評価を詳細に行っている。さらに、それらの電極を用いた CO₂ 還元性能について検討し、その最適化を行っている。 第1章では、本研究の背景と目的をまとめている。 第2章では、ダイヤモンド電極のホウ素濃度が CO₂ 還元性能に及ぼす影響について述べている。ホウ素濃度を系統的に変化させて CO₂ 還元によるギ酸生成の電流効率を調べたところ、ホウ素濃度 0.1%のダイヤモンド電極が CO₂ 還元最適であることを明らかにしている。 第3章では、低いホウ素濃度のダイヤモンド電極が示す特異的な電気化学特性について述べている。通常のダイヤモンド電極では、不純物である sp² 炭素を導入することにより電極活性は高くなるが、ホウ素濃度が低いダイヤモンド電極は、逆に電極活性が低くなるという現象を見いだしている。詳細な電気化学測定を行うことや、X線光電子分光によって表面酸素の存在状態を解析することなどによって、表面に存在する酸素原子が電極の仕事関数に変化をもたらし、電気化学特性に影響を与えていることを明らかにしている。 第4章では、ダイヤモンド電極中に sp² 不純物炭素を導入した際の CO₂ 還元性能に及ぼす影響について述べている。ダイヤモンド電極表面における sp² 不純物炭素が電極表面への物質の吸着特性に影響することから、ギ酸の生成が抑えられ、水素発生が優位となることを見いだしている。 第5章では本論文の総括ならびに今後の展望について述べている。 以上要するに、本論文では、ダイヤモンド電極の材料としての評価のみならず、CO₂の電気化学的還元による有価物生成において、その最適化に関する重要な知見を示しており、機能材料化学および環境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 5375 号	氏 名	都倉 勇貴
主 論 文 題 名：			
層状構造を活用した高感度化学センサの開発			
安心・安全な社会と健康な生活の実現のために、微量成分の高感度センシングシステムの開発が望まれている。例えば、呼気中に含まれる化学物質、飲料や血液中の栄養素などの微量成分を化学センサによって高感度かつ簡易的に測定できれば、健康状態の診断や病気の早期発見が可能となる。しかし、そのためには対象とする物質を液相および気相中から高感度かつ選択的に検知する技術が必要となる。本研究では、センサを構成する材料のナノ構造に注目し、これらの課題の解決を試みた。層状構造は、層状化合物や交互吸着膜など様々な材料にみられる構造で、層と層間の設計の自由度や、層間空間への物質のアクセス性など、二次元異方的な構造と積層構造としての特有の性質を有している。本研究では、このような層状構造を活用し、液相および気相中の微量な化学物質を、高感度かつ選択的に検知可能な化学センサの作製およびその検知メカニズムの解明を目的とした。 第 1 章に、本研究の背景と目的について述べた。 第 2 章では、層状構造をもつ材料について、特に本研究で用いた層状構造である金属イオン複合交互吸着膜と層状無機材料を中心に、作製方法や構造とそれらの特性や応用について述べた。 第 3 章では、層状構造をもつ材料として、交互吸着膜と銀イオンの複合体をろ紙上に作製し、重要な栄養素であるアスコルビン酸を、高感度かつ選択的に検知する試験紙の開発について述べた。層状構造を構成している高分子のアミノ基に配位している銀イオンが、アスコルビン酸によって還元され、銀ナノ粒子が形成した。この銀ナノ粒子の表面プラズモン共鳴によって、試験紙の色が変化するため、水溶液中のアスコルビン酸の濃度を 0.1–300 ppm の範囲内で比色定量化できることを示した。実際に、市販飲料中に含まれるアスコルビン酸の濃度を選択的に定量できることを確認した。層状構造内への銀イオンの複合化およびマクロな形態制御によって、アスコルビン酸の高感度検知が可能となったことを明らかにした。 第 4 章では、層状の結晶構造をもつ酸化マンガンナノシートを、水晶振動子型ガスセンサの感応膜として活用し、メタンチオールを高感度かつ選択的に検知するデバイスの開発について述べた。気相中のメタンチオールは、層状酸化マンガンの表面および層間へ吸着し、酸化マンガンによる触媒的な酸化を受けて硫黄系化合物となった。この質量変化はナノグラム単位で測定可能な水晶振動子によって検出できるため、メタンチオールを数十 ppb オーダーで検知できることを示した。さらに、層間のイオン交換を行うことで、メタンチオールの検知下限を 10 ppb まで向上させることができた。また、呼気で想定される他種類のガスに応答せず、メタンチオールを選択的に検知できることを示した。層状構造の表面と層間へのメタンチオールのアクセスおよび層間を利用したイオン交換による設計によって、メタンチオールの高感度検知が可能となった。 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。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5375 号	氏 名	都倉 勇貴
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	緒明 佑哉
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	今井 宏明
	慶應義塾大学専任講師	博士（理学）	山本 崇史
	慶應義塾大学准教授	Ph. D.	清水 智子
学士（工学）、修士（工学）都倉勇貴君提出の学位請求論文は「層状構造を活用した高感度化学センサの開発」と題し、5章から構成されている。 安心・安全な社会と健康な生活の実現のために、微量成分の高感度センシングシステムの開発が望まれている。例えば、呼気中に含まれる化学物質、飲料や血液中の栄養素などの微量成分を化学センサによって高感度かつ簡易的に測定できれば、健康状態の診断や病気の早期発見が可能となる。本研究では、高感度化に向けて、センサを構成する材料のナノ構造として層状構造に着目している。層状構造は多様な材料に見られるナノ構造で、層と層間の設計の自由度や、層間空間への物質のアクセス性など、二次元異方的な構造と積層構造としての特有の性質を有している。本研究は、このような層状構造を活用し、液相および気相中の微量な化学物質を、高感度かつ選択的に検知可能な化学センサの作製およびその検知メカニズムの解明を目的としている。 第1章では、研究の背景と目的を述べ、従来の研究を概説している。 第2章では、層状構造をもつ材料について、特に本研究で用いた層状構造である金属イオン複合交互吸着膜と層状無機材料を中心に、作製方法や構造とそれらの特性や応用について述べている。 第3章では、層状構造をもつ材料として、交互吸着膜と銀イオンの複合体をろ紙上に作製し、重要な栄養素であるアスコルビン酸を、高感度かつ選択的に検知する試験紙の開発について述べている。層状構造を構成している高分子のアミノ基に配位している銀イオンが、アスコルビン酸によって還元され、銀ナノ粒子が形成する。この銀ナノ粒子の表面プラズモン共鳴によって試験紙の色が変化するため、水溶液中のアスコルビン酸の濃度を 0.1–300 ppm の範囲内で比色定量化することができる。層状構造内への銀イオンの複合化およびマクロな形態制御によって、アスコルビン酸の高感度検知を可能にしている。 第4章では、層状の結晶構造をもつ酸化マンガンナノシートを、水晶振動子型ガスセンサの感応膜として活用し、メタンチオールを高感度かつ選択的に検知するデバイスの開発について述べている。気相中のメタンチオールは、層状酸化マンガンの表面および層間へ吸着し、酸化マンガンによる触媒的な酸化を受けて硫黄系化合物となる。この質量変化はナノグラム単位で測定可能な水晶振動子によって検出できるため、メタンチオールを数十 ppb オーダーで検知できることを示している。さらに、層間のイオン交換を行うことで、検知下限を 10 ppb まで向上させている。また、呼気で想定される他種類のガスに応答せず、メタンチオールを選択的に検知できることを示している。層状構造の表面と層間へのメタンチオールのアクセスおよび層間を利用したイオン交換による設計によって、メタンチオールの高感度検知を可能にしている。 第5章では、各章で得られた成果をまとめ、本論文全体の結論を述べている。 以上要するに、本論文では層状構造が高感度化学センサの実現に重要であることを明らかにしており、ナノ材料科学およびセンサ工学分野において、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5376号	氏 名	前島 健人
主 論 文 題 名：			
コンシューマーエレクトロニクスの紙基板分析デバイスへの統合			
近年注目を集めている紙基板分析デバイス (μPADs) は簡便かつ迅速な分析が求められる現場分析の次世代分析ツールとして期待されている。知識のない一般ユーザーの使用を想定して、目視にて半定量分析が可能となる検出方法や、スマートフォンでの自動認識による分析法が開発されてきた。しかし、目視での判定は不慣れな一般ユーザーが初めて使用する際に分析結果の解釈を間違いやすい。また、スマートフォンによる自動認識も専用のケースやソフトウェアが必要となり、未経験者にとって簡便に取り扱えない。それに加えて、これらの分析法の多くは依然として多大な測定時間を要し、マイクロピペット等の専門器具を必要とするため操作性が損なわれている。さらに、多くの μPADs 作製の一部が手作業で行われており、大量生産へ移行できる製造技術の活用は稀有である。そこで、本研究ではコンシューマーエレクトロニクスである DVD プレーヤー、QR コード読取り技術、インクジェット印刷技術の μPADs への統合により、これらの課題解決を目的とした。 第1章では、本研究の背景と解決すべき課題について概説した。 第2章では、「色変化した長さ」を濃度応答として読み取る距離検出型 μPADs (dPADs) と DVD プレーヤーとの統合について述べた。開発した μPADs で秤量した試料溶液は、DVD プレーヤーの回転により生じる遠心力で流速が高速化され、試料の流路への導入の制御も可能となった。そのため、マイクロピペッター等の精密計量器具を使わずに、従来型の距離検出型 μPADs と比較して分析に必要な時間の短縮、検出限界の改善をニッケルイオン分析において達成した。 第3章では、QR コード型 μPADs とスマートフォンアプリの統合による測定ユーザーに依存しない半定量分析法について述べた。複数の QR コードによる段階的な濃度表示機能をもたせることで、半定量結果の取得が可能となった。また、元来の色から変色する比色指示薬の採用を可能にするため、QR コードの周りを同色色素で囲うことで QR コードを“擬態”させ、陰性時には読み取れず、陽性時にのみアプリで読み取れるシステムを確立した。分析デバイスの性能は、銅イオンの分析において評価を行った。 第4章では、インクジェット印刷による μPADs の大量生産法について述べた。環境規制に対応した紫外線硬化での疎水パターンニングによる解像度の高い流路形成法を開発し、過酸化水素の比色分析に応用した。分析試薬も同様にインクジェット印刷することで、ひとつの製造プラットフォームによる連続製造を可能とした。 第5章に、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果と展望を要約した。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5376 号	氏 名	前島 健人
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	Dr. sc. nat.	チッテリオ, ダニエル
副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	石樽 崇明
	慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学）	尾上 弘晃
	慶應義塾大学教授	博士（農学）	奥田 知明
	慶應義塾大学専任講師	博士（工学）	蛭田 勇樹
学士（工学）、修士（農学）前島健人君提出の学位請求論文は「コンシューマーエレクトロニクスの紙基板分析デバイスへの統合」と題し、5章から構成されている。 近年注目を集めている紙基板分析デバイス（μPADs）は簡便かつ迅速な分析が求められる現場分析の次世代分析ツールとして期待されている。知識のない一般ユーザーの使用を想定して、目視にて半定量分析が可能となる検出方法や、スマートフォンでの自動認識による分析法が開発されてきた。しかし、目視での判定は不慣れな一般ユーザーが初めて使用する際に分析結果の解釈を間違いやすい。また、スマートフォンによる自動認識も専用のケースやソフトウェアが必要となり、未経験者は簡便に取り扱えない。それに加えて、これらの分析法の多くは依然として多大な測定時間を要し、マイクロピペット等の専門器具を必要とするため操作性が損なわれている。さらに、多くの μPADs 作製の一部が手作業で行われており、大量生産を想定した、あるいは、大量生産が可能となる製造技術を活用した例は少ない。そこで、本研究ではコンシューマーエレクトロニクスである DVD プレーヤー、QR コード読取り技術、インクジェット印刷技術を μPADs へ統合することにより、これらの課題を解決している。 第1章は緒言であり、本研究の背景と解決すべき課題について概説している。 第2章では、「色変化した長さ」を濃度応答として読み取る距離検出型 μPADs (dPADs) と DVD プレーヤーとの統合について述べている。マイクロピペット等の精密計量器具を使わずに、従来型の距離検出型 μPADs と比較して分析に必要な時間の短縮、検出限界の改善を、ニッケルイオン分析において達成している。 第3章では、QR コード型 μPADs とスマートフォンアプリケーションソフトウェアの統合による、測定ユーザーに依存しない半定量分析法について述べている。複数の QR コードによる段階的な濃度表示機能をもたせることで、半定量結果の取得を可能としている。また、QR コードの周りを同色色素で囲うことで QR コードを「擬態」させ、陰性時には読み取れず、陽性時にのみアプリで読み取れるシステムを確立している。 第4章では、インクジェット印刷による μPADs の大量生産法について述べている。環境規制に対応した紫外線硬化での疎水パターンニングによる解像度の高い流路形成法を開発し、過酸化水素の比色分析に応用している。 第5章では、結言として各章の内容をまとめ、本研究の成果と展望を要約している。 以上要するに、本研究では、コンシューマーエレクトロニクスの紙基板分析プラットフォームへの統合により迅速分析、容積依存性排除、ユーザー主観判定排除、大量生産方式適合のためのデバイス開発技術の確立に成功している。これらの成果は、分析化学および環境分析分野において、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.5377	Name	Manjum, Marjanul
Thesis Title Electrochemical Preparation of Nanostructures of Sm, Co, and Sm-Co Alloy in an Amide-type Ionic Liquid			
Samarium (Sm), cobalt (Co), and their alloy (Sm-Co) nanoparticles can be considered as important constituents for magnetic materials due to the excellent magneto-crystalline anisotropy. In recent years, an amide-type ionic liquid composed of 1-butyl-1-methylpyrrolidinium (BMP⁺) and bis(trifluoromethylsulfonyl)amide (TFSA⁻) has been considered as a promising electrolyte for the electrochemical preparation of various metal nanoparticles. However, the electrochemical preparation of Sm and its alloy nanoparticles and electrodeposition of transition metals under an external magnetic field in the ionic liquid have not been explored in depth yet. In this study, attempts have been made to understand the electrochemical formation of Sm and Sm-Co nanoparticles from their metal species in BMPTFSA. Furthermore, the electrodeposition of Co nanowire has been investigated under an external magnetic field. In Chapter 1, a brief description of metal and magnetic nanoparticles, their electrochemical preparation in ionic liquids, and electrodeposition of metals with an external magnetic field. Chapter 2 presents the general experimental techniques used in the present study. Chapter 3 describes the electrochemical behavior of Sm species in BMPTFSA at various temperatures. Sm(III) was suggested to be reduced to Sm(II) at room temperature. At a high temperature, the disproportionation of Sm(II) was expected to occur to form Sm nanoparticles in BMPTFSA. Sm nanoparticles were considered to be prepared by the proportionation and disproportionation equilibrium among Sm, Sm(II), and Sm(III) in BMPTFSA at high temperature. In chapter 4, the electrochemical formation of Sm-Co nanoparticles in the ionic liquid is explained. Electrochemically generated Sm(II) was found to be unstable in the presence of Co(II). Sm-Co nanoparticles dispersed in BMPTFSA were formed by the multi-step reactions of Sm(II), Co(II), and Co. Co(II) was expected to be reduced to Co in the electrolyte by Sm(II). An external magnetic field was applied to obtain a significant amount of the deposits on the electrode surface. The effect of the magnetic field on the current density and the morphology of the deposits was observed. Chapter 5 deals with the electrodeposition of Co under an external magnetic field in BMPTFSA. A magnetic field application showed significant influences on the current density and the morphology of the deposits during the potentiostatic cathodic reduction. The direction of the magnetic field and the concentration of Co(II) were varied to understand their effect on the electrodeposition of Co. Chapter 6 is concerned with the summary and the perspectives of this work.			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5377 号	氏 名	Manjum, Marjanul
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	工学博士	今井 宏明
	慶應義塾大学教授	工学博士	吉岡 直樹
	慶應義塾大学教授	Dr. sc. nat.	チッテリオ, ダニエル
	イルメナウ工科大学教授	Dr. rer. nat.	ブント, アンドレアス
学士（理学）、修士（理学）MANJUM, Marjanul（マンジャム、マージャヌル）君提出の学位請求論文は「Electrochemical Preparation of Nanostructures of Sm, Co, and Sm-Co Alloy in an Amide-type Ionic Liquid」（アミド系イオン液体中における Sm, Co および Sm-Co 合金ナノ構造体の電気化学的作製）と題し、6 章から構成されている。 イオン液体はイオン伝導性を示し、電気化学的安定性に優れることから、金属電析や二次電池の新たな電解液として注目されている。また、イオン液体はナノ粒子などのナノ構造体を安定に分散させることが知られており、イオン液体中に溶存する金属イオンの電気化学的還元や金属のスパッタリングなどによって、イオン液体中に分散した金属ナノ粒子が得られることが知られている。これまでに、スパッタリング法によって合金ナノ粒子の生成が報告されているが、電気化学的に合金ナノ粒子を生成した例は知られていない。本論文では、非プロトン性イオン液体である 1-ブチル-1-メチルピロリジニウム・ビス（トリフルオロメチルスルホニル）アミドを用い、強磁性体である Sm-Co 合金ナノ粒子を電気化学的に作製することを目的とし、Sm および Co 化学種の電気化学的挙動および Sm-Co 合金ナノ粒子の生成機構、磁場存在下での Co および Sm-Co 合金の電析について検討している。 第 1 章は序論であり、強磁性体材料およびイオン液体などに関する研究背景と目的について述べている。 第 2 章では、本論文で用いたイオン液体の合成方法および各種実験手法について説明している。 第 3 章では、Sm の電気化学反応および Sm 金属ナノ粒子の生成について検討している。イオン液体中において Sm(III)は電気化学的に Sm(II)に還元できるが Sm 金属の生成は確認されていない。本論文では、Sm(III)の電気化学的還元によって得られる Sm(II)は 100 °C では不均化し、Sm(III)および Sm 金属ナノ粒子が生成することを透過型電子顕微鏡による観察および電子線回折などによって明らかにしている。 第 4 章では、Sm(III)および Co(II)を含むイオン液体中における Sm-Co 合金ナノ粒子の生成について検討している。25 °C において、Co(II)が共存する場合は、Sm(III)の電気化学的還元によって生成する Sm(II)が Co(II)を還元すると同時に、SmCo₇ 強磁性体合金ナノ粒子が生成することを見いだし、その反応機構を明らかにしている。また、磁場存在下で強磁性体である SmCo₇ 合金ナノ粒子を電気化学的に生成させることで、自己組織化によって SmCo₇ 合金ナノワイヤーが形成されることを見いだしている。 第 5 章では、磁場存在下での Co ナノワイヤーの生成について述べている。磁場存在下で Co(II)の還元が促進され、強磁性体である Co 金属ナノ粒子の磁力線に沿った自己組織化によって Co ナノワイヤーが形成されることを見いだしている。 第 6 章では、本論文の成果をまとめ、今後の展望について述べている。 以上要するに、本論文はイオン液体中における磁性ナノ粒子の作製およびそれらの自己組織化によってナノワイヤーが作製できることを明らかにしており、電気化学および材料科学分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No. 5378	Name	David, Romain Marie Arnaud
Thesis Title Functionalization of Room-Temperature Liquid Metals via Galvanic Replacement			
Ga-based alloys liquid at room-temperature hold promising potential in highly flexible and stretchable soft matter electronics due to their high conductivity and theoretically infinite strain at break. Research efforts put forward various liquid metal based soft devices over the last decade, proposing diverse fabrication routes for the bulk material or its dispersion as an ink. Current researches focuses on tuning the liquid alloy properties to match a demanding need of a competitive material functionalization. To such end, various surface or bulk, <i>in-situ</i> or <i>ex-situ</i> functionalization of liquid metals at different scales with other metals such as liquid metal marbles, metal particles doping, or thin film alloying have been proposed. However, current functionalization methods either fail in scalability, on-device integrability, or in simply offering the possibility to work around several metals on a single device, i.e. to provide distinct functionalization at once. The objective of this dissertation is to develop an on-demand surface or bulk functionalization method of room-temperature liquid Ga-alloys which is compatible at all scales for liquid metal based soft matter electronics. To this end, custom galvanic replacement reactions on liquid metals are proposed. Chapter 1 introduces the background of liquid based soft matter electronics and liquid metals functionalization, and presents the objectives of this dissertation. Chapter 2 elaborates the fundamental thermodynamics, chemistry and physics involved in liquid metals, their alloying with other metals, and the state-of-the-art liquid metal downscaling methods. Chapter 3 summarizes the novel concept of “oxide-free galvanic replacement” on Ga-based alloys. Customization of the spontaneous chemical reaction by shifting the reaction medium pH out of the Ga₂O₃ stability range to synthesize tunable, non-oxidized noble metal thin on large liquid metal droplets is elaborated. Control of the encapsulated liquid metal interfacial electrical properties is demonstrated on droplets and liquid metal micro-electrodes. Chapter 4 elaborates the downscaling of the “oxide-free galvanic replacement” on liquid metal micro/nanodroplets to synthesize tunable multi-metallic, biphasic solid nanoparticles shell – liquid metal core frameworks with a wide range of noble and ferromagnetic elements. Chapter 5 elaborates the transposition of the surface functionalization of micro/nano liquid metal droplets to a bulk functionalization via mechanical sintering of the multi-metallic frameworks to form multiphasic LM composites on substrate. On-substrate patterning and formation of distinct composites with tunable properties on a single device is achieved. Chapter 6 concludes this dissertation while discussing the future outlooks of the galvanic replacement based functionalization method.			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5378 号	氏 名	David, Romain Marie Arnaud
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 三木 則尚
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 尾上 弘晃
		慶應義塾大学教授	工学博士 今井 宏明
		慶應義塾大学教授	Ph. D. 堀田 篤
修士（工学）, Diplôme de l'Ecole Centrale de Lille (Ingénieur) DAVID, Romain Marie Arnaud (ダビド, ロマン マリエ アルノ) 君提出の学位請求論文は, 「Functionalization of Room-Temperature Liquid Metals via Galvanic Replacement」(ガルバニック置換法による常温での液体金属機能化)と題し, 6章から構成されている。 ガリウム系液体金属合金は高い導電性と液体としての特性により, ソフトマターエレクトロニクスへの応用が期待されている。液体金属合金は, 金属粒子の被覆や混入, 金属薄膜との複合化等により, その特性を調整できることが報告されている。しかし, これらの手法には, スケーラビリティが乏しい, また複数種類の液体金属合金を同一基板上に製造することが困難という問題がある。そこで本論文の著者は, ガルバニック置換法を用い, ガリウム系液体金属合金の常温での, 特にスケールに依存しない機能化手法を開発している。この手法を液体金属ナノ粒子に適用することで, フレキシブル高分子材料基板を含む単一の基板上に, 異なる金属により機能化された複数種類の液体金属合金のパターニングを実現している。 第1章は序論であり, 本論文の研究背景とともに, 本論文の社会的な意義と目的を示し, 本論文全体に対する概要を述べている。 第2章において, 液体金属ならびにその機能化に関する理論的背景について概説するとともに, 液体金属の微小化に関する先行研究を示している。 第3章では, ガリウム系液体金属合金のガルバニック置換法を用いた機能化プロセスを提案している。溶媒の pH を酸化ガリウムの安定領域外に設定することで, 金や銀等の複数種類の貴金属膜による液体金属合金の被覆に成功している。機能化された液体金属合金の電極材料としての特性を評価している。 第4章では, 機能化液体金属合金の微小化プロセスを提案している。まず, 界面活性剤を加えた水溶液中で液体金属合金を超音波処理し, サブマイクロメートルまで微小化する。これにガルバニック置換法を適用することで, 表面を固相の金属で被覆された二相性の液体金属合金ナノ粒子の製造に成功している。プロセス条件, 被覆膜厚さ, ならびに機械的安定性について実験的に評価している。 第5章では, 表面を機能化した液体金属合金ナノ粒子を物理的に破壊することで, バルクとして機能化された液体金属合金を基板上にパターニングする手法を提案している。本手法を用いることで, フレキシブル高分子材料基板への液体金属合金のパターニング, ならびに単一の基板上に異なる金属により機能化された複数種類の液体金属合金のパターニングを実現している。 第6章は結論であり, 本研究で得られた成果を総括し, 今後の展望について述べている。 以上要するに, 本論文はガルバニック置換法を用いた液体金属の機能化プロセス, ならびにパターニング技術を提案し, その有効性を実験的に示したものであり, 材料工学ならびにマイクロ・ナノ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 5379 号	氏 名	藤井 瞬
主 論 文 題 名： Dispersion engineering of high-Q optical microresonators for frequency comb generation (光周波数コム発生のための高 Q 値微小光共振器の分散設計)			
レーザーの発明以来、光と物質の相互作用に関する研究は大いに進展してきた。その中でも微小光共振器はその微小な領域に光を閉じ込め、究極的に光密度を高めることで非線形光学効果をはじめとするさまざまな現象を発現することができる素子として知られている。特に微小光共振器を用いた光周波数コム発生（マイクロコム）は近年非常に注目を集めており、世界中で精力的に研究が進められている。 マイクロコムの発生にはいくつか重要な条件が存在するが、その一つが共振器分散である。分散は光パラメトリック発振の位相整合条件の成立に深く関わっており、共振器分散の制御はマイクロコムの波長帯域拡大やモード同期を達成するときの必要不可欠な技術となる。 本論文の研究は光周波数コムのための高 Q 値微小光共振器の分散設計に関して論じたものである。特に単結晶フッ化物やシリカガラスから作製されるウィスパリングギャラリーモード微小光共振器の分散制御とさらなる高 Q 値化に基づいた、マイクロコムの波長帯域拡大を目的としている。 第一章では、本論文の背景および目的を概説した。 第二章では、高 Q 値微小光共振器およびマイクロコムを中心に、三次の非線形光学効果の基礎理論や共振器の作製手法、光学実験の手法に関して述べた。 第三章では、光周波数コム応用へ向けた共振器分散制御に関して、理論から計算手法、光学測定方法について詳細に導入した。特にマイクロコムと高次分散の関係性に焦点を当て、共振器分散設計の指針やその手法について解説した。 第四章では、超精密機械加工を用いた単結晶微小光共振器の作製について議論し、Q 値 10^8 を超える高 Q 値化と構造分散制御を両立する手法について述べた。また、章後半では超精密機械加工によるトップダウンで作製したフッ化マグネシウム微小光共振器を用いて、通信波長帯で励起する 1 オクターブ以上離れた光パラメトリック発振の発生を実証した。 第五章では、分散制御したオンチップシリカ微小光共振器を用いて、四光波混合と第三高調波発生を介した青色光発生を実現した。分散を適切に設計することで狙った波長での可視光発生ができることを明らかにした。 第六章では、異なる横モード間のモード結合を利用したマイクロコム発生の新たな数値計算モデルを構築した。本章で構築したモデルは、特に正常分散領域におけるモードロックパルスの厳密な解析に用いることができるため、これまで解明されていなかった不安定（カオス）領域の評価が可能となった。 第七章では、本論文の総括として、結論と今後の展望を述べる。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5379 号	氏 名	藤井 瞬
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 田邊 孝純
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 神成 文彦
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 津田 裕之
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 渡邊 紳一
		沖縄科学技術大学院大学教授 Ph. D.	ニコーマック, シーレ
学士（工学）、修士（工学）藤井瞬君提出の学位請求論文は「Dispersion engineering of high-Q optical microresonators for frequency comb generation」（光周波数コム発生のための高 Q 値微小光共振器の分散設計）と題し、7 章から構成されている。 光と物質の相互作用に関する研究は、レーザの発明以来大きく進展してきた。その中で、光を微小空間に閉じ込めることで光電磁場強度を高められる高 Q 値微小光共振器は、非線形光学をはじめとする研究のプラットフォームとして広く用いられてきた。近年、この素子を用いた光周波数コムの生成が報告され、得られる光パルスの高い繰り返し周波数や、発生に用いる素子の優れた集積性や低消費電力性といった特徴から、様々な応用研究に用いられようとしている。高 Q 値微小光共振器を用いて発生した光周波数コムはマイクロコムと呼ばれる。 マイクロコムの発生には様々な条件が必要となる。その中でも、光共振器の適切な分散設計は、光パラメトリック発振の位相整合を得るために必要であり、マイクロコムの発生や波長帯域の拡大、モード同期の実現等に欠かすことができない。本研究は、分散設計の観点からマイクロコム発生を論じたものである。特にフッ化物単結晶やシリカガラスから作製されるウィスパーリングギャラリーモード微小光共振器を、高い Q 値を保ったまま分散制御する技術を開発し、マイクロコムの波長帯域の拡大と高機能化を実現している。 第 1 章では、本研究の背景及び目的を概説している。 第 2 章では、高 Q 値微小光共振器及びマイクロコムの基礎について述べており、特に 3 次の非線形光学効果の理論や共振器の作製手法、光学実験の手法等、本研究に必要な要素技術について解説している。 第 3 章では、マイクロコムの発生や高度な制御に必要な、微小光共振器の分散設計の指針を明らかにしている。加えて、計算手法及び光学測定方法についても詳細に説明している。 第 4 章では、超精密切削加工を用いた単結晶微小光共振器の作製手法を新たに開発し、10^8 を超える高 Q 値と構造分散制御を同時に達成した結果を示している。また、超精密切削加工を用いて作製したフッ化マグネシウム微小光共振器を用いると、1 オクターブ以上となる 140 THz 離れたパラメトリック変換光を発振できることを理論と実験から明らかにしている。 第 5 章では、シリコンウェハ上のシリカ微小光共振器を用いて、四光波混合と第三高調波発生を介した波長 438 nm の青色光発生を達成している。高次分散を適切に設計することで、所望の波長で可視光が発生できることを示している。 第 6 章では、異なる横モード間のモード結合を利用したマイクロコム発生 of 新たな数値計算モデルを提案している。本章で示した計算モデルは、正常分散領域におけるモードロックパルスの厳密な解析に用いることができる。その結果、光出力が不安定となる領域があることを発見し、それを評価することを可能としている。 第 7 章では、各章で得られた知見をまとめ、本研究を総括している。 以上要するに、本研究は高 Q 値微小光共振器の高度な分散制御手法を開発するとともに、高度な分散設計を行うとマイクロコムの広帯域化や高機能化が実現できることを示しており、光エレクトロニクス分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。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.5380	Name	Ke, Yuanzhi
Thesis Title			
Radical-based Representation Learning for Japanese Processing			
Machines cannot process natural languages without transforming them into numeric features. In the past, people extracted features of texts by models depended upon their observations. For example, frequent words are often more important than the others for an article. Recently, unsupervised trained distributed representations, e.g., the word embeddings trained by word2vec, are proposed. They are trained by neural networks that embed useful information into the word vectors or sometimes subword vectors via carefully designed unsupervised training tasks. Such representations are becoming more and more used and have achieved success in various natural language processing tasks. For early models to train the distributed representations, learning rare words is challenging. Subword approaches have been proposed after that to learn rare words. They divide words into n-gram characters to help the training for rare words. The subword approaches are powerful tools for rare words in alphabetical languages. However, it is less effective for character-rich languages such as Japanese because of the rare characters in the large character set. Japanese has a huge character set. Most of the characters in its character set are the ideographic characters, "kanji", originated from ancient China, or made similarly to how ancient Chinese characters are made. "Kanji" can be further decomposed into basic meaningful components—the radicals, which are shared by different characters. Common characters and uncommon characters share the same set of radicals. Thus, the radicals are useful to generalize the knowledge of learned characters to the unseen characters. There have been some researches on the usage of radicals of Chinese characters for natural language processing. However, the foregoing researches proposed using words and characters with radicals and showed minor improvements without words and characters. Such methods remained the issues of learning uncommon words and characters unsolved. We discussed the weak points of the conventional methods and propose to leverage convolutional neural networks as encoders to extract the most important component and build the radical-based representations. Our proposed methods achieved superior performance than conventional methods without using word embeddings or character embeddings, especially for unknown characters. The proposed convolutional encoder to learn the representations of Chinese characters based on radicals is as follows: The convolutional layers extract the word-level features and character-level features from the radicals (input as texts) by novel parallel organized convolutional kernels with different widths and strides.			
(1/2)			

Then max-pooling over each character and gated connection over the radicals in each word is utilized to extract the most important features and outputs vectors that be used as representations in down-stream tasks. We also leverage positional and structural information to improve our model's robustness.

We evaluated our proposed encoder by sentiment analysis tasks and a text generation task. The performance in the sentiment analysis task was on par with the state-of-the-art word embedding-based models, with much smaller vocabulary and fewer parameters. The performance in the text generation task was not improved, but we observed significant training cost reduction.

Our proposed approach presents a powerful and cost-effective representation for Japanese natural language processing, especially for uncommon characters.

(2/2)

審査の要旨

報告番号	甲 第 5380 号	氏 名	柯 遠志 (Ke, Yuanzhi)
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 萩原 将文
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 今井 倫太
		慶應義塾大学准教授	工学博士 斎藤 博昭
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 篠沢 佳久
学士（工学）、修士（工学）、柯遠志 (Ke Yuanzhi) 君提出の学位請求論文は、“Radical-based Representation Learning for Japanese Processing（日本語処理における部首に着目した表現学習）”と題し、全5章から構成されている。 自然言語を機械で扱うためには多くの場合、文、単語、あるいは文字を数値へ変換する必要がある。これまでには、ワンホット表現、TF-IDF ベクトル、トピックベクトルなどの手法があった。近年は、ニューラルネットワークにより、ベクトルとして表現する方法が広く用いられるようになってきている。多くの場合は単語単位での表現が用いられるが、アルファベットの言語において、文字単位での表現の有効性が示されている。しかしながら日本語の場合は、種類の多い漢字が存在するため文字単位での処理が困難である。本論文は、稀あるいは未知な文字や単語への対応を考え、漢字の部首に着目した新しい文字単位での表現手法を提案するものである。 具体的には、物体認識等で優れた特性を示している畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を利用して文字中での重要部分を抽出し、部首レベルに着目した表現方法を提案している。さらに、位置情報と構造情報を活用する方法も提案している。 第1章では、本研究の目的、意義を明らかにしている。まず自然言語処理における表現学習の重要性を説明し、次に、統計的表現、トピックモデル、およびニューラル言語モデルによる単語の埋め込みの解説を行っている。 第2章では、機械学習モデルによる部首の学習が困難であることの考察を行っている。漢字は時代と共に簡略化される傾向があり、また部首の統一的な定義方法が存在しないことなどが述べられている。 第3章では、未知単語への対応と表現のより一般化のために、部首単位での表現とそれをエンコードする CNN-RNN（リカレントニューラルネットワーク）ベースのモデルを提案している。実験により、既知および未知の文字への対応では従来の最先端の方法より優れており、未知単語に関しては最先端の技術とほぼ同等であるが、パラメータ数は大幅に減少できることを示している。 第4章では、漢字の特徴に着目した新しい CNN エンコーダを提案している。具体的には漢字における構造情報と部首の位置情報に着目した方法である。テキスト分類タスクで評価実験を行い、従来方式に比べて優れていることを示している。 第5章では、本論文において取り組んだ日本語処理における部首に着目した表現学習についてまとめ、その成果を要約すると共に、今後の展望や残された課題についても言及している。 以上要するに本研究は、日本語処理における稀あるいは未知な文字や単語への新しい対応手法を提案し、その有効性を確認したものである。したがって本研究の成果は、工学上寄与するところが少なくない。また、これらの成果は、著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要となる高度な研究能力、および豊かな学識があることを示したものである。 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 5393 号	氏 名	立木 智也
主 論 文 題 名：			
回転下固体ヘリウムの弾性に関する研究			
本論文では、回転下における固体ヘリウム(^4He)の弾性の研究について論じる。0.5 K 以下の極低温下で固体 ^4He が示す特異な弾性変化に対し、試料回転がもたらす効果を複数の実験手法を用いて測定した結果をまとめている。 固体 ^4He は量子固体と呼ばれ、結晶格子点間で原子が頻繁に位置交換を行うため、結晶でありながら超流動を示す可能性が理論的に提案されてきた。2004 年に、固体 ^4He を入れたねじれ振子共振周期が低温で減少することが発見された。これは固体超流動の実験的証拠とされ、関連した多くの研究が行われた。しかしその後、固体 ^4He の弾性が振子の共振周期と似た温度変化を示すことが発見され、ねじれ振子で観測された挙動は弾性変化に起因するという解釈が提案された。この特異な弾性変化は、^4He 中の唯一の不純物である ^3He 原子と、結晶欠陥である転位の相互作用によって起こることが解明され、現在では固体 ^4He の超流動的挙動の多くが弾性変化として解釈されている。 しかし弾性変化では説明できない実験が存在し、その解明が進めば量子固体の理解に大きく貢献すると期待される。その一つが回転下のねじれ振子実験である。この実験では、固体 ^4He が入ったねじれ振子装置全体を数 rad/s の角速度で回転させたところ、超流動量子渦の侵入を示唆する階段状の共振周期変化が観測された。この結果は当初固体超流動の証拠と考えられたが、弾性の効果を取り入れた新たな理解が必要である。 そこで本研究では、固体 ^4He の弾性に対する試料回転の効果を調べることを目的として、圧電素子を用いた回転下弾性の直接測定と、弾性の変化に敏感な二重ねじれ振子を用いた実験、および転位が存在しないと期待される多孔体中固体 ^4He のねじれ振子実験を行った。その結果、直接弾性測定および弾性敏感なねじれ振子の実験では、4rad/s までの試料回転により弾性率が減少することが明らかになった。しかしその大きさは、上述の先行研究の結果に比べ 1/3 程度に小さい。一方、バルク固体が多孔体中固体と共存する場合は、先行研究と同程度の大きな回転効果が存在することがわかった。従って本研究により、固体 ^4He の弾性は回転の影響を受けて変化するが、その大きさは固体試料の状況により異なることが初めて明らかになった。これらの回転効果の発現機構として、固体 ^4He 中の転位と相互作用する ^3He 不純物原子に対するコリオリ力の効果を考察した。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5393 号	氏 名	立木 智也
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 白濱 圭也
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 能崎 幸雄
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 山内 淳
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 神原 陽一
学士(理学)、修士(理学) 立木智也君提出の学位請求論文は、「回転下固体ヘリウムの弾性に関する研究」と題し、全9章より構成されている。 固体ヘリウム(^4He)は量子固体と呼ばれ、結晶格子点間で原子が頻繁に位置交換を行うため、結晶でありながら超流動を示す可能性が理論的に提案されてきた。2004年に、固体 ^4He を入れたねじれ振動子の共振周期が 0.2 K 以下の低温で減少することが発見され、固体超流動の実験的証拠として注目され多くの研究が行われた。その結果、周期減少は超流動に起因するものではなく、固体ヘリウムの弾性の変化により起こることが明らかになった。この弾性変化は、^4He 中の唯一の不純物である ^3He 同位体原子が量子効果で固体中を動けるため、結晶欠陥である転位に捕獲されることで起こると考えられてきた。しかし弾性変化では説明できず、固体超流動を示唆する実験結果が存在する。それらの解明が進めば量子固体の理解に大きく貢献すると期待される。 その最も重要な問題が回転下のねじれ振動子実験である。この実験では、固体 ^4He が入ったねじれ振動子全体を数 rad/s の角速度で回転させると、超流動量子渦の侵入を示唆する共振周期の大きな変化が観測された。当初この結果は固体超流動の証拠と考えられたが、弾性の効果を取り入れた新たな理解が必要である。本研究では、固体 ^4He の弾性に対する試料回転の効果を調べることを目的として、ピエゾ素子を用いた弾性の直接測定と、弾性の変化に敏感な二重ねじれ振動子を用いた実験、および転位が存在しないと期待される多孔体中固体 ^4He のねじれ振動子実験を、回転希釈冷凍機を用いて 15 mK までの極低温、4 rad/s までの回転速度で行った。 第1章は序論であり、本論文の背景、目的と結果の概要が述べられる。第2章では ^4He の基本的性質について説明し、第3章では固体 ^4He 研究の歴史を述べ、その中で本論文の位置づけを示している。第4章では本研究の背景、動機に結びつく固体 ^4He の先行研究の解釈について述べている。 第5章は本研究で行った固体 ^4He の弾性率測定結果であり、円環状の固体試料に対する弾性率測定装置の開発と、回転希釈冷凍機を用いた静止下および回転下での弾性率の測定結果が述べられる。4 rad/s までの回転により、弾性率(シアモデュラス)は 70 mK 以下の温度域で約 15%減少することが明らかになった。第6章では、弾性変化が共振周期に大きく影響する二重ねじれ振動子の開発と、これを用いた実験結果について述べている。この弾性に敏感な振動子の実験でも、試料回転により弾性率が減少することが明らかになった。しかし第5章の直接弾性測定の結果と異なり、弾性減少が起こる温度域は 100 mK 以上の高温域であった。またいずれの結果においても、減少の大きさは先行研究の結果に比べ 1/3 程度に小さい。一方、第7章で述べているバルク固体が多孔体中固体と共存する場合は、先行研究と同程度の大きな回転効果が存在することがわかった。以上の結果より、固体 ^4He の弾性は回転の影響を受けて変化するが、その大きさは固体試料の状況により異なることが初めて明らかになった。第8章ではこれらの回転効果の発現機構の一つとして、固体 ^4He 中の転位ネットワークと相互作用する ^3He 不純物原子に対するコリオリ力の効果を考察した。第9章では結論として、本研究の成果がまとめられている。 以上、本論文は、固体ヘリウムの弾性という基本的な物理量に対し、回転効果の存在を初めて明確に示した。さらに回転効果の機構として、固体 ^4He 中の転位に捕獲される ^3He 不純物に対し回転で誘起される見かけの力の効果を提案した。本研究は、量子固体の不純物と欠陥が新しい物理現象をもたらすことを示した点で、物性物理学、低温物理学の関連分野で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 5394 号	氏 名	定光 勇太
主 論 文 題 名：			
銀触媒および有機塩基を用いる二酸化炭素固定化反応の開発と精密有機合成への適用			
本論文では、有用化合物合成を指向する温和な反応条件下における二酸化炭素固定化反応の開発について、3章12節構成で述べている。 第1章では、銀触媒を用いる共役イノン誘導体に対する二酸化炭素固定化反応とテトロン酸誘導体合成への適用について述べた。すなわち、触媒量の銀塩と適切な有機塩基の存在下で二酸化炭素と共役イノンを反応させると、共役イノンから生じたエノラートが二酸化炭素に求核付加しカルボキシラートが生成、引き続き銀触媒で活性化されたアルキンへの環化反応により、対応する5員環ラクトン誘導体が得られる。これはテトロン酸と呼ばれ、様々な生理活性物質に見られる有用な分子骨格である。2 MPa の二酸化炭素雰囲気下、ジクロロメタン溶媒中 25 °C で、共役イノン誘導体に対し触媒量の酢酸銀と MTBD (7-メチル-1,5,7-トリアザビシクロ[4.4.0]デカ-5-エン)を作用させると、対応するテトロン酸誘導体が高収率で得られることを見出した。本反応は、種々の共役イノンから対応する様々なテトロン酸が高収率で得られる。さらに、この反応を <i>Aspulvinone</i> E 合成の短工程化に適用した。 第2章では、銀触媒を用いる二酸化炭素固定化を経由するアミノビニルオキサゾリジノン合成反応について述べた。オキサゾリジノンは医薬品などに見られる重要な分子骨格である。筆者は、プロパルギルアミンに対する銀触媒二酸化炭素固定化反応において生じるビニル銀中間体に対して求電子的アミノ化剤を作用させれば、対応するアミノビニルオキサゾリジノンが得られると考えた。実際に、プロパルギルアミン誘導体に対して、常圧の二酸化炭素雰囲気下、アセトニトリル溶媒中 -40 °C で、触媒量の酢酸銀と有機塩基である DBU (1,8-ジアザビシクロ[5.4.0]-7-ウンデセン)、および求電子的アミノ化剤としてアゾジカルボン酸エステルを添加すると、二酸化炭素固定化反応とビニル銀のアミノ化反応が進行し、対応するアミノビニルオキサゾリジノン誘導体が高収率で得られることを見出した。本反応で得られるアミノビニルオキサゾリジノンの <i>exo</i>-オレフィンの幾何配置は、ビニル銀中間体から予想される幾何配置と逆であった。そこで、反応機構について種々の検討を行ったところ、本反応におけるビニル銀のアミノ化反応はラジカル機構によって進行している可能性を示した。 第3章では、レゾルシノール類に対する温和な反応条件下における Kolbe-Schmitt 型反応について述べた。当初は銀触媒反応を設計したが予備的検討の結果、銀触媒によるアルキンの活性化は不要であることが明らかとなった。そこで、レゾルシノールに対して 2 MPa の二酸化炭素雰囲気下、アセトニトリル溶媒中 30 °C で有機塩基である DBU を作用させると、Kolbe-Schmitt 型の反応が進行し、対応するサリチル酸誘導体が高収率で得られることが明らかとなった。レゾルシノール類から得られるサリチル酸誘導体は、様々な生理活性物質の骨格に含まれている重要な骨格である。本反応では、いずれのレゾルシノール誘導体からも4位ないし2位がカルボキシル化したサリチル酸誘導体が高収率で得られることを見出した。NMR や計算化学的手法による解析の結果、本反応では、DBU の添加によってレゾルシノールから発生するジアニオンが反応活性種として作用しており、カルボキシル化の位置選択性はジアニオンの HOMO の電子密度を反映していることを明らかにした。また、常温・常圧二酸化炭素も適用できること、グラムスケールの実施も可能であることを示した。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5394 号	氏 名	定光 勇太
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	博士（工学） 高尾 賢一
		慶應義塾大学教授	工学博士 戸嶋 一敦
学士（理学）、修士（理学）定光 勇太 君の学位請求論文は、「銀触媒および有機塩基を用いる二酸化炭素固定化反応の開発と精密有機合成への適用」と題し、序論と 3 章 12 節から構成されている。 第 1 章では、銀触媒を用いる共役イノン誘導体に対する二酸化炭素固定化反応とテトロン酸誘導体合成への適用について述べている。すなわち、触媒量の銀塩と適切な有機塩基の存在下で二酸化炭素と共役イノンを反応させると、共役イノンから生じたエノラートが二酸化炭素に求核付加しカルボキシラートが生成、引き続き銀触媒で活性化されたアルキンへの環化反応により、対応する 5 員環ラクトン誘導体を得られる。これはテトロン酸と呼ばれ、様々な生理活性物質に見られる有用な分子骨格である。二酸化炭素加圧下、ジクロロメタン溶媒中 25℃で、共役イノン誘導体に対し触媒量の酢酸銀と MTBD（7-メチル-1, 5, 7-トリアザビシクロ[4. 4. 0]デカ-5-エン）を作用させると、対応するテトロン酸誘導体が高収率で得られることを見出した。本反応により、種々の共役イノンから対応する様々なテトロン酸が高収率で得られる。さらに、この反応を <i>Aspulvinone</i> E 合成の短工程化に適用した。 第 2 章では、銀触媒を用いる二酸化炭素固定化を経由するアミノビニルオキサゾリジノン合成反応について述べている。オキサゾリジノンは医薬品などに見られる重要な分子骨格である。筆者は、プロパルギルアミンに対する銀触媒二酸化炭素固定化反応において生じるビニル銀中間体に対して求電子的アミノ化剤を作用させれば、対応するアミノビニルオキサゾリジノンが得られると考えた。実際に、プロパルギルアミン誘導体に対して、常圧の二酸化炭素雰囲気下、アセトニトリル溶媒中 -40℃で、触媒量の酢酸銀と有機塩基である DBU（1, 8-ジアザビシクロ[5. 4. 0]ウンデカ-7-エン）、および求電子的アミノ化剤としてアゾジカルボン酸エステルを作用させると、二酸化炭素固定化反応に引き続いてビニル銀中間体のアミノ化反応が進行し、対応するアミノビニルオキサゾリジノン誘導体が高収率で得られることを見出した。本反応で得られるアミノビニルオキサゾリジノンの <i>exo</i>-オレフィンの幾何配置は、ビニル銀中間体から予想される幾何配置と逆であった。そこで、反応機構について種々の検討を行うことで、本反応におけるビニル銀のアミノ化反応はラジカル機構によって進行していることが示唆された。 第 3 章では、レゾルシノール類に対する温和な反応条件下における Kolbe-Schmitt 型反応について述べている。当初の設計は銀触媒反応であったが予備検討の結果、銀触媒によるアルキンの活性化は不要であることが明らかとなった。そこで、レゾルシノールに対し二酸化炭素加圧条件下、アセトニトリル溶媒中 30℃で DBU を作用させると、Kolbe-Schmitt 型の反応が進行し、対応するサリチル酸誘導体が高収率で得られることを明らかにした。レゾルシノール類から得られるサリチル酸誘導体は、様々な生理活性物質に含まれている重要な骨格である。本反応では、いずれのレゾルシノール誘導体からも 2 位ないし 4 位がカルボキシル化したサリチル酸誘導体が高収率で得られることを見出した。NMR や計算化学的手法による解析の結果、本反応では、DBU の添加によってレゾルシノールから発生するジアニオンが反応活性種として作用しており、カルボキシル化の位置選択性はジアニオンの HOMO の電子密度を反映していることを明らかにした。また、常温・常圧二酸化炭素も適用できること、グラムスケールの実施も可能であることを示した。 本研究成果は、二酸化炭素の合成資源利用に大きな可能性を示し、有機合成化学への応用上の価値も高い。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 5395 号	氏 名	杉浦 健太
主 論 文 題 名：			
有性生殖クマムシの進化的背景解明に向けた生殖行動と配偶子形態観察			
次世代を産生するプロセスである生殖において、有性生殖は遺伝情報の混合を伴う。有性生殖では遺伝的多様性を獲得できるものの、特に雌雄異体生物ではパートナーを探し交尾を行う必要がある。雌雄異体のクマムシでは 2016 年に初めて交尾動画が撮影、報告されたが、当該研究はメスが自らの脱皮殻に産卵する種を用いて行われており、環境中に自由産卵するクマムシでの交尾行動は未解明であった。そこで本研究では有性生殖を行う自由産卵クマムシを用いて交尾行動を詳細に記載し、受精に至るまでの配偶子の動態を調べた。加えて用いたクマムシ <i>Macrobiotus shonaicus</i> の生息域を明らかにし、その生態を網羅的に明らかにすることを目的とした。 第 1 章では本研究の背景となる、生殖と遺伝的多様性のトレードオフに関する知見をまとめた。またクマムシに関する全般的な知見を述べた。 第 2 章では有性生殖を行うクマムシ、<i>Paramacrobiotus</i> sp. と <i>M. shonaicus</i> を用いて交尾行動の詳細な記載を行なった。両種ともオスがメスを追尾した後、射精に至ることを明らかにした。射精された精子は水中を遊泳した後メス体内へ入り、貯精嚢に蓄えられていた。交尾後数分から数時間後に産卵に至ったが、産卵直後における核染色では雌雄配偶子の融合が起きておらず、受精は体外で完了することを示唆した。また、雌雄比と求愛行動に種差があることを見出した。前者からはクマムシは性染色体に依存しない性決定様式を採用していること、後者からは交尾行動の多様性があることを示唆した。 第 3 章では全国でクマムシを採取、DNA マーカー、形態比較、加えて交尾行動の有無によって、<i>M. shonaicus</i> が北海道、沖縄を除く 9 地点に生息することを明らかにした。特に卵の形態比較では、ハプロタイプ間で多様性が生じていることを明らかにした。 第 4 章では <i>Paramacrobiotus</i> sp. と <i>M. shonaicus</i> を用いて配偶子形態を観察した。精子の形態比較では <i>Paramacrobiotus</i> sp. の先体が極めて長いことを明らかにした。メスの貯精嚢内では、蓄えられた精子の尾部が極端に短縮されていることを明らかにし、その現象が進化的に保存されていることを示唆した。産卵直後では先体の先端が卵殻内部へ没入しており、クマムシにおける雌雄配偶子の接触の撮影に初めて成功した。 以上の研究を総括し、第 5 章で結論と今後の展望を述べた。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5395 号	氏 名	杉浦 健太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	医学博士 松本 緑
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 清水 史郎
		慶應義塾大学教授	博士（地球環境科学） 土居 信英
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 堀田 耕司
学士（理学）、修士（理学）杉浦健太君提出の博士学位論文は、「有性生殖クマムシの進化的背景解明に向けた生殖行動と配偶子形態観察」と題し、5章より成っている。 次世代を産生するプロセスである生殖において、有性生殖は遺伝情報の混合を伴う。有性生殖では遺伝的多様性を獲得できるものの、特に雌雄異体生物ではパートナーを探し交尾を行う必要がある。雌雄異体のクマムシの交尾行動は、脱皮殻に産卵する種を用いて交尾動画が撮影、報告されたが、環境中に自由産卵するクマムシでの交尾行動は未解明であった。本研究では有性生殖を行う自由産卵クマムシを用いて交尾行動を詳細に記載し、受精に至るまでの配偶子の動態を調べた。加えて自由産卵クマムシの1種 <i>Macrobiotus shonaicus</i> の日本国内の生息域を調べ、その生態を網羅的に明らかにすることからクマムシの有性生殖システムを包括的に解明することで、クマムシの種の繁栄と進化的背景に迫る基盤を構築することを目的としている。 第1章では本研究の背景となる、生殖のもたらす進化への影響に関する知見とクマムシに関する全般的な知見を述べたのち、最後に本論文の目的と構成について説明している。 第2章では有性生殖を行うクマムシ、<i>Paramacrobiotus</i> sp.と <i>M. shonaicus</i> を用いて交尾行動を詳細に記載し、両種ともオスがメスを追尾した後、射精に至ることを明らかにしている。射精された精子は水中を遊泳した後メス体内へ入り、貯精嚢に蓄えられていた。交尾後数分から数時間後に産卵に至ったが、産卵直後における核染色では雌雄配偶子の融合が起きておらず、受精は体外で完了することを示唆している。また、雌雄比と求愛行動に種差があることを見出し、前者はクマムシが性染色体に依存しない性決定様式を採用していること、後者は交尾行動に多様性があることを示唆している。 第3章では日本各地でクマムシを採取、DNA マーカー、形態比較、加えて交尾行動の有無によって、<i>M. shonaicus</i> が北海道、沖縄を除く9地点に生息することを明らかにし、特に卵の形態比較では、ハプロタイプ間で多様性が生じていることを示している。 第4章では <i>Paramacrobiotus</i> sp.と <i>M. shonaicus</i> を用いて配偶子形態を観察した。精子の形態比較では <i>Paramacrobiotus</i> sp.の先体が極めて長いことを明らかにしている。メスの貯精嚢内では、蓄えられた精子の尾部が極端に短縮されていることを明らかにし、その現象が進化的に保存されていることを示唆している。産卵直後では先体の先端が卵殻内部へ没入しており、クマムシにおける雌雄配偶子の接触の撮影に初めて成功している。 第5章では、結論と今後の展望を述べている。 以上、本論文では有性生殖クマムシの生殖行動と配偶子形態の観察より、発生進化学研究の基盤形成のための重要な知見を得ることができた。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 5396 号	氏 名	金井 関利
主 論 文 題 名：			
離散分布に従う系列データの高精度かつ安定な学習のための Recurrent Neural Network の研究			
計算機の発展と大規模なデータの流通を背景として、深層学習は画像認識や機械翻訳などで高い精度を達成している。深層学習とは、線形変換と活性化関数と呼ばれる非線形関数を複数回行う数理モデルであり、自然言語処理や音声認識、センサデータといった時系列データで用いられるモデルは recurrent neural network (RNN) である。またクラス分類や言語処理などの離散の分布のモデリングには softmax と呼ばれる出力の関数が用いられる。深層学習はモデルの特性がわからないブラックボックスなモデルであり、そのため高精度なモデルの学習を成功させるには、複数のハイパーパラメータを試行錯誤的に調整し、長時間かかる学習を行わなければならない。 本研究では、まず RNN の中で高性能なモデルの一つである gated recurrent unit (GRU) について、そのモデルの特性を解析し、GRU の状態が安定となる条件を求める。これにより、学習中に出力が発散することのない安定した学習方法を提案する。次に、出力に使用する softmax の表現能力を解析し、自然言語のようなとりうる値の数の多い離散分布をモデリングするための必要条件を求める。この解析から softmax よりも表現力の高い出力関数を提案する。 第 1 章では、本研究の背景と目的を述べる。 第 2 章では、深層学習の基礎として、RNN とその学習の難しさ、離散分布をモデリングする際の基本について述べる。 第 3 章では GRU の状態が安定となるパラメータの条件を求め、これを制約して学習する方法を提案し、実験によって評価する。 第 4 章では、softmax の対数である log-softmax の値域を解析し、その他の出力関数の候補についてその特性を調査する。そして新たな出力関数として sigsoftmax を提案し、実験によってこれらの出力関数の精度を評価する。 第 5 章では、結論として各章の内容をまとめ本研究の成果を要約するとともに、本研究の今後の発展性を議論する。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5396 号	氏 名	金井 関利
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 足立 修一
	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） 湯川 正裕
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 小林 景
学士（工学）、修士（工学）金井関利君提出の学位請求論文は、「離散分布に従う系列データの高精度かつ安定な学習のための Recurrent Neural Network の研究」と題し、全 5 章から構成されている。 深層学習（deep learning）は、人工知能の分野で近年活発に研究されており、画像認識や機械翻訳などで高精度な性能を達成している。この深層学習のモデルの中で、自然言語処理やセンサデータなどといった系列データで用いられるモデルは Recurrent Neural Network (RNN) と呼ばれている。また、クラス分類や言語処理などの離散分布のモデリングには softmax と呼ばれる出力関数が用いられる。このような深層学習はブラックボックスモデルであるため、高精度な学習を成功させるためには、多数のパラメータを試行錯誤的に調整する必要がある。 本論文では、まず RNN の中で高性能なモデルである Gated Recurrent Unit (GRU) を解析し、GRU の状態が安定となる条件を求めている。これを用いて、出力が発散しない安定な学習方法を提案している。つぎに、softmax 関数の表現能力を解析し、自然言語のような、とりうる値の数が多い離散分布をモデリングするための必要条件を求めている。このように、本論文では、離散分布に従う系列データを用いて RNN を、高精度かつ安定に学習する方法を提案することを目的としている。 第 1 章では、本論文の研究の目的を述べている。 第 2 章では、本論文の基礎になる深層学習をまとめ、RNN とその学習の難しさ、離散分布に従う系列データでモデリングをするときの従来研究について述べている。 第 3 章では、GRU に着目し、この GRU の状態が安定となるようなパラメータの条件を求め、これを制約条件とする学習方法を提案している。さらに、その計算コストの低減化法を提案し、これらを数値実験によって評価している。 第 4 章では、離散分布のモデリングを対象として、出力関数として用いられる softmax 関数について考察している。本論文では、softmax の対数をとった log-softmax の値域を解析し、その出力関数の候補の性質を調べている。そして、新たな出力関数として sig-softmax を提案し、この出力関数の有効性を数値実験によって評価している。 第 5 章は本論文のまとめである。 以上要するに、本研究の成果は、離散分布に従う系列データを用いて Recurrent Neural Network を、高精度かつ安定に学習する方法を提案したことである。主要成果は理論的な結果であるが、今後、離散分布に従う実際の系列データに適用され、実用面においても大きな貢献をすることが期待できる。 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 5397 号	氏 名	平川 義之輔
主 論 文 題 名： Uniform construction of non-singular ternary and quaternary homogeneous forms violating the local-global principle (局所大域原理を満たさない 3 変数及び 4 変数の非特異斉次形式の一様な構成)			
整数論において、代数多様体上の有理点は、Diophantus の時代から多くの研究者により研究されてきた。特に、与えられた代数多様体が有理点を持つか否かを決定することは重要な問題である。局所点を持たない代数多様体が有理点を持たないことは明らかであるが、局所点を持つ代数多様体が有理点を持つか否かを決定することは極めて深い問題である。実際、局所点を持つが有理点を持たない、即ち局所大域原理が成り立たない代数多様体が存在し、これまでに多くの散発的な具体例が知られている。本学位論文において、申請者は、局所大域原理が成り立たない代数多様体の具体例を構成する方法として、次数に関する一様な構成を 2 種類与える。 第 1 部では、次数 n に関する緩い仮定の下で、局所大域原理が成り立たない非特異 n 次曲線族 ($n = 2r+3 > 3$) を構成する。実際には、申請者は、任意の奇数 $n > 3$ に対して上記構成が具体例を与えるであろうという予想を定式化した上で、少なくとも（高さで並べた際の）90%以上の奇数 n に対しては具体例を構成できることを証明した。また、各 n に対して、上記構成は、互いに幾何的に同型でない代数曲線の無限族を与えている。これは、藤原 (1972) による 5 次曲線の一般化を与える。 この第 1 部の内容は、清水洋介氏との共同研究に基づいており、申請者は本研究における定理群の定式化及びそれらの証明の細部に至るまで、大部分を担当した。 第 2 部では、各 $3 \bmod 4$ 型素数 $p > 3$ に対して、局所点を持つが有理点を持たない非特異 n 次曲面族 ($n = (p-1)/2$) を構成する。これは、Swinerton-Dyer (1962) による 3 次曲面の一般化を与える。実際には、算術級数 $1+nr$ ($r > 0$) が十分小さな素数 p を含むという仮定の下で、一般の次数 $n > 3$ に対しても、局所大域原理が成り立たない n 次曲面族 ($n = (p-1)/2$) であって n 次 Abel 体に付随するものを構成する。 局所大域原理の反例の構成に関しては膨大な先行研究があるものの、本論文の研究成果以前には、局所大域原理が成り立たない非特異 n 次曲線或いは非特異 n 次曲面の具体例の一様な構成方法は知られていなかった。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5397 号	氏 名	平川 義之輔
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（数理科学） 坂内 健一
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 栗原 将人
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 井関 裕靖
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 田中 孝明
学士（理学）、修士（理学）平川義之輔君提出の学位請求論文は、「Uniform construction of non-singular ternary and quaternary homogeneous forms violating the local-global principle（局所大域原理を満たさない3変数及び4変数の非特異斉次形式の様な構成）」と題し、全5部23章（その内、付録2部5章）からなる。 代数方程式の有理数解の存在は、古代ギリシア時代より重要な問題として研究されてきた。代数方程式が1つ1つの素点に対して定義される局所体に解を持ちながらも、大域的な有理数での解を持たないときに、局所大域原理の反例と呼ばれ、整数論的に重要な現象として認識されている。この有理数解の問題は、現代では、有理数体上定義される代数多様体の有理点問題として解釈される。当初は様々な反例が散発的に構成されて来た中、Nguyen（2011）により、$n \geq 2$となる偶数に対して、局所大域原理の反例を与えるn次曲線が無数に構成された。本論文では、曲線と曲面という2つの基本的な場合において、ほとんどの次数nについて、局所大域原理の反例となる無限族の様な構成を与えている。 論文の第0部は序論であり第1章で局所大域原理の説明、第2章と第3章で、曲線と曲面のそれぞれの場合について、先行研究と主結果が述べられている。本論文の第1部は曲線の場合であり、前半で次数nが奇数の場合、後半で偶数の場合が扱われている。証明の方針は、Fujiwara（1972）により研究されたある5次曲線の局所大域原理の反例の証明を公理化して、Heath-BrownとMoroz（2002, 2004）の解析数論の結果の帰結として得られるある種の素数の無限性と巧みに組み合わせることで、反例の構成を一般次数に拡張するというものである。第4章と第9章で奇数次・偶数次それぞれの主結果が紹介された後、第5章と第6章および第10章で、候補となる曲線の局所点の存在と、ある種の素数の存在から大域的な有理点の非存在が証明され、第7章と第11章で奇数次・偶数次の場合に実際の主結果が証明されている。第8章と第12章では、この構成方法によって得られる曲線が、特定の次数について具体的に例示されている。第2部では曲面の場合が扱われている。証明の基本方針は、Swinnerton-Dyer（1962）によって研究された円分体由来する3次曲面に着目し、この場合の手法を用いて、一般次数の反例を構成する、というものである。第13章で主結果が述べられ、第14章で曲面の特異点について調べられている。第15章で局所解の存在、第16章で技術的な仮定のもと、大域解の非存在が証明されている。第17章で、前章の技術的な仮定を、ある種の素数の大きさの評価に帰着することで、2つ目の主結果が得られている。第18章では4次と5次の場合を例として、反例となる曲面の具体的構成が与えられている。付録A、第19章から第22章までで、代数的整数論の基本的事実がまとめられ、本論文で利用するある種の体の整数論的性質が調べられている。最後の付録B第23章では、最初の主結果にまつわる予想について、数値計算が与えられている。 本論文で著者は、局所大域原理の反例となる代数多様体を、曲線と曲面という非常に基本的な場合に対して様な方法で、ほとんどの次数について反例をいくらかでも具体的に構成できるアルゴリズムを新たに生み出している。これらの中には、著者による特筆すべき独創的なアイデア、技術的な工夫が多数含まれている。これらの成果は、国際研究集会でも発表され、当該分野の専門家にも高く評価されている。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 5398 号	氏 名	片桐 渉
主 論 文 題 名： Development of optical platforms for elucidating the intracellular molecular mechanisms and immune cell dynamics induced by multispectral near infrared laser (マルチスペクトル近赤外レーザ光に対する細胞内分子反応と免疫細胞応答を解明する光学プラットフォームの開発)			
ワクチン接種において副作用低減と免疫活性化の効果が期待されるレーザアジュバント法が注目されている。本研究では、短時間かつ低レベルの近赤外レーザ光照射によって免疫が活性化されるメカニズムを解明するために、新たな光学プラットフォームを構築し、その有効性を実証することを目的とした。そのために、抗原提示細胞の遊走を生体内において経時的、非侵襲的に可視化解析する方法論と、細胞培養系でレーザ光が誘導する細胞内シグナルをリアルタイムに観測する方法論を、それぞれ光学の新規手法を用いて提案した。 直径 20 nm, 100 nm のシリコンナノ粒子に抗原となるオブアルブミンを結合させ、さらに波長 754 nm 付近に蛍光ピークを持つ双性イオン近赤外蛍光分子で標識することにより、非侵襲的にワクチンの生体内蛍光観察を実現する蛍光ナノ粒子を作製した。近赤外イメージングシステムを用いて、リンパ節におけるワクチン分子の濃度を蛍光輝度から測定した。加えてフローサイトメトリーによる解析結果と比較することで、本法の妥当性と優位性を実証した。次に、光受容体を明らかにするために、細胞内たんぱく質のシトクロム C オキシターゼの吸収スペクトルを、密度汎関数理論を用いて計算した。その結果、一酸化窒素が結合したシトクロム C オキシターゼの遷移金属原子付近で、近赤外領域の 961 nm と 1319 nm に吸収極大が存在することが示唆された。更に、1064 nm と 1270 nm の 2 波長のレーザを同時に照射し、細胞内分子の挙動をリアルタイムで観察する実験系を考案した。2 つのビームそれぞれに直交する軸方向に照射パワーの勾配を付与して培養 T 細胞に照射し、細胞内活性酸素種とカルシウムイオン濃度の変化が最も顕著となる照射条件を探索した。結果、放射照度 300 mW/cm² の 1064 nm と 50 mW/cm² の 1270 nm の組み合わせが、細胞内シグナル伝達物質の集積を抑制することを明らかにした。 以上、本研究では免疫細胞の近赤外レーザ光に対する挙動を観測する二つの光学的手法を開発した。本論文の構成は以下の通りである。 第 1 章では、本研究の背景と目的を述べる。第 2 章では、生体における基本的な免疫応答を解説し、近赤外レーザによる免疫賦活作用の概要と、これまで解明されたその作用機序を記述する。また、双性イオン近赤外蛍光分子の特性とこれまでの研究成果、また本研究で用いた近赤外イメージングシステムについて記述する。第 3 章では、シリコンナノ粒子と抗原、双性イオン近赤外蛍光分子を結合した蛍光ナノ粒子を用い、マウス動物モデルで非侵襲的に皮内投与型ワクチンの挙動を観察する系を提案する。リンパ節の組織学的手法とフローサイトメトリー解析を行い、新規手法の妥当性を実証する。第 4 章では、これまでの研究で光受容体と考えられてきたシトクロム C オキシダーゼについて、密度汎関数理論を用いて分子のエネルギー準位と吸光スペクトルについて議論する。第 5 章では、培養細胞に 2 波長の近赤外レーザ光を、強度に勾配を与えて照射する新手法を提案する。実験で判明した放射照度依存的な細胞内分子の挙動について考察する。第 6 章では、結論としてこれまでの結果を要約し、今後の発展性を言及する。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5398 号	氏 名	片 桐 渉
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）・博士（医学） 塚田 孝祐
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 田中 敏幸
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 内山 孝憲
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 寺川 光洋
学士（工学）、修士（工学）、Master of Science in Engineering、片桐 渉君の学位請求論文は、 「Development of optical platforms for elucidating the intracellular molecular mechanisms and immune cell dynamics induced by multispectral near infrared laser（マルチスペクトル近赤外レーザ光に対する細胞内分子反応と免疫細胞応答を解明する光学プラットフォームの開発）」と題し、全 6 章で構成されている。 レーザアジュバント法は、ワクチンに含まれる化学・生物由来のアジュバント（免疫賦活剤）を短時間かつ低レベルの近赤外レーザ光照射によって代替することで、ワクチン接種に伴う副作用の低減と免疫活性効果を同時に実現する新たな技術として期待されている。本研究では、免疫が活性化される詳細なメカニズムを解明するために、新たな光学プラットフォームを構築し、その有効性を実証することを目的とした。まず、双性イオン近赤外蛍光分子を用いて抗原提示細胞の遊走を生体内において経時的、非侵襲的に可視化解析する方法を確立した。さらに、細胞培養系でレーザ光が誘導する細胞内シグナル動態をリアルタイムに観測する方法を確立した。 第 1 章は序論であり、ワクチン接種における新たな免疫活性化法であるレーザアジュバント法について概説した。また、同法の問題点および解決法の提案について述べている。 第 2 章では、生体における基本的な免疫応答を解説し、近赤外レーザによる免疫賦活作用の概要と、双性イオン近赤外蛍光分子の特性および近赤外イメージングシステムについて述べている。 第 3 章では、直径 20 nm, 100 nm のシリコンナノ粒子に抗原となるオブアルブミンを結合させ、さらに波長 754 nm 付近に蛍光ピークを持つ双性イオン近赤外蛍光分子で標識し、マウスに皮下投与されたワクチン分子が粒子サイズ依存的に鼠径リンパ節へ流入する動態を非侵襲的に捉えることに成功している。また、体内局在解析およびリンパ節に存在する蛍光ナノ粒子のフローサイトメトリー解析から、新規手法の妥当性および優位性を実証している。 第 4 章では、先行研究で光受容体の候補とされてきたシトクロム C オキシダーゼに着目し、密度汎関数理論を用いて分子のエネルギー準位を計算から求めている。その結果、一酸化窒素が結合したシトクロム C オキシダーゼの遷移金属原子付近において、961 nm, 1319 nm および 1372 nm に吸収極大が存在することを示した。これは近赤外光がシトクロム C オキシダーゼに吸収され、一酸化窒素が乖離する現象が免疫賦活機構のトリガーになり得ることを示唆している。 第 5 章では、免疫賦活機構における近赤外光照射条件およびレーザ照射による細胞挙動を明らかにするために、1064 nm と 1270 nm の 2 波長のレーザ光を互いに直交する軸方向に照射パワーの勾配を付与して照射する新たな実験プラットフォームについて述べている。培養 T 細胞を用いた実験から、放射照度 300 mW/cm² の 1064 nm と 50 mW/cm² の 1270 nm の組み合わせが細胞内活性酸素種とカルシウムイオン濃度を有意に低下させることを明らかにしている。 第 6 章では、結論として本研究の成果がまとめられており、今後の発展性について述べている。 以上、本論文の成果は、レーザアジュバント法の確立を目的として、近赤外蛍光モデルワクチン分子を用いてワクチン分子と抗原提示細胞の挙動を蛍光画像解析により非侵襲的、定量的に解析する方法、および 2 波長同時レーザ照射装置を用いて免疫賦活に適したレーザ照射条件を決定する方法を独自に考案し、それぞれの有効性を理論と実験から実証したものである。以上の研究成果は、感染症に対する新規医療技術の確立において工学上、工業上、また医療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.5399	Name	Sohail, Ahsan
Thesis Title			
Equalization Schemes for Distortion Caused in Propagation Medium			
Wireless communication is by far the swiftly developing area of the communication engineering industry. Signal propagation in wireless communication largely depends on the characteristics of propagation medium and propagation environments. In electrical magnetic wave propagation, the received signal attenuates due to absorption by interfering objects when it passes through obstacles like glass, wood, concrete and metal surfaces. On the other hand, in molecular communications (MCs) the characteristics of a diffusion channel play an important role in propagating the data molecules. Some of these molecules hit the receiver while few remain in the medium which may reach later or lost. Inter-symbol interference (ISI) is a major problem that is caused by diffusion. The objective of this thesis is to study the effect of materials on signal propagation in radio communication as well as in MC and proposes solutions for suppressing distortions caused in the propagation medium and the propagation environments. The chapter one introduces the visualization of wireless communication systems and technical issues related to it including Molecular Communication (MC). Different types and potential application areas of wireless communications are explained. The characteristics of a channel and issues faced in radio and MC environment are explained. In the preceding sections the types of equalizers have been discussed. The research motivation, research objectives and contribution of this thesis is discussed at the end of this chapter. The chapter two introduces indoor propagation of Wireless LAN across different materials. The first section introduces the WLAN while WLAN standards are discussed in the second section. Understanding of propagation radio signals is necessary for coming up with appropriate design, deployment, and management strategies for wireless local area networks. For that reason, the effect of materials on WLAN has been discussed in the fourth section. In the preceding sections the performance of Wi-Fi signal strength between practical measurements and theoretical model are analysed. The chapter three introduces the implementation of frequency domain equalization at the receiver side in the MC systems. The first section introduces the inter symbol interference (ISI) cancelation. The second section introduces the types of MC receiver. The third section illustrates the system design while fourth discusses the proposed technique. At the end the simulation results are presented with the discussion over them. The chapter four introduces frequency domain precoding at the transmitter side of MC system. The second section describes the RC equivalent circuit of MC transmitter while third section illustrates the zero-forcing precoding. The implementation of threshold and approximation of equalized signal have been discussed in section four. In the preceding sections the performance of approximated signal with the conventional approach are analysed. The chapter five summarizes the results of each chapter and presents the overall conclusion of this dissertation.			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5399 号	氏 名	Sohail, Ahsan
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 眞田 幸俊			
副査 慶應義塾大学教授 博士（工学），TeknD 深淵 康二			
慶應義塾大学教授 工学博士 池原 雅章			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 久保 亮吾			
学士（工学），修士（工学）SOHAIL Ahsan 君提出の学位請求論文は「Equalization Schemes for Distortion Caused in Propagation Medium」（伝送媒体で発生するひずみに対する等化方式）と題し，5章から構成されている。 通信の信号伝送媒体では，その媒体の特性により，伝送する信号にひずみが生じる．無線通信路においては草，木，コンクリートや金属などの障害物の材質により伝搬特性が異なる．また分子通信においても分子を伝送する流体の特性により伝送遅延が大きく分散し，遅延した信号波形が干渉を引き起こす．そこで本研究ではこれらのひずみを補正するための等化方式について，送信側および受信側における処理方式を検討している．伝送ひずみの等化方式には時間領域等化および周波数領域等化があるが，本研究では特に周波数領域等化に焦点を当てている． 第1章は序論であり，無線通信システムおよび分子通信システムの基礎ならびにその通信路について説明している．また通信路で発生するひずみに対する等化方式を概観し，本研究の目的をこの章の最後に述べている． 第2章は屋内無線ローカルエリアネットワークにおける伝搬モデルを異なる障害物に対して提案している．たとえば障害物がガラスや木製の壁の場合に，レンガに比べて約 10dB 伝搬損失が小さい．本章ではさらに提案モデルと実際の測定結果との整合性を評価し，提案モデルの有効性を示している． 第3章は分子通信における伝送ひずみを受信側で周波数領域等化する方式を提案している．特に分子通信の伝送路特有の低域通過特性をモデル化している．低域通過特性のため，分子通信では伝送媒体である分子がシンボル長以上の遅延の広がりをもって受信側のセンサに到達する．そのため連続するシンボル間で干渉が発生する．そこで本章の後半では周波数領域等化を適用する際に，伝搬応答の小さい周波数成分の等化係数を 0 にし，等化による雑音成分の強調を抑制する．この結果，提案型等化方式を用いることにより，従来型等化方式よりもビット当たりのエネルギーと雑音電力スペクトル密度の比で約 10dB 特性を改善している． 第4章は分子通信における伝送ひずみを送信側で周波数領域等化する方式を提案している．分子通信の一部の送信機では，送信波形を RC 回路出力でモデル化することができる．したがって送信信号は矩形に近い波形に制限される．提案方式ではこのような制限の下で周波数領域等化を適用する．提案方式は伝搬応答の小さい周波数成分の等化係数を 0 にし生成した送信波形を，時間領域において主たる信号波形部分のみ矩形波に近似し送信する．この方式により矩形近似を適用しない場合の特性とほぼ同等の特性を実現している． 第5章は結論として各章の内容をまとめ，本研究の成果を要約している． 以上要するに，本研究は伝送媒体で発生するひずみに対する等化方式を提案したものであり，無線通信および分子通信を含む通信工学分野において工学上，工業上寄与するところが少なくない． よって，本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める．			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5400 号	氏 名	伊藤 暢彦
主 論 文 題 名： Network Resource Management for Delay-Sensitive Applications in Mobile Networks (モバイルネットワークにおける遅延センシティブアプリケーションのための ネットワーク資源管理)			
モバイルネットワーク技術の進展に伴い、遠隔制御等の遅延センシティブアプリケーションの需要が高まっている。遅延センシティブアプリケーションでは、規定された許容遅延時間内に必要な情報を対象デバイスに到達させることが求められる。許容遅延時間を考慮したネットワーク資源管理手法はこれまでも提案されているが、従来手法では無線品質変動等によりシステムスループットが低下し、許容遅延時間内到達率が低下するという課題があった。そこで本研究では、許容遅延時間に加えてアプリケーション情報やネットワーク情報を考慮することで、無線品質変動等が存在した場合でも規定の許容遅延時間内到達率を満足させることのできるネットワーク資源管理法を提案することを目的とした。 第 1 章に、本研究の背景と目的を概説した。 第 2 章では、本研究の対象となるモバイルネットワークアーキテクチャを示し、従来のネットワーク資源管理法として、優先度を用いたスケジューリング技術および MBR (Maximum Bit Rate) 制御を用いた帯域割当技術について述べた。 第 3 章では、上り無線区間と下り無線区間の通信を伴う双方向通信を対象に、基地局装置におけるネットワーク資源管理法として、遅延要件やデータサイズ等のアプリケーション情報と、無線品質変動等のネットワーク情報を用いて算出された優先度に基づいてネットワーク資源管理を行うスケジューリング手法を提案した。ネットワークシミュレーションにより、提案手法を用いることで、従来手法である PayDA (Payload and Deadline-Aware) と比較して許容遅延時間内到達率が向上することを明らかにした。 第 4 章では、基地局装置における優先度および混雑度を用いたネットワーク資源管理法として、双方向通信に対し、上下無線区間の混雑度から各無線区間に割り当てる許容遅延時間を決定する手法を提案した。第 3 章で提案したスケジューリング手法に本手法を導入することで、さらに許容遅延時間内到達率が向上することをネットワークシミュレーションにより明らかにした。 第 5 章では、多種多様な IoT (Internet of Things) デバイスから情報を収集するための上り無線区間の通信を対象に、スループット情報を用いたフィードバック型ネットワーク資源管理法を提案した。従来のモデルベースの MBR 制御では、ネットワークシステムの動作を不安定化させる無線品質変動などの外乱要素が存在すると、許容遅延時間内到達率が低下することを明らかにした。提案手法ではフィードバック制御器により外乱に応じて帯域割当量を適切に補正できるため、従来手法と比較して許容遅延時間内到達率が向上することを数値シミュレーションにより明らかにした。 第 6 章に、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5400 号	氏 名	伊藤 暢彦
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学准教授 博士（工学） 久保 亮吾			
副査 慶應義塾大学教授 工学博士 池原 雅章			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 眞田 幸俊			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 西 宏章			
学士（工学）、修士（工学）伊藤暢彦君提出の学位請求論文は「Network Resource Management for Delay-Sensitive Applications in Mobile Networks」（モバイルネットワークにおける遅延センシティブアプリケーションのためのネットワーク資源管理）と題し、6 章から構成されている。 モバイルネットワーク技術の進展に伴い、遠隔制御等の遅延センシティブアプリケーションの需要が高まっている。遅延センシティブアプリケーションでは、規定された許容遅延時間内に通信データを対象デバイスに到達させることが求められる。従来の許容遅延時間を考慮したネットワーク資源管理技術では、無線品質変動等によりシステムスループットが低下し、許容遅延時間内到達率が減少するという課題がある。そこで本研究では、許容遅延時間に加えてアプリケーション情報やネットワーク情報を考慮し、無線品質変動等が存在した場合でも規定の許容遅延時間内到達率を満足させるネットワーク資源管理法を提案することを目的としている。 第 1 章では、研究の背景と目的を概説している。 第 2 章では、本研究の対象となるモバイルネットワークアーキテクチャを示し、既存研究である優先度を用いたスケジューリング技術および MBR（Maximum Bit Rate）制御を用いた帯域割当技術について述べている。 第 3 章では、上下無線区間の通信を伴う双方向通信を対象に、基地局装置において、遅延要件やデータサイズ等のアプリケーション情報と、無線品質変動等のネットワーク情報を用いて算出された優先度に基づいてネットワーク資源管理を行うスケジューラを提案している。提案手法を用いることで、従来手法である PayDA（Payload and Deadline-Aware）スケジューラと比較して許容遅延時間内到達率が向上することを、ネットワークシミュレーションにより明らかにしている。 第 4 章では、第 3 章で提案したスケジューラにおいてさらに混雑度を考慮して、上下無線区間に割り当てる許容遅延時間を決定する手法を提案している。本手法の導入により、第 3 章で提案したスケジューラと比較して許容遅延時間内到達率が向上することを、ネットワークシミュレーションにより明らかにしている。 第 5 章では、多様な IoT（Internet of Things）デバイスから情報を収集するための上り無線区間の通信を対象に、スループット情報を用いたフィードバック型ネットワーク資源管理法を提案している。提案手法ではフィードバック制御器により無線品質変動等の外乱に応じて帯域割当量を適切に補正できるため、従来手法であるネットワークモデルに基づいた MBR 制御と比較して許容遅延時間内到達率が向上することを、数値シミュレーションにより明らかにしている。 第 6 章では、各章で得られた成果をまとめ、本論文全体の結論を述べている。 以上要するに、本論文ではモバイルネットワークにおいて通信データの許容遅延時間内到達率を向上させるネットワーク資源管理法を提案し、シミュレーションによりその有効性を確認しており、通信・ネットワーク工学分野において、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.5401	Name	Bin Mohamad Nor, Mohamad Hafizulazwan
Thesis Title Coordination and Control for Connected and Automated Vehicles at Signal-free Intersections			
In recent years, researchers are exploring the benefit of Connected and Automated Vehicles (CAVs) to coordinate the movement of vehicles at intersections. In this strategy, the vehicles are capable to obtain the information of other vehicles through wireless communication where it helps them to decide on how they can traverse the intersections safely and effectively instead of relying on traffic lights, road signs, and rules. However, finding the right coordination strategies for the CAVs at these so-called signal-free intersections that can provide both safety and efficiency with low computational effort is challenging. To address these problems, a bi-level strategy is developed. In the coordinator level, two Mixed Integer Linear Programming (MILP) formulations are proposed to model the merging time problem of all vehicles. In the first formulation, an existing MILP formulation is extended to include the right and left turns of the vehicles while fully utilizing the intersection area. The second formulation aims to reduce the computational time in solving the first MILP formulation. In the vehicle level, Hamiltonian analysis is adopted to obtain the optimal control input of each vehicle. In Chapter 1, the research motivation and background are discussed. In addition, some state of the arts coordination and control strategies for the signal-free intersection problem are reviewed. Then, the research objective and contributions of this thesis are clarified. In Chapter 2, some mathematical preliminaries are provided particularly on mathematical programming, i.e., MILP and optimal control analysis. In Chapter 3, the scenario setting for the signal-free intersection problem dealt in this thesis is discussed. In Chapter 4, a MILP formulation is proposed in the coordination level to improve the crossing order of the CAVs and thus, reducing the travel time. On the other hand, unconstrained optimal control analysis is adopted in the vehicle level. For simplicity, only pre-assigned arrival of the CAVs is considered in this chapter. Some preliminary analyses are conducted to investigate the performance of the proposed strategy in terms of travel time and fuel consumption. In Chapter 5, the MILP formulation is extended to include the right and left turning of the CAVs as well as considering the continuous arrival of the CAVs. In addition, constrained optimal control analysis is adopted in the vehicle level. Some performance analyses and case studies are conducted to investigate the performance of the proposed strategy. In Chapter 6, an event-based MILP formulation is proposed to reduce the computational burden in solving the MILP problem. Some simulations are provided to investigate the formulation. In Chapter 7, the conclusion of this thesis is provided, and future research direction is discussed.			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5401 号	氏 名	Bin Mohamad Nor, Mohamad Hafizulazwan	
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
		慶應義塾大学教授	博士（工学）	大門 樹
学士（工学）、修士（工学）BIN MOHAMAD NOR, Mohamad Hafizulazwan 君提出の学位請求論文は「Coordination and Control for Connected and Automated Vehicles at Signal-free Intersections」（コネクテッド自動運転車の無信号交差点における協調制御）と題し、7 章から構成されている。 交差点における車両の運動を統合的に管理・制御するコネクテッド自動運転車（CAV）の開発が注目を集めている。CAV は無線通信を利用して他の車両情報を取得することができ、それが実現されれば、信号機に頼ることなく、CAV が交差点を安全かつ効果的に横断することが出来るようになる。しかしながら、その実現には大規模な最適化計算が必要とされ、無信号交差点における、低計算コストで、安全かつ効果的な CAV の最適制御手法はまだ解明されていない。そこで本論文では、この問題を解決するため、階層型最適協調制御手法を提案している。コーディネータの制御階層においては、すべての CAV の交差点への最適到達時刻を計算するために、二つの混合整数計画問題（MILP）での定式化を提案している。最初の MILP では、既存の MILP での定式化を拡張し、交差点での CAV の右左折を含むものとしている。二つ目の MILP では、大規模問題を扱う際に、事象駆動型 MILP の定式化とアルゴリズムを提案し、計算コストを削減している。また車両の制御階層においては、ハミルトニアン解析手法を適用し、各車両の最適な制御入力を計算している。 第 1 章では、本研究の背景、従来研究を概説し、本研究の目的を述べている。 第 2 章では、MILP や最適制御理論を含む本研究で取り扱う制御理論と数学的基礎知識を説明している。 第 3 章では、本研究で扱う無信号交差点の数学的なモデルと交通状況設定、および車両と CAV の運動モデルについて説明している。 第 4 章では、無信号交差点において CAV が交差点を横断する順序効率化のために、コーディネータの制御階層において MILP の新たな定式化を提案し、車両の移動時間の短縮を実現している。また車両の制御階層では、制約条件の無い最適制御手法を適用している。これにより、CAV の移動時間と燃料消費の最適化を達成している。 第 5 章では、無信号交差点において CAV が交差点を横断する際に、CAV の右左折運動を含む問題へ拡張し、無信号交差点への継続的な CAV の到着を目的とした MILP の定式化を行っている。更に、車両の制御階層では、制約条件付き最適制御手法を適用している。提案手法の制御性能を評価するために、交通量を変化させた場合のシミュレーションを行い、有効性を検証している。 第 6 章では、大規模 CAV の最適協調制御問題を扱っている。CAV の増加に対して、MILP の計算コストは指数関数的に増大する。この問題に対して、MILP を用いた事象駆動型アルゴリズムを提案し、計算コスト削減に成功している。最後に提案アルゴリズムの有用性と妥当性を数値シミュレーションにより確認している。 第 7 章は結論であり、本論文の成果を総括し、今後の課題と展望について言及している。 以上要するに、本論文では、無信号交差点での CAV を制御するための階層型最適協調制御手法を提案し、無信号交差点での CAV のスループットと CAV の燃費向上を数値シミュレーションにより、検証したもので、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 5402 号	氏 名	橋本 将明
主 論 文 題 名：			
光バイオプシーのためのミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの開発			
光バイオプシー技術を用いた内視鏡下 <i>in vivo</i> 病理診断の実現が期待されている。光バイオプシーとは、生検を行わずに体内病変部位の <i>in vivo</i> 観察を行う内視鏡下光学測定技術である。しかし、内視鏡下では数ミリ程度の臓器収縮運動（心臓の鼓動・呼吸運動・ぜん動運動といった生体運動）由来のモーションアーチファクトによって光学測定の定量性が失われるため、モーションアーチファクトを除去可能な光測定技術が求められている。そこで本論文では、フォーカストラッキング光測定によってモーションアーチファクトを劇的に低減可能であることに着目し、フォーカストラッキング光測定システムを内視鏡に実装するためのミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの開発を目的とした。 第 1 章に、光バイオプシー技術の現状を概説した上で、光バイオプシー基盤技術としての本研究の位置づけを示し、本論文の目的を述べた。 第 2 章では、モーションアーチファクトを低減可能なフォーカストラッキング光測定システムについて述べた。光ドップラー血流信号と組織自家蛍光寿命信号を検知するプロトタイプ型測定システムをそれぞれ構築し、生体ファントムを用いた予備的検証によってフォーカストラッキング光測定システムのアーチファクト低減能を実験的に示した。 第 3 章では、ミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーのデザインコンセプトについて述べた。紙に切れ込みをいれて折るだけで平面構造から立体構造を造形する切り紙をコンセプトとした熱駆動切り紙デザインを着想し、熱物性・機械特性を考慮した薄膜材料探索と電気-熱-機械連成有限要素解析によってシングルステップ型切り紙薄膜構造を設計した。ナノ薄膜の残留応力を高度に制御した微細加工プロセスフローを確立することで、シングルステップ型熱駆動マイクロスキャナーの作製に成功し、熱駆動切り紙デザインの妥当性を示した。 第 4 章では、ミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの設計・作製・評価について述べた。従来のマイクロスキャナー技術では不可能なミリ長ストロークを低電力駆動で達成するために、アクチュエーション領域にバルクサポート構造体が一切存在しない円ピラミッド型切り紙薄膜構造を設計した。微細加工技術を用いて熱バイモルフが高密度に配置された切り紙自立薄膜を作製した。マイクロレンズ駆動評価において作製した円ピラミッド型熱駆動切り紙マイクロスキャナーはミリ長ストロークを低電力で達成した。さらに熱駆動切り紙マイクロスキャナーの集中定数モデルを構築し、静的・動的応答を解析することで熱機械特性を評価した。これらの結果より、本論文の目的としたフォーカストラッキング光測定システムを内視鏡に実装するためのミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの開発に成功し、ミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの熱輸送形態を明らかにした。 第 5 章では、各章で得られた内容をまとめ、本論文の結論と今後の展望について述べた。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5402 号	氏 名	橋本 将明
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 田口 良広
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 須藤 亮
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 嘉副 裕
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 泰岡 顕治
学士（工学）、修士（工学）橋本将明君提出の学位請求論文は「光バイオプシーのためのミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーの開発」と題し、5章から構成されている。 非侵襲に体内病変部位を定量的に内視鏡観察する光バイオプシー技術が求められている。しかしながら、心臓の鼓動、呼吸運動や胃腸蠕動運動といった臓器収縮運動によって内視鏡画像にはモーションアーチファクトが混入するため、従来技術では実現が難しかった。本論文の著者は、フォーカストラッキング技術に着目し、レーザードップラー血流測定法と融合させることで、モーションアーチファクトを抑制した新しい光バイオプシー技術を提案している。また、提案したフォーカストラッキング技術を内視鏡に搭載可能なミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーを提案・実証している。 第1章では、内視鏡下光計測技術の現状を概説し、本研究の目的を述べている。 第2章では、モーションアーチファクトを低減可能なフォーカストラッキング技術を提案している。臓器収縮運動によって変化するレンズ測定対象間距離を一定に保ち、光信号をロバストに検知可能な新しい制御アルゴリズムを構築している。妥当性検証実験において、生体組織と同等の光吸収係数および散乱係数を有する生体ファントムを作製し、ヘモグロビン水溶液およびフラビンアデニンジヌクレオチドを用いて提案手法の妥当性を検証している。 第3章では、前章で提案したフォーカストラッキング技術を内視鏡に実装可能な、低フットプリント・ミリ長ストローク・低消費電力で駆動できるマイクロスキャナーを提案している。日本古来より伝わる「切り紙」に着目し、NiCr 薄膜と SiN 薄膜から構成されるバイモルフ構造の電気－熱－機械連成解析により、提案手法に適したデバイスデザインを明らかにしている。また、残留応力を制御可能なファブリケーションプロトコルを確立し、作製したデバイスを用いて実験的に妥当性を示している。 第4章では、4層円ピラミッド型熱駆動切り紙マイクロスキャナーを提案している。熱的応答性ならびに機械的応答性を測定し、提案したマイクロスキャナーの駆動特性を明らかにしている。マイクロレンズを搭載した状態でミリ長ストローク駆動を低消費電力で達成し、提案手法の有用性を明らかにすることに成功している。 第5章に、結論として各章で述べられた内容をまとめ、本研究の成果を要約している。また、今後の展望について述べている。 以上要するに、本研究は定量的な内視鏡下病理診断を実現するフォーカストラッキング技術を提案するとともに、フォーカストラッキング用に開発したミリ長ストローク熱駆動切り紙マイクロスキャナーを用いた光バイオプシーの実現可能性を示したものであり、医療分野・光計測分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5403 号	氏 名	山崎 潤也
主 論 文 題 名：			
LCIA 手法に基づく国内外の行政区域の環境影響評価に関する研究			
本論文では国内外の地方自治体の行政区域に着目し、該当区域内で一定期間内に行われる人為的活動に対してライフサイクル影響評価（LCIA）の理論に基づいた包括的な環境影響評価を行った。日本国内については全国市区町村（基礎自治体単位）、世界各国については OECD 加盟国を中心とした全 42 カ国の行政区域を対象とし、国内外の統計情報を調査することで評価に必要なデータを収集した。これより、国内外の地方自治体が環境会計を行う上での諸課題に対する新たな知見を創出することを本論文の目的とした。本論文は以下の各章から構成される。 第 1 章では、序論として本論文の研究背景、研究目的、論文構成について概説した。 第 2 章では、環境報告と環境会計に関する国内外の社会的動向、および地方自治体が環境会計を導入する意義と課題について述べた。また、それらに対する解決策を模索するために本論文にて活用する LCIA 手法「LIME2 (Life Cycle Impact Assessment Method Based on Endpoint Modeling 2)」および「LIME3」の評価理論について概説した。それらを踏まえ、本論文の研究概要と研究目的について詳説した。 第 3 章では、LCIA 手法を活用した地方自治体の環境会計に関する評価理念について独自の提案を行った。これらは環境省の公表する「環境会計ガイドライン」の内容を参考としたものであり、地方自治体の環境会計における基礎的な指針を提案したものと位置付ける。続いて、国内外の地方自治体の行政区域を対象とした環境影響評価の具体的な方法論について述べた。それに際しては評価に必要な統計情報の入手可能性を調査した結果について併せて説明した。 第 4 章では、日本国内の全国市区町村を対象とした環境影響評価の結果について述べた。各評価結果は地域別、影響領域別、業種項目別に分類し、時系列的に着目することで各行政区域の環境負荷の変遷を把握した。さらにそれらを ArcGIS のソフトウェアを用いて地図上に表現することにより、我が国の地理的・空間的な環境負荷の実態を俯瞰的に考察することを行った。 第 5 章では、OECD 加盟国を中心とした世界 42 カ国の行政区域を対象とした環境影響評価の結果について述べた。それに際しては第 4 章と同様に、各評価結果を分野横断的に着目することで世界各国の実態を多角的に把握した。さらにそれらを地図上に表現することにより、世界全体の環境負荷の実態を俯瞰的に考察することを行った。 第 6 章では、第 5 章までに示された環境影響評価の結果に加えて域内総生産の指標に着目し、国内外の行政区域を対象とした環境効率評価を行った結果について説明した。 第 7 章では、本論文の結論および今後の展望について述べた。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5403 号	氏 名	山崎 潤也
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 伊香賀 俊治
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 岸本 達也
		慶應義塾大学教授	学術博士 栗田 治
		東京都市大学教授	博士（工学） 伊坪 徳宏
学士(工学)、修士(工学)、山崎潤也君提出の学位請求論文は「LCIA 手法に基づく国内外の行政区域の環境影響評価に関する研究」と題し、7章からなっている。 本論文では国内外の地方自治体の行政区域に着目し、該当区域内で一定期間内に行われる人為的活動に対してライフサイクル影響評価（LCIA）の理論に基づいた包括的な環境影響評価を行った。日本国内については全国市区町村（基礎自治体単位）、世界各国については OECD 加盟国を中心とした全 42 カ国の行政区域を対象とし、国内外の統計情報を調査することで評価に必要なデータを収集した。これより、国内外の地方自治体が環境情報開示を行う上での諸課題に対する新たな知見を創出することを本論文の目的とする。本論文は以下の各章から構成される。 第 1 章では、序論として本論文の研究背景、研究目的、論文構成について概説した。 第 2 章では、環境報告と環境会計に関する国内外の社会的動向、および地方自治体が環境会計を導入する意義と課題について述べた。また、それらに対する解決策を模索するために本論文にて活用する LCIA 手法「LIME2（Life Cycle Impact Assessment Method Based on Endpoint Modeling 2）」および「LIME3」の評価理論について概説した。それらを踏まえ、本論文の研究概要と研究目的について詳説した。 第 3 章では、LCIA 手法を活用した地方自治体の環境会計に関する評価理念について独自の提案を行った。これらは環境省の公表する「環境会計ガイドライン」の内容を参考としたものであり、地方自治体の環境会計における基礎的な指針を提案したものと位置付ける。続いて、国内外の地方自治体の行政区域を対象とした環境影響評価の具体的な方法論について述べた。それに際しては評価に必要な統計情報の入手可能性を調査した結果について併せて説明した。 第 4 章では、日本国内の全国市区町村を対象とした環境影響評価の結果について述べた。各評価結果は地域別、影響領域別、業種項目別に分類し、時系列的に着目することで各行政区域の環境負荷の変遷を把握した。さらにそれらを ArcGIS のソフトウェアを用いて地図上に表現することにより、我が国の地理的・空間的な環境負荷の実態を俯瞰的に考察することを行った。 第 5 章では、OECD 加盟国を中心とした世界 42 カ国の行政区域を対象とした環境影響評価の結果について述べた。それに際しては第 4 章と同様に、各評価結果を分野横断的に着目することで世界各国の実態を多角的に把握した。さらにそれらを地図上に表現することにより、世界全体の環境負荷の実態を俯瞰的に考察することを行った。 第 6 章では、第 5 章までに示された環境影響評価の結果に加えて域内総生産の指標に着目し、国内外の行政区域を対象とした環境効率評価を行った結果について説明した。 最後の第 7 章では、本論文の結論について述べたものであり、工学的に寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5404号	氏 名	家永 直人
主 論 文 題 名：			
サイバーフィジカル空間の構築に向けた画像計測による幾何・行動モデリング			
人間中心の未来社会を目指す Society 5.0 構想では、サイバー空間と現実空間を高度に融合させたサイバーフィジカル空間（Cyber-Physical Space: CPS）の構築が重要である。計測、解析、フィードバックという一連の流れを特徴とする CPS の構築に向け、カメラで撮影した動画像を扱う画像計測技術が、現実空間を計測する技術として担う役割は大きい。本学位論文では画像計測を利用した、CPS の構築に必要とされる現実空間の幾何モデリングと人間の行動モデリングに関する研究を取り上げ、技術的な問題点を解決する手法を提案しその有効性を検証する。 現実空間の幾何モデリング手法は多視点解析手法とフォトメトリック解析手法に大別される。多視点解析手法のひとつである SLAM は、未知の環境の幾何モデリングに利用される。屋内環境においては特徴線分による SLAM が有効であるが、従来手法で再構築された三次元モデルには冗長な線分が多く含まれていた。それらの冗長な線分を除去することで、三次元モデルを改善する手法を提案する。一方で、フォトメトリック解析手法のひとつである照度差ステレオ法は、密に物体表面の法線を推定することで物体の微細な幾何モデリングを可能にする。しかし、照度差ステレオ法は、入力画像に影や鏡面反射が含まれていると正しく法線を推定できない。この問題に対し、アルベドと法線の三次元分布における緊密度を定義することで、影や鏡面反射の影響を低減する手法を提案する。 人間の行動モデリング手法には、体のキーポイント位置推定手法が広く利用される。キーポイント位置推定手法を利用した、静的な姿勢制御課題における作業療法士の定性的な評価のモデリング手法を提案することで、これまで人間が計測していた情報をコンピューターが自動で計測できる可能性を示唆する。また、LiDAR により現実空間の幾何と人間の行動をモデリングし、人間の行動を解析した結果をロボットにフィードバックすることで、ロボットに人間の行動に基づいた行動を可能にさせる手法を提案する。 以上のように本学位論文では画像計測を利用した、CPS の構築に必要とされる環境、物体の幾何、人間の行動のモデリングに関する研究について述べる。また、現実空間の計測、コンピューターによる解析、現実空間へのフィードバック、という一連の流れを持つ研究を CPS の事例として示す。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5404 号	氏 名	家永 直人
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 杉本 麻樹
		慶應義塾大学准教授	博士（メディアデザイン学） 杉浦 裕太
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 青木 義満
学士（工学）、修士（工学）家永 直人君提出の学位請求論文は、「サイバーフィジカル空間の構築に向けた画像計測による幾何・行動モデリング」と題し、6 章で構成されている。 人間中心の未来社会 Society 5.0 では、サイバー空間と現実空間を高度に融合させたサイバーフィジカル空間（Cyber-Physical Space: CPS）が重要な役割を果たす。計測、解析、フィードバックという一連の流れを特徴とする CPS の構築に向け、画像計測技術は、現実空間とサイバー空間を融合する計測技術としての期待が大きい。本論文では、画像計測技術のうち、CPS の構築に最も重要な技術が、人間を取り巻く環境や物体の幾何モデリング技術と、人間の行動モデリング技術であると位置づけ、それらを実利用する際の問題点を解決する手法や、現実の問題を解決するための新しい手法を提案し、その有効性を検証した成果についてまとめたものである。 第 1 章では、Society 5.0 のコンセプトと、CPS 構築における画像計測技術の重要性と役割について、CPS 構築に利用可能な関連画像計測技術を概観し、画像計測による環境や物体の幾何モデリング技術と、人間の行動モデリング技術の重要性について述べている。 第 2 章では、多視点画像を用いた幾何モデリング技術において、環境や物体に現れる線分特徴を用いたモデリング手法の問題点とそれを解決するための手法を提案している。実験により、環境の幾何モデリング精度が向上することを示すと共に、この技術を利用した隠消現実感情報提示技術を提案している。 第 3 章では、複数照明下で撮影された複数枚の画像からのフォトメトリ解析による幾何モデリングにおける問題点として、物体形状の複雑さに起因する影と、物体表面で生じる鏡面反射の問題を解決するための方法を提案している。実験により、影や鏡面反射が発生している場合でも、それらの影響を受けない幾何形状復元を実現可能であることを示している。 第 4 章では、人間の行動モデリング技術を現実の問題解決に利用した事例として、作業療法士による被験者の姿勢制御の主観評価指標を、画像計測による体のキーポイント位置推定手法による行動モデリング手法により定量化するための手法を提案している。現場において収集したデータに基づく実験の結果、提案している行動モデリング技術に基づく定量評価が、姿勢制御課題に対する作業療法士の主観評価における問題を克服する可能性を示唆している。 第 5 章では、画像計測により取得された幾何モデルを利用して、CPS が想定している人間とロボットが共存する状況下でロボットが幾何モデルと人間行動モデルを利用して行動経路を決定するための手法を示し、実験によりその効果を示している。 最後に第 6 章では本論文で得られた成果と結論をまとめ、本論文で提案した画像計測技術による幾何モデリングと行動モデリング技術の成果と、CPS 構築に向けてさらに今後解決すべき研究課題について議論している。 以上要するに本研究は、人間中心の未来社会実現のための CPS 構築において現実空間の環境や物体の幾何形状や人間の行動をモデル化するための画像計測技術における問題点を解決するための新たな方法を提案し、従来法と比べ幾何モデリングの精度や安定性を向上できることを示すとともに、画像計測技術がサイバー空間での解析結果を現実空間にフィードバックするために利用できる可能性を示したものであり、工学上寄与するところが少なくない。 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.5405	Name	Hoang Tien Dat
Thesis Title Development of Stochastic Nonlinear Multiscale Computational Method for Short Fiber Reinforced Composites to Study the Influence of Microstructural Variability on Damage Propagation			
The mechanical properties of fiber reinforced composite materials are scattered especially in the development of a new and cost-effective manufacturing process. The main reason lies in the microstructural variability expressed by physical parameters of constituent materials and geometrical parameters to express the morphology at the microscale. The short fiber reinforced composite materials can be fabricated easily by injection molding method, but they have random microstructures. To solve the problem considering variability, there have been many studies on the stochastic finite element method. The first-order perturbation based stochastic homogenization (FPSH) method has been developed based on the multiscale theory and verified for porous materials and multi-phase composite materials considering the variability in physical parameters. However, its applications were limited to linear elastic problems. Therefore, this study aims at the development of a stochastic nonlinear multiscale computational method. In its application to short fiber reinforced composites, the final goal of this study is to clarify the important random factors in the microstructure that give significant influence on the damage propagation. Firstly, the above FPSH method was extended for the stochastic calculation of microscopic strain. This theory enabled us to analyze the damage initiation and propagation in a stochastic way. Since huge scenarios exist in the nonlinear behaviors, however, a sub-sampling scheme was proposed in the analysis by FPSH method together with the sampling scheme for geometrical random parameters. Furthermore, to reduce the computational time for practical and large-scale analyses of stochastic damage propagation problems, a numerical algorithm to accelerate the convergence of element-by-element scaled conjugate gradient (EBE-SCG) iterative solver for FPSH method was developed. The efficiency was demonstrated for spherical particulate-embedded composite material considering the damage in the coating layer and the variability in physical parameters. Finally, the developed computational method was applied to short fiber reinforced composite materials. The fiber length distribution, fiber orientation denoted by two angles, and fiber arrangement were considered as the geometrical parameters in addition to a physical random parameter. 11 models were analyzed having different fiber orientation and fiber arrangement with variability. In the sub-sampling, 2 scenarios with 50% and 0.3% probabilities were analyzed, which resulted in totally 22 cases. The differences among 22 possible damage patterns were discussed deeply. It was figured out that very largely scattered degradation of homogenized macroscopic properties was mostly affected by the fiber arrangement rather than the fiber orientation. This finding was different from the result in the linear elastic region where physical random parameters were more influential on the macroscopic properties. Also in these analyses, the accelerated EBE-SCG method was again shown to be efficient.			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5405 号	氏 名	Hoang Tien Dat
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 高野 直樹
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）・TeknD 深淵 康二
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 大宮 正毅
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 村松 眞由
Bachelor in Mechanical Engineering, Master in Mechanical Engineering, Hoang Tien Dat 君の学位請求論文は“Development of Stochastic Nonlinear Multiscale Computational Method for Short Fiber Reinforced Composites to Study the Influence of Microstructural Variability on Damage Propagation”（短繊維強化複合材料のミクロ構造におけるばらつきが損傷進展に及ぼす影響調査のための確率的非線形マルチスケール解析手法の開発）と題し、全6章で構成されている。 繊維強化複合材料の用途拡大とともに、低コスト・高サイクルな新しい成形法の開発が行われる中、製造中に含まれる種々の要因で製品の特性にばらつきが見られ、新材料開発の障壁となっている。そこで、有限要素法による数値解析において、ばらつきを考慮した確率的シミュレーションの活用に注目が集まっている。複合材料に代表される不均質材料に対しては、確率的マルチスケール解析が有望であるが、非線形問題への適用はなされていなかった。Hoang Tien Dat 君は、一次漸近展開近似に基づく確率均質化法を基に、ミクロ構造を反映したマクロ特性予測のみならず、ミクロひずみの計算法、ならびに、損傷進展解析アルゴリズムと高速化数値計算法を開発し、短繊維強化複合材料のマクロ特性低下のばらつきに及ぼす要因分析を行い、新しい知見を得た。 第1章は序論であり、研究の動機づけ、目的とアプローチ方法を述べている。 第2章では複合材料に対する基礎理論と確率均質化法に関する過去の研究をレビューしている。 第3章は、複合材料の素材の物理的パラメータ（物性値）にばらつきを考慮した場合に、第1の成果であるミクロひずみの確率密度関数を算出するための理論および計算法の開発を行っている。例題において、短繊維強化複合材料中のミクロひずみの標準偏差の分布について考察している。 第4章は、ミクロひずみに基づく損傷則に基づき、損傷進展解析を行うための非線形解析アルゴリズムを提案している。第3章で考慮した素材の物理的パラメータに加え、短繊維強化複合材料のミクロ構造が持つランダムなモルフォロジーを、繊維長、繊維配向、繊維配置という幾何的パラメータで表現し、そのばらつきを考慮した。初期配置の幾何的パラメータについてサンプリングを行うが、損傷進展解析中に増大するシナリオの中からサブサンプリングを行い、実用的な計算コストで解析可能とする非線形解析アルゴリズムを提案している。同時に、確率均質化法の理論において、その物理的意味が未解明な量(特性変位の1次展開項)について考察し、大規模な剛性方程式の求解に用いる EBE-SCG (element-by-element scaled conjugate gradient) 法の初期値を、非線形解析中の前ステップの解とすることで最大1.5倍～2倍程度の高速化が可能であることを示している。 第5章では、以上の開発手法を用いて、ガラス繊維とエポキシ樹脂からなる短繊維強化複合材料の確率的損傷進展解析を行い、主にマクロ特性の低下に観察されるばらつきについて、ミクロ構造の物理的・幾何的パラメータが及ぼす影響の調査を行っている。11のサンプルに対して、サブサンプリングにより計22ケースの解析を行っており、EBE-SCG法の収束と損傷進展との相関性について再度検証している。その結果、物理的パラメータと繊維配向は線形特性に及ぼす影響は大きい、損傷進展によるマクロ特性低下は、繊維配置の影響が大きいことを新たに見出した。 第6章は結論であり、開発技術の新規性と有効性、制約、および今後の課題点を整理している。 以上、要するに、本論文は、複合材料開発で問題となるミクロ構造におけるばらつきの要因を確率的非線形マルチスケール法により分析し、解決策に繋がる知見を与えうることを示しており、計算力学分野において、工学上寄与するところが大きく、かつ工業的価値も高いものと認められる。 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 5406 号	氏 名	高木 基宏
主 論 文 題 名：			
Image Quality Recovery for Image Recognition with Deep Learning (深層学習を用いた画像認識のための画質復元)			
画像や動画を用いたアプリケーションでは、ユーザーの体感品質が重要である。体感品質を向上させるための重要な要素の一つが画質である。スマートフォンやタブレットなどの普及に伴い、画像・映像アプリケーションも増加しており、画質はより重要となっている。テレビ放送やビデオストリーミング、ソーシャルネットワークサービスなどの代表的なアプリケーションでは、人間の目から見て画質がきれいかどうか、つまり主観的な画質が重要視されている。しかし、画像認識の進展により、画像や動画は人物識別や自動運転などの様々な用途に利用されてきている。これらのアプリケーションは近年急速に発展している深層学習が用いられており、画質は精度を高く保つために重要な要因となっている。 本研究では画像認識のための画質復元に関する研究を行う。どのような画質が画像認識に適しているかは明確ではなく、また画像認識には様々な劣化が影響を与える。それらの要因にどのように対処するかは重要な課題である。本研究では精度低下に影響を与える画像への外乱を画質劣化要因とみなし、大きく 2 つの画質劣化、(1) ノイズやブラーによる一般的な劣化画像、(2) 敵対的攻撃により生成された敵対的画像、に対処する画質復元手法を提案する。カメラのノイズや手ブレ等によって発生する一般的な劣化は画像認識精度を大きく低下させる。本論文では劣化要因が複数ある場合に、画像認識の精度を考慮しつつ、複数の劣化に対して画質を復元可能な手法を提案する。また、近年では画像認識アプリケーションに対する敵対的攻撃手法が発展し、敵対的画像をいかに防ぐかが重要となっている。本論文では敵対的画像も画像認識精度を下げる画質劣化とみなし、敵対的画像に対しても精度低下を防ぎつつ画質を復元する手法を提案する。 本論文は以下のように構成されている。第 1 章では、本研究の背景と目的を述べる。第 2 章では劣化画像や敵対的画像への対処に関連する研究を述べる。第 3 章では、一般的な劣化画像に対する画像分類器を考慮した画質復元手法について述べる。第 4 章では、敵対的画像を画像認識精度の低下を抑えつつ防御する画質復元法について述べる。最後に、第 5 章で結論および今後の課題をまとめる。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5406 号	氏 名	高木 基宏
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 萩原 将文
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 今井 倫太
		慶應義塾大学名誉教授	博士（工学） 櫻井 彰人
学士（工学）、修士（工学）、高木基宏君提出の学位請求論文は、“Image Quality Recovery for Image Recognition with Deep Learning（深層学習を用いた画像認識のための画質復元）”と題し、全5章から構成されている。 スマートフォンやタブレットなどの普及に伴い、画像や動画のアプリケーションは増加している。さらに画像認識技術の急速な進展により、画像や動画は個人認証や自動運転、各種診断などの重要な用途でも利用されるようになってきている。これらの多くのアプリケーションでは、近年急速に発展している深層学習によるニューラルネットワークが用いられている。 この際入力される画像には、画像撮影時のノイズやブレやぼけによる劣化が発生したり、画像認識機能を意図的に欺こうとする敵対的摂動が加えられたりするために、画像認識のための画質が低下し、画像認識精度が下がってしまうという問題点があった。本論文は、画像認識のための画質を復元し、画像認識精度低下を防ぐ新しい手法を提案するものである。 具体的には、劣化画像を分類器に合わせて画質復元し、認識精度の向上を図る新しい方法を提案している。対象とする劣化要因は、ノイズやぼけなどの一般的なものと敵対的摂動を対象としている。 本論文における各章の内容は次の通りである。 第1章では、本研究の背景と目的を述べている。まず、画像認識における画像品質について説明を行い、深層学習を用いた画像認識について概観している。次に一般的な劣化と敵対的摂動に関して、本論文で扱う課題について明らかにしている。 第2章では、劣化画像や敵対的摂動への対応に関連する説明を行い、関連研究について概観している。 第3章では、ノイズやぼけなどによる一般的な劣化画像に対して、画像分類器を考慮した画質復元手法について述べている。具体的には、分類精度低下を防ぎつつ複数の強い劣化に単一モデルで対応する方法、ならびに異なる分類器での分類精度の低下を防ぎつつ劣化に対応する方法を提案している。さらに実験によりその有効性を示している。 第4章では、敵対的摂動に対して画像認識精度の低下を抑えつつ防御する画質復元法についての提案を行い、実験により有効性を示している。 第5章は結論であり、研究成果を要約すると共に、今後の展望や残された課題についても言及している。 以上要するに本研究は、深層学習によるニューラルネットワーク画像認識において、劣化画像に対して認識精度低下を防ぎつつ画質を復元する新しい手法を提案し、その有効性を確認したものである。したがって本研究の成果は、工学上寄与するところが少なくない。また、これらの成果は、著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要となる高度な研究能力、および豊かな学識があることを示したとも言える。 よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5407 号	氏 名	中島 侑江
主 論 文 題 名： Effect of Indoor Thermal Environment on Resident's Condition of Long-term Care Need (室内温熱環境が居住者の要介護状態に及ぼす影響)			
高齢化に伴う要介護認定者数の急激な増加や医療・介護費の増大といった問題が深刻さを増す中で、健康寿命の延伸は喫緊の課題である。建築環境工学的な視点からは室内温熱環境と健康に関しては様々な研究が行われている。しかしながら既往の知見は断面的な調査に基づく健康影響に限定されたものであり、室内温熱環境改善による健康寿命の延伸効果や介護予防効果といった、より長く健康に過ごせることによってもたらされる価値の大きさは未だ不明瞭である。そこで本研究では「温暖な室内温熱環境は居住者の健康性向上、ひいては介護予防に寄与する」という仮説のもと、要介護高齢者を対象とした調査を行った。その際、介護予防の概念が「要介護状態の発生をできる限り防ぐ（遅らせる）こと、そして要介護状態にあってもその悪化をできる限り防ぐこと、さらには軽減を目指すこと」と定義されることを受け、介護予防の各段階にアプローチする2種類の実態調査及び統計データの分析を実施した。 第1章では、序論として本研究の背景と日本の介護保険サービスの現状を解説した。また、寒さに起因する健康被害や燃料貧困の問題について国内外の政策および先行研究をまとめ、本研究の位置付けと目的を示した。 第2章では、通所型介護サービス施設利用者を対象に実施した実態調査の概要及び分析結果を示した。居住者の身体機能およびFrail（虚弱）、初めて要介護認定を受けた際の年齢の3点を評価指標として自宅の温熱環境との関連を検討することで、住宅の温熱環境改善により要介護状態の発生をできる限り防ぐ（遅らせる）ことができるかどうかを、そのメカニズムも含め考察した。 第3章では、入居型介護サービス施設の温熱環境が利用者の要介護度の重度化スピードに及ぼす影響を検討するために実施した実態調査についてまとめた。分析ではまず1) 室温と血圧の関係、2) 湿度と口腔内乾燥感の関係、という2つの側面から介護施設の温熱環境と利用者の健康について検討した。加えて介護施設の温熱環境による要介護度の重度化スピードの違いを検討することで、要介護状態の改善や重度化の予防に資する介護施設の室内温熱環境について考察した。 第4章では、第2章で特にFrailとの関連が示唆された燃料貧困の問題について、非公開統計情報を活用して日本全国を対象とした分析を実施した。住宅・土地統計調査の個票から得られるデータを基に燃料貧困世帯を特定する方法論を提案し、判定結果から燃料貧困のリスクが高い居住者の特徴や住宅の特徴を明らかにした。 第5章では、本論文の結論と今後の展望を述べた。			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5407 号	氏 名	中島 侑江
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 伊香賀 俊治
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 高橋 正樹
		東京都立大学特任教授	医学博士 星 且二
		ルンド大学准教授	博士（医学） Steven Michael SCHMIDT
学士(工学)、修士(工学)、中島侑江君提出の学位請求論文は「Effect of Indoor Thermal Environment on Resident's Condition of Long-term Care Need (室内温熱環境が居住者の要介護状態に及ぼす影響)」と題し、5 章からなっている。 高齢化に伴う要介護認定者数の急激な増加や医療・介護費の増大といった問題が深刻さを増す中で、健康寿命の延伸は喫緊の課題である。建築環境工学的な視点からは室内温熱環境と健康に関しては様々な研究が行われている。しかしながら既往の知見は断面的な調査に基づく健康影響に限定されたものであり、室内温熱環境改善による健康寿命の延伸効果や介護予防効果といった、より長く健康に過ごせることによってもたらされる価値の大きさは未だ不明瞭である。そこで本研究では「温暖な室内温熱環境は居住者の健康性向上、ひいては介護予防に寄与する」という仮説のもと、要介護高齢者を対象とした調査を行った。その際、介護予防の概念が「要介護状態の発生をできる限り防ぐ（遅らせる）こと、そして要介護状態にあってもその悪化をできる限り防ぐこと、さらには軽減を目指すこと」と定義されることを受け、介護予防の各段階にアプローチする 2 種類の実態調査及び統計データの分析を実施した。 第 1 章では、序論として本研究の背景と日本の介護保険サービスの現状を解説した。また、寒さに起因する健康被害や燃料貧困の問題について国内外の政策および先行研究をまとめ、本研究の位置付けと目的を示した。 第 2 章では、通所型介護サービス施設利用者を対象に実施した実態調査の概要及び分析結果を示した。居住者の身体機能および Frail（虚弱）、初めて要介護認定を受けた際の年齢の 3 点を評価指標として自宅の温熱環境との関連を検討することで、住宅の温熱環境改善により要介護状態の発生をできる限り防ぐ（遅らせる）ことができるかどうかを、そのメカニズムも含め考察した。 第 3 章では、入居型介護サービス施設の温熱環境が利用者の要介護度の重度化スピードに及ぼす影響を検討するために実施した実態調査についてまとめた。分析ではまず 1)室温と血圧の関係、2)湿度と口腔内乾燥感の関係、という 2 つの側面から介護施設の温熱環境と利用者の健康について検討した。加えて介護施設の温熱環境による要介護度の重度化スピードの違いを検討することで、要介護状態の改善や重度化の予防に資する介護施設の室内温熱環境について考察した。 第 4 章では、第 2 章で特に Frail との関連が示唆された燃料貧困の問題について、非公開統計情報を活用して日本全国を対象とした分析を実施した。住宅・土地統計調査の個票から得られるデータを基に燃料貧困世帯を特定する方法論を提案し、判定結果から燃料貧困のリスクが高い居住者の特徴や住宅の特徴を明らかにした。 最後に第 5 章では、本論文の結論と今後の展望を述べたものであり、工学的に寄与するところが大きい。 よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

2020（令和2）年9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）	1,477	318	1,795
理学博士	26	8	34
博士（理学）	424	49	473
学術博士	0	1	1
博士（学術）	1	1	2
計	2,379	766	3,145

本書に記載した論文審査担当者の所属および職位は2020（令和二）年度春学期のものである。

2020(令和2)年12月1日 発行

発行者 理工学研究科委員長 岡田 英史

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