

2018（平成30）年度 秋 学 期

博 士 （工 学） 学 位 論 文
博 士 （理 学）

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

(ソン, チュアン) Song, Qiyuan	Study on New Mechanisms for Improving Performance of Two-photon Excitation Fluorescence Microscopy Using Temporal Focusing (時間集光を用いた2光子励起蛍光顕微計測の性能向上のための新機構に関する研究)	1
青戸 良賢	Genome and Transcriptome Analysis for the Process of Cancer Progression (がん進展過程のゲノム・トランスクリプトーム解析)	3
中島 康貴	高繰返しフェムト秒レーザパルスによる導電性微細構造作製の研究	5
(コール, ホスニエ) Kor, Hosnieh	Development of an Efficient Immersed Boundary Method for Simulation of Flows around Stationary and Moving Bodies (静止物体および移動物体周り流れシミュレーションのための効率的な埋め込み境界法の開発)	7
藤沢 貴典	画像再構成問題に関する研究－超解像とぶれ除去－	9
(トリベッチ, キッチポン) Tripetch, Kittipong	Design and Analysis of High Order Gm-C Filter and Cross Coupled Oscillator Using CMOS Technology (CMOS技術を用いた高次Gm-Cフィルタおよびクロスカップル型発振器の設計と解析)	11
富岡 孝太	誘電体多層膜を用いた宇宙用電波透過型熱制御材に関する研究	13
張 善明	Energy Efficient and Enhanced-type Data-centric Network Using Network Virtualization Technology (データ指向型ネットワークのネットワーク仮想化技術を用いた消費エネルギー最適化)	15
安戸 僚汰	Theoretical Design Methodology for Practical Interconnection Networks (実用的相互結合網のための理論的設計方法論)	17
(カピタニオ, マルコ) Capitanio, Marco	Liveability and Anticipated Shrinkage: Urban Design Assessment of Morphology and Management in Tokyo's Peripheral Areas (現代縮小社会における居住性:東京郊外地域都市デザインの形態・マネジメント評価)	19
(アラム, エムディー シャハヌール) Alam, Md. Shahanoor	Study on the Function and Structure of Proteins in the Developmental Process (発生現象におけるタンパク質の機能と構造に関する研究)	21
浜田 梨沙	血管内皮細胞および赤血球に対する光増感反応作用の生体外実験系および光モニタリング技術	23
篠田 万穂	Non-generic Aspects of Optimizing Measures in Dynamical Systems (力学系の最適化測度の非通有的な性質について)	25
玉木 脩二	磁場中の低次元物質における熱輸送特性と新奇な非平衡現象の探索	27
奥田 祥子	CH ₄ とPH ₃ のサブドブラー分解能高感度高精度分光	29
矢筈 浩規	Fluid Self-Digitization in Micro-Mechanical Scaffolds for Construction of Droplet Array and Network (微細構造中での流体の自己デジタル化を利用した液滴配列とネットワークの形成)	31
松浦 弘明	Development of Soret Forced Rayleigh Scattering Apparatus to Measure Soret Coefficient in Binary and Ternary Liquid Mixtures (ソーレー強制レイリー散乱法による3成分液体のソーレー係数測定システムの開発)	33
(テネクーン, ラジタ ラクマル) Tennekoon, Rajitha Lakmal	Implementation and Evaluation of Secured Network Infrastructure Using Content-based Router (コンテンツベースルータを用いたセキュアなネットワーク基盤の実装と評価)	35
中村 優一	Data Transaction Infrastructure for Safe and Flexible Sharing of Private Information (個人情報 の安全かつ柔軟な公開共有を可能とする情報流通基盤に関する研究)	38
(イカロヴィッチ, ヴェドラナ) Ikalovic, Vedrana	From Personal Space to Intimate Space: A Socio-Spatial Study of Domestic Urban Environments in Contemporary Tokyo (パーソナルスペースからインティメートスペースへ:現代の東京におけるドメスティックな都市環境の社会空間研究)	40

金 桂香	調達リスクおよび需要の非定常性を考慮した安全在庫に関する研究	42
遠藤 冬玲	シンジオタクチックポリマーの結晶構造と力学特性: 延伸プロセスと温度の影響	44
黒川 成貴	Electrospinning法を用いたナノファイバー作製と複合化による環境調和型複合材料の開発	46
尾藤 健太	ナノ・マイクロ制御可能なポリマー加工技術による血管内治療用バイオマテリアルの創製	48
小川 愛実	居住者の健康な生活を支援するための歩行パラメタ推定に関する研究	50
中谷 正樹	Application of Gas Barrier Thin Films to Three-dimensional Polymer Packages (ガスバリア性薄膜で被覆された立体樹脂製パッケージの研究)	52
安齋 樹	ジスルフィド結合が制御する神経変性疾患関連タンパク質の構造変化	54
近藤 晃	多様なルテニウムホスフィン触媒を用いた不活性結合の選択的切断を経る炭素-炭素結合形成反応に関する研究	56
須藤 貴弘	マダンガミン類の網羅的不斉全合成	58
鷹野 祥太郎	ホスフィン-キリノラト配位子をもつ新規ロジウム錯体の合成とその反応性および新規触媒反応への利用に関する研究	60
横寺 裕	Design of Quantum Signal Detectors via Coherent Feedback Control (コヒーレントフィードバック制御による量子信号検出器の設計)	62
巻内 崇彦	Elastic Anomaly of Adsorbed Films (吸着薄膜の弾性異常)	64
土井 万理香	心筋細胞に対する光増感反応による活動電位障害の検討モデル	66
小池 開	Mathematical Analysis of Gas - Structure Interaction Problems in the Kinetic Theory of Gases (分子気体力学における気体-構造連成問題の数学解析)	68
澄本 慎平	海洋シアノバクテリア由来ポリケチド-アミノ酸・ペプチドハイブリッド化合物の構造と生物活性	70
伊勢川 和久	軟X線吸収微細構造によるその場測定システムの開発と不均一触媒反応の観測への応用	72
上田 昂平	準大気圧下オペランド計測による白金族金属触媒上の一酸化窒素還元における反応メカニズムの研究	74
紙谷 武	初心者特有の頸部挙動に着目し開発した柔道用頭部保護具に関する研究	76
(ヌルル アドニ ビンティア ハマドリ ドゥアン) Nurul Adni Binti Ahmad Ridzuan	Design and Fabrication of a Tooth-Inspired Tactile Sensor for the Detection of Multidirectional Force (歯構造を模した多方向荷重を検出可能な触覚センサの設計と製作)	78
鈴木 良	Investigation into the Effects of Optical Nonlinearities on Microresonator Frequency Combs (微小光共振器周波数コムへの非線形光学効果の影響に関する研究)	80
保坂 有杜	ファイバ非線形光学を用いたマルチモードスクイズド光の生成に関する研究	82

栗谷 龍彦	指向性エネルギー堆積法による Inconel 718 の造形物における空孔に関する研究	84
武末 翔吾	高周波誘導加熱微粒子ピーニングシステムを用いたチタン合金の表面改質とその効果発現メカニズム	86
(ヌル アシキン ビンティ ダウド) Nurul Ashikin Binti Daud	Silicon Photonic Crystal Nanocavity Modulator and Receiver Fabricated by Photolithography (フォトリソグラフィで作製したシリコンフォトニック結晶ナノ共振器変調器と受光器)	88
上森 寛元	Development of an in Vitro Neurovascular Unit Model by On-chip Tissue Engineering (オンチップ組織工学による生体外Neurovascular Unitモデルの開発)	90
鎌田 慎	光誘起誘電泳動を用いた拡散係数測定デバイスと極微量分析プラットフォームの開発	92
鯨崎 勝也	エッジ修飾グラフェンナノリボンの電気的特性に対するエッジ欠陥効果の第一原理計算解析	94
大澤 友紀子	Modeling and Control of Heat Conduction System Based on Spatial Information (空間情報に基づく熱伝導システムのモデリングと制御)	96
野村 昂太郎	レプリカ交換分子動力学シミュレーションによる準一次元閉じ込め系の水の相挙動に関する研究	98
徳差 雄太	Multi-layer Key-value Cache Architecture with In-NIC and In-kernel Caches (In-NIC 及び In-kernel キャッシュを用いたマルチレイヤ Key-value キャッシュアーキテクチャ)	100
(化 為卓) Hua, Weizhuo	Numerical Investigation on the Discharge Process of a Nanosecond-pulsed Surface Dielectric-barrier-discharge Plasma Actuator (ナノ秒パルス表面誘電体バリア放電プラズマアクチュエータにおける放電過程に関する数値的研究)	102
志村 啓	離散粒子モデルに基づく衝撃波による堆積粒子群分散現象の研究	104
野澤 拓磨	分子シミュレーションを用いた棒状液晶分子の研究－相転移及び液滴核生成の解析とその高速化－	106
海塩 渉	Intervention Study of Home Insulation Retrofit and Blood Pressure for the Prevention of Cardiovascular Diseases (循環器疾患の予防に向けた住宅の断熱改修と家庭血圧の関連に関する介入研究)	108
池田 泰成	A Computer Graphics Framework for Representing Fine Details of Fiber Objects (繊維状物体の微細構造を表現するコンピュータグラフィックスフレームワーク)	110
高倉 優理子	A Visual Analysis Methodology for Music Compositional Processes with Sound Resynthesis (音響分析・合成を伴う作曲課程の視覚解析方法論)	112
山下 達也	Experimental Study of Gas Bubble Nuclei and Acoustic Cavitation in Gas-Supersaturated Water (ガス過飽和水中のガス気泡核および音響キャビテーションに関する実験研究)	114
近藤 智貴	Simulation of Compressible Gas-Liquid Flows in Physical Cleaning Applications: High-Speed Droplet Impact and Bubble Collapse (物理洗浄工程における圧縮性気液二相流れに関する数値解析－高速液滴衝突ならびに気泡崩壊現象について－)	116
前川 駿人	Research of Antithrombogenic Fluorine-incorporated Amorphous Carbon Thin Film for Medical Applications (フッ素添加した非晶質炭素薄膜の生体適合性と医療機器への応用)	118

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2018(平成30)年度秋学期に博士の学位を授与した者の論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨である。収録したものは次のとおり。

慶應義塾大学理工学部

学位の種類	学位記号・番号	授与年月日	氏 名
博士(工学)	甲 第 4971 号	平成 31 年 3 月 23 日	(ソン, チュアン) Song, Qiyuan
博士(理学)	甲 第 4974 号	平成 30 年 11 月 7 日	青戸 良賢
博士(工学)	甲 第 4975 号	平成 31 年 3 月 23 日	中島 康貴
博士(工学)	甲 第 4976 号	平成 30 年 11 月 7 日	(コール, ホスニエ) Kor, Hosnieh
博士(工学)	甲 第 4977 号	平成 31 年 3 月 23 日	藤沢 貴典
博士(工学)	甲 第 4988 号	平成 31 年 1 月 9 日	(トリペッチ, キッチポン) Tripetch, Kittipong
博士(工学)	甲 第 4989 号	平成 31 年 3 月 23 日	富岡 孝太
博士(工学)	甲 第 4990 号	平成 31 年 3 月 23 日	張 善明
博士(工学)	甲 第 4991 号	平成 31 年 3 月 23 日	安戸 僚汰
博士(工学)	甲 第 4992 号	平成 31 年 1 月 9 日	(カピタニオ, マルコ) Capitanio, Marco
博士(理学)	甲 第 5002 号	平成 31 年 2 月 1 日	(アラム, エムディー シャハヌール) Alam, Md. Shahanoor
博士(工学)	甲 第 5003 号	平成 31 年 3 月 23 日	浜田 梨沙
博士(理学)	甲 第 5004 号	平成 31 年 3 月 23 日	篠田 万穂
博士(理学)	甲 第 5005 号	平成 31 年 3 月 23 日	玉木 脩二
博士(理学)	甲 第 5006 号	平成 31 年 3 月 23 日	奥田 祥子
博士(工学)	甲 第 5007 号	平成 31 年 3 月 23 日	矢菅 浩規
博士(工学)	甲 第 5008 号	平成 31 年 3 月 23 日	松浦 弘明
博士(工学)	甲 第 5009 号	平成 31 年 3 月 23 日	(テネクーン, ラジタ ラクマル) Tennekoon, Rajitha Lakmal
博士(工学)	甲 第 5010 号	平成 31 年 3 月 23 日	中村 優一
博士(工学)	甲 第 5011 号	平成 31 年 3 月 23 日	(イカロヴィッチ, ヴェドラナ) Ikalovic, Vedrana
博士(工学)	甲 第 5012 号	平成 31 年 3 月 23 日	金 桂香
博士(工学)	甲 第 5013 号	平成 31 年 3 月 23 日	遠藤 冬玲

学位の種類	学位記号・番号	授与年月日	氏 名
博士(工学)	甲 第 5014 号	平成 31 年 3 月 23 日	黒川 成貴
博士(工学)	甲 第 5015 号	平成 31 年 3 月 23 日	尾藤 健太
博士(工学)	甲 第 5016 号	平成 31 年 3 月 23 日	小川 愛実
博士(工学)	乙 第 5002 号	平成 31 年 2 月 1 日	中谷 正樹
博士(理学)	甲 第 5057 号	平成 31 年 3 月 23 日	安齋 樹
博士(理学)	甲 第 5058 号	平成 31 年 3 月 23 日	近藤 晃
博士(理学)	甲 第 5059 号	平成 31 年 3 月 23 日	須藤 貴弘
博士(理学)	甲 第 5060 号	平成 31 年 3 月 23 日	鷹野 祥太郎
博士(工学)	甲 第 5061 号	平成 31 年 3 月 23 日	横寺 裕
博士(理学)	甲 第 5062 号	平成 31 年 3 月 23 日	巻内 崇彦
博士(工学)	甲 第 5063 号	平成 31 年 3 月 23 日	土井 万理香
博士(理学)	甲 第 5064 号	平成 31 年 3 月 23 日	小池 開
博士(理学)	甲 第 5065 号	平成 31 年 3 月 23 日	澄本 慎平
博士(理学)	甲 第 5066 号	平成 31 年 3 月 23 日	伊勢川 和久
博士(理学)	甲 第 5067 号	平成 31 年 3 月 23 日	上田 昂平
博士(工学)	甲 第 5068 号	平成 31 年 2 月 27 日	紙谷 武
博士(工学)	甲 第 5069 号	平成 31 年 2 月 27 日	(ヌルル アドニ ビンティ アハマド リドゥアン) Nurul Adni Binti Ahmad Ridzuan
博士(工学)	甲 第 5070 号	平成 31 年 3 月 23 日	鈴木 良
博士(工学)	甲 第 5071 号	平成 31 年 3 月 23 日	保坂 有杜
博士(工学)	甲 第 5072 号	平成 31 年 3 月 23 日	栗谷 龍彦
博士(工学)	甲 第 5073 号	平成 31 年 3 月 23 日	武末 翔吾
博士(工学)	甲 第 5074 号	平成 31 年 3 月 23 日	(ヌル アシキン ビンティ ダウド) Nurul Ashikin Binti Daud
博士(工学)	甲 第 5075 号	平成 31 年 3 月 23 日	上森 寛元
博士(工学)	甲 第 5076 号	平成 31 年 3 月 23 日	鎌田 慎
博士(工学)	甲 第 5077 号	平成 31 年 3 月 23 日	簗崎 勝也
博士(工学)	甲 第 5078 号	平成 31 年 3 月 23 日	大澤 友紀子

学位の種類	学位記号・番号	授与年月日	氏 名
博士(工学)	甲 第 5079 号	平成 31 年 2 月 27 日	野村 昂太郎
博士(工学)	甲 第 5080 号	平成 31 年 3 月 23 日	徳差 雄太
博士(工学)	甲 第 5081 号	平成 31 年 3 月 23 日	(化 為卓) Hua, Weizhuo
博士(工学)	甲 第 5082 号	平成 31 年 3 月 23 日	志村 啓
博士(工学)	甲 第 5083 号	平成 31 年 3 月 23 日	野澤 拓磨
博士(工学)	甲 第 5084 号	平成 31 年 3 月 23 日	海塩 渉
博士(工学)	甲 第 5085 号	平成 31 年 3 月 23 日	池田 泰成
博士(工学)	甲 第 5086 号	平成 31 年 3 月 23 日	高倉 優理子
博士(工学)	甲 第 5087 号	平成 31 年 3 月 23 日	山下 達也
博士(工学)	甲 第 5088 号	平成 31 年 3 月 23 日	近藤 智貴
博士(工学)	甲 第 5089 号	平成 31 年 3 月 23 日	前川 駿人

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4971	Name	Song, Qiyuan
Thesis Title Study on new mechanisms for improving performance of two-photon excitation fluorescence microscopy using temporal focusing			
Temporal focusing (TF) microscopy is a wide-field optically sectioned multi-photon microscopy. It has the potential to realize three-dimensional (3D) volumetric in-vivo imaging with fast speed and large penetration depth. But TF has two fundamental limitations. The sectioning ability of TF is worse than confocal and two-photon excitation fluorescence (TPEF) microscopy. Meanwhile, the scattered background fluorescence reduces the signal-to-background ratio (SBR) in deep and dense sample imaging. This research aims to solve these problems through two original techniques, two-dimensional (2D) TF and 3D interferometric temporal focusing (ITF) microscopy. In addition, 3D-ITF microscopy can achieve 3D super-resolution function. Also we find that 3D-ITF imaging is robust in distorted optics. Chapter 1 reviews the wide-field optical microscopy with sectioning ability. Among them, TF microscopy is the best candidate to realize 3D volumetric in-vivo imaging. Then the problems of TF and the objective in this research are described. Chapter 2 describes the proposal and demonstrate 2D-TF to improve the sectioning ability of TF to be the same as that of a point scanning TPEF microscopy as well as to keep the wide-field feature. The experimental demonstration of the virtually imaged phased array (VIPA) based 2D-TF to verify the theory is described. Then a 2D-TF TPEF microscopy to evaluate the sectioning resolution is built up and the improvement in imaging depth is shown. At last, the fast 3D volumetric imaging in 2D-TF by imaging 3D Brownian motion is achieved. Chapter 3 describes the combination of 3D structured illumination microscopy (3D-SIM) and TF, named 3D-ITF microscopy, to both remove background fluorescence and improve spatial resolution and sectioning resolution. A digital micromirror device (DMD) is used to build up 3D-ITF in experiment. The super sectioning resolution and the super-resolution in 3D-ITF microscopy are evaluated, and the ability to remove background fluoresce in 3D-ITF imaging is proved. Chapter 4 describes the extension of the study described in Chapter 3 to investigate the performance of 3D-ITF imaging in distorted optics. The theoretical study shows that there is redundancy in spatial spectrum domain for 3D-ITF imaging. Through the numerical simulation, it is shown how the redundancy supports the resistance of spatial resolution and sectioning resolution in deep and dense sample imaging where wavefront distortions and background fluoresce exist. Chapter 5 summarizes the achievements in theoretical and experimental works and gives a prospect such as to combine the works in 2D-TF and 3D-ITF.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4971 号	氏 名	Song, Qiyuan
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	工学博士	神成 文彦
副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	斎木 敏治
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	田邊 孝純
	慶應義塾大学准教授	博士（理学）	渡邊 紳一
学士（理学）、修士（工学） Song, Qiyuan 君提出の学位請求論文は、「Study on new mechanisms for improving performance of two-photon excitation fluorescence microscopy using temporal focusing」（時間集光を用いた 2 光子励起蛍光顕微計測の性能向上のための新機構に関する研究）と題し、5 章から構成されている。 超短パルスレーザーの多光子吸収を用いた蛍光顕微鏡は、試料深さ方向のイメージング分解能を有することからバイオイメージングにおいて広く利用されつつある。しかし、面内方向に集光点を走査する必要があり 3 次元イメージ取得に必要な計測時間は短くない。近年、局所的にレーザーパルス幅を最短化できる時間集光(temporal focusing: TF) 光学系が提案され、多光子励起蛍光顕微計測を面内走査せずに実現することが可能となった。しかし、この TF-2 光子蛍光顕微鏡にはまだ 2 つの原理的な限界が存在する。第一に深さ方向の分解能は、従来の点集光 2 光子励起蛍光顕微鏡に劣る点である。第二に、従来法と同様に、深部計測や散乱強度の大きい生体材料では背景光としての蛍光強度が大きく、信号対雑音比(SNR)を高くできない点である。本論文の著者は、これら TF-2 光子蛍光顕微鏡の課題に鑑み、2 つの新規な光学系を考案し実験においてその性能を実証した。1 つめが 2 次元(2D)TF 光学系であり、2 つめが従来の TF 法に構造照明法を適用した干渉型 3 次元(3D)TF 光学系である。 第 1 章では、面状の広範囲な蛍光イメージを一括計測して、かつ深さ分解能を得るには、TF 法が優れていることを述べた上で、前述の 2 つの原理的な欠点について言及し、本研究の目的と意義をまとめている。 第 2 章では、異なる波長の光を 2 次元に角度分散させる 2D-TF 2 光子蛍光顕微光学系を提案し、面状の広範囲なイメージング特性を維持したまま点集光 2 光子励起蛍光顕微鏡と同じ深さ方向の分解能が得られることを理論的に導いた。実証実験においては通常の回折格子と仮想イメージ位相アレイを直交させて用いた 2 次元波長分散系を構築し、理論解析の結果が正しいことを実証した。直径 1 μm の蛍光微粒子のブラウン運動を 3 次元の動画計測することで 1 秒間に 30 の 3 次元像を再生できることも実証した。 第 3 章では、背景光となる散乱性の蛍光雑音を除去し、かつ 3 次元蛍光顕微測定における空間分解能を高められる手法として、1 次元 TF 光学系に構造照射光学系を適用する手法を提案した。実証実験ではデジタルマイクロ鏡アレイを利用し、異なる照射パターン計測データを数値的に後処理することで、これまでにない高い空間分解能でかつ SNR の高い蛍光イメージの取得に成功した。深さ方向分解能は 0.65 μm で 1 次元 TF 光学系のものに比べて 2.6 倍の改善が得られ、面内方向の分解能は回折限界の 1.4 倍が得られた。 第 4 章では、3 章で提案実証した光学系は、構造照明に於いて多くの空間周波数成分を何重にも重ねて計測していることに相当するため、生体等の試料における波面歪みと背景蛍光に対する耐性が非常に高いことを数値モデル計算からはじめて定量的に明らかにした。 第 5 章では、各章で得られた知見をまとめ、本研究の総括を行った。 以上要するに本論文は、レーザー誘起蛍光顕微鏡において、面内方向の点集光走査を用いずに、深さ方向の高分解能と SNR の高いイメージングを実現するための新しい光学手法を提案し実験的に実証している。この成果はレーザー計測工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4974 号	氏 名	青戸 良賢
主 論 文 題 名 : Genome and transcriptome analysis for the process of cancer progression (がん進展過程のゲノム・トランスクリプトーム解析)			
がんは先進国をはじめ世界中における主な死因の 1 つとして知られている. 近年の研究により, がんの進展や不均一性に関して様々な知見が得られてきた一方, がん細胞の発生から良性腫瘍の形成, 悪性化, 転移といった段階的進展過程の包括的理解は不足している. 本論文では, がん進展メカニズムの包括的理解を目的として, 腫瘍形成過程に関するゲノム・トランスクリプトーム解析を行った. ゲノム解析研究では腫瘍形成過程の経時的追従により, がん進化過程の解析を行った. まずマウスを用いた発がん実験を利用し, 病変部位の一部を外科的に採取することで同一個体に生じた各腫瘍を前向きに追従, 各腫瘍の経時変化解析および腫瘍間の比較解析を行った. これにより, 最終的に転移するに至った腫瘍(悪性化系列)と退縮して消失した腫瘍(退縮系列)は, それぞれ異なる変異を獲得・継承していることが示唆された. また, 変異蓄積過程を解析することで, 悪性化系列は良性期に選択圧に晒されている一方, 退縮系列は腫瘍発生初期から選択圧に晒されており, 腫瘍の運命は非常に早い時期から分岐している可能性が示唆された. 次に, 私は腫瘍形成過程のトランスクリプトーム解析を行った. ゲノム解析はゲノム変異の網羅的解析が可能である一方, トランスクリプトーム解析では全遺伝子規模での遺伝子発現定量, および条件間の比較解析が可能である. 現在までに様々なトランスクリプトーム解析手法が提案されている一方, 本研究で対象とする段階的がん進展過程のような, 多岐に渡る実験条件を扱う解析手法は確立されていない. そこでまず, 多条件を扱う発現差異遺伝子解析手法を新規に開発することとした. 評価実験により, 提案手法は既存のクラスタ分類手法に比べ非常に高い精度で有意な遺伝子クラスタを抽出可能であることが示された. さらに, 本提案手法を発がん実験により経時的に得られた腫瘍に適用することで, がん進展過程において有意な発現変動を示す遺伝子群を 16 クラスタに分類した. いずれのクラスタもそれぞれ特定の生体機能に関わる遺伝子群が有意に凝集しており, 各クラスタはがん進展過程に特徴的な発現パターンを持つ遺伝子群を表すと言える. 本論文では, ゲノム解析とトランスクリプトーム解析を通じて, がん進展における腫瘍内進化過程や, がん悪性化に伴い有意な発現変動を示す特徴的な遺伝子群について新たな洞察を与えた. がん進展過程について各過程を直接的に解析した例は稀であり, この点において本研究結果は意義深く, また, このような直接的解析の必要性を示すことができた.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4974 号	氏 名	青戸 良賢
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 榊原 康文
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡 浩太郎
		慶應義塾大学教授	農学博士 井本 正哉
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 舟橋 啓
学士（理学）、修士（理学）青戸良賢君提出の学位請求論文は「がん進展過程のゲノム・トランスクリプトーム解析（Genome and Transcriptome analysis for the process of cancer progression）」と題し、4章から構成されている。 がんは先進国をはじめ世界中における主な死因の1つとして知られている。近年の研究により、がんの不均一性や進展に関して様々な知見が得られてきた一方、がん細胞の発生から良性腫瘍の形成、悪性化、転移といった段階的進展過程の包括的理解は不足している。本学位論文では、がん進展メカニズムの包括的理解を目的として、腫瘍形成過程に関するゲノム・トランスクリプトーム解析を行った。 本論文の第1章では、がんゲノムのシーケンス解析とバイオインフォマティクス手法の重要性について述べるとともに、本研究で扱う二つの課題について概説した。 第2章では、腫瘍形成過程の経時的追跡により、がん進化過程の解析を行った。まずマウスを用いた発がん実験を利用し、病変部位の一部を外科的に採取することで同一個体に生じた各腫瘍を前向きに追跡、各腫瘍の経時変化解析および腫瘍間の比較解析を行った。これにより、最終的に転移するに至った腫瘍（悪性化系列）と退縮して消失した腫瘍（退縮系列）は、それぞれ異なる変異を獲得・継承していることが示唆された。また、変異蓄積過程を解析することで、悪性化系列は良性期に選択圧にさらされている一方、退縮系列は腫瘍発生初期から選択圧にさらされており、腫瘍の運命は非常に早い時期から分岐している可能性が示唆された。 第3章では、腫瘍形成過程のトランスクリプトーム解析を行った。ゲノム解析はゲノム変異の網羅的解析が可能であり、トランスクリプトーム解析では全遺伝子規模での遺伝子発現定量、および条件間の比較解析が可能である。現在までに様々なトランスクリプトーム解析手法が提案されているが、本研究で対象とする段階的がん進展過程のような、多岐に渡る実験条件を扱う解析手法は確立されていない。そこでまず、多条件を扱う発現差異遺伝子解析手法を新規に開発することとした。評価実験により、提案手法は既存のクラスタ分類手法に比べ非常に高い精度で有意な遺伝子クラスタを抽出可能であることが示された。さらに、本提案手法を発がん実験により経時的に得られた腫瘍に適用することで、がん進展過程において有意な発現変動を示す遺伝子群を16クラスタに分類した。いずれのクラスタもそれぞれ特定の生体機能に関わる遺伝子群が有意に凝集しており、各クラスタはがん進展過程に特徴的な発現パターンを持つ遺伝子群を表すと言える。 第4章では、本研究を総括するとともに、開発したがんゲノム解析手法およびトランスクリプトーム解析手法について今後の応用可能性を議論した。 以上結論として、ゲノム解析とトランスクリプトーム解析を通じて、がん進展における腫瘍内進化過程や、がん悪性化に伴い有意な発現変動を示す特徴的な遺伝子群について新たな洞察を与えた。がん進展過程について各過程を直接的に解析した例は稀であり、この点において本研究結果は意義深く、また、このような直接的解析の必要性を示すことができた。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 4975 号	氏 名	中島 康貴
主 論 文 題 名： 高繰返しフェムト秒レーザパルスによる導電性微細構造作製の研究			
軽い、薄い、折り曲げられる等の特長を有するフレキシブルデバイス作製のための材料加工手法に関する研究が多数なされているが、少ない工程数、少量多品種生産への適用可能性、三次元構造作製への適用可能性等の条件をいずれも満たす加工手法の実現には未だ至っていない。レーザプロセッシングは、照射条件による加工結果の制御が可能であるほか、レーザ光の走査による形状自由度の高い加工が可能である。中でも、フェムト秒レーザプロセッシングは多光子吸収により焦点近傍のみで相互作用を誘起できるため、回折限界を超える加工および三次元加工も可能である。本研究では、高繰返しフェムト秒レーザを用いてエラストマーであるポリジメチルシロキサン（Polydimethylsiloxane, PDMS）を加工することで、フレキシブルデバイスに活用可能な導電性構造を作製することを目的とした。具体的には、導電性微細複合構造の作製ならびに材料改質による PDMS への局所的導電性付与を研究した。 第 1 章は、序論である。フレキシブルデバイスに関して、その特徴と用途ならびに用いられる材料について述べた後、フレキシブルデバイスの作製手法に関する研究動向と課題を述べた。そして、本研究の目的と意義を述べた。 第 2 章では、フェムト秒レーザパルスと材料の相互作用について述べた。PDMS の導電性微細複合構造作製および材料改質による PDMS への局所的導電性付与において基盤となる物理を説明し、金属イオンの光還元とポリマーの光重合およびそれらの同時誘起、さらにポリマーの材料改質について、報告事例をまとめた。 第 3 章では、フェムト秒レーザを用いた光還元と光重合の同時誘起による金属と PDMS の微細複合構造作製の研究について述べた。微細複合構造作製の実験実証ならびに力学的作用による作製構造の導電性変化を活用したセンシング応用について述べた。 第 4 章では、フェムト秒レーザを用いた材料改質による PDMS への局所的導電性付与の研究について述べた。作製した構造の導電性評価ならびに分子構造と結晶構造の分析結果から、高繰返しフェムト秒レーザパルス照射により PDMS の局所的な熱分解が誘起され、導電性シリコンカーバイド構造が作製されることを明らかにした。 第 5 章は、本論文の結論であり、本研究の成果を総括し、今後の展望を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4975 号	氏 名	中島 康貴
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学准教授 博士（工学） 寺川 光洋			
副査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 斎木 敏治			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 木下 岳司			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 柿沼 康弘			
学士（工学）、修士（工学）中島康貴君提出の学位請求論文は「高繰返しフェムト秒レーザパルスによる導電性微細構造作製の研究」と題し、5章から構成されている。 柔らかい材料を活用したフレキシブルデバイスを作製するために多数の材料加工手法が提案されているが、少ない工程数、少量多品種生産への適用可能性、三次元構造作製への適用可能性等のいずれをも満たす加工手法の実現には至っていない。レーザプロセッシングは、照射パラメータを変化させることで異なる加工結果を得ることが可能であるほか、レーザ光の走査による形状自由度の高い加工が可能である。中でも、フェムト秒レーザプロセッシングは非線形相互作用により焦点近傍のみで材料改質もしくは除去を可能とし、また、回折限界を超える寸法の加工および三次元加工が可能である。本論文の著者は、高繰返しフェムト秒レーザを用いてポリジメチルシロキサン（Polydimethylsiloxane, PDMS）を加工することで、フレキシブルデバイスに活用可能な導電性構造を作製した。具体的には、PDMS と銀から成る導電性微細複合構造の作製ならびに材料改質による PDMS への局所的導電性付与を研究している。 第1章は、序論である。フレキシブルデバイスに関して、その特徴と用途ならびに用いられる材料について述べられている。さらに、フレキシブルデバイスの作製手法に関する研究の動向と技術的課題が説明され、本研究の目的と意義が述べられている。 第2章では、フェムト秒レーザパルスと材料の相互作用について述べられている。金属と PDMS の導電性微細複合構造作製および材料改質による PDMS への局所的導電性付与において基盤となる物理が整理されており、金属イオンの光還元とポリマーの光重合、およびそれらの同時誘起、さらにポリマーの材料改質について、研究事例がまとめられている。 第3章では、フェムト秒レーザを用いた光還元と光重合の同時誘起による金属と PDMS の微細複合構造作製の研究について述べられている。微細複合構造作製の実験実証ならびに作製した構造の導電性測定結果が示されている。さらに、作製した微細複合構造の力学的作用による導電性変化を活用したセンシングへの応用が検証されている。 第4章では、フェムト秒レーザを用いた材料改質による PDMS への局所的導電性付与の研究について述べられている。作製した構造の導電性評価ならびに分子構造と結晶構造の分析結果から、高繰返しフェムト秒レーザパルス照射により PDMS の局所的な熱分解が誘起され、導電性シリコンカーバイド構造が作製されることが明らかにされている。さらに、レーザパラメータと作製構造の導電性の関係について調べた結果が述べられている。 第5章は、本論文の結論である。本研究の成果が総括され、今後の展望が述べられている。 以上要するに、本論文は高繰返しフェムト秒レーザパルス照射により PDMS を加工することで、フレキシブルデバイスに活用可能な導電性微細構造を作製する新たな手法を提案し、実験実証したものであり、レーザ工学分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4976	Name	Kor, Hosnieh
Thesis Title			
Development of an efficient immersed boundary method for simulation of flows around stationary and moving bodies			
This thesis aims at developing an immersed boundary method to provide an accurate imposition of the boundary conditions while keeping the simplicity of implementation. In this regard, first we attempt to develop a unified interpolation stencil that is used for a ghost-cell and reconstruction immersed boundary methods to satisfy wall boundary conditions in Cartesian-based numerical simulation of fluid flow with arbitrary boundaries. As other existing ghost-cell and reconstruction methods do, the numerical boundary point is considered near the physical boundary and the required flow properties are interpolated directly from the proximate points in the fluid region. In this research, we propose a unified interpolation scheme based on a sequence of one-dimensional interpolations. In contrast to typical standard stencils, the proposed ones are versatile and do not require to be altered according to the irregularities in boundary shape. Namely, the boundary condition can be accurately imposed with a unique stencil for all numerical boundary points while preserving the convergence rate of the flow solver. Performance of the proposed method is studied by solving incompressible flows and heat transfer around stationary and moving boundaries. As for the moving boundaries, it has been reported that despite the adequate accuracy of the primary and secondary variables computed by immersed boundary, an intolerable amount of oscillations are observed in the surface stresses and thus in the non-dimensional forces, particularly in the drag force. In order to decrease the non-physical oscillation, we make a comparison between the ghost-cell method and reconstruction-based direct forcing, which reveals the superiority of reconstruction method in suppressing the spurious force oscillations which are produced near the boundary. Then, we opt for the reconstruction approach combined with the unified interpolation stencil. Comparison of our numerical results with the existing numerical and experimental data shows general agreement, which confirms the capability of the proposed method. Finally, the proposed immersed boundary method is applied to simulate a set of cylinders falling under the gravity force. This sedimentation process has been a highly challenging problem for moving immersed boundary methods. This work addressed some difficulties regarding the implementation of the immersed boundary method to solve Navier-Stokes equations and provide second-order accuracy. The obtained results demonstrated the capability of the interpolation scheme to satisfy the boundary conditions for arbitrary geometries.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4976 号	氏 名	Kor, Hosnieh
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）・TeknD 深淵 康二
	副査	慶應義塾大学教授	Dr. -Ing. 小尾 晋之介
		慶應義塾大学専任講師	Ph. D. 安藤 景太
		東京大学准教授	博士（工学） 長谷川 洋介
		東京農工大学教授	博士（工学） 岩本 薫
工学修士（Master in Aerospace Engineering）、Hosnieh Kor（ホスニエ コール）君提出の学位論文は Development of an efficient immersed boundary method for simulation of flows around stationary and moving bodies（静止物体および移動物体周り流れシミュレーションのための効率的な埋め込み境界法の開発）と題し、本編 5 章により構成されている。 複雑な境界形状を伴う流れの数値シミュレーションを行う場合、境界形状に沿って境界付近および領域全体の計算格子を生成し、その上でシミュレーションを行うことが一般的であるが、実際の設計の現場ではその計算格子の生成に大変な労力（人的資源および計算機資源）がかかっており、また生成した計算格子の良し悪しによって予測精度が左右されることが大きな問題となっている。 埋め込み境界法（Immersed boundary method：IB 法）は計算格子生成の手間を排除し、かつ流れのシミュレーションを高精度・高効率に行うための方法の一つであり、直交格子などそれに対して効率的なソルバーが存在する計算格子を用い、境界形状はその境界近傍の計算格子に仮想的な力を与えることにより境界条件を満たすという計算手法である。これまで IB 法に対して様々な研究がなされ、初期の IB 法に存在していた数値不安定性を抑制する IB 法がいくつも提案されているが、これら既存の IB 法では計算格子と物理的な境界面の様々な位置関係を考慮するためにいくつもの場合分け処理が必要であり、これが IB 法のプログラミングの煩雑さの原因および計算効率向上に対するボトルネックとなっていた。本論文の著者はこの問題点を解決すべく、場合分けが不要な新しい統一的な補間方法を提案し、その精度を数値シミュレーションによって検証している。 第 1 章ではこれまでに提案された IB 法に関して広範な文献調査を行い、既存の手法の長所および短所を比較し、それらにおける共通の問題点を指摘することにより、本研究を動機づけている。 第 2 章では流れの支配方程式を提示し、支配方程式の空間離散化および数値時間積分の詳細に交えて IB 法の基本的な計算手順をまとめ、続いて IB 法における異なる力の加え方、即ち、Direct forcing method, Ghost-cell method および Reconstruction method についての詳細を述べている。また、結果の評価に必要な統計量の計算手法についても述べている。 第 3 章では Image point（鏡像点）と Normal line（垂線）に沿った一次元補間に基づく統一的な補間方法を提案し、その計算精度を解析解の存在する二重円筒内の流れや、実験データおよび数多くの数値解が存在する単一静止円柱周りの流れや角柱周りの流れで検証している。この結果、本提案手法を用いたシミュレーション結果は既存の知見と定量的に良好に一致し、空間解像度に対しては凡そ二次精度を有していることが示された。 第 4 章では提案した補間方法の移動境界問題への拡張について述べている。静止した円柱および振動する円柱周りの流れのシミュレーション結果より、Reconstruction method を用いた場合、静止境界問題に対しては Ghost-cell method と同様の結果が得られ、移動境界問題に対しては Ghost-cell method で生じる非物理的な数値振動が大幅に抑制できることが示された。さらに、振動・回転する薄翼周りの流れや重力によって沈降する複数の円柱を伴う流れなど、いくつかのベンチマーク問題に対して、本提案手法を用いた計算結果を定量的に検証した。 第 5 章は結論であり、本論文の結果の総括と今後の展望を述べている。 以上の研究結果は、今後、産業界での応用上必要となる複雑境界形状を伴う流れの数値シミュレーションの高効率化にも役立つことが期待され、学術的にも工学的にも極めて有意義といえる。 よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 4977 号	氏 名	藤沢 貴典
主 論 文 題 名：			
画像再構成問題に関する研究 ― 超解像とぶれ除去 ―			
画像信号は被写体から、撮像機器内のアナログ・デジタル処理を経て計算機上で扱える情報となるが、その過程において劣化が生じる。画像の劣化過程はその要因によって異なったモデルで表現することができるが、そのモデルと異なる画像再構成手法を適用すると、劣化を除去できないのみでなく、本来の画像情報を大きく損なう。そのため、画像の劣化過程に応じて適切な画像再構成手法を適用する必要がある。本研究では画像再構成技術のうち、ぼけを含む画像の高解像度化技術である超解像と、撮像機器の焦点ぼけやモーションぶれを除去する画像のぶれ除去技術に着目し、処理の高速化や精度向上を図ったアルゴリズムを提案する。 第 1 章では、研究背景として、画像に混入する様々な画像劣化の原因について言及して本研究の目的を示した。 第 2 章では、画像の劣化過程の一般的なモデルを提示してそれをもとに従来の画像再構成手法を一般化した。 第 3 章では、画像の高解像度化技術である超解像技術を取り扱った。辞書ベース超解像手法は、高解像度の画像パッチを辞書行列と係数ベクトルの線形結合で表現する。従来の辞書ベース超解像手法は低解像度・高解像度の辞書ペアを予め用意しておく必要があり、パッチサイズ、辞書サイズ、拡大率等のパラメータに柔軟に対応できないという問題があった。本研究では、入力低解像度画像から低解像度・高解像度の辞書ペアを動的に生成し、従来法の問題であった、辞書を用意しておくことの欠点を解消した。また本研究では従来手法の L1 再構成問題を L2 再構成問題に変更することで超解像の性能を損なうことなく、処理時間を大幅に削減できることを示した。 第 4 章では、画像の劣化過程のうち、撮像機器の動きや、焦点ぼけによって生じるぶれ特性に着目し、ぶれを含む画像からぶれない画像を推定するぶれ除去手法を取り扱った。劣化画像であるぶれ画像は劣化のない原画像にカーネル（点拡がり関数）と呼ばれるぶれ特性が畳み込まれた画像とみなすことができる。本研究では、ぶれ画像のみから、カーネルを推定するカーネル推定問題と、推定したカーネルから画像を補正する逆畳み込み問題の両方を実行するブラインド逆畳み込み問題を取り扱った。カーネル推定問題では画像に特徴抽出フィルタを導入することで、その精度向上を図った。逆畳み込み問題では、差分逆畳み込みを周波数上で実現する方法を考案し、実行速度を大きく短縮した。 第 5 章では、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4977 号	氏 名	藤沢 貴典
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 工学博士 池原 雅章			
副査 慶應義塾大学教授 工学博士 岡田 英史			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 斎藤 英雄			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 湯川 正裕			
学士(工学), 修士(工学) 藤沢貴典君提出の学位請求論文は「画像再構成問題に関する研究 -超解像とぶれ除去-」と題し5章から構成されている。 被写体から撮像機器内のアナログ・デジタル処理を経て画像信号を取得する過程において様々な劣化が生じる。画像の劣化過程はその要因によって異なったモデルで表現することができるが、そのモデルと異なる画像再構成手法を適用すると、劣化を除去できないのみでなく、本来の画像情報を大きく損なう。そのため、画像の劣化過程に応じて適切な画像再構成手法を適用する必要がある。本研究では画像の再構成技術のうち、ぼけを含む画像の高解像度化技術である超解像と、撮像機器の焦点ぼけや撮像の際のモーションぶれを除去する画像のぶれ除去技術に着目し、処理の高速化や精度向上を図ったアルゴリズムを提案する。 第1章では、研究背景として、画像に混入する様々な画像劣化の原因について言及して本研究の目的を示している。 第2章では、画像の劣化過程の一般的なモデルを提示して、従来の画像再構成手法を統一化している。 第3章では、画像の高解像度化技術である超解像技術を取り扱っている。従来の辞書ベース超解像手法は低解像度・高解像度の辞書ペアを予め用意しておく必要があり、パッチサイズ、辞書サイズ、拡大率等のパラメータに柔軟に対応できないという問題があった。本研究では、入力低解像度画像から低解像度・高解像度の辞書ペアを動的に生成し、従来法の問題であった、辞書を用意しておくことの欠点を解消している。またL1再構成問題をL2再構成問題に緩和することで超解像の性能を損なうことなく、処理時間を大幅に削減できることを示している。 第4章では、画像の劣化過程のうち、撮像機器の動きや、焦点ぼけによって生じるぶれ特性に着目し、ぶれを含む画像からぶれの無い画像を推定するぶれ除去手法を取り扱っている。本研究ではぶれ画像のみから、ぶれカーネルを推定するカーネル推定問題と、推定したカーネルから画像を補正する逆畳み込み問題の両方を実行するブラインド逆畳み込み問題を取り扱っている。カーネル推定問題では画像に特徴抽出フィルタを導入することで、その精度向上を図っている。逆畳み込み問題では、差分逆畳み込みを周波数領域で実現する方法を考案し、実行速度を大きく短縮している。 第5章では、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約している。 以上要するに、本研究は超解像とぶれ除去に関する画像再構成法を提案したものであり、従来法に比べ高速かつ高品質な画像の超解像及びぶれ除去を実現しており、画像工学分野において工學上、工業上寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4988	Name	Tripetch, Kittipong
Thesis Title Design and Analysis of High Order Gm-C Filter and Cross Coupled Oscillator Using CMOS Technology			
Analog-digital mixed signal LSI plays an important role in the electronics. However, various on-chip analog circuit designs have various tradeoffs and it is difficult to design. A filter and an oscillator are indispensable analog circuits. The active filter is important for a wide range of fields, such as a channel selection filter for wireless LAN, as a notch filter for 50 Hz, 60 Hz power interference cancellation, communication and biomedical signal acquisition. In addition, the oscillator is a core element for wireless communication and a clock for digital synchronous circuit. Based on this background, this research is conducting analog circuit design while comparing analytic and simulation method. Chapter 1 is an introduction, the background of this research and the Gm-C filter design previously proposed are summarized and the problems of the conventional design are summarized Chapter 2 discusses about noise analysis of Nauta's transconductance amplifier. Usually, noise analysis must be derived by sum of mean square noise current source which is multiplied by square of output resistance divided by dc voltage gain. Equivalent output noise voltage of high order Gm-C filter simulation results are presented. Chapter 3 discusses about how to design two types of Gm-C filter called 5th order Gm-C elliptic filter and 10th order Gm-C elliptic filter based on element substitution which can be design from cutoff frequency, impedance scaling and filter table. The simulation results indicate that 5th-order elliptic Gm-C Low Pass Filter shows the cut-off frequency dropped to 21.88 MHz due to high-frequency small-signal parasitic capacitances. The maximum input amplitude is -5.46 dBm for Total Harmonic Distortion less than 1%. The output noise is at -168 dB at input frequency 1MHz. Chapter 4 discusses about Notch filter. This thesis proposed 2nd, 4th and 6th order Notch filter for interference rejection at 50 Hz which is the same frequency from high voltage power line. The architecture of the 2nd order Notch filter from Kenneth Laker is chosen and designed. Magnitude response of the 6th order Notch filter is simulated for 0.18 micron CMOS Process. The biomedical signal acquisition LSI system is designed by a modification of Twin-T 2nd order notch filter. Chapter 5 discusses about cross coupled oscillator design using Root Locus methodology. The time domain graph is shown as the result of four pole positions and four unknown constants which can be derived. Chapter 6 is a conclusion of the thesis.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4988 号	氏 名	Tripetch, Kittipong	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	中野 誠彦
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	石黒 仁揮
		慶應義塾大学准教授	博士（工学）	久保 亮吾
		慶應義塾大学教授	博士（理学）	井関 裕靖
学士（工学）、修士（工学）TRIPETCH, Kittipong(トリペッチ, キッチポン)君提出の学位請求論文は「Design and Analysis of High Order Gm-C Filter and Cross Coupled Oscillator Using CMOS Technology」（CMOS 技術を用いた高次 Gm-C フィルタおよびクロスカップル型発振器の設計と解析）と題し、6 章から構成されている。デジタル・アナログ混載型の LSI はエレクトロニクス分野において重要な役割を果たしている。しかしながら、オンチップアナログ回路設計において様々なトレードオフが生じ、設計は困難となっている。重要なアナログ回路として、フィルタおよび発振器が挙げられる。アクティブフィルタは、無線 LAN 用のチャネル選択フィルタとして、また 50 Hz、60 Hz 電源干渉除去用のノッチフィルタとして、通信および生体信号取得など幅広い分野において重要な役割を果たしている。また、発振器は無線通信およびデジタル同期回路用クロックとして必要不可欠な要素である。 以上の背景をもとに、本研究は、解析的な手法とシミュレーションによる手法を比較しながら、アナログ回路設計を行っている。 第 1 章は序論であり、本研究の背景とこれまで提案された Gm-C フィルタ設計について、従来技術の課題がまとめられている。 第 2 章では、Nauta のトランスコンダクタンス増幅器の雑音解析が示されており、高次 Gm-C フィルタシミュレーションによる等価出力雑音電圧を明らかにしている。 第 3 章では、5 次 Gm-C 楕円フィルタと 10 次 Gm-C 楕円フィルタの 2 種類の Gm-C フィルタを、カットオフ周波数、インピーダンススケールリングとフィルタテーブルから設計する手法を示している。遮断周波数 21.88 MHz の設計において最大入力振幅は、全高調波ひずみ 1%未満の場合、-5.46 dBm を達成している。 第 4 章では、アクティブノッチフィルタの設計手法について述べられている。商用電源周波数 50 Hz の干渉除去用 2 次、4 次、6 次のノッチフィルタ設計を示している。2 次ノッチフィルタは Kenneth Laker のアーキテクチャをもとに設計されている。6 次ノッチフィルタの応答は、0.18μm-CMOS プロセスでシミュレーションが行われ、生体信号取得 LSI システムに有用な、Twin-T 2 次ノッチフィルタにおける設計が示されている。 第 5 章では、根軌跡法によるクロスカップル型発振器の設計を示している。多項式解析により 4 つの極配置を求め、発振器の特性を導いている。 第 6 章は結論であり、本研究の総括がなされている。 以上要するに、本研究は LSI アナログ回路設計において重要な回路要素の設計手法を示すことで、複雑な設計問題への解を導く可能性を示すもので、集積回路分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。				

内容の要旨

報告番号	甲 第 4989 号	氏 名	富岡 孝太
主 論 文 題 名 :			
誘電体多層膜を用いた宇宙用電波透過型熱制御材に関する研究			
宇宙空間における物体の温度は、熱光学特性（太陽光吸収率と全半球放射率）によって決まるため、それらの値を自由に選択できることは、宇宙機の熱設計を行う上で望ましい。しかし、従来これらの値はバルクの物性値から決定されるため、限られた値しか選択できないのが現状である。さらに、低太陽光吸収率または低放射率を示す材料は金属を使って実現していたため、電波透過性が無く、電波透過性と熱光学特性の両立する材料はこれまで無かった。そこで本研究では、誘電体多層膜の光干渉を用いて、紫外域から遠赤外域（0.25 ～ 100 μm）の反射特性を制御し、自在に熱光学特性を選択できるような電波透過型熱制御材 COSF(Controlled Optical Surface Film)の提案を行い、試作、評価および宇宙空間での実証実験を行った。また、COSF を使った電波透過性と断熱性を両立させた RT-MLI(Radiowave Transmissive MultiLayer Insulation)の提案を行った。その際、従来困難であった小サイズ試料の低熱伝導率測定について、熱損失量を考慮した高精度熱伝導率測定法を提案し、その有用性を示すと共に、RT-MLI の評価を行った。 第 1 章に、本研究の背景と COSF の提案を行い、電波透過性と熱光学特性を両立させる意義について概説した。 第 2 章では、COSF の原理について論じた。また、薄膜材料とバルク材料の光学定数の違いについて論じ、実際の光学定数測定結果を示した。 第 3 章では、遺伝的アルゴリズムによる多層膜設計法を提案し、自在に熱光学特性を設計できることを明らかにした。その際、熱光学的知識を新たにアルゴリズムに導入することで、より少ない多層膜数で狙いの熱光学特性を設計できることを示した。 第 4 章では、低太陽光吸収率・高放射率を示す電波透過型排熱材 COSF, 低放射率を示す電波透過型赤外反射材 COSF-IR の試作を行い、それぞれの熱光学特性および電波透過性の測定を行い、従来金属材と比較して優れた性能を有することを明らかにした。 第 5 章では、COSF を使った電波透過型断熱材 RT-MLI の提案を行った。また、低熱伝導率材料の熱伝導率測定についての新しい補正法を提案し、実際に RT-MLI の熱伝導率測定を行い、評価を行った。 第 6 章では、COSF の宇宙空間での劣化特性について述べ、その劣化予測を地上実験結果と合わせて論じた。また、小型衛星ほどよし 4 号機、および国際宇宙ステーションにおける実証実験についての実験概要および実験結果についてまとめた。 第 7 章では、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4989 号	氏 名	富岡 孝太
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 工学博士 長坂 雄次			
副査 慶應義塾大学准教授 博士（工学） 田口 良広			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 高橋 正樹			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 石上 玄也			
学士（工学），修士（工学）富岡孝太君提出の学位請求論文は「誘電体多層膜を用いた宇宙用電波透過型熱制御材に関する研究」と題し，7章から構成されている。 宇宙空間における物体の温度は，熱光学特性（太陽光吸収率と半球放射率）によって決まるため，それらの値を自由に選択できることは，宇宙機の熱設計を行う上で望ましい。しかし，従来これらの値はバルクの物性値から決定されるため，限られた値しか選択できないのが現状であった。さらに，低太陽光吸収率または低放射率を示す材料は金属を使って実現していたため，電波透過性無く，電波透過性と熱光学特性を両立する材料はこれまで無かった。そこで本研究は，誘電体多層膜の光干渉を用いて，紫外域から遠赤外域（0.25 ～ 100 μm）の反射特性を制御し，自在に熱光学特性を選択できるような電波透過型熱制御材 COSF（Controlled Optical Surface Film）を提案し，試作・評価および宇宙空間での実証実験を行い，その有用性を明らかにしている。また，COSF を使った電波透過性と断熱性を両立させた電波透過型断熱材 RT-MLI（Radiowave Transmissive MultiLayer Insulation）の提案をしている。その際，従来困難であった小サイズ試料の低熱伝導率測定について，熱損失量を考慮した高精度熱伝導率測定法を提案し，その有用性を示すと共に，RT-MLI の評価を行っている。 第1章に，本研究の背景と COSF の提案を行い，電波透過性と熱光学特性を両立させる意義について概説している。 第2章では，COSF の原理について論じている。また，薄膜材料とバルク材料の光学定数の違いについて考察し，実際の光学定数測定結果を示している。 第3章では，遺伝的アルゴリズムによる多層膜設計法を提案し，自在に熱光学特性を設計できることを明らかにしている。その際，熱光学的知識を新たにアルゴリズムに導入することで，より少ない多層膜数で狙いの熱光学特性を設計できることを示している。 第4章では，低太陽光吸収率・高放射率を示す電波透過型排熱材 COSF，低放射率を示す電波透過型赤外反射材 COSF-IR（Infrared）の試作を行い，それぞれの熱光学特性および電波透過性の測定を行い，従来の金属材料と比較して優れた性能を有することを明らかにしている。 第5章では，COSF を使った RT-MLI の提案を行っている。また，低熱伝導率材料の熱伝導率測定についての新しい補正法を提案し，実際に RT-MLI の熱伝導率を測定し，評価を行い，その有用性を明らかにしている。 第6章では，COSF の宇宙空間での劣化特性について述べ，その劣化予測を地上実験結果と合わせて論じている。また，小型衛星ほどよし 4 号機，および国際宇宙ステーションにおける実証実験についての実験概要および実験結果についてまとめている。 第7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，本研究は誘電体多層膜の光干渉を用いて，紫外域から遠赤外域の反射特性を制御し自在に熱光学特性を選択できる電波透過型熱制御材の新たな設計手法を提案し，試作・評価および宇宙空間での実証実験を行い，その有用性を明らかにしており，宇宙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 4990 号	氏 名	張 善明
主 論 文 題 名 :			
Energy Efficient and Enhanced-type Data-centric Network Using Network Virtualization Technology (データ指向型ネットワークのネットワーク仮想化技術を用いた消費エネルギー最適化)			
現在のインターネットは、1960 年代に始まる研究開発ネットワークとして使われていたものから進化し続け、2018 年現在、完全に社会インフラの一つとしてあらゆる分野で誰でも使えるようなネットワークとなっている。近年、インターネットへの接続通信端末や利用者の急増に伴い、数十年前作られた基本技術に基づくインターネットには、様々な問題が生じてきた。これに対して、将来新たな要求を満たすため、Future Internet と呼ばれるゼロから構築する新世代ネットワークの研究が提唱されてきた。新世代ネットワークでは、現在のインターネットと同じようなホスト間通信形態ではなく、“情報” ユーザ間の Information-centric Networking (ICN) と呼ばれる情報指向型の通信形態の通用が検討されている。ICN は、ユーザがデータを保持するホストの場所ではなく、直接“情報” に付けた名前でもネットワークにアクセスし、要求“情報” であるデータをユーザに届ける。ICN を実用化するためには、消費エネルギー、スケーラビリティ、Quality of Service (QoS)、セキュリティ、モビリティなどの研究課題が存在している。 本論文では、これらの研究課題の中、消費エネルギー、スケーラビリティ、QoS の観点から課題解決に取込み、Energy Efficient and Enhanced-type Data-centric network (E³-DCN) と呼ばれる新たな ICN を提案する。DCN は、将来のデータのモビリティや変化（追加、更新、削除）の特性がある Machine-to-Machine(M2M)通信環境を支え、大規模なネットワーク上での膨大な量のデータから容易かつ効率的にデータを取得することができる ICN ネットワークである。E³-DCN は、DCN を踏まえて、ネットワークが未登録の要求データの関連素材を発見し、要求データを生成する拡張型 ICN ネットワークを実現する。また、ネットワーク仮想化技術を活用し、ネットワーク資源の確保及び、最新のネットワーク使用状況に適応した QoS 保証を実現する。さらに、データ転送の際の消費エネルギーを最適化するルーティング手法、動的なネットワーク資源の割当手法を組込むことにより、データ転送の消費エネルギーの削減を実現する。 本論文は以下のように構成される。第 1 章では、新世代ネットワークにおける課題を整理し、本論文の目的を明確化する。第 2 章では、関連する ICN の研究技術や手法を整理し、本論文の位置付けを示す。第 3 章では、E³-DCN のアーキテクチャの提案を行う。E³-DCN の特長は、(1)データ創生用ネットワークの ICN への組込、(2)経路制御などを担うコントロールプレーンとデータ転送を担うデータプレーンを分離と独自網資源付与による QoS 保証、である。また、実現に関するノードのデザインや検証実験用プロトタイプの構成を述べる。第 4 章では、データ転送の消費エネルギーを最適化するルーティング手法の詳細を述べる。計算機シミュレーションにより、従来方式と比較して、データ転送の消費エネルギーを約 40%削減できることを示す。第 5 章では一層の転送エネルギー削減を目指したネットワーク資源の動的割当手法について提案を行う。計算機シミュレーションにより、E³-DCN 全体の転送エネルギーを平均 15%、最大 30%削減できることを示す。最後に、第 6 章において論文全体の結論を述べる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4990 号	氏 名	張 善明
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士
		慶應義塾大学教授	工学博士
		慶應義塾大学教授	博士（工学）
			津田 裕之

学士（工学）、修士（工学）張善明君の学位請求論文は、「Energy Efficient and Enhanced-type Data-centric Network Using Network Virtualization Technology（データ指向型ネットワークのネットワーク仮想化技術を用いた消費エネルギー最適化）」と題し、全 6 章から構成される。

現在のインターネットは、研究開発ネットワークとして使われていたものから進化し続け、完全に社会インフラの一つとしてあらゆる分野で誰でも使えるネットワークとなった。しかしながら、接続通信端末や利用者の急増に伴い、様々な問題が生じてきた。これに対して、Future Internet の必要性が提唱されてきた。Future Internet の技術の一つとして、ホスト間通信形態ではなく、“情報”—ユーザ間通信形態である Information-centric Networking (ICN) と呼ばれる通信形態が提唱されている。ICN を実用化するためには、消費エネルギー削減、スケーラビリティ確保、Quality of Service (QoS) 提供、セキュリティなどの研究課題が存在している。

本論文では、これらの研究課題の中から、消費エネルギー、スケーラビリティ、QoS に焦点を当てて課題解決に取り組んでいる。具体的には、JGN-X テストベッドのネットワーク仮想化プラットフォームをターゲットとし、JGN-X 上で動作させる Energy Efficient and Enhanced-type Data-centric Network (E³-DCN) と呼ぶ新たな ICN を提案している。E³-DCN は、ネットワーク仮想化技術を最大限活用して QoS 保証の実現及び転送エネルギー削減を目的としている。本論文においては、(1)E³-DCN の構想と実現のためのアーキテクチャ、(2)提案アーキテクチャに対する転送エネルギー削減のためのデータ転送経路探索方式、(3)仮想ネットワークに対する動的な仮想リンクへの容量割当による転送エネルギー削減方式、の 3 本の柱により、転送消費エネルギー削減、スケーラビリティ確保、QoS 提供可能な ICN を達成する研究を行っている。本論文は以下のように構成される。

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

第 2 章では関連する ICN の研究技術や手法を整理し、既存 ICN 技術の課題点を示し、課題に対する本研究の位置付けを明確化している。

第 3 章から第 5 章は具体的な研究内容について述べている。第 3 章では E³-DCN のアーキテクチャ及び JGN-X への実装手法の提案を行っている。提案アーキテクチャは、光回線交換と電子的パケット交換の使い分けにより、データ転送エネルギーの削減、QoS の保持が可能となることを計算機シミュレーション及び実験的に評価することによって、提案アーキテクチャの有効性を示している。さらに、JGN-X テストベッド上に E³-DCN を実装し、提案アーキテクチャが実現可能であることを確認している。

第 4 章では、E³-DCN における転送エネルギー削減を実現するための転送経路決定手法を提案している。大規模な E³-DCN を仮定し、コンピュータシミュレーションにより光回線交換型リンクと電子的パケット交換型リンクを組み合わせる E³-DCN が、組み合わせない場合よりも、最大で 40% の転送エネルギー削減を実現可能となることを示し、提案手法の有効性を示している。

第 5 章では、一般的な電気パケット交換型リンクで構成される仮想ネットワークにおいて、仮想リンクを使用容量分のサブ仮想リンクと未使用容量分のサブ仮想リンクに分割し、未使用容量分のサブ仮想リンクを転送エネルギー最小化となるよう再割り当てを行う方式の提案を行っている。又、具体的な実装手法の提案と動作確認、コンピュータシミュレーションによる転送消費エネルギー削減と転送遅延増加のトレードオフ分析を行った結果を示し、15% の転送エネルギー削減が可能となることを示し、提案した動的リンクリソース分割・再割り当て手法の有効性を示している。

第 6 章は結論であり、本研究により得られた結果を総括している。

以上要するに、本論文は低転送エネルギーかつ QoS 保証の実現性を備えた ICN 構築技術の確立のために、ネットワーク仮想化基盤を手法について提示している。これらの研究内容は、将来の社会インフラストラクチャとしての新世代ネットワーク、特に ICN の継続的発展を実現する上で、工学上寄与する所が大きいと評価される。

よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 4991 号	氏 名	安戸 僚汰
主 論 文 題 名： Theoretical Design Methodology for Practical Interconnection Networks (実用的相互結合網のための理論的設計方法論)			
高性能計算のプラットフォームやハイエンド・データセンター向けの並列アプリケーションにおいては、端点間の通信遅延が重大な問題である。一方ではコンピュータ・アーキテクトラが相互結合網を実験的あるいは経験的に設計しようと試みてきた。他方では理論研究者がコンピュータのネットワークをモデル化し、その性質を理論的に研究してきたが、そのモデルは正確に実際のシステムの性質を捉えているとはいえない。そこで本論文では、理論的な研究と実践的な研究の間に存在するギャップを埋めるために高性能な相互結合網を設計するための新しい手法を確立する。特に本論文はグラフ理論、複雑ネットワーク科学、ブロックデザインの理論などの知識を従来の相互結合網の工学的研究と共に活用する。 まずホストスイッチグラフと呼ばれる新しいグラフを導入する。このグラフは最大次数 1 のホスト頂点と最大次数 r のスイッチ頂点を持ち、実用的な並列分散計算機システムのトポロジーを表現する。次いで、高性能な相互結合網を設計する上で重要となる指標であるホスト間平均経路長と二分幅について議論する。特に、r ポートスイッチを使って特定の数のホストをつなぐホストスイッチグラフを、ホスト間平均経路長が小さくて二分幅が大きくなるように構成する方法を探究する。この探究によって、ホスト間平均経路長が最小となるスイッチ数は数学的に予測ができ、二分幅が最大になるようなスイッチ数は実験的に予測できることが明らかとなる。それらの予測に基づいて、ホストスイッチグラフを探索する乱択アルゴリズムを提案する。その後得られたグラフを相互結合網のトポロジーに適用し、典型的なトポロジーと比較を行う。トーラス、ドラゴンフライ、ファットツリーと比較した結果、提案するネットワークはより小さい電力・コストでより高い性能を得ることを示す。 さらに、スイッチのポート数を増やすだけでなくホストにポートを付け加えることによって通信遅延を削減する手法を提案する。そのために、ホストスイッチグラフをマルチポート・ホストが表現できるように拡張する。従来マルチポート・ホストはリンク集約 (LA)、ネットワークの複製 (ND) に使われてきたが、これらはホップ数を減らすことはない。そこで本論文ではホップ数を削減するためにホスト-スイッチマッピングの置換を提案する。この手法は従来の LA と ND に適用可能であり、それぞれに適用したものを p-LA、p-ND と呼ぶ。それに加えて、ブロックデザイン的一种である有限射影平面の応用を提案し、PP と呼ぶ。提案手法は任意のトポロジーに適用可能のため、既存トポロジーを直接用いることができる。実験として五つの設計 (LA, ND, p-LA, p-ND, PP) を乱択アルゴリズムによる最適トポロジー、トーラス、ドラゴンフライ、ファットツリーに適用し、設計複雑性、ホップ数、二分幅、コスト、ルーティングテーブルのサイズ、メッセージパッシングインタフェース (MPI) によるアプリケーション性能を評価する。結果として、提案手法 (p-LA, p-ND, PP) が二分バンド幅を増やしコストとホップ数を減らすことを示す。特に PP はコストの面で効率が良く、ホップ数を効果的に減らすことができ、その効果は乱択アルゴリズムによる最適トポロジーとファットツリーで顕著である。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4991 号	氏 名	安戸 僚汰
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	理学博士 太田 克弘
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 松谷 宏紀
		広島大学教授	博士（工学） 中野 浩嗣
学士(工学)、修士(工学)、安戸僚汰君の学位請求論文は、「Theoretical Design Methodology for Practical Interconnection Networks（実用的相互結合網のための理論的設計方法論）」と題し、5 章から成る。 データセンターやスーパーコンピュータの大規模化が進む中、数万を越える計算素子を接続する相互結合網をいかに低遅延で実現するかは、大きな問題となりつつある。これに対して、実際にシステムを構築する設計者は、従来から利用されている実績のある結合網のみを選択肢とする傾向にある。一方で、理論的な研究者は、ネットワークをモデル化してこれに基づく研究を行うことで理論的に優れた成果を得ているが、そのモデルは十分に実際のシステムを反映していない。本論文はこのギャップを埋める新しいモデルとそれに基づく結合網構築法を提案している。 1 章で背景と研究の動機をまとめた後、2 章で、最近の結合網のトポロジ、ルーチング、レイアウト法をまとめ、ネットワークのモデルとその問題点をまとめている。本論文の主題は 3 章以降である。 3 章では、まず最大次数 1 のホスト頂点と最大次数 r のスイッチ頂点を持つ実用的な計算機システムの結合網をモデル化するホストスイッチグラフを提案する。次に、このモデルに基づき、ホスト間平均距離長を可能な限り小さくすると共に二分幅を最大化する方法を探索し、この結果に基づき優れた結合網を生成する手法を提案する。評価の結果、現在利用されている Torus, Fat Tree, Dragonfly などの代表的な相互結合網に比べて優れた性能を、小さい電力とコストで得られることを示す。 4 章では、この手法をホストが複数のポートを持つ結合網に拡張する。最近の大規模システムでは、ホストのポートを複数持つものが増えているが、単純なリンク集約、ネットワーク複製に利用される場合が多い。これに対してまずホスト-スイッチマッピングの置換手法を提案する。この手法は従来のリンク集約、ネットワーク複製に適用し、平均距離を改善することができる。次に、ブロックデザイン的一种である有限射影平面の応用を提案する。この手法も既存のトポロジに対して直接応用することが可能である。提案手法を様々な結合網に適用した結果、どれも従来手法よりも優れた平均距離を実現するが、特に Fat Tree と 3 章で提案した最適化されたランダムトポロジに対して有効であることを示している。6 章では研究成果をまとめており、付録としてクリークホストスイッチグラフの最適性の理論的証明を付している。 以上、本論文は、実用的な大規模コンピュータシステムの結合網の新しい理論モデルを提案し、これに基づく最適化手法を様々な結合網に向けて提案して、その効果を確認した点で、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。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.4992	Name	Capitanio, Marco
Thesis Title Liveability and Anticipated Shrinkage: Urban Design Assessment of Morphology and Management in Tokyo's Peripheral Areas			
Demographic changes in the Japanese society will inevitably restructure Tokyo's spatial organization in the coming decades: population loss will manifest itself unevenly and be most dramatic in peripheral areas, challenging established notions of quality of life. Several scholars have tackled this issue from a geographical or planning perspective. Nonetheless, the question of how liveability at the urban design scale could be addressed, remains an open one. This research focuses on Tokyo's peripheral areas, aiming to evaluate, in a comparative manner, urban design factors affecting liveability at the neighborhood/city scale in an upcoming age of shrinkage, based on the analysis of three case studies (Kunitachi, Tama New Town, Yukarigaoka). After providing a tailored definition of liveability, emphasis is put on six factors relating to morphology (density/compactness, diversity of uses, walkability, green/water space) and to urban management (<i>machizukuri</i>/participation, local character). The research is limited to the Greater Tokyo Area because of its uniqueness within the Japanese urban development. Our findings have clarified the need to focus urban design and policy-making on compactness, rather than on density; the importance of a spatial qualitative assessment of the mix of uses, otherwise deceiving from a purely quantitative planning standpoint; the possibility to maintain liveability in low-density settlements with the implementation of ad hoc accessibility strategies; the positive and negative effects of different types of green spaces; the importance of both cooperative and confrontational participatory practices toward co-production; the need for peripheral areas to offer a lifestyle alternative to that of the city center. Beside presenting a workable and applicative toolkit for urban designers, we provide new data and information about our case studies for the benefit of local municipalities and interest groups, proposing an exemplary “shrinkage masterplan”. Moreover, by means of comparison, tactics to cope with shrinkage can be transferred to and tested in other areas around Japan and be a reference for numerous East Asian cities about to face, in the near future, their own age of shrinkage.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4992 号	氏 名	Capitanio, Marco
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. ラドヴィッチ, ダルコ
	副査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 三田 彰
		慶應義塾大学教授	デザイン学博士 小林 博人
		東京大学准教授	博士（工学） 中島 直人
学士(建築学)、修士(建築学・都市デザイン)、Marco Capitanio君の学位請求論文は、「Liveability and Anticipated Shrinkage: Urban Design Assessment of Morphology and Management in Tokyo's Peripheral Areas（現代縮小社会における居住性：東京郊外地域都市デザインの形態・マネジメント評価）」と題し、急速に進行する人口減少社会における居住性について論じたものである。東京郊外の3つの地域のケーススタディに基づき、都市デザインファクター、コンパラティブマナーに着目し、近隣スケールでの居住性を評価することを意図した8章から構成されている。 本研究は、居住性を評価するため、形態因子として、密度/緊密性・用途多様性・ウォークビリティ・緑地/水景、都市マネジメント因子として、まちづくり/参加、地域特性、という計6つの居住性因子に着目している。 また、本研究の対象は、日本の中で際立ったエリアである東京圏に限定して行われている。具体的には、東京の中心地から30～35kmの距離にある郊外居住エリアを対象としている。東京圏郊外という、既に縮小社会に直面しているものの、都市・田舎のいずれにも分類することのできない曖昧なエリアであり、居住性についての研究がこれまで殆ど行われてこなかった領域を本研究は取り扱っている。 第1章では、本研究の構成・目的・研究範囲について述べている。第2～3章は、研究の位置付け、方法論的枠組みについて述べている。第2章では、グローバリゼーションに対する東京の都市発展に関する理論的背景、特に、東京圏周縁部の発生と現状について述べ、20世紀初頭より都市環境が都市的な規定と政策によって形作られてきたことを指摘している。第3章では、研究課題の設定と方法論の明確化がなされている。さらに6つの居住性因子の設定に先立って、居住性の定義を行い、3つの研究対象地を選定する基準が示されている。 第4～6章は、3つの地域（国立、多摩ニュータウン、ユウカリが丘）の分析研究である。第4章では、100年の歴史があり、都市空間の質の高さと、効果的なまちづくりの実践によって強いアイデンティティがあるとされ、成功的事例として認知されている国立を対象とし、第5章では、50年の歴史があり、国立からも遠くないエリアに位置する、深刻な高齢化と税収の減少に直面する多摩ニュータウンが対象である。第6章では、40年の歴史があり、ディベロッパーが長期的視点で取り組む革新的なマネジメントが実践されているユウカリが丘を対象として、分析研究が行われている。 第7章では第4～6章の3つのケーススタディから得られた結果が考察され、また、多摩ニュータウンを縮小するマスタープランの詳細な検討による所見と推察が示されている。最後に第8章では、本論文を通じて得られた知見が、理論的・方法論的かつ実用主義的に論じられている。 本研究は、3つのケーススタディから居住性についての異なる因子の関連性について理論的に明らかにした。分析ツールとして、都市デザインの観点から近隣スケールにおける定量的アセスメントと定性的アセスメント手法を提供した。さらにこうした研究成果を3つの当該自治体と地域のステークホルダーに提供して、社会的な貢献も大きい。 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。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5002	Name	Alam, Md. Shahanoor
Thesis Title Study on the function and structure of proteins in the developmental process			
Nearly every dynamic function of a living being depends on proteins. Consistent with their diverse functions, they vary extensively in structure. In this study, biological and biochemical function of planarian dUTPase and starfish sperm PKAS1 signaling function were investigated and discussed. The DUT gene encodes deoxyuridine triphosphatase (dUTPase), which is involved in nucleotide metabolism. Since the DUT gene is involved in DNA replication by maintaining the appropriate dNTPs pool, it was expected to have important functions in regeneration. On the other hand, prior to the fertilization, the elongation of acrosomal process requires PKAS1 protein which is the substrate of PKA. In Chapter 1, the history and overview of planarian regeneration and background information of the present study are introduced. In Chapter 2, the biological importance of planarian dUTPase in regeneration and genome stability is described. <i>Dr-dut</i> RNAi silencing in the planarian was lethal due to genomic DNA strand breaks. The dUTPase blocker, 5-fluorouracil (5-FU), also resulted in planarian death and DNA damage, and synergistically caused higher genotoxicity in <i>Dr-dut</i> RNAi planarian. In Chapter 3, purification and biochemical properties of planarian dUTPase are presented. Molecular mass, kinetic behavior, cation requirement, and substrate specificity of planarian dUTPase indicate that the planarian enzyme not only has certain structural and molecular features that are unique to these organisms but also differs in its hydrolytic capacity from all the enzymes characterized to date for accomplishing the same function. In Chapter 4, the role of PKA signaling during the acrosome reaction in starfish is described. The major PKA substrate referred to as PKAS₁ was identified from starfish sperm, as a novel protein containing six PKA phosphorylation motifs. This protein likely plays a key role in AP actin polymerization during the acrosome reaction. In Chapter 5, the overall summary of the thesis is presented. In addition, future research projects stemming from this research are also discussed.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5002 号	氏 名	Alam, Md. Shahanoor
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（理学） 宮本 憲二
		慶應義塾大学専任講師	博士（理学） 堀田 耕司
学士（理学）、修士（理学）Md. Shahanoor Alam 君提出の博士学位論文は、「Study on the function and structure of proteins in the developmental process（発生現象におけるタンパク質の機能と構造に関する研究）」と題し、5章より成っている。 生物の重要構成成分であるタンパク質の機能は、その立体構造によって決定される。本研究では、2つの発生現象、扁形動物プラナリア <i>Dugesia ryukyuensis</i> の再生及び棘皮動物マヒトデ <i>Asterias amurensis</i> の受精に注目し、これらの現象におけるタンパク質の機能と構造について明らかにしている。 第1章では、上記の2つの発生現象の研究の背景についてまとめている。プラナリアの再生現象については、その歴史とともにプラナリアの高い再生力を可能にしている多能性幹細胞ネオブラストについて論じている。さらに再生に伴う細胞分裂における DNA 複製の調節に関与すると考えられる deoxyuridine triphosphatase (dUTPase) について解説している。また、ヒトデの受精については、卵—精子融合のための最初の反応である先体反応に関わる卵外被構成分子群について論じ、先体反応誘起物質（ARIS : acrosome reaction-inducing substance）と精子活性化物質（asterosap）による協調的な作用が先体反応誘起に必須であることを述べている。 第2章では、プラナリアの再生における dUTPase の生物学的機能について論じている。dUTPase はヌクレオチドの代謝に関わり、細胞内の dNTP pool を調節することにより DNA 複製を支配し、細胞の恒常性を維持している。この機能を解明するために、プラナリア dUTPase 遺伝子 (<i>Dr-dut</i>) を単離し、<i>Dr-dut</i> の機能阻害実験 (RNAi) を行った。再生過程のプラナリアが致死となることを示すとともに、RNAi 個体のゲノム DNA に対して、DNA コメットアッセイを行い、DNA に断片化が起こっていることを示している。また、dUTPase 下流の thymidylate synthase 阻害剤である 5-fluorouracil を再生中のプラナリアに処理することによっても同様に DNA 断片化と致死の効果があることを示している。さらに、両阻害処理を同時に行うことにより、相乗的な阻害が起こることも示している。これらにより、プラナリア dUTPase は dNTP pool を調節することにより DNA 損傷に対する修復の制御を可能にしていると論じている。 第3章では、プラナリア dUTPase の生化学的な性質について論じている。大腸菌に産生させた <i>Dr-dut</i> を単離精製し、これを用いて得られた反応速度論による解析結果を既知の他の生物の dUTPase の特徴と比較している。プラナリア dUTPase の K_m 値はヒト dUTPase とほぼ同じであること及び dUTP に対する特異性があることを示している。さらに得られた配列を元に分子モデリングを行い、その機能との関係について論じている。 第4章では、ヒトデ先体反応における PKA シグナル経路の機能とそのリン酸化部位の決定について述べている。ヒトデ先体反応は ARIS と asterosap の協調作用により細胞内 cAMP の上昇が生じ、PKA によるリン酸化を介してアクチン重合による先体突起が形成される。そこで、この PKA の基質となる新規タンパク質 PKAS1 を単離同定し、質量分析によりリン酸化の位置を決定し、その機能との関係について論じている。 第5章では上記の研究を総括し結論を述べている。 以上、本論文は、再生における dUTPase と受精における PKAS1 の機能と構造について明らかにしている。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5003号	氏 名	浜田 梨沙
主論文題名： 血管内皮細胞および赤血球に対する光増感反応作用の 生体外実験系および光モニタリング技術			
本研究の目的は、光感受性薬剤投与後早期における健常組織に対する光増感反応の治療応用において、治療における反応効率と血液系に生じる副作用に関わる血管内皮細胞と赤血球の酸化障害を主に <i>in vitro</i> で検討することにある。著者は、光増感反応による血管内皮細胞障害の相互作用を生体内において殺細胞効果に関わる周囲環境に注目して <i>in vitro</i> で調査し、<i>in vivo</i> における障害性と比較した。光増感反応中に赤血球膜破裂により遊離したヘモグロ빈は酸化作用を受けると予想し、励起光照射中の赤血球やヘモグロ빈の酸化進行を、反応効率を支配する溶存酸素量に関する情報と併せて経時的に測定する新たな光学的計測法 (<i>in vitro</i>) を提案した。 生体において血管内皮細胞が接している血液と間質液を想定した 2 種のアルブミン濃度における血管内皮細胞障害の放射照射量依存性を、細胞外光増感反応による殺細胞効果が支配的な <i>in vitro</i> 実験系を用いて死細胞率計測により調査した。光増感反応条件はタラポルフィンナトリウム 20 $\mu\text{g/mL}$、放射照射量 0-40 J/cm^2 を用いた。タラポルフィンナトリウム投与 30 min 後において、ビーグル犬の頸静脈内皮細胞に励起光を 9、35 J/cm^2 照射し、von Willebrand Factor 染色標本の血管内皮細胞と血小板の状態より急性期における血管内皮細胞障害を調査した。<i>in vivo</i> における血管内皮細胞の障害性は、<i>in vitro</i> 実験における血液中と間質液中相当のアルブミン濃度における障害性の間であった。薬剤投与後早期の励起光照射による健常血管内皮細胞の <i>in vivo</i> での障害性は、細胞外光増感反応が支配的な殺細胞効果をもつ <i>in vitro</i> 実験系を用いて 2 種のアルブミン濃度での障害性を検討することが有効であることが分かった。 著者は、酸化および酸素脱着により可視波長領域において各々特徴的な吸収スペクトルを有するヘモグロ빈分光に着目し、光増感反応による赤血球破裂およびヘモグロ빈の酸化進行を酸素情報と併せて経時的に測定可能な計測法を提案した。波長 663 nm の励起レーザ光と波長 475-650 nm の吸収スペクトル測定光の光軸を血液試料上で直交するよう配置し、励起光照射中に可視透過スペクトルを連続測定した。得られた吸収スペクトルに対し重回帰分析を用いて各種ヘモグロ빈濃度を算出したところ、照射時間に伴い、反応による酸素消費と考えられる酸素化ヘモグロ빈濃度の減少および脱酸素化ヘモグロ빈濃度の増加、酸化進行と考えられるメトヘモグロ빈濃度の増加を得た。血液試料溶液のヘマトクリット増加は、溶液中の溶存酸素量の増加を示していた。この結果は光増感反応を用いた <i>in vitro</i> 実験において懸念されている、励起光照射中の溶液内酸素不足に対して、溶液への赤血球添加により溶存酸素量を化学的に増やせることを示唆した。提案計測法で取得した酸素飽和度と酸素電極法により取得した酸素分圧変化を比較したところ、反応効率に関わる低酸素分圧領域において両者は高い相関を示した。メトヘモグロ빈濃度と溶血度の関係は、破裂した赤血球内のヘモグロ빈のほぼ全量が酸化作用を受けメトヘモグロ빈に変化していることを示した。これらの結果より、著者の発案した計測法は、光増感反応中の溶液内の赤血球破裂およびヘモグロ빈の酸化進行を酸素情報とともに測定できることが分かった。 以上より、本研究で用いた <i>in vitro</i> 基礎実験法は、薬剤投与後早期の健常組織に対する細胞外光増感反応を用いた治療において、生体環境における血管および血液まわりの障害性を検討できる基礎実験法となり得る。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5003 号	氏 名	浜田 梨沙
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学大学院教授	工学博士 荒井 恒憲
	副査	慶應義塾大学大学院教授	工学博士 田中 敏幸
		慶應義塾大学大学院准教授	博士（工学）・博士（医学） 塚田 孝祐
		慶應義塾大学大学院准教授	博士（工学） 寺川 光洋
		日本医科大学大学院教授	博士（医学） 臼田 実男
学士（工学）、修士（工学）、浜田梨沙君提出の学位請求論文は、「血管内皮細胞および赤血球に対する光増感反応作用の生体外実験系および光モニタリング技術」と題して、10 章から構成されている。申請者は光増感反応を利用した治療における安全性を高めるため、血管および赤血球に対する副作用を検討できる生体外実験方法および装置を開発した。 第 1 章では、光増感反応を用いた治療における副作用である血管内皮細胞障害と溶血に関する背景を述べた。 第 2 章では、光増感反応の原理とこの反応を用いた治療について述べた。 第 3 章では、血管内皮細胞の生理学に関して説明し、光増感反応を用いた治療における血管内皮細胞障害が治療効果に及ぼす影響に関して述べた。そして、薬剤投与後早期（15-30 min）の健常組織に対する光増感反応を用いた治療における血管内皮細胞障害の生体外実験系での基礎検討法の提案を行った。 第 4 章では、ヘモグロビンをはじめとする血液に関する生理学について説明し、溶血発生の影響に関して述べた。そして、現行の溶血度安全性評価法の課題を示し、溶血進行を反応効率に関わる溶液内酸素分圧と共に経時的に測定できる光学的計測法を提案した。 第 5 章では、タラポルフィンナトリウム投与後早期における健常組織血管に対する光増感反応を用いた治療での血管内皮細胞障害を（i）生体外実験系における死細胞率計測、（ii）生体実験系における標本観察、により調査し、両者の結果の対応を検討した。 第 6 章では、光増感反応による赤血球膜破裂およびヘモグロビンの酸化進行を、反応速度を支配する酸素の情報と併せて経時的に測定する計測系の構築を行い、励起光照射中の血液試料の各種ヘモグロビン濃度変化を明らかにした。 第 7 章では、異なるヘマトクリット値の光学試料における酸素化ヘモグロビン濃度変化や、酸素飽和度から求めた酸素分圧と酸素電極法による測定値の比較などから、提案計測法で得られた溶存酸素濃度に関係する情報の妥当性を評価した。 第 8 章では、提案計測法により得られた酸化進行に着目し、メトヘモグロビン濃度と溶血度の関係や、試料溶液の酸化進行動態を光感受性薬剤の退色により検討した。また、光増感反応の酸化作用効率に関わるアルブミンを加えたときの各種ヘモグロビン濃度変化を調査した。 第 9 章では、第 5 章から第 8 章で得られた知見に関して総括的な検討を加えた。薬剤投与後早期の健常組織を対象とした光増感反応を用いた治療における血管内皮細胞や赤血球の酸化障害の基礎検討として、本研究で提案した生体外実験系による基礎検討法の有用性に関して論じた。 第 10 章は、本研究の結論である。 以上要するに、本論文は、光増感反応治療における血管内皮、および赤血球の障害に関して、生体外実験系で検討する方法・装置型式を提案したものであり、腫瘍治療学、不整脈治療学、さらに医工学の分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5004 号	氏 名	篠田 万穂
主論文題名： Non-generic aspects of optimizing measures in dynamical systems (力学系の最適化測度の非通有的な性質について)			
力学系は決定論的な時間発展の法則に従う現象の数理モデルであり、微分方程式や差分方程式はその典型である。時間発展の法則が決定論的であるにもかかわらず、初期値の微小な誤差が時間発展により急速に拡大されることで、力学系の挙動は極めてでたらめな振る舞いを示すことがある。そのような場合には個々の軌道を追跡するよりもむしろ、不変確率測度を調べることで、力学系の振る舞いをよく理解できることが多い。そこで、本論文では力学系の情報を目的関数に反映させ、その期待値の最大値を与える不変確率測度、すなわち最大化測度について述べる。 最大化測度の研究はエルゴード最適化問題と呼ばれ、Mañé による Lagrangian flow の研究やカオス制御の研究に由来する。それらの背景から、力学系が十分「双曲的」であり、関数が良い連続性を持つならば、最大化測度は一意で、かつその一意な測度は周期軌道に均一に重みを持つ測度であると予想されている。エルゴード最適化問題における主流な研究は、その予想を証明することであり、最大化測度の一意性が通有的な性質であることは、十分一般的な仮定のもと証明されている。一方、与えられた目的関数が通有的な性質を持つかの判定は困難であるため、通有的な性質を持たない目的関数に共通する性質を調べることも重要である。本論文では非可算無限個のエルゴード的な最大化測度をもつ関数が連続関数の空間に稠密に存在することを、関数解析に基づく手法を用いて証明する。 さらに、本論文では区分的に拡大的な Markov 写像の Lyapunov 最大化測度についても述べる。Lyapunov 最大化測度とは、力学系の幾何学的情報を表す関数に対する最大化測度であり、Lyapunov 最大化測度を考える文脈では、関数空間の代わりに、力学系の空間を考える。記号力学系上の目的関数に対して上記の結果を使い、位相共役を通じて区分的に拡大的な Markov 写像の Lyapunov 最大化測度に応用する。記号力学系上で摂動された目的関数に対し、それが幾何学的情報を表す関数となる力学系を実現することが困難な点である。証明では、空間が完全不連結性を持つことを本質的に用いる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5004 号	氏 名	篠田 万穂
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（理学） 高橋 博樹
	副査	慶應義塾大学教授	博士（数理科学） 厚地 淳
		慶應義塾大学教授	博士（数理科学） 勝良 健史
		慶應義塾大学教授	理学博士 種村 秀紀
学士（理学）、修士（理学）篠田万穂君提出の学位請求論文は、「Non-generic Aspects of Optimizing Measures in Dynamical Systems（力学系の最適化測度の非通有的な性質について）」と題し、全5章からなる。 力学系とは決定論的に時間発展する現象を数学的に定式化したもので、常微分方程式や差分方程式（写像の反復合成）はその典型である。力学系の時間発展は決定論的であるにもかかわらず、その初期値鋭敏依存性のため、長時間にわたる挙動の予測は困難であり、カオス性を示す。このため、力学系の解析には不変確率測度に基づくエルゴード理論が有効である。無数に存在する不変確率測度の中から、力学系の性質をよく反映した有意義なものを選び出すことは重要な問題であり、本論文は与えられた目的関数の期待値を最大もしくは最小にする不変確率測度、すなわち最適化測度の非通有的な性質を扱っている。 最適化測度は Mane による Euler-Lagrange flow の研究や Hunt, Ott らによるカオス制御問題などを起源とし、統計力学とも関連する重要な概念として近年活発に研究されている。「通有的」とは「generic」の邦訳であり、「一般的」とも訳される。「generic な目的関数または力学系に対し最適化測度は一意であろう」という Mane の予想があり、多くの研究者がこの予想の肯定的解決への貢献を目指し努力してきた。一方で、与えられた目的関数または力学系が generic かどうか判定するのは困難と考えられる。また、カオスの本質に関わる興味深い現象は generic なクラスの外側で起きることも多い。本論文では「最適化測度が非可算無限個存在するような目的関数、または力学系が（generic ではないが）稠密に存在する」ことが明らかにされており、最適化測度の研究に全く新しい知見をもたらすものである。 論文の第1章は序論であり、力学系・エルゴード理論研究の問題意識の説明と同時に本論文の2つの主結果が解説されている。第2章では subshift of finite type の定義とその基本性質など、記号力学系の基礎事項が解説されている。Sofic shift, beta shift, Dyck shift など、重要な記号力学系についての解説も含まれている。第3章では、コンパクト距離空間上の連続写像による力学系の不変確率測度全体がなす位相空間の構造について解説がなされ、主結果を示す上で鍵となる「Bishop-Phelps の定理」の証明も与えられている。ここまでの準備に基づき、第4章では2つの主結果の証明が行われている。1つめの主結果は、「エルゴード的不変確率測度全体の空間の弧状連結性」というきわめて一般的に成立する仮定の下で、最適化測度が非可算無限個存在するような目的関数の稠密性を証明したことである。2つめの主結果は、区間上の Markov 性を持つ C1 級一様拡大的写像の Lyapunov 最適化測度に関する定理であり、目的関数が力学系に陽に依存する点が1つめの主結果の状況と本質的に異なる。2つめの主結果の証明のために、Realization Theorem と呼ばれる巧妙な C1 級摂動定理が新たに開発され、これを用いることで1つめの主結果への帰着が可能になっている。これら2つの定理が、学位請求論文の骨子をなす主結果である。第5章では最適化測度と統計力学での零温度極限問題の関係について論じられている。 以上のように、本論文において著者はエルゴード最適化問題について優れた成果を挙げている。第4章の成果は国際研究集会でも発表され、分野の専門家に高く評価されている。1つめの主結果に関する論文はすでに国際学術雑誌に出版されている。2つめの主結果に関する論文は力学系・エルゴード理論の専門誌の最高峰とされる国際学術雑誌に受理されている。 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 5005 号	氏 名	玉木 脩二
主 論 文 題 名 :			
磁場中の低次元物質における熱輸送特性と新奇な非平衡現象の探索			
本論文では、電荷を帯びた擬一次元物質を介した熱輸送現象について、磁場を印加して時間反転対称性を破ることで生じる新奇な非平衡現象を探索する。 近年、カーボンナノチューブやグラフェンなどの低次元物質で、熱伝導率が系のサイズの増大とともに発散する振る舞いが実験的に報告されている。また一般に熱伝導率が低いことで知られる高分子物質でも、ナノファイバーという一次元状の構造にすると熱伝導率が飛躍的に増大することが観測されている。このような熱輸送の異常な振る舞いは、理論的には、低次元系特有の現象として、フーリエの法則が破れて、熱伝導率が系のサイズのべき乗で発散するものと理解されている。この現象は異常熱輸送と呼ばれ、現在もそのメカニズムや現象の多様性および普遍性に関して、盛んに研究がなされている。このような背景のもと、本研究ではこれまで研究されてこなかった低次元熱輸送における磁場効果について、研究を行った。本研究の成果は大きく二つからなる。 一つ目に、電荷を帯びた擬一次元物質が示す異常熱輸送における磁場効果を議論した。一般に絶縁物質の熱輸送は、粒子が非線形バネでつながれた非線形格子モデルによって解析される。しかし、大きな系の非線形ダイナミクスを正確に議論することは数値的にも困難である。そこで本研究では、系が持つ保存量を保存させつつ非線形ダイナミクスをノイズに置き換える工夫をし、厳密な議論ができる可解モデルを考案した。その結果、グリーン・久保公式に現れる熱流の自己相関関数を厳密に導出することに成功し、有限磁場のもとでそれが時間の $3/4$ 乗で減衰することを示した。この指数は従来の理論の予言に当てはまらず、磁場によって新たな普遍クラスが生じることを示唆している。 二つ目に、電荷を帯びた擬一次元物質において磁場中の熱流によって誘起される新しい非平衡現象について議論した。電子系では磁場中で熱を流すと、磁場と熱流に直交する起電力が誘起されるというネルンスト効果が知られている。本研究では、これと類似した現象として、磁場中で擬一次元物質に熱流を流したときに、物質を構成する粒子が磁場と直交する方向に変位する現象を見出した。この現象には、非平衡状態だけでなく系の非線形ダイナミクスが必要であることが示される。また有限な変位を誘起する熱力学的力を求めるために線形応答理論を構築し、定量的にその正当性を検証した。さらに、この逆効果として、振動外場によって変位を生じさせると熱流が誘起されることも示した。この効果は、磁場を用いた熱制御に応用できる可能性を秘めている。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5005 号	氏 名	玉木 脩二
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（理学） 齊藤 圭司
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 江藤 幹雄
		慶應義塾大学教授	医学博士・博士（理学） 藤谷 洋平
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 牧 英之
学士(理学)、修士(理学)玉木脩二君の学位請求論文は、「磁場中の低次元物質における熱輸送特性と新奇な非平衡現象の探索」と題し、全4章より構成されている。 第1章では、熱輸送現象に関する基本事項、また、本研究に至る動機が説明されている。まずカーボンナノチューブやグラフェンにおいて観測されている、熱伝導度の発散現象(物質のサイズとともに熱伝導度が増大する現象)について説明がなされている。このような低次元系で見られる熱伝導度の発散現象は「異常熱輸送現象」と呼ばれ、数学、理論物理、実験物理の各領域が相補的に研究を進めている重要分野の一つである。異常熱輸送現象の発現機構として、系が持つ保存量が重要であることが知られている。特に非線形格子系が一般に有する「ストレッチ」、「運動量」、「エネルギー」の三種類の保存量が重要になる。本論文では、これらの保存量に着目した近年の理論として、ゆらぐ流体力学理論と運動量交換モデルによる厳密解が紹介されている。その後これらの背景をふまえ、本論文の主眼となる、電荷を帯びた系での磁場の影響を研究する動機が説明されている。 第2章では、磁場下での低次元異常熱輸送の解析がなされる。典型的な場合として三種類のケースを考えている。ケース (0) : 電荷がない場合、ケース (I) : 各サイトに一定の電荷がある一様電荷の場合、ケース(II) : 電荷が交互に並ぶ場合である。本論文では、それらを統一的に扱うことができ、かつ、厳密な解析を可能にする新しいモデルが導入されている。このモデルに対して、局所エネルギーの定義と熱流の定義がなされ、久保公式に現れる熱流に関する自己相関関数の厳密解が導出されている。ケース(0)とケース(II)では、これまでと同様の普遍クラスに属する異常熱輸送現象が現れるが、ケース(I)では、新しい普遍クラスの異常性が発現することが報告されている。 第3章は、電荷を帯びたひも状物質において、磁場により初めて発現する新奇な非平衡現象の探索に割り当てられている。有限な熱流をもつ定常状態で、形状に磁場の影響が出るか否かが、ここでの焦点である。本論文では、非線形格子系での非平衡定常状態の形状を探るために、様々なパラメータに対して数値計算がなされている。そして、非平衡性と非線形ポテンシャルの効果により、磁場によって系が曲げられるという現象が報告されている。第3章の後半では、この現象とネルンスト効果との関係が議論され、また線形応答理論を構築した定量的な考察もなされている。 第4章では、この論文のまとめがなされている。 本論文は、低次元性に起因するいくつかの新しい非平衡現象を明らかにしている。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5006号	氏 名	奥田 祥子
主論文題名： CH_4 と PH_3 のサブドップラー分解能高感度高精度分光			
分子分光学は、物理学、化学、天文学などの基礎科学から、物質解析、リモートセンシング、医療診断といった幅広い応用までの様々な分野に貢献してきた。近年、差周波発生法による $3\ \mu\text{m}$ 帯のコヒーレント光源、光共振器吸収セル、光周波数コムを組み合わせ、$6.3\ \text{THz}$ の同調帯域、9 桁の相対分解能、11 桁の相対精度で周波数の絶対測定が可能な高感度サブドップラー分解能分光計が実現された。 本論文では、上述の分光計の光源出力を 50 倍に高め、検出感度を向上した。これを用いて、分子分光の分野で重要な 2 つの研究課題に取り組んだ。まず、無極性分子の CH_4 分子のシュタルク効果をはじめて系統的に測定し、振動運動と回転運動で誘起される 4 つの永久双極子モーメントを精密に決定した。またスペクトル強度の解析も行った。次に、PH_3 分子のサブドップラー分解能分光を行い、反転分裂の観測を目指した。しかし、反転分裂は観測されず、理論的予想が大きすぎることを明らかにした。 第 1 章では、分子のエネルギーの階層構造、中赤外領域の分子分光、本研究で使用した分光計、及び、本論文の位置付けを述べた。 第 2 章では、飽和吸収分光法、対称コマ分子と球コマ分子のエネルギー準位構造、光共振器、光周波数コムの基本的な理論を述べた。 第 3 章では、分光計の構成と、光周波数コムを用いた周波数の制御について述べた。 第 4 章では、CH_4 分子の ν_3 バンドのシュタルク効果の測定とその解析について述べた。振動バンド全体にわたる 20 本の遷移でサブドップラー分解能分光を行い、4 つの永久双極子モーメントを決定した。 第 5 章では、CH_4 分子のシュタルク変調分光で得られたラムディップとクロスオーバー共鳴の強度の解析を行った。 第 6 章では、PH_3 分子の $3\nu_2$ バンドのサブドップラー分解能分光について述べた。スペクトル線幅を $160\ \text{kHz}$ まで狭窄化したが、反転分裂は検出されなかった。第一原理計算では反転分裂は約 $300\ \text{kHz}$ と予測されていたがこれを否定した。 第 7 章では、本論文の結論と今後の展望を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5006 号	氏 名	奥田 祥子
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 佐々田 博之
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 中嶋 敦
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 山内 淳
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 渡邊 紳一
学士（理学）,修士（理学）奥田祥子君提出の学位論文は「CH_4とPH_3のサブドップラー分解能高感度高精度分光」と題し全7章から構成されている。 分子分光学は、物理学、化学、天文学などの基礎科学から、物質分析、リモートセンシング、医療診断といった幅広い応用までの様々な分野に貢献してきた。近年、差周波発生法による波長 $3\ \mu\text{m}$ 帯の光源、光共振器吸収セル、光周波数コムを組み合わせることによって、$86.8 \sim 93.1\ \text{THz}$ の同調可能周波数帯域、9 桁の相対分解能、遷移周波数を 11 桁の相対不確かさで絶対測定可能な高感度サブドップラー分解能分光計が実現された。 本論文では、上述の分光計の光源出力を 50 倍に高め、検出感度を向上している。これを用いて、分子分光の分野で重要な 2 つの研究課題に取り組んでいる。まず、無極性分子である CH_4 分子のシュタルク効果をはじめて系統的に精密測定している。測定結果を高次の振動回転相互作用まで考慮して解析し、振動運動と回転運動で誘起される 4 つの永久双極子モーメント定数を精密に決定している。またスペクトル強度の解析も行い、衝突緩和の詳細が重要であることを指摘している。次に、PH_3 分子のサブドップラー分解能分光を行い、反転分裂の観測を目指している。NH_3 分子の反転分裂は典型的な量子力学のトンネル効果として詳しく研究されてきたが、PH_3 分子の反転分裂はまだ観測されておらず未解決問題のままだった。スペクトル線幅を $160\ \text{kHz}$ まで狭めたが、反転分裂は観測されず、第一原理計算による予想 $300\ \text{kHz}$ が大きすぎることを明らかにしている。 第 1 章では、分子のエネルギーの階層構造、中赤外領域の分子分光、本研究で使用した分光計、及び、本論文の位置付けを述べている。 第 2 章では、飽和吸収分光法、対称コマ分子と球コマ分子のエネルギー準位構造、光共振器、光周波数コムの基本的な理論を述べている。 第 3 章では、分光計の構成と光周波数コムを用いた周波数の制御について述べている。 第 4 章では、CH_4 分子の ν_3 バンドのシュタルク効果の測定とその解析について述べている。振動バンド全体にわたる 20 本の遷移でサブドップラー分解能分光を行い、上下準位のシュタルクシフトを分離して、それぞれ数 $10\ \text{kHz}$ の不確かさで決定している。測定結果から永久双極子モーメントの準位依存性を導出するためには高次の振動回転相互作用まで考慮する必要があることを指摘し、実際に行なっている。この結果、4 つの永久双極子モーメント定数を測定結果を再現できる不確かさで決定している。 第 5 章では、CH_4 分子のシュタルク変調分光で得られたラムディップとクロスオーバー共鳴の強度の解析を行っている。衝突緩和過程を 1 つの緩和定数で表す従来の解析方法では不十分であることを指摘している。 第 6 章では、PH_3 分子の $3\nu_2$ バンドのサブドップラー分解能分光について述べている。このバンドは遷移双極子モーメントが小さく、大きな光源出力が必須である。スペクトル線幅を $160\ \text{kHz}$ まで狭窄化したが、反転分裂は検出されなかった。第一原理計算では反転分裂は約 $300\ \text{kHz}$ と予測されていたがこれを否定している。 第 7 章では、本論文の結論と今後の展望を述べている。 以上のように、本研究は高性能な赤外分光計を用いて分子科学の重要な問題に取り組み、有効性を実証している。またこれらの成果は、広く高分解能分光学、分子科学に貢献し、学術上寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5007号	氏 名	矢菅 浩規
主論文題名： Fluid Self-Digitization in Micro-Mechanical Scaffolds for Construction of Droplet Array and Network (微細構造中での流体の自己デジタル化を利用した液滴配列とネットワークの形成)			
微小な油中水滴は、化学や生化学反応のための区画化された環境を提供する。近年、組織状材料の創出を目指し、脂質二分子膜で接続した複数の油中水滴からなる3次元材料（これを液滴ネットワークと呼ぶ）の研究が盛んに行われている。先行研究では、膜タンパク質やDNAを利用し、センサやアクチュエータ、情報処理などの機能を持つ液滴ネットワークの実証が行われている。将来的に、別々に実証されているこれらの機能を液滴ネットワーク内で連結し統合することで、生体分子に基づくロボットの創出が期待されている。このようなシステムの実現には、構成液滴を目的の液滴回路に構築可能であることが望まれる。しかし、液滴間の界面エネルギーの最小化により界面は容易に変形を起し、1液滴からのネットワーク設計が困難であるという課題がある。 本論文の目的は、明確に液滴の位置が定義された3次元液滴ネットワークを構築する方法を開発することである。この目的のため、3次元足場構造中での流体の自己デジタル化現象を研究し、生成された液滴アレイを積み重ねることで液滴ネットワークを形成する方法を提案した。 第1章では、液滴のアレイ・ネットワークの先行研究を概説し、研究目的を述べた。第2章では、油中水滴の基本的事項や脂質二分子膜の安定性について述べた。 第3章では、開放系における非混和性の2種の流体を用いた液滴の自己デジタル化の研究を行った。連結した円形ウェルのアレイを開発し、ソフトリソグラフィ技術で製作した。ウェルアレイ中で2種の流体の順次浸透による液滴アレイ生成を実証し、形状と油成分の種類、表面処理方法から、生成条件を実験的に最適化した。さらに、液滴アレイ上で細胞の生死アッセイを行い、ウェルアレイの生化学への応用可能性を示した。 第4章では、マイクロメートルスケールの機械的な足場構造の設計方法の検討と、製作した足場構造中での液滴生成を行った。足場構造は、多方向露光のフォトリソグラフィによって製作した。2種の流体の粘度、界面および流体の条件により、自己デジタル化される流体に4つの状態が生じることが見出された。 第5章では、マイクロメートルスケールの機械的な足場構造中の液滴アレイを用いた、3次元液滴ネットワーク構築方法を提案した。3次元液滴ネットワークは、足場構造に覆われた2次元の液滴アレイを垂直に積み重ねることによって構築可能なことが分かった。3次元液滴ネットワークは、液滴間に再構成させた膜タンパク質の電気計測によって確認された。 第6章では、研究成果を要約し、本手法が3次元液滴ネットワークの構築に与える影響について論じ、本論文の結論とした。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5007 号	氏 名	矢 菅 浩 規
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	博士（工学）	佐藤 洋平
	慶應義塾大学教授	Dr. sc. nat.	チッテリオ, ダニエル
学士（工学）、修士（工学）矢菅浩規君提出の学位請求論文は、「Fluid Self-Digitization in Micro-Mechanical Scaffolds for Construction of Droplet Array and Network」（微細構造中での流体の自己デジタル化を利用した液滴配列とネットワークの形成）と題し、6 章から構成されている。 マイクロリットル以下のスケールを有する油中水滴は、化学反応または細胞モデリングのための区画化された環境を提供する。近年、組織状材料の創出を目指し、隙間なく集積させた多数の油中水滴群、液滴ネットワークに関する研究が盛んに行われている。しかし、液滴間の表面エネルギーの最小化により、液滴境界面は容易に変形を起こし、ネットワークの形状を維持できないという問題がある。 本論文の目的は、明確に液滴の位置が定義された 3 次元液滴ネットワークの構築方法を開発することである。特に、液滴を配列させた状態でネットワーク化するため、空間的かつ周期的な空隙を含むマイクロスケールの機械的な足場構造を提案している。 第 1 章では、液滴のアレイ化およびネットワーク化の先行研究を概説し、研究目的を述べている。 第 2 章では、油中水滴に関する理論や形成手法、ならびに膜の安定性について述べている。 第 3 章では、非混和性の 2 種の流体を用いた、開放された環境における液滴の自己デジタル化を提案し、実験的に評価を行っている。具体的には、連結した円形ウェルのアレイを製作し、ウェルアレイ中に水成分と油成分を順次流すことによって、円形ウェル中に液滴を自動的に形成する。ソフトリソグラフィ技術で製作したウェルアレイの形状と表面処理方法、油成分の種類を実験的に比較検討し、液滴アレイ形成の条件を求めている。さらに、形成した液滴アレイを用いた試薬の濃度勾配形成、ならびに細胞の生死アッセイを行い、ウェルアレイの工学的な利用可能性を示している。 第 4 章では、マイクロスケールの機械的な足場構造の設計方法の検討と、製作した足場構造中での液滴形成を行っている。足場構造を多方向露光フォトリソグラフィによって製作し、2 種の流体間の粘度比、液滴の接触角および毛管数をパラメータとして、液滴の自己デジタル化実験を行い、結果として 4 つの状態が生じることを見出している。 第 5 章では、マイクロスケールの機械的な足場構造中に形成された 2 次元の液滴アレイを、垂直に積み重ねることによる 3 次元液滴ネットワーク構築方法を提案している。液滴界面に脂質二重膜を形成し、その上に膜タンパク質の再構成を行い、3 次元液滴ネットワークの構築を確認している。 第 6 章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望について述べている。 以上要するに、本論文はマイクロスケールの機械的な足場構造を利用し、微小な液滴ネットワークを、液滴配列を制御しながら 3 次元に構築する技術を提案し、その有効性を示したものであり、生物化学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5008号	氏 名	松浦 弘明
主論文題名： Development of Soret Forced Rayleigh Scattering Apparatus to Measure Soret Coefficient in Binary and Ternary Liquid Mixtures (ソーレー強制レイリー散乱法による3成分液体のソーレー係数測定システムの開発)			
物質拡散は濃度勾配を駆動力とする物質輸送現象である一方で、温度勾配を駆動力とする物質輸送現象はソーレー効果と呼ばれる。液相におけるソーレー効果の分子論的メカニズムは現在でも未解明であり、物質輸送現象の理解や応用のためには実験的アプローチが重要となる。そこで本研究では、ソーレー強制レイリー散乱法と呼ばれる光学的物質輸送センシング技術を、とくに測定例が限られている3成分系ソーレー係数の測定法として開発することを目的とした。 第1章に、本研究の背景および、既存のソーレー係数の測定方法について概説した。 第2章では、屈折率の波長依存性を利用した2波長検出技術を、ホモダイン検出によるソーレー強制レイリー散乱法に応用し、3成分系ソーレー係数測定を行うための測定理論の導出について述べた。また、これに基づく測定を実現するため、2波長のレーザーによる同時検出が可能な測定システムの設計と構築を行った。検出用レーザーの波長として403 nmと639 nmの2つを選択し、また物質輸送の励起には波長532 nmのレーザーを用いた。 第3章では、構築した測定システムの妥当性の評価のために行った実験について述べた。1,2,3,4-tetrahydronaphthalene, isobutylbenzene, <i>n</i>-dodecane からなる3種類の2成分ベンチマーク系、および3成分ベンチマーク系のソーレー係数の測定結果がベンチマーク値と標準不確かさの範囲内で一致することを確認した。3成分ベンチマーク系の1,2,3,4-tetrahydronaphthalene のソーレー係数の標準不確かさは23%であった。 第4章では、ソーレー強制レイリー散乱法の3成分ポリマー溶液系への応用について述べた。ポリマーフィルム材料 cellulose acetate butyrate (CAB) の質量分率を0.1に固定し、2種類の有機溶媒 styrene, 2-butanone の混合比を変化させて298.2 Kでの測定を行い、混合比による各物質のソーレー係数の変化を調べた。各混合比でポリマーであるCABのソーレー係数は正であり、温度勾配に対して低温側に輸送されるのに対し、2つの溶媒のソーレー係数は負であり高温側に輸送されることを明らかにした。 第5章では、CO₂ レーザーを用いた赤外ソーレー強制レイリー散乱法の装置開発について述べた。可視波長をソーレー効果の励起に用いる場合は試料への染料添加が必要だが、赤外波長を用いることでこれが不要となる。試料セルに用いる窓材のうち、入射側のものは波長639 nmの検出用レーザーとCO₂ レーザーをともに透過する単結晶ダイヤモンドを選択した。また、ethanol 水溶液の測定を通して、2成分系ソーレー係数測定の妥当性を確認した。さらに、赤外ソーレー強制レイリー散乱法の3成分系測定への応用の可能性について述べた。 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。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5008 号	氏 名	松浦 弘明
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 工学博士 長坂 雄次			
副査 慶應義塾大学教授 理学博士 中嶋 敦			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 泰岡 顕治			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 田口 良広			
学士（工学）、修士（工学）松浦弘明君提出の学位請求論文は「Development of Soret Forced Rayleigh Scattering Apparatus to Measure Soret Coefficient in Binary and Ternary Liquid Mixtures」（ソーレー強制レイリー散乱法による3成分液体のソーレー係数測定システムの開発）と題し、6章から構成されている。 物質拡散は濃度勾配を駆動力とする物質輸送現象である一方で、温度勾配を駆動力とする物質輸送現象はソーレー効果と呼ばれる。液相におけるソーレー効果の分子論的メカニズムは現在でも未解明であり、物質輸送現象の理解や応用のためには実験的アプローチが重要となる。そこで本研究は、ソーレー強制レイリー散乱法と呼ばれる光学的物質輸送センシング技術を、とくに測定例が限られている3成分系ソーレー係数の測定法として開発することを目的としている。 第1章に、本研究の背景および、既存のソーレー係数の測定方法について概説している。 第2章では、屈折率の波長依存性を利用した2波長検出技術を、ホモダイン検出によるソーレー強制レイリー散乱法に応用し、3成分系ソーレー係数測定を行うための測定理論の導出について述べている。また、これに基づく測定を実現するため、2波長のレーザーによる同時検出が可能な測定システムの設計と構築を行っている。検出用レーザーの波長として403 nmと639 nmの2つを選択し、また物質輸送の励起には波長532 nmのレーザーを用いている。 第3章では、構築した測定システムの妥当性評価のために行った実験について述べている。1, 2, 3, 4-tetrahydronaphthalene, isobutylbenzene, n-dodecaneからなる3種類の2成分ベンチマーク系、および3成分ベンチマーク系のソーレー係数の測定結果がベンチマーク値と標準不確かさの範囲内で一致することを確認している。3成分ベンチマーク系の1, 2, 3, 4-tetrahydronaphthaleneのソーレー係数の標準不確かさは23%である。 第4章では、ソーレー強制レイリー散乱法の3成分ポリマー溶液系への応用について述べている。ポリマーフィルム材料cellulose acetate butyrate (CAB)の質量分率を0.1に固定し、2種類の有機溶媒styrene, 2-butanoneの混合比を変化させて298.2 Kでの測定を行い、混合比による各物質のソーレー係数の変化を調べている。各混合比でポリマーであるCABのソーレー係数は正であり、温度勾配に対して低温側に輸送されるのに対し、2つの溶媒のソーレー係数は負であり高温側に輸送されることを明らかにしている。 第5章では、CO₂レーザーを用いた赤外ソーレー強制レイリー散乱法の装置開発について述べている。可視波長をソーレー効果の励起に用いる場合は試料への染料添加が必要だが、赤外波長を用いることでこれが不要となる。試料セルに用いる窓材のうち、入射側のものは波長639 nmの検出用レーザーとCO₂レーザーとともに透過する単結晶ダイヤモンドを選択している。また、ethanol水溶液の測定により、2成分系ソーレー係数測定の妥当性を確認している。さらに、赤外ソーレー強制レイリー散乱法の3成分系測定への応用の可能性について述べている。 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ている。 以上要するに、本研究はソーレー強制レイリー散乱法と屈折率の波長依存性を利用した2波長検出技術の統合による3成分系ソーレー係数の測定理論を導出し、新たに構築した測定系により工学的に重要な3成分系の測定結果を示し、さらに、物質輸送励起に赤外光を用いた赤外ソーレー強制レイリー散乱法の測定系の開発を行い、その有用性を明らかにしており、熱物性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.5009	Name	Tennekoon, Rajitha Lakmal
Thesis Title			
Implementation and Evaluation of Secured Network Infrastructure Using Content-based Router			
The Internet is the world's largest public network accessed by approximately half of the world population. In principle, the Internet is used as the main communication medium, which aims to transfer all kinds of user and application data. Most of the time, users need to share their sensitive and private information along the communication with the authorized communication parties. As a public network, the Internet is constantly vulnerable by the miscellaneous threats and attacks such as malware, phishing, spoofing, injections, Denial-of-Service, ransomware, and hacking, which cause the exposure of the users' private and sensitive information. These vulnerabilities have raised the demand for enhancing the functions of the Internet infrastructure to preserve confidentiality, integrity, and authentication (CIA) of their data. The Internet use “TCP/IP” as its core communication protocol stack. The initial design of the Internet was intended to share data among networks with limited functionality. Such limitations of the core layer led to the inability to address the emerging security threats on its own. Such problems of the Internet ended up in allowing intruders to read and alter data streams. Moreover, it exposed the metadata used for the communication: i.e., packet header information. Therefore, over the past few decades, numerous studies have been conducted to study secure data transmission over public networks such as end-to-end data encryption (E2EE) protocols and tunneling protocols. Generally, a packet traverse through numerous networks between different countries among its delivery. It is a well-known fact that the security policies and requirements diverge among countries and organizations. However, the conventional methods secure data from one end to another without considering the connections in-between. Therefore, the used encryption algorithms or the keyspaces can be vulnerable among some of the intermediary links. On the contrary, tunneling encryption protocols are entirely independent of the routing flow; when data is encrypted or obscured by tunneling, it impedes analysis of traffic streams, which is the vital feature for the service-based future Internet. Moreover, it is vital to securely locate and track the adversary as early as possible after or during a network attack. However, lack of proper faster and secure traceability services is a major issue for the internet infrastructure and its users. To this end, the dissertation proposes an approach to enhance the security over the public network communication using content-based router infrastructure. Content-based router is a next-generation novel backbone router, which can be used to analyze all packet stream transactions on its interfaces and provide extended services to end users and applications. On the contrary, the conventional routers cannot provide such services.			

Content-based routers use its specialized hardware and software modules to accelerate the packet processing and its services. The dissertation proposes an infrastructure to provide secured services using a novel distributed link-state routing (DLSR) protocol empowered with per-hop data encryption using the content-based router architecture. The implemented per-hop data encryption protocol is then used to provide mainly three services as the solutions for the above mention security issues, namely, 1) IP-routable entire packet encryption service, 2) neighbor data retransmission service and 3) fast and secure packet traceability service. Moreover, a core system for real-world content-based routers, named as deep packet inspector on a router (DooR), is implemented and tested which can perform on-the-fly TCP stream reconstruction and analysis leveraging the real-time deep packet inspection capabilities of the content-based routers.

Accordingly, the structure of the dissertation is divided into three main sections: 1) implement and evaluate per-hop data encryption protocol, 2) use the developed encryption protocol to provide secured services for public networks using content-based routers 3) leverages the content-based router infrastructure with hardware and software acceleration of DooR. The first two sections are implemented and evaluated under simulation-based environment using network simulator3 (ns-3). The DooR is implemented on real-world Linux-based high-performance hardware and tested in real-world networks. In conclusion, the proposed secured services yield better performance compared to the conventional methods together with better, flexible security to its users and the real-world DooR implementation guarantees the practicality of the proposed services via its hardware and software accelerations minimizing the packet processing delays in the content-based routers.

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5009 号	氏 名	Tennekoon, Rajitha Lakmal
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 西 宏章
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 重野 寛
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 矢向 高弘
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 松谷 宏紀
B.Sc., M.Sc., Rajitha Lakmal Tennekoon 君提出の学位請求論文は「Implementation and Evaluation of Secured Network Infrastructure Using Content-based Router」（コンテンツベースルータを用いたセキュアなネットワーク基盤の実装と評価）と題し、6 章から構成されている。 インターネットは生活に欠かすことができないインフラとなったが、脆弱性はあらゆるところに潜在し、セキュリティ上の問題による違法な情報漏えい事故が後を絶たない。これに対し様々な対応手段が研究されている。一方で暗号化技術に対する攻撃技術もまた進化を遂げ、普遍的な暗号化技術の提供が困難な状況にある。また、一般的には end-to-end 再送および暗号化が行われており、通信の効率化を図るうえで障害となる可能性がある。さらに暗号化の結果、データセントリックネットワークなどネットワーク経路途中において情報解析が必要となる場合、その解析そのものが困難になるという問題もある。本論文はこれらの問題に対応するため、Per-hop 暗号化通信網とその構築技術および応用技術を提案した。 第 1 章では、提案手法の基礎となる、暗号通信技術およびコンテンツベースルータの役割や機能について述べるとともに、暗号技術の重要性および既存手法における問題点を指摘している。 第 2 章では、実装や評価において必要となるルータやその応用であるコンテンツベースルータ、暗号化通信プロトコルを構築する際の基本となる各種ルーティングプロトコルおよび暗号化プロトコルなど関連研究についてまとめている。 第 3 章では、ネットワークシミュレータ ns-3 を用いた提案手法の評価環境の構築および実際の評価について述べている。特に、必要となる Distributed Link-State Routing (DLSR) プロトコルを ns-3 上に初めて実装しており、DLSR を用いた Per-hop 暗号化プロトコルについて説明している。 第 4 章では、提案した Per-hop 暗号化プロトコルを用い、各種拡張を施した Per-hop 暗号化通信を構築し、ヘッダを含むあらゆる情報を暗号化しつつ通常のルーティングに加えコンテンツベースルーティングが可能であること、装置間再送が可能であること、さらに、その応用としてパケットトレーサビリティサービスが提供可能であることを示すとともに性能評価を行っている。 第 5 章では、提案手法を実ネットワーク上に構築し、中間処理に伴う遅延の問題を低減させる基本ライブラリの実装と性能評価を行っている。このライブラリは一般的なサーバを用いたソフトウェアルータを基本としていることから Per-hop 暗号化を含む様々なサービスを構築可能である。一方でスループットの向上が課題であることから、ユーザ領域ゼロコピー IP 通信を可能とする DPDK を用いたパケット処理、文字列探索処理ハードウェアアクセラレータ HyperScan による正規表現ストリーム処理、暗号・圧縮処理ハードウェアアクセラレータ Quick Assist Technology による HTTPS, GZIP 展開処理といった技術を統合することで低遅延化と高スループット化を達成している。さらに実装したライブラリは、マルチコアを用いた効率的な分散ストリーム処理などの機能拡張が施されるなど、コンテンツベースルータとして利用可能な高機能ライブラリである。実運用評価として、このライブラリを用いたコンテンツベースルータを実装し、国内最大のインターネット関連技術展示会 Interop2017 において、実際に商用ルータと相互結合しつつ会場の通信トラフィックをオンタイムかつ停止することなく解析し続けることに成功している。 第 6 章では、本論文全体をまとめ、提案手法を用いることにより柔軟な暗号化通信網が構築可能であるとともに、先に示した様々な問題を解決可能であると結論付けている。 以上要するに、本研究はコンテンツベースルータを用いた Per-hop 暗号通信による新しい通信サービスの可能性を示しており、情報通信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 5010 号	氏 名	中村 優一
主 論 文 題 名 : Data transaction infrastructure for safe and flexible sharing of private information (個人情報 の安全かつ柔軟な公開共有を可能とする情報流通基盤に関する研究)			
情報通信技術の普及と発展により、現在様々な情報が電子データとして大量に扱われ、蓄積されている。これらデータは収集した組織のみが利用しているが、収集者とは異なる目的での第三者による利用（二次利用）での、データの新たな価値の創出が見込まれる。しかし対象となるデータには個人情報が含まれる可能性があり、プライバシーに配慮したデータ共有が求められる。 この問題に対し、本論文では、個人情報の安全かつ柔軟な公開共有を可能とする情報流通基盤を提案する。提案基盤はプライバシーを保護したデータ共有に匿名化を用いる。匿名化はプライバシー保護技術の一つで、値を一般化加工することでユニークなデータレコードが存在しないデータへ変換し、特定の人物に関するレコードの同定を防ぐ。また柔軟性として、提案基盤はデータ提供者とデータ利用者双方の許可要求および利用要求を表記するためのフォーマットを提案し、それぞれの要求を満たすようデータを匿名化加工し公開共有する。本提案の詳細は Section 3 にて説明し、また本研究の背景と関連研究をそれぞれ Section 1, 2 にて説明した。 また本論文では、提案基盤の機能を強化する 3 手法をさらに提案する。その 1 つ目として Section 4 にて提案基盤の高速化のため、匿名化処理のハードウェア実装を提案・実装した。評価より、提案する実装は TCAM による既存提案よりも 82.3% 小さな回路規模で、OC48 およびそれ以上、最大で 8.75Gbps のスループットでの匿名化が可能であることを示した。 Section 5 では、提案基盤が時系列データへ対応できるよう、自己組織化マップを利用した時系列データのための匿名化手法を提案・実装した。提案手法はデータ提供者間で安全に共有しながら匿名化するため、データ提供者それぞれが別々に匿名化加工する場合と比較したとき、同一の匿名化度合いでの一般化の度合い（情報損失度）が小さくなり、より元のデータに近く有用なデータとなる。評価によれば、その削減率は最大で 22% であった。 Section 6 ではデータ利用者による無断再配布への対策として、匿名化データのための電子透かし手法を提案・実装した。評価より、本電子透かし手法は歪曲攻撃に対し、元データの 95% のレコード追加および 30% 以下のレコード削除・置換への耐性があることが示された。また電子透かしに用いる編集手法を提案・比較し、拡張および置換手法による情報損失がマスキング手法の 1/19 倍となることを示した。最後に Section 7 にて本論文をまとめ、また今後の展望について言及した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5010 号	氏 名	中村 優一
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 西 宏章
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 河野 健二
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 久保 亮吾
		明治大学教授	博士（工学） 齋藤 孝道
学士（工学）、修士（工学）中村優一君提出の学位請求論文は「Data transaction infrastructure for safe and flexible sharing of private information（個人情報の安全かつ柔軟な公開共有を可能とする情報流通基盤に関する研究）」と題し、7章から構成されている。 IoTやTrillion Sensorsが一般化した社会では大量のデータが取得され、そのデータを利用した様々なサービスの提供が期待されている。その中で、個人情報を含むデータは、特に有用なサービスの提供が期待できる一方で、漏えいの危惧から円滑な利用は行えていない。同君はこの状況を改善する個人情報流通基盤を提案した。 第1章では、個人情報保護技術のニーズや、関連した各国の対応について述べるとともに、個人情報を匿名化し、安全に利用する技術の重要性について説いている。 第2章では、Privacy Preserving Data Mining や Publishing と呼ばれる個人情報の匿名化に関する既存研究についてまとめている。特に、情報の秘匿化を前提とする暗号化ではなく、情報公開を前提とする匿名化について、k 匿名性やl 多様性など、すでに利用されている情報一般化手法、および匿名化手法の評価指標である Information Loss について述べている。 第3章では、個人情報を安全に扱うためのデータ流通基盤を提案している。当該基盤はソースが同一である複数の匿名化情報を集約、解析することによる匿名性逸失攻撃への耐性を備えつつ、初となる個人情報流通基盤の構成法やプロトコル、データフォーマットについて述べている。 第4章では、一般に計算コストが大きく大規模データでの利用が困難であった匿名化処理について、CAM を利用した超低遅延処理ハードウェア機構や、一般的なメモリとキャッシュを用いた低遅延かつハードウェアコストが小さいハードウェア機構を提案し、FPGA を用いて評価している。 第5章では、匿名化情報の応用事例として地域電力の同時同量やピーク予測、ピーク回避、ダイナミックプライシングなどを実現するために必要となる電力使用量の収集、交換を取り上げ、自己組織化マップを用いた新たな情報匿名化手法と、電力利用情報の公開、流通手法について述べるとともに、実データを用いて評価している。結果として、必要とされる匿名化レベルを維持しながらピーク時の同時同量の運用において十分な電力推定誤差であると説いている。 第6章では、匿名化情報が定められた範囲外で利用されることを防ぐ手法として、匿名化情報に対する電子透かし技術を提案している。画像など、画素の並びといった情報の順番に意味のある情報に対する電子透かし技術は存在するが、匿名化が対象とする情報には順番が存在しないため、情報匿名化が有する匿名化の多様性を応用しつつ、ターボ符号、グレイコード、AES 暗号といった技術を融合した新しい電子透かし技術を構築している。結果として結託攻撃、歪曲攻撃など多様な攻撃に対して耐性を備えることを定量的に示している。この技術により、どの情報を、誰に、何の目的で、どの範囲に配布したかなどの情報を秘匿したまま安全に混入可能であることから、匿名化情報の漏えいに対する抑止効果が期待できるとしている。 第7章では、本論文全体をまとめ、匿名化した個人情報の安全な公開・流通基盤の可能性について述べるとともに、実利用が可能なレベルにあると結論付けている。 以上要するに、本研究は、情報匿名化基盤における主要な技術を構築しており、本提案基盤がITU-T（国際電気通信連合電気通信標準化部門）における Focus Group である Smart Sustainable Cities のデリバラブルとして配布されるなど、工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5011	Name	Ikalovic Vedrana
Thesis Title From Personal Space to Intimate Space: A Socio-Spatial Study of Domestic Urban Environments in Contemporary Tokyo			
Despite an inevitable and constant presence of <i>others</i>, everyday life in a metropolis tends to be described as solitary and alienated. Such paradoxes are among the main features of the complex urban conglomerations which attract more and more individuals. How attached to these complexities can we become? To what extent is our attachment and, consequentially, the lifestyles and habits, imposed by the characteristics and the affordances of the spaces we dwell? And is it possible for planning to generate urban spaces that afford interaction? This research addresses these questions through the set of multidisciplinary explorations of <i>intimate spaces</i> which emerge from the relationship between <i>the self</i> and <i>the city</i>. An integrated methodological approach, which originate from different research fields, addresses those arising questions within the context of contemporary Tokyo. The conceptual framework is defined and selected methods customized for two distinct segments of the research: the sociological and the ethnographic methods are used to define socio-cultural and spatial characteristics of the concept under examination. The sociological study helps define the network of significant places which construe the dispersed home and, within this network, it identifies “another place” (also defined as the “fourth place”) - the place of rest and solitude where people do not necessarily interact with others. The ethnographic study exposes two predominant meanings of “another place”, as an intimate space in Tokyo downtown area, which are defined as the utilitarian and the decorative. Intimate spaces, as meaningful spaces within metropolises, afford engagement with the environment through a broad range of activities. This research uses concrete socio-spatial characteristics of such spaces for an exploration of their possible integration into the planning practices. The key conceptual aspects of a hypothetical, culturally sustainable metropolis are compared with the existing multi-levelled planning system of Tokyo. An integrated methodology, aimed at introducing the potential for planning to make places imbued with meanings useful to practitioners and decision-makers, is developed. As an example of possible application of that tool, intimate spaces in Taito Ward are identified in the Geographic Information System (GIS) and inserted as an additional layer into the Land Use Plan. That is in recognition of both (1) an existing phenomenon which needs to be acknowledged and (2) the necessity for its strategic inclusion in spatial planning of a sustainable metropolis.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5011 号	氏 名	イカロヴィッチ, ヴェドラナ
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. ラドヴィッチ, ダルコ
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） アルマザン, ホルヘ
		東京大学教授	博士（環境学） 岡部 明子
		明治大学特任教授	Ph. D. ブンタム, ダヴィン
修士（建築）、修士（工学）イカロヴィッチ, ヴェドラナ君の学位請求論文は、「From Personal Space to Intimate Space: A Socio-Spatial Study of Domestic Urban Environments in Contemporary Tokyo（パーソナルスペースからインティメートスペースへ：現代の東京におけるドメスティックな都市環境の社会空間研究）」と題し、8章から構成されている。 第1章では、パーソナルスペースの概念について述べている。パーソナルスペースは、（東洋的または／かつ西洋的な）文化的現象として既に様々な定義がされているが、現代の継続的移動を伴う生活の状態・ライフスタイルに影響を受けた、文化的・社会的・空間的な状況を構成する総体として定義されるパーソナルスペースの概念については研究の余地がある旨を述べている。 第2章では、サステナブルな未来へのヴィジョンをもったグローバル都市である東京の特性に着目したケーススタディの内容について述べている。章の前半では、空間的領域としての東京が境界と運動という相互に連動する2つの特徴によって形成されている様を詳細に調査した内容について述べ、章の後半では、台東区の詳細な調査について述べている。 第3章では、質的並びに定量的な研究、またそれらの相互関係についての研究のために本研究で適用される学際的な方法論について述べている。具体的には、第4章で都市社会学、第5章で民俗学、第7章で空間学という主に3つの学問領域について取り扱っている。 社会学的な検証を行う第4章では、大都市スケールにおいて行政上の境界を継続的に横断する個人のネットワークについての経験的観点からの東京の構成論を述べている。「家」「場所への愛着」「習慣化」の3つの研究領域からなるフレームワークの中で、「習慣化」における環境の重要性を半構造化インタビュー調査から明らかにしている。具体的には、(a) 複数の重要な場所間の絶え間ない移動によって構成される「ディスペースホーム」を都市論的に新たに定義し、(b) 複数の重要な場所間の第4の場所「アナザープレイス」の概要について、社会学的に論じている。 第5章では、23区内の「非中心的な区」（第2章にて定義）において見出される、独自性の高いインティメートスペースとしての「アナザープレイス」に着目した空間的検証、ならびに「第4の居場所」についての意味と価値について、民俗学的に論じている。まず、人類学ならびに民俗学におけるヴィジュアルメソッドを都市環境の研究導入することの有用性に着目して詳述している。次に、台東区内において、個人的所有物の設置が確認される残余空間を観察・撮影・記録、また、建築スケールでマッピングし、「装飾的な場所」と「実用的な場所」のアイデンティフィケーションと定義を行っている。 第6章では、インティメートスペースの定義を行い、アーバンプランニングとサステナビリティにおけるその有用性について述べている。 第7章では、社会学的かつ民俗学的な調査研究の結果を、GISを用いて実際の空間的状況の可視化を行い、プランニングツールとして考察されている。また、空間的スケールを横断して都市を形成するプロセスにおけるガバナンスのレベルと参加者の役割の詳細な考察を行っている。文化的持続可能性をもった様々な都市形態の比較によって、都市計画ガイドラインの策定に有用な方法が提案されている。革新的でインタラクティブなプランニングの実践を可能にするプランニングツールとしてのGISの新たな側面が実装され、検証されている。 最後に第8章では、本研究を通じて得られた知見をまとめている。 以上要するに、本論文は、現在の都市計画的実践を発展させるための多角的方法論の可能性の考察を通じて、パーソナルスペース理論の発展に寄与するものである。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5012号	氏 名	金 桂香
主論文題名：			
調達リスクおよび需要の非定常性を考慮した安全在庫に関する研究			
本論文はサプライチェーンにおける安全在庫の計算方法について論じる。需要が不確実な時、平均需要を推定してその分だけ発注すると欠品率が 50% になる。欠品を一定水準まで抑えるためには安全在庫が必要となる。サプライチェーンを1つのシステムとしてみた時、在庫発注に関する意思決定、すなわち発注する時期と量を決める方法を発注方式といい、発注する量も発注する時期も安全在庫を考慮して決める必要がある。本研究ではカンバン方式の原型であると言われている発注点方式を前提に、発注リードタイムが存在し、しかも確率的に変化するときの安全在庫の計算方法、および発注リードタイムは短いが必要の不確実性が単純な独立で一樣な分布 (i. i. d.) ではなく、非定常である場合の安全在庫の計算方法について論じる。具体的には、サプライチェーンにおける二つの主な変動要因、すなわち調達側のリードタイムの不確実性、および販売側需要の不確実性を考慮した安全在庫の計算式を導出し、実用性を考慮して簡便法を提案する。 調達側のリードタイムの不確実性については、サプライチェーン途絶時に調達リードタイムが長くなることを対象に、リードタイムの分布が2峰性の性質を持つ場合の安全在庫の計算方法を提案する。 販売側のリードタイムの不確実性については需要が非定常であり、1週間のサイクルを持つ需要を対象に、需要の特徴を用いて時系列に対してマトリクス変換を行い、隣接する2つ日間のデータにAR(1)モデルを適用し、定期発注方式では一般的に期末に欠品が発生する性質を用いて、AR(1)モデルのパラメータを用いて安全在庫を計算する方法を提案した。本研究の主な成果は、まず、調達側リードタイムの不確実性を考慮した安全在庫の計算方法において、リードタイムの確立分布が2峰性の性質を持つときの既存研究の理論的な問題を発見し、サプライチェーン途絶を考慮したときの安全在庫の計算方法を提案したこと、そしてテラー展開の手法を用いて線形近似を行うことで、エクセルでも簡単に途絶を考慮した安全在庫を計算できるようにした点である。 また、販売側需要の不確実性を考慮した安全在庫の計算方法において、需要が非定常であり、周期的に変化する特徴を用いて時系列データをマトリクスに変換し、そのマトリクスにAR(1)モデルを適用するとともに、定期発注方式における欠品発生の特徴を利用し、AR(1)モデルのパラメータを用いて安全在庫を計算する方法を提案するとともに、数値実験を通じてサービス水準を保ちながら安全在庫を削減できることを示した点である。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5012 号	氏 名	金 桂 香
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 松川 弘明
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 稲田 周平
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 志田 敬介
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 中野 冠
本論文は、「調達リスクおよび需要の非定常性を考慮した安全在庫に関する研究」と題し、以下 5 章から構成されている。 第 1 章「序論」では、サプライチェーンマネジメントにおける安全在庫の研究を概観し、安全在庫を需要の不確実性だけでなく、調達のリスクも考慮してその量を計算する必要性を述べている。システム内部やインプット側（調達）リスクについてはリードタイムの不確実性を用いて表し、1 峰性分布を前提とした計算方式の問題点を指摘し、さらに調達リスクを考慮したときのリードタイムの 2 峰性問題の特徴については、Eppen & Martin モデルを、調達リスクを考慮した安全在庫の計算に用いる場合の理論的な問題点を指摘している。また、アウトプット側（販売）のリスクとして需要の不確実性を取り上げ、周期性のある非定常性時系列需要に対して、その周期性を活用して新しい安全在庫の計算方法に関する研究の必要性を述べている。 第 2 章「既存研究」では、サプライチェーンにおける安全在庫の計算手法と関連ある理論研究に対してサーベイを行っている。まず 2.1 節では需要の不確実性およびサプライチェーンマネジメントに関する既存研究を述べ、次に 2.2 節では安全在庫とリスクプーリングに関する既存研究、そして 2.3 節ではリードタイムが不確実である場合の安全在庫に関する研究、2.4 節では発注方式と安全在庫に関する既存研究、そして 2.5 節では多段階在庫システムにおける安全在庫に関する既存研究をそれぞれ述べ、最後に本研究の位置づけを行っている。 第 3 章「調達リスクを考慮した安全在庫の計算方法」では、途絶時のリードタイムを平常時のリードタイムに途絶期間を加えた統計量として定義することで、Eppen & Martin モデルに対して拡張を行い、調達リスクを考慮した安全在庫を計算するための最適発注点を計算するモデルを提案している。また、実用化を目的にテーラー展開を用いて線形近似を行い、エクセルでも簡単に計算できる安全在庫の計算式を導出し、数値実験を通じて提案手法の有効性を示している。 第 4 章「需要の非定常性を考慮した安全在庫の計算方法」では、周期的に変動する非定常時系列需要データに対してマトリクス化を行い、マトリクス化されたデータに前後両日の需要に相関があることを考慮して AR(1)モデルを適用し、パラメータを推定している。また、定期補充方式では欠品が最後の期に発生することが多い特徴を利用して、AR(1)モデルのパラメータを用いて需要の不確実性を伝播させることで最後の期における需要の分散を推定し、それに基づいて新しい安全在庫の計算式を提案している。また、提案手法は数値実験を通じてその有効性が示されている。 第 5 章「結論と課題」では、本研究の研究成果をまとめるとともに、将来の課題について GSM モデルに基づいて拡張を行うことを述べている。 以上、本論文は製造企業における調達リスクに対して部品の安全在庫を計算する方法を提案し、線形近似を用いて実用的な計算式を提案しており、また、需要のリスクに対して時系列の非定常性に着目し、需要データが周期的に変化する特徴を用いて時系列に対してマトリクス化を行い、前後両日間の相関が毎日の不確実性を伝播する性質を利用して定期補充方式における安全在庫の計算式を提案したものであり、安全在庫の研究において学術的貢献が大きいだけでなく、実用的な観点からも高く評価できる。 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 5013 号	氏 名	遠藤 冬玲
主 論 文 題 名：			
シンジオタクチックポリマーの結晶構造と力学物性：延伸プロセスと温度の影響			
結晶性ポリマーは、高密度、高強度な結晶が非晶質のポリマー分子鎖によって結び付けられたネットワーク構造を有し、その物性は材料内部に形成される結晶の構造や形態に大きく依存する。結晶性ポリマーの中でも、分子鎖の立体規則性によって結晶性を発現する立体規則性ポリマーは、ポリプロピレンに代表されるように、低コストなモノマーから合成でき需要と供給も多いプラスチック材料である。本論文では特に、エンジニアリングプラスチックに匹敵する耐熱性を有するシンジオタクチックポリスチレン (syndiotactic polystyrene: sPS) と優れたゴム弾性を発現するシンジオタクチックポリプロピレン (syndiotactic polypropylene: sPP) に焦点を当て、延伸プロセスや温度などの成形条件を変えることで、それらのシンジオタクチックポリマーの結晶構造や物性を制御することを目的として研究を実施した。 第 1 章では、立体規則性ポリマーの構造と、その構造および物性を制御するためにこれまで試みられてきた作製手法について紹介し、それらを踏まえて本論文の目的を述べている。第 2 章では、sPS のフィルムに加熱延伸処理を施すと、熔融状態や溶解状態を介さずに試料内部の結晶が構造転移する現象に着目し、延伸および熱がそれぞれ sPS の構造転移にどのように寄与しているかを明らかにしている。第 3 章では、液体窒素による急速冷却 (急冷) 処理を施すことによって、sPP が特定の溶媒との系で、他の立体規則性ポリマーには報告されていない弾力を有する物理ゲルを形成する現象を見出し、急冷処理によって sPP ゲルの光透過性、力学物性が飛躍的に向上することを示している。さらに、大型放射光施設の中性子小角散乱測定装置を用いて高強度化した sPP ゲルの内部構造解析を実施し、sPP ゲルの粘弾性や熱物性との対応からゲルの高強度化メカニズムを解析している。第 4 章では、ポリマー材料のナノファイバーを効率的に作製できる手法のひとつである電界紡糸 (electrospinning: ES) 法に着目し、ES 法によって sPP 共重合体のナノファイバー化を試みている。さらに、ES 法を用いたナノファイバーの紡糸過程と分子鎖内に存在する共重合モノマーの組成が sPP の結晶構造に与える影響を解析している。最後に、第 5 章において各章で得られた結果をもとに、本論文を総括している。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5013 号	氏 名	遠藤 冬玲
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授 Ph. D.	堀田 篤
	副査	慶應義塾大学教授 工学博士	小茂島 潤
		慶應義塾大学教授 博士（工学）	大村 亮
		慶應義塾大学専任講師 博士（工学）	藤岡 沙都子
学士（工学）、修士（工学）を有する遠藤冬玲君提出の学位請求論文は「シンジオタクチックポリマーの結晶構造と力学物性：延伸プロセスと温度の影響」と題し、全5章より構成されている。本論文をもって、2018年11月より専修内で実施された予備審査を通過し、専攻にて受理申請がされた。その後、2019年1月に公聴会が執りおこなわれ、最終審査会において論文審査と学識確認を経て、本報告に至った。本論文の概要について以下に述べる。 結晶性ポリマーは、高密度で高強度な結晶が非晶質のポリマー分子鎖によって結び付けられたネットワーク構造を有しているといえる。その物性は、材料内部に形成される結晶の構造や形態に大きく依存する。結晶性ポリマーの中でも、分子鎖の立体規則性によって結晶性が発現するものがある。この立体規則性ポリマーからの結晶性ポリマーは、ポリプロピレンに代表されるように、低コストなモノマーから合成ができ、需要も多いプラスチック材料である。本論文では特に、エンジニアリングプラスチックに匹敵する耐熱性を有するシンジオタクチックポリスチレン (syndiotactic polystyrene: sPS) と優れたゴム弾性を発現するシンジオタクチックポリプロピレン (syndiotactic polypropylene: sPP) に焦点を当て、延伸プロセスや温度などの成形条件を変えることで、それらのシンジオタクチックポリマーの結晶構造や物性を制御することを目的として研究を実施している。 第1章は序論であり、シンジオタクチックポリマーを含む立体規則性ポリマーの構造と、その構造および物性を制御するために、これまで試みられてきた作製手法について紹介しており、それらをふまえて本論文の目的を述べている。 第2章では、sPSのフィルムに加熱延伸処理を施すことで、熔融状態や溶解状態を介さずに試料内部の結晶が構造転移をする現象に着目し、延伸および熱がそれぞれsPSの構造転移にどのように寄与しているのかを明らかにしている。 第3章では、液体窒素による急冷処理を施すことによって、sPPが特定の溶媒との系で、他の立体規則性ポリマーには報告されていない弾力を有する物理ゲルを形成する現象を見出している。そして、急冷処理によってsPPゲルの光透過性や力学物性が飛躍的に向上することを示している。さらに、大型放射光施設の中性子小角散乱測定装置を用いて、高強度化したsPPゲルの内部構造解析を実施し、sPPゲルの粘弾性や熱物性との対応からゲルの高強度化メカニズムを論じている。 第4章では、ポリマー材料のナノファイバーを効率的に作製できる手法のひとつである電界紡糸 (electrospinning: ES) 法に着目し、ES法によってsPP共重合体のナノファイバー化を試みている。さらに、ES法を用いたナノファイバーの紡糸過程における延伸効果と、分子鎖内に存在する共重合モノマーの組成がsPPの結晶構造に与える影響を分析している。 第5章は総論であり、各章で得られた結果をもとに、本論文を総括している。 以上要するに、本論文は、延伸処理や温度操作を組み合わせることによって、低コストでありながら優れた物性を発現するシンジオタクチックポリマーの構造および物性を制御する新たな知見を見出している。これらの成果は工業上、工学上、主にポリマー材料分野で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5014号	氏 名	黒川 成貴
主論文題名： Electrospinning法を用いたナノファイバー作製と 複合化による環境調和型複合材料の開発			
本論文は、石油由来プラスチックの代替として期待されるバイオプラスチックの力学物性向上を目指し、Electrospinning法によるナノファイバーの作製とその強化材としての有効性を示すこと、およびその複合化により環境調和型複合材料を開発することを目的としている。 第1章では、バイオプラスチックの現状と課題点について述べ、課題解決に向けて着目したナノファイバー作製法であるElectrospinning法、および繊維強化型複合材料について記述し、本研究の目的を述べた。 第2章では、Electrospinning法により、高強度および優れた紡糸性を有するバイオプラスチックであるCellulose acetateのナノファイバー(CA-NF)を作製し、バイオプラスチックの一種であるPoly(butylene succinate) (PBS)へ複合化して作製したCA-NF/PBS複合材料の力学物性を評価した。CA-NFとPBSは水素結合を形成するため親和性が良好であり、複合材料の弾性率はCA-NFの含有率増加にともない線形に上昇した。また、Electrospinning時に高速回転コレクターを用いた際、430 m/min以上の回転速度においてCA-NFに配向性を付与することができ、これを強化材として用いた複合材料は未配向のものと比較して高い弾性率を示すことを明らかにした。 第3章では、Electrospinning法により得られたCA-NFに鹼化処理を施し、化学構造中のアセチル基を水酸基へ変換することで水素結合を生じさせ、さらに高強度な強化材として再生セルロースナノファイバー(RC-NF)の作製を試みた。RC-NFを代表的なバイオプラスチックであるPolylactide (PLA)へ複合化したところ、RC-NFは親水性でPLAは疎水性であるために、親和性はあまり良好ではないことが明らかになった。一方、RC-NFはCA-NFより高強度であるために、CA-NFと比較して高い補強効果を有することが示された。 第4章では、高透明性・高強度を有する複合材料の作製のため、Stereocomplex結晶を有するPLAナノファイバー(sc-PLAナノファイバー)をElectrospinning法で作製し、Poly(L-lactide) (PLLA)へ複合化することで、自己強化型PLA複合材料を開発した。Dichloromethane:Pyridine = 7:3 (wt/wt)の混合溶媒を用いて調製した7 wt%の溶液から、平均直径367 nmのsc-PLAナノファイバーを作製できることを示した。また、この自己強化型PLA複合材料は75%以上の可視光透過率を示し、高い透明性を有していることを明らかにした。加えて、その弾性率および引張強度はナノファイバー含有率の増加にともない線形に上昇することが分かった。また、この複合材料はガラス転移点以上における貯蔵弾性率の低下を抑制することができ、80°Cにおいてその貯蔵弾性率はpure PLLAの23.1倍まで向上し、耐熱性を大幅に改善できることを示した。 第5章では、各章で得られた結果を総括し、本論文の結論を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5014 号	氏 名	黒川 成貴
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 堀田 篤
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 志澤 一之
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 渡邊 紳一
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 藤岡 沙都子
学士（工学）、修士（工学）を有する黒川成貴君提出の学位請求論文は「Electrospinning 法を用いたナノファイバー作製と複合化による環境調和型複合材料の開発」と題し、全 5 章から構成されている。本論文をもって、2018 年 12 月より主査と副査による専修予備審査がとり行われた。さらに個別のディスカッションを幾度か経て予備審査を通過し、専攻にて受理申請が承認されるに至った。その後、2019 年 1 月 15 日に公聴会が開催され、最終審査会において論文審査と学識確認を経て、本報告に至った。黒川成貴君の研究成果につき、以下に述べる。 本論文は、石油由来プラスチックの代替として期待されるバイオプラスチックの力学物性向上に焦点をあてている。そして Electrospinning 法によるナノファイバーの作製とその強化材としての有効性を示すこと、およびその複合化により環境調和型複合材料を創ることを目的としている。 第 1 章では、バイオプラスチックの現状と課題点について述べており、課題解決に向けて着目したナノファイバー作製手法の 1 つである Electrospinning 法、および繊維強化型複合材料について記述し、本研究の目的を述べている。 第 2 章では、Electrospinning 法により、高強度および優れた紡糸性を有するバイオプラスチックである Cellulose acetate のナノファイバー (CA-NF) を作製し、バイオプラスチックの一種である Poly(butylene succinate) (PBS) へ複合化して作製した CA-NF/PBS 複合材料の力学物性を評価している。CA-NF と PBS は水素結合を形成するため界面親和性が高く、複合材料のヤング率は CA-NF の含有率増加にともない線形に上昇することを明らかにしている。また、Electrospinning 時に高速回転コレクターを用いた際、430 m/min 以上の回転速度において CA-NF に配向性を付与でき、これを強化材に用いた複合材料は未配向のものと比較して高ヤング率を示すことを明らかにしている。 第 3 章では、Electrospinning 法により得られた CA-NF に酸化处理を施し、化学構造中のアセチル基を水酸基へ変換することで水素結合を生じさせ、さらに高強度な強化材として再生セルロースナノファイバー (RC-NF) の作製を試みている。RC-NF を代表的なバイオプラスチックである Polylactide (PLA) へ複合化したところ、RC-NF は親水性で PLA は疎水性であるために、界面親和性があまり良好ではないことが明らかになっている。その一方で、RC-NF は CA-NF より高強度であるために、CA-NF と比較して高い補強効果を有することを示している。 第 4 章では、高透明性および高強度を有する複合材料の作製のため、Stereocomplex 結晶を有する PLA ナノファイバー (sc-PLA ナノファイバー) を Electrospinning 法で作製し、Poly(L-lactide) (PLLA) へ複合化することで、自己強化型 PLA 複合材料を研究している。Dichloromethane:Pyridine = 7:3 (wt/wt) の混合溶媒を用いて調製した 7 wt% の溶液から、平均直径 367 nm の sc-PLA ナノファイバーを作製できることを示している。また、この自己強化型 PLA 複合材料は 75% 以上の可視光透過率を示し、高い透明性を有していることを明らかにしている。加えて、そのヤング率および引張強度はナノファイバー含有率の増加にともない線形に上昇することを明らかにしている。また、本複合材料は、ガラス転移点以上での貯蔵弾性率低下を抑制することができ、80°C においてその貯蔵弾性率は pure PLLA の 23.1 倍まで向上し、耐熱性を大幅に改善できることを示している。 第 5 章では、各章で得られた結果を総括し、本論文の結論を述べている。 以上要するに、本論文では Electrospinning 法による高強度ナノファイバーの作製とバイオプラスチックへの複合化により、環境調和型の高強度複合材料の研究をおこなっている。これらの技術と知見は、持続可能社会の実現に向けて利用促進が期待されているバイオプラスチックの物性を効果的に向上させるための有効な技術であると位置づけることができ、プラスチックによる環境問題の解決にも寄与しうる。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5015号	氏 名	尾藤 健太
主論文題名： ナノ・マイクロ制御可能なポリマー加工技術による 血管内治療用バイオマテリアルの創製			
本研究の目的は、近年、外科的手術にかわり、低侵襲治療として発展してきた血管系 interventional radiology (IVR) 治療に用いる次世代医療機器開発のため、ポリマーマテリアルに関するアプローチから既存課題の解決をはかり、その有効性を評価することにある。 第1章に、血管系 IVR の概説および本論の研究成果の応用先として検討している医療機器であるステント、カバードステント、肝臓がん治療の血管塞栓材料について、背景と問題点を述べた。 第2章および第3章では、2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC) と butyl methacrylate (BMA) によるコポリマーである poly(MPC-co-BMA) (MPC polymer) の膜上に、マイクロスケールの水素含有アモルファスカーボン (hydrogenated amorphous carbon: a-C:H) ブロックをパターンニングした micro-patterned a-C:H/MPC polymer を作製し、内皮化促進性と血液適合性を両立させるステントコーティングとしての機能性を評価した。 第2章では、大小異なる a-C:H ブロックを、等間隔にパターンニングした Small-patterned a-C:H/MPC polymer および Large-patterned a-C:H/MPC polymer を作製した。血管内皮細胞培養試験において、Small-patterned では、一つの a-C:H ブロックを一つの細胞で覆いつくす様子が観察されたのに対し、Large-patterned では細胞が a-C:H ブロックの形に左右されず増殖・伸展したことから、a-C:H ブロック面積の制御により、血管内皮細胞のモルフォロジーが特異的な影響を受けないような、a-C:H パターンニングの細胞足場作製が可能であることが明らかになった。 第3章では、micro-patterned a-C:H/MPC polymer の MPC polymer 層に塩基性線維芽細胞増殖因子 (basic fibroblast growth factor: bFGF) を含有させることにより、bFGF の時間依存的溶出性を付与した。血管内皮細胞増殖評価試験において、bFGF 含有サンプル上では、血管内皮細胞が観察視野内の面積比約 60%を占めたのが培養から約 24 時間後であったのに対し、bFGF を含有しないサンプル上では、培養後約 40 時間を要し、bFGF 含有が血管内皮細胞増殖を促進したことが示された。 第4章では、エレクトロスピンニング法を用いて MPC polymer fiber 不織布を作製し、その上に micro-patterned a-C:H を成膜した、カバードステント用のカバー材料サンプル (micro-patterned a-C:H/MPC polymer fiber) を作製した。サンプルの薬剤溶出性を評価したところ、a-C:H の被覆面積比によって薬剤溶出性を制御できることがわかった。 第5章では、脂溶性 X 線造影剤リピオドール (Lipiodol: LPD) と生分解性ポリマー polycaprolactone (PCL) の複合ゲルを、本研究用に設計したマイクロ流体デバイスを用いることでマイクロビーズ化し、X 線によって識別可能な CT 値 1500 HU 以上かつ術後 1 ヶ月以内に生体内分解する肝動脈塞栓術用の塞栓ビーズを作製した。その X 線視認性および生体内分解性を評価したところ、X 線造影に必要な CT 値 1500 HU を超えた 3753 HU を示し、ウサギ肝動脈における <i>in vivo</i> 生体内分解試験においても、1 ヶ月以内に塞栓箇所が再開通したことから、設計通り生体内分解された。 第6章には、各章で得られた結果を総括し、本論文の結論を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5015 号	氏 名	尾藤 健太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授 Ph. D.	堀田 篤
	副査	慶應義塾大学教授 工学博士	鈴木 哲也
	副査	慶應義塾大学准教授 博士（農学）	奥田 知明
	副査	慶應義塾大学准教授 博士（工学）	宮田 昌悟
学士（工学）、修士（工学）を有する尾藤健太君の学位請求論文は「ナノ・マイクロ制御可能なポリマー加工技術による血管内治療用バイオマテリアルの創製」と題し、全 6 章からなる。本論文をもって、2018 年 11 月より主査と副査による専修予備審査がとり行われ、さらには審査担当者との個別のディスカッションを幾度か経て予備審査を終了し、専攻にて受理申請が承認されるに至った。その後、2019 年 1 月 17 日に公聴会が開催され、最終審査会において論文審査と学識確認を経て、本報告に至っている。尾藤健太君の研究成果につき、以下に述べる。 近年、外科的手術に代わり、低侵襲治療として血管系 interventional radiology (IVR) 治療に用いる次世代医療機器の開発技術が発展してきた。そこで、本研究では、ポリマーマテリアルに関するアプローチから、既存の IVR での課題解決をはかり、その有効性を評価している。 第 1 章に、血管系 IVR の概説および本論の研究成果の応用先として検討している医療機器であるステント、カバードステント、肝臓がん治療の血管塞栓材料について、背景と問題点を述べている。 第 2 章および第 3 章では、2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC) と butyl methacrylate (BMA) によるコポリマーである poly(MPC-co-BMA) (MPC polymer) の膜上に、マイクロスケールの水素含有アモルファスカーボン (hydrogenated amorphous carbon: a-C:H) ブロックをパターンニングした micro-patterned a-C:H/MPC polymer を作製し、内皮化促進性と血液適合性を両立させるステントコーティングとしての本材料の機能性を評価している。 第 4 章では、エレクトロスピンニング法を用いて MPC polymer fiber 不織布を作製し、その上に micro-patterned a-C:H を成膜し、カバードステント用のカバー材料サンプル (micro-patterned a-C:H/MPC polymer fiber) を作製している。サンプルの薬剤溶出性を評価しており、a-C:H の被覆面積比によって薬剤溶出性を制御できることを明らかにしている。 第 5 章では、脂溶性 X 線造影剤リピオドール (Lipiodol: LPD) と生分解性ポリマー polycaprolactone (PCL) の複合ゲルを、本研究用に設計したマイクロ流体デバイスを用いることでマイクロビーズ化している。そこでは、X 線によって識別可能な CT 値 (1500 HU 以上) かつ術後 1 ヶ月以内に生体内分解する肝動脈塞栓術用の塞栓ビーズを作製している。その X 線視認性および生体内分解性を評価しており、X 線造影に必要な CT 値 (1500 HU) を優に超えた 3753 HU という値を示している。さらには、ウサギ肝動脈における <i>in vivo</i> 生体内分解試験においても、1 ヶ月以内に塞栓箇所の血流が再開通したことから、設計通りに生体内分解されていることが明らかになっている。 第 6 章には、各章で得られた結果を総括し、本論文の結論を述べている。 以上要するに、本研究により得られた知見は、工学上および医学上における、特に血管系 IVR 用の新しい材料開発へ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5016号	氏 名	小川 愛実
主論文題名：			
居住者の健康な生活を支援するための歩行パラメタ推定に関する研究			
運動機能を保持しているかどうかは健康寿命の長さに大きく影響する。運動機能の評価には歩行パラメタが広く用いられるが、計測可能な歩行パラメタは限定的である。さらに、測定会などにおける歩行は環境の違いや計測されているという意識から日常的に行われる歩行と異なるため、現状では普段の歩行を計測することは困難である。例えば運動機能の維持が特に必要とされる高齢者の場合、一日の在宅時間が極めて長く住宅内での移動距離も長い場合、居住空間において歩行計測を行うことで経時的に運動機能を評価できる可能性がある。そこで本研究では非接触型センサ搭載ロボットを用いた歩行パラメタ推定手法を提案し、居住空間での日常的な歩行計測の実現による居住者の健康な生活の支援を目指した。居住空間を廊下、階段、室内に分類した際に各所で行われる歩行として、直線歩行、階段歩行および自由経路歩行を対象に、提案手法の有用性を検証した。また、本研究では従来取得されてきた時空間的歩行パラメタだけでなく、運動学的および動力学的歩行パラメタも含めて総括的に推定することを目的とした。 第1章では、本研究の背景と運動機能評価に有用な歩行パラメタについて概説し、従来手法における課題および本研究の目的を明示した。 第2章では、提案するロボットを用いた歩行計測手法について述べた。 第3章では、運動学的パラメタである膝関節、股関節、足関節を代替する下肢関節の三次元座標の推定手法を提案し、これらを用いた下肢関節角度の算出方法について述べた。 第4章では、第2章および第3章で述べた推定手法の有用性評価を行った。直線歩行および階段歩行において三次元動作解析装置を参照基準として精度検証実験を実施した結果、提案手法は従来手法より高精度で各関節位置および関節角度の推定が可能であった。さらに、直線歩行時の膝関節角度推定誤差が変形性膝関節症患者と健常者の有意差を下回ったことから、疾患のスクリーニングへの適用可能性を示唆した。また居住空間での自由経路歩行を対象に膝関節位置推定を行った結果、提案手法が実際の居住空間で利用可能であることを示した。 第5章では、動力学的パラメタ推定手法およびその有用性評価について述べた。たわみ角法を用いた提案手法により下肢3関節の角度を入力として膝関節モーメントの推定が可能となった。定常歩行を対象に参照基準である三次元動作解析装置との比較による精度検証を行った。結果、参照値に対して推定値が中程度から高い相関を示し、定常歩行における膝関節への負荷の定量評価を実現した。 第6章では本論文の結論と今後の展望を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5016 号	氏 名	小川 愛実
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 三田 彰
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 満倉 靖恵
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 岸本 達也
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 高橋 正樹
学士（工学）、修士（工学）小川愛実君の博士学位請求論文は、「居住者の健康な生活を支援するための歩行パラメタ推定に関する研究」と題し、6章より構成されている。 本論文は、非接触型センサ搭載ロボットを用いた歩行パラメタ推定手法を提案し、居住空間での日常的な歩行計測の実現による居住者の健康な生活の支援を目指したものである。運動機能を保持しているかどうかは健康寿命の長さに大きく影響し、その評価に歩行パラメタが広く用いられる。ただし、測定会などにおける歩行は環境の違いや計測されているという意識から日常的に行われる歩行と異なるため、現状では普段の歩行を計測することは困難である。そこで、運動機能の維持が特に必要とされる高齢者が、一日の在宅時間が極めて長く、住宅内での移動距離が長いことに着目し、居住空間での日常的な歩行計測を実現することを目指した。居住空間において歩行計測を行うことが可能となれば、経時的な運動機能の評価も可能となる。居住空間を廊下、階段、室内に分類した際に各所で行われる歩行として、直線歩行、階段歩行および自由経路歩行を対象に、提案手法の有用性を検証した。また、本研究では従来取得されてきた時空間的歩行パラメタだけでなく、運動学および動力学的歩行パラメタも含めて総括的に推定することを目的とした。 第1章では、本研究の背景と運動機能評価に有用な歩行パラメタについて概説し、従来手法における課題および本研究の目的を明示した。 第2章では、提案するロボットを用いた歩行計測手法について述べた。 第3章では、運動学的パラメタである膝関節、股関節、足関節を代替する下肢関節の三次元座標の推定手法を提案し、これらを用いた下肢関節角度の算出方法について述べた。 第4章では、第2章および第3章で述べた手法の有用性評価を行った。直線歩行および階段歩行において三次元動作解析装置を参照基準として精度検証実験を実施した結果、提案手法は従来手法より高精度で各関節位置および関節角度の推定が可能であった。さらに、直線歩行時の膝関節角度推定誤差が変形性膝関節症患者と健常者の有意差を下回ったことから、疾患のスクリーニングへの適用可能性を示唆した。また居住空間での自由経路歩行を対象に膝関節位置推定を行った結果、提案手法が実際の居住空間で利用可能であることを示した。 第5章では、動力学的パラメタ推定手法およびその有用性評価について述べた。たわみ角法を用いた提案手法により下肢3関節の角度を入力として膝関節モーメントの推定が可能となった。定常歩行を対象に参照基準である三次元動作解析装置との比較による精度検証を行った。結果、参照値に対して推定値が中程度から高い相関を示し、定常歩行における膝関節への負荷の定量評価を実現した。 第6章では本論文の結論と今後の展望を述べた。 以上、要するに、本論文は、非接触型センサ搭載ロボットを用いた歩行パラメタ推定手法を提案し、居住者の健康な生活の支援を目指したもので、社会的に多大な貢献が期待される。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	乙 第5002号	氏 名	中谷 正樹
主論文題名：			
Application of gas barrier thin films to three-dimensional polymer packages (ガスバリア性薄膜で被覆された立体樹脂製パッケージの研究)			
飲料食品分野においては、製品の鮮度保持や賞味期限延長の観点から、樹脂製容器のガス透過を抑制するガスバリア性向上技術が各種研究されている。主流の剛性容器である PET ボトルの場合、ボトル内表面に炭素膜 (DLC) や酸化ケイ素膜の薄膜を形成する方法は、他の方法に比べてガスバリア性やリサイクル性が高いことが知られている。 本研究の目的は、持続的な環境、社会及び経済の実現に向けて、ガスバリア性薄膜で被覆された立体樹脂製パッケージの実用化を促進することにある。そのためのアプローチとして、①プラズマ CVD 法による現行 PET ボトル用成膜技術の改良、②同技術に基づいた非 PET 樹脂基板への応用範囲拡大、さらに、③薄膜自体の呈色がなく、中性液への安定性 (耐 pH 性) があり、かつ、装置の経済性が高いといった、同技術の用途拡大を阻害してきた要因を克服する新規成膜技術の探索を課題に設定した。 第 1・2 章では、上述の課題の背景を述べている。第 3 章では、上述の①の課題に関し、DLC 膜の呈色によるボトル外観品質の低下防止や経済性の向上に向け、アセチレンプラズマを生成する電源出力周波数の最適化について述べている。周波数を従来の 13.56 MHz から 6 MHz にすると、DLC 膜の同質性は確保されつつ、500mL の PET ボトルの酸素透過率は従来比約 65%に低下し、ボトル部位間の呈色の均一性が向上した。これは、周波数がボトル内のプラズマ空間分布に影響した結果と考えられる。第 4 章は、上述②の課題を論じる。PET ボトル用ポリエチレン (PE) 製キャップに対して、ガス透過に加え香気物質の収着についても品質向上が期待されている。そこで、高ガスバリア性の DLC 膜の直接形成が困難であること、及び、有機シランによる下地層の有効性について述べる。また、下地層導入により、同様の成膜技術を用いて、高ガスバリア性及び非収着性の DLC 膜を PE 表面上に形成できることを見出した。第 5・6 章では、上述の③の課題に関し、比較的簡素な構成にて装置経済性が期待できるホットワイヤーCVD 法の応用について述べている。タンタル線とビニルシランガスの組合せから、PET ボトルに高ガスバリア性、無色透明性及び耐 pH 性を兼ね備えた SiOC 膜の形成に成功した。他の線種及びガス種を用いた調査から、推定されるガスバリア膜形成の原理についても述べている。第 7 章では、本研究成果を振り返り、今後の展望について述べる。			

論文審査の要旨

報告番号	乙 第 5002 号	氏 名	中谷 正樹
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 堀田 篤
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 鈴木 哲也
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 白鳥 世明
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 大村 亮
学士（理学）、修士（理学）を有する中谷正樹君の学位請求論文は、「Application of gas barrier thin films to three-dimensional polymer packages」（ガスバリア性薄膜で被覆された立体樹脂製パッケージの研究）と題し、全7章からなる。本論文は、2018年12月より主査及び副査による専修予備審査が開始され、各審査担当者との個別ディスカッションも経て予備審査が終了し、専攻にて受理申請に至り承認された。さらに、2019年1月17日開催の公聴会および、その後の最終審査会にて行った論文審査と学識確認を経て、本報告に至った。中谷正樹君の研究成果につき、以下に概要を述べる。 近年の樹脂製容器の用途拡大や環境問題への関心の高まりに伴い、薄膜の応用による樹脂製容器のガスバリア性向上が注目されている。そこで本研究では、持続的な社会・環境・経済システムの実現に向けて、薄膜形成と基板の両方の観点から、新しい薄膜応用技術の実用化に取り組んでいる。特に、使用拡大が続くポリエチレンテレフタレート（PET）樹脂製容器とポリエチレン（PE）樹脂製蓋を中心に、飲料食品分野の立体的なパッケージへの応用手段を研究対象としている。 第1章では、飲料食品分野のパッケージの概略と、ガスバリア性向上技術がどのように持続的な社会・環境・経済システムの実現に寄与できるかの概要を述べている。 第2章では、従来のPET容器のガスバリア性向上技術を概説している。さらには、PET容器への薄膜形成技術が目指す方向性について、薄膜性能と装置経済性の観点から、従来のプラズマCVD法による技術の改良だけでなく、新規成膜技術の研究の必要性に言及している。さらに、PE等の汎用樹脂に応用範囲を拡張する意義と課題があることを、測定データに基づいて提示している。 第3章では、従来のPETボトルへのDLC成膜技術の改良として、プラズマを生成する電源出力周波数の変更に着目し、ボトル品質（ガスバリア性や呈色）を6.0MHzの周波数で最適化できることを見出している。また、この最適化の結果に対し、電源出力周波数によりプラズマの空間分布を制御できることを、陽電子消滅法等の薄膜解析法から考察している。 第4章では、PETボトルに用いるPE樹脂製の蓋に、ガスバリア性DLC膜の形成を試みている。PE基板のDLC被覆によるガスバリア性向上が一般に困難という大きな課題がある。そこで本研究では、界面の影響が大きいことを見出した上で、3-アミノプロピルメトキシシラン塗布層をPE基板とDLC膜の間に形成することで解決できることを明らかにしている。また、酸素の透過とd-リモネンの収着における挙動の差異から、界面や塗布層の果たす役割をモデル化している。 第5章及び第6章では、上述の新しい成膜技術として、ホットワイヤーCVD法によるPETボトルの成膜装置を考案し、その実用化に取り組んでいる。薄膜性能や安全性および経済性を考察したホットワイヤー種と原料ガス種の選定を実施している。その結果、タンタルとビニルシランガスの組合せで、従来技術では得られなかった①高ガスバリア性、②無色透明性、③耐pH（水溶液中の薄膜の物理化学的安定）性を兼ね備えたSiOC膜の形成に成功している。また、高ガスバリア性が得られる原料ガス種の化学構造を一般化し、ホットワイヤーCVD法（またはCat-CVD法）の原理解明にも役立つ独自の成膜系となっていることを示している。 第7章では、各章の結果に対して飲料食品分野の内外に広範な応用性があることを総括しつつ、本論文の結論を述べている。 以上要するに、本論文の成果やその実用展開は、樹脂製容器分野やその環境問題の解決に寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があると認められる。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5057号	氏 名	安齋 樹
主論文題名： ジスルフィド結合が制御する神経変性疾患関連タンパク質の構造変化			
多くのタンパク質は特定の立体構造を形成することで生理機能を発揮するが、遺伝子変異や細胞内環境の変化によって立体構造に異常が生じると、重篤な疾患の原因になることがある。銅・亜鉛スーパーオキシドディスムターゼ（SOD1）は、生体内に生じる活性酸素を除去する酵素であるが、変異型の SOD1 タンパク質は筋萎縮性側索硬化症（ALS）の発症要因となる。ALS 患者の運動ニューロンでは、SOD1 の構造が異常化したオリゴマーや凝集体の蓄積が報告されているものの、変異に伴う SOD1 の構造異常化（ミスフォールディング）メカニズムについては明らかでない。本論文では、SOD1 に存在するジスルフィド（S-S）結合に着目し、その組み換えを通じて変異型 SOD1 がミスフォールドしてオリゴマーを形成するメカニズムを提案する。 第1章は序論として、SOD1 の生理機能や構造、及び、変異型 SOD1 のミスフォールディングに関するこれまでの研究について概説し、本研究の目的について述べた。 第2章では、SOD1 タンパク質の作製・精製手法、及び、本論文に共通の基礎的な実験手法について説明した。 第3章では、SOD1 に形成する S-S 結合が分子内から分子間へと組み換わる反応を <i>in vitro</i> で再現し、S-S 結合でクロスリンクされたオリゴマー（S-S オリゴマー）が生じることを確認した。さらに、S-S オリゴマーの形成を抑制する化合物を同定することにも成功し、その作用機序、ならびに、ALS 治療薬としての展望について議論した。 第4章では、S-S オリゴマーの形成メカニズムをより詳細に明らかにするために、変異型 SOD1 の熱変性プロセスにおける構造変化について、熱分析や各種の分光学的手法、X 線小角散乱などを利用して検討を行った。その結果、生理的温度における変異型 SOD1 は、二次構造含量が顕著に低下したコンパクトな二量体構造を形成し、システイン残基が溶媒側に露出するために、S-S 結合の組み換えが進行し、S-S オリゴマーが形成するメカニズムを明らかにできた。 第5章は総括として、本論文で得られた結果をもとにして、S-S 結合の組み換えによって進行する SOD1 のミスフォールディングメカニズムを提案し、ALS の病理における位置づけを考察した。最後に、タンパク質の凝集・オリゴマー化が見られる各種ヒト疾患の発症に S-S 結合の形成制御異常が関与する可能性について議論した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5057 号	氏 名	安齋 樹
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 古川 良明
	副査	慶應義塾大学教授	農学博士 井本 正哉
		慶應義塾大学教授	博士（地球環境科学） 土居 信英
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 犀川 陽子
		分子科学研究所教授	博士（工学） 秋山 修志
学士（理学）、修士（理学）安齋樹君提出の学位請求論文は「ジスルフィド結合が制御する神経変性疾患関連タンパク質の構造変化」と題し、全5章から構成されている。 多くのタンパク質は特定の立体構造を形成することで生理機能を発揮するが、遺伝子変異や環境変化によって立体構造に異常が生じると、重篤な疾患の原因になることがある。銅・亜鉛スーパーオキシドディスムターゼ（SOD1）は、生体内に生じる活性酸素を除去する酵素であるが、変異型の SOD1 タンパク質は筋萎縮性側索硬化症（ALS）の発症要因となる。ALS 患者の運動ニューロンでは、SOD1 の構造が異常化したオリゴマーや凝集体の蓄積が報告されているものの、変異に伴う SOD1 の構造異常化（ミスフォールディング）メカニズムについては明らかでない。本論文では、SOD1 に存在するジスルフィド(S-S) 結合に着目し、その組み換えを通じて変異型 SOD1 がミスフォールドしてオリゴマーを形成するメカニズムを提案している。 本論文の第1章では序論として、SOD1 の生理機能や構造、及び、変異型 SOD1 のミスフォールディングに関するこれまでの研究が概説され、本研究の目的について述べている。 第2章では、SOD1 タンパク質の作製・精製手法、及び、本論文を通じて用いられている基礎的な実験手法について説明がなされている。 第3章では、変性剤を添加することで SOD1 の構造安定性を低下させると、SOD1 の S-S 結合が分子内から分子間へと組み換わり、S-S 結合でクロスリンクされたオリゴマー（S-S オリゴマー）が生じることを示している。また、S-S オリゴマーの形成を抑制する化合物を同定し、その作用機序をもとにして、S-S 結合が分子内で組み換わった SOD1 異性体を経由して S-S オリゴマーが形成することを提案している。また、ALS 治療薬としての S-S オリゴマー化抑制化合物の展望についても議論がなされている。 第4章では、S-S オリゴマーの形成メカニズムをより詳細に理解するために、変異型 SOD1 の熱変性における構造変化について、熱分析や各種の分光学的手法、X 線小角散乱法などを利用した検討を行っている。その結果、熱変性の過程において、SOD1 は二次構造含量の低下したコンパクトな二量体構造（I 状態）を形成することが示されている。特に、ALS の原因となるアミノ酸変異が導入されると、SOD1 は生理的温度において I 状態として存在することを明らかにしている。I 状態では、SOD1 のシステイン残基が溶媒側に露出していることから、分子内 S-S 結合を攻撃することで組み換えが進行し、S-S オリゴマーが形成するというメカニズムを提案している。 第5章は総括として、本論文で得られた結果をもとにして、S-S 結合の組み換えが分子内、そして、分子間で進行することで SOD1 の S-S オリゴマーが形成するメカニズムを明らかにし、ALS の病理における位置づけを考察している。特に、S-S オリゴマー形成を抑制すると考えられる手法の提案や、ALS 病態の時間的・空間的拡がりに S-S オリゴマーが果たす役割について斬新な提案も行っている。さらに、SOD1 が関与する ALS の病理について、今後さらに理解を進めるべき点についても指摘がなされている。 以上、著者の研究は、SOD1 の S-S オリゴマー形成メカニズムの解明を通じて、タンパク質のミスフォールディングに新たな知見を与えるものである。また、未だ治療法のない ALS の病理について、基礎化学的な視点からその解明に資するものであるとともに、タンパク質ミスフォールディングを伴って発症する他のヒト疾患病理の解明に対しても、展開されうる成果である。 よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5058号	氏 名	近藤 晃
主論文題名： 多様なルテニウムホスフィン触媒を用いた不活性結合の選択的切断を経る炭素－炭素結合形成反応に関する研究			
本研究は様々なルテニウムホスフィン触媒を用いた芳香族化合物の不活性結合切断を経る炭素－炭素結合形成反応に関する新手法の開発と、触媒系の特徴に関する知見の獲得および多段階合成への応用を目的としている。 遷移金属触媒を用いた不活性結合の選択的切断を経る官能基化は、通常では困難な分子変換を可能とし、多段階合成の短工程化や原子効率の向上が見込まれることから強力な有機合成手法となり得る。その中で、天然有機化合物などに広くみられるフェノール誘導体やアニリン誘導体の芳香族炭素－ヘテロ原子結合切断を経る官能基化に関する研究が近年活発に行われているものの、多段階合成への応用を指向した位置、化学、立体および生成物選択的な分子変換手法の開発は未だ挑戦的な課題である。 著者は、我々の研究グループでこれまでに報告したルテニウム触媒によるアセトフェノン誘導体のオルト位選択的な炭素－水素およびヘテロ原子結合切断を経る有機ホウ素化合物とのアリール化反応において、オルト位の2つの反応点の両方が反応する問題に着目し、新たに触媒系を開発することで従来では困難であったモノ官能基化を行い、有用有機分子合成への応用が可能と考えた。また、その過程でルテニウムホスフィン触媒の反応性や結合切断の化学選択性の傾向、配位子の効果や特徴などの解明を目指し研究を行った。 まず、2',6'-ジメトキシアセトフェノンとアルケニルボロン酸エステルとの反応において $\text{RuH}(\text{OAc})(\text{CO})(\text{PPh}_3)_2$ とフッ化セシウムを組み合わせた触媒系を用いて、炭素－酸素結合切断を経る選択的モノアルケニル化を達成した。また、ベンゾフェノン誘導体の化学選択的な炭素－酸素結合のモノアルケニル化を達成し、Snyder らによるレスベラトロール骨格を持つ天然有機化合物合成の共通中間体を合成した。 続いて、電子供与性の高いアルキルホスフィンを有する $\text{RuHCl}(\text{CO})(\text{P}^i\text{Pr}_3)_2$ とフッ化セシウムおよびスチレンを組み合わせた触媒系を用いることで、オルト位に複数の炭素－酸素結合を有する芳香族ケトンの選択的モノアリール化を達成した。また、本触媒系は安息香酸エステル類にも適用可能であり、炭素－酸素結合のモノアリール化を利用して天然有機化合物 <i>altertenuol</i> の形式合成を達成した。 さらに、$\text{RuCl}_2(\text{CO})(p\text{-cymene})$ を前駆体とし、ホスフィン、フッ化セシウムおよびスチレンを組み合わせた触媒系を用いて、多様なルテニウムホスフィン触媒の系中発生法を開発した。本触媒を用いることで、炭素－酸素結合のアリール化においてホスフィン配位子によるモノ/ジアリール化の選択性を発現させることや、アルケン部位を有する光学活性なモノホスフィン配位子を用いて、ビアリール類のアトロプ選択的な合成が行えることを合わせて見出した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5058 号	氏 名	近藤 晃
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 垣内 史敏
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 千田 憲孝
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 高尾 賢一
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 末永 聖武
		学習院大学教授	博士（理学） 草間 博之
学士（理学）、修士（理学）近藤晃君提出の学位請求論文は、「多様なルテニウムホスフィン触媒を用いた不活性結合の選択的切断を経る炭素－炭素結合形成反応に関する研究」と題し、序論、本論 3 章、結論、および実験項より構成されている。 芳香族炭素－水素や炭素－酸素、炭素－窒素結合等は、通常不活性なため有機合成反応の官能基としての利用が困難視されていた。しかしながら、ヘテロ原子の遷移金属への配位を利用するキレーション補助により効率的に切断され、その位置で新たな結合生成を触媒的に行えることが示されてから広く有機合成反応に利用されている。著者は本論文において、様々なルテニウムホスフィン触媒を用いた芳香族化合物の不活性結合切断を経る炭素－炭素結合形成反応に関する新手法の開発やこれら触媒系の反応機構に関する研究、生物活性化合物の合成への展開について述べている。 序論では、遷移金属触媒を用いた不活性結合の選択的切断を経る官能基化が、通常では困難な分子変換を可能とし、多段階合成の短工程化や原子効率の向上を可能にできることから強力な有機合成手法に成り得ることを述べている。特に、天然有機化合物等に広くみられるフェノール誘導体やアニリン誘導体の芳香族炭素－ヘテロ原子結合切断を経る官能基化に関する研究が近年活発に行われているものの、多段階合成への応用を指向した位置、化学、立体および生成物選択的な分子変換手法の開発に関する研究は未だ少なく、挑戦的な研究課題であることが述べられている。 第 1 章では、$\text{RuH}(\text{OAc})(\text{CO})(\text{PPh}_3)_2$ 錯体とフッ化セシウムを触媒に用い、2つのオルト位に炭素－ヘテロ原子結合をもつアセトフェノン類とアルケニルボロン酸エステルとの反応により、オルト位モノアルケニル化が選択的に進行することを述べている。立体的に小さいアルコキシ基の反応性が高いこと、またより電子豊富な炭素－ヘテロ原子結合の方が、カップリング反応の反応性が高いことを明らかにしている。より電子豊富な結合の反応性が高いことは、通常の酸化的付加の反応性の序列とは逆である。これは炭素－ヘテロ原子結合の切断において、ヘテロ原子が金属中心と相互作用をした後に切断されることを示唆しており、興味深い結果である。また、ベンゾフェノン誘導体の化学選択的な炭素－酸素結合のモノアルケニル化を達成し、Snyder らによるレスベラトロール骨格をもつ天然物合成の共通中間体を簡便に合成できることを述べている。 第 2 章では、電子供与性の高いアルキルホスフィンを有する $\text{RuHCl}(\text{CO})(\text{PR}_3)_2$ とフッ化セシウムおよびスチレンを組み合わせた触媒系を用いることで、オルト位に複数の炭素－酸素結合を有する芳香族ケトンの選択的モノアリール化が達成できることを明らかにしている。中でもトリイソプロピルホスフィンをもつ錯体が、高い触媒活性を示すことを述べている。また、本触媒系は安息香酸エステル類にも適用可能であり、炭素－酸素結合のモノアリール化を利用して天然物 <i>altertenuol</i> の形式合成を達成したことを述べている。 第 3 章では、$\text{RuCl}_2(\text{CO})(p\text{-cymene})$ を前駆体とし、ホスフィン、フッ化セシウムおよびスチレンを組み合わせた触媒系を用いて、多様な 0 価ルテニウムホスフィン錯体を効率的に系中で発生できる手法の開発について述べている。また、本触媒系を用いることで、炭素－酸素結合のアリール化においてホスフィン配位子によるモノ/ジアリール化の選択性の制御が可能になることを述べている。さらに、アルケン部位を有する光学活性なモノホスフィン配位子を用いて、ビアリール類のアトロプ選択的な合成が行えることについても述べている。 以上、本研究では、様々なルテニウムホスフィン触媒を用いた不活性炭素－ヘテロ原子結合切断を経る有機ホウ素化合物とのカップリング反応における選択性の制御や、反応機構における重要な知見を与えている。この知見を多段階合成へ利用することにより、天然有機化合物の合成へと展開した結果も述べている。さらに、多様な 0 価ルテニウムホスフィン錯体を系中で発生させる手法の開発と光学活性ホスフィン配位子をもつ錯体を用いたビアリール類のアトロプ選択的な合成への展開を図っている。上記の研究成果は、有機化学分野のみならず有機金属化学分野の発展に貢献し、理學上寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5059号	氏 名	須藤 貴弘
主論文題名：			
マダンガミン類の網羅的不斉全合成			
本論文は海洋性天然物マダンガミン類の網羅的不斉全合成について述べたものである。 緒論ではマダンガミン類の単離・構造および生物活性や生合成仮説について述べた後、これまでの全合成、合成研究について紹介した。 本論第一章ではマダンガミン類の共通中間体 ABCE 環部の不斉合成について述べた。マダンガミン類は ABCDE 環の五つの環から構成される特異な構造を有し、D 環部のみが異なる類縁体としてマダンガミン A-E が知られている。これら類縁体の生物活性と D 環構造には相関があることが示唆されているが、詳細な生物活性は明らかにされていない。そこで、これら類縁体と生物活性との相関の解明を目的とし、最初に共通中間体 ABCE 環部を合成し、最後に D 環部を作り分けるマダンガミン類の網羅的全合成を目指した。まず、出発原料である 2-TMS-エタノールから誘導したアルキンと 1-Boc-3-アゼチジノンとのニッケル触媒を用いた[4+2]環化付加反応により、位置選択的に A 環を合成した。次に Corey-Bakshi-Shibata 還元、S_N2'反応による不斉四級炭素の構築を経て、A 環部の不斉合成に成功した。B 環部はパラジウム触媒を用いた環化異性化反応と続く 1,4-還元により立体選択的に構築した。B 環部から誘導したプロパルギルシランに対して、エタノール存在下トリフルオロ酢酸で処理すると分子内アレニル化が進行し、高度に縮環した ABC 環部を高収率で与えた。生じたアレンの立体選択的ヒドロホウ素化、続く右田-小杉-Stille カップリングによりスキップジエンを立体選択的に導入した。更にマクロラクタム化により E 環を構築し、マダンガミン類の共通中間体の不斉合成に成功した。 第二章では、マダンガミン類の網羅的全合成と生物活性試験について詳述した。第一章で合成した共通中間体 ABCE 環部から残る D 環部を作り分けることで、マダンガミン A-E の網羅的全合成を達成した。また、合成したマダンガミン A-E と共通中間体 ABCE 環部についてヒト癌細胞に対する抗腫瘍活性試験を行った。その結果、マダンガミン類の生物活性の発現には D 環構造が重要であることを明らかにした。 総括では本研究の成果を簡潔にまとめた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5059 号	氏 名	須藤 貴弘
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 理学博士 千田 憲孝			
副査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 垣内 史敏			
慶應義塾大学教授 博士（理学） 末永 聖武			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 高尾 賢一			
慶應義塾大学准教授 博士（理学） 佐藤 隆章			
学士（工学）、修士（理学）須藤貴弘君提出の学位請求論文は、「マダンガミン類の網羅的不斉全合成」と題し、緒論、本論二章、総括および実験編より成っている。 有用な生物活性を示す含窒素有機化合物の新規効率的合成法の開発は、有機合成化学ならびに創薬化学における重要な課題である。特に医薬品として期待される多環性アルカロイドの効率的な合成法の開発が強く望まれている。マダンガミン類は細胞毒性を示す海産の多環性アルカロイドで、マダンガミン A~F の 6 種が知られている。このうちマダンガミン A~E は ABCE 環を共通骨格とし、D 環の構造のみが異なる複雑な五環性構造を有している。これまでの報告から D 環構造と生物活性の間には相関があることが示唆されているが、天然からの供給量が少なく、詳細な研究はなされていない。著者は本論文において、ABCE 環を有する共通中間体を経由したマダンガミン A~E の網羅的な不斉全合成と、それらのヒト癌細胞に対する細胞毒性試験の結果について述べている。 緒論には、マダンガミン類の単離・構造決定、生物活性ならびに生合成仮説についてのこれまでの知見がまとめられている。また報告されているマダンガミン類の合成研究例が記されている。 本論第一章には、マダンガミン類合成における共通中間体である ABCE 環部の合成が記されている。第一〜第二節では、ピペリジン誘導体であるマダンガミン類の A 環部の合成を述べている。アルキンとアゼチジノンのニッケル触媒を用いる環化反応により六員環を構築し、このケトン部位の不斉還元によりアリルアルコールを高い光学純度で得た。ついで Grignard 試薬を用いた不斉転写を伴う S_N2' 反応により A 環部の不斉合成を達成した。 第三節では AB 環部の合成について述べている。A 環部にアルキンを導入し、パラジウム触媒による環化異性化反応を行ったところ、B 環が高収率で形成された。生じた不飽和エステル還元により、AB 環部を合成した。 第四節においては、A 環部エナミンとプロパルギルシランとの分子内アレニル化により C 環を構築するという ABC 環部の新規合成法について述べている。検討の結果、プロトン酸により本反応が高収率で進行することを見出し、C 環にアレン構造を有する ABC 環を効率的に合成した。 第五節ではアレンに対する立体選択的なヒドロホウ素化反応を利用したスキップジエン構造の構築、ならびにこの反応を用いた共通中間体の合成について述べている。アレンに立体的に嵩高いジシアミルボランを反応させることにより、Z-アリルアルコールを選択的に得、ついでビニルスズとのカップリングにより、Z,Z-スキップジエンを立体選択的に構築した。カップリング体から誘導したアミノ酸をマクロ環化することにより、共通中間体である ABCE 環部の効率的な合成に成功した。 第二章には、マダンガミン類の網羅的全合成と合成品の細胞毒性試験の結果が記されている。第一節ではマダンガミン C の全合成について述べている。前章で合成した共通中間体をアルデヒドへ変換し、Wittig 反応で必要な炭素鎖を導入した。これをアミノ酸誘導体へ導き、マクロラクタム化することにより D 環となる 13 員環を構築し、最後にラクタムカルボニルを還元することにより、マダンガミン C の全合成を達成した。 第二節には、共通中間体にアルキル化で炭素鎖を導入、ついで D 環部を分子内 N-アルキル化で構築するアプローチを用いたマダンガミン E の全合成が記されている。 共通中間体への炭素鎖導入、ついでマクロ環化反応による D 環部構築という手法により、第三節にはマダンガミン D、第四節にはマダンガミン A、第五節にはマダンガミン B の全合成がそれぞれ詳細に述べられている。 第六節には合成したマダンガミン類の生物活性試験の結果が記されている。生物活性試験により、細胞毒性と D 環部の構造、特に不飽和結合の数とに密接な関係があることを明らかにした。 総括には本研究の成果がまとめられており、実験編には本論文における実験操作および反応生成物のスペクトルデータの解析等が詳細に記述されている。 以上、著者は本研究において、共通中間体を経由するマダンガミン類の網羅的な不斉全合成を達成し、それらの細胞毒性について興味ある知見を得た。本研究で開発された新規反応と複雑な構造を有する天然物の合成は、生物活性天然物の合成における有用な新規方法論を提示している。著者のこれらの研究成果は、有機合成化学・創薬化学の進展に貢献し、理学上寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5060 号	氏 名	鷹野 祥太郎
主 論 文 題 名： ホスフィン-キノリノラト配位子をもつ新規ロジウム錯体の合成とその反応性および新規触媒反応への利用に関する研究			
本研究は、キノリノラトおよびホスフィン部位を含む三座配位子を有する新規ロジウム一価錯体の合成と、それら錯体を触媒に用いた末端アルキンへの第二級アミンの逆 Markovnikov 型付加反応の機構解明研究およびその知見に基づく新規触媒反応を開発することを目的としている。 均一系遷移金属錯体触媒を用いた分子変換反応において、用いる遷移金属錯体の反応性や反応の選択性の発現は錯体上の配位子によって制御されるため、反応に適した配位子の設計や新たな配位子の探索研究により遷移金属錯体のもつ新しい触媒機能などの開拓が期待できる。 著者は、当研究室の先行研究によって見出された 8-キノリノラト配位子を有するロジウム触媒の興味深い反応性に着目し、この触媒に関する知見を集めることで従来のロジウム触媒では達成困難な新規触媒反応の開発が行えると考えた。そこで、8-キノリノラトロジウム錯体とホスフィン配位子を組み合わせた触媒系における推定触媒活性種の構造から、キノリノラトとホスフィン部位を有するホスフィン-キノリノラト配位子をもつ新規ロジウム一価錯体（以下、PNO ロジウム錯体と表記）を合成し、それら錯体の反応性の検討および新規触媒反応の開発研究を行った。 第 1 章では、PNO ロジウム錯体の合成について述べた。まず、$[\text{Rh}(\text{OMe})(\text{cod})]_2$ 錯体とホスフィン-キノリノラト配位子前駆体を反応させることで、2 つのロジウム中心と 2 つのホスフィン-キノリノラト配位子、1 つの 1,5-シクロオクタジエン配位子からなるロジウム二核錯体の合成に成功した。この錯体と各種単座配位子とを反応させた結果、対応する単座配位子を有する PNO ロジウム錯体の合成を達成した。 第 2 章では、末端アルキンの第二級アミンによる逆 Markovnikov 型ヒドロアミノ化反応における PNO ロジウム錯体の触媒活性およびその反応機構に関する検討について述べた。まず、第 1 章で得られた PNO ロジウム錯体が前述のヒドロアミノ化反応において触媒活性を示すことを見出した。また、末端アルキンと第二級アミンとの化学量論反応では架橋ビニリデンロジウム錯体およびアミノカルベン錯体を与えた。各種検討の結果、これら 2 つの錯体は PNO ロジウム触媒を用いた末端アルキンの逆 Markovnikov 型ヒドロアミノ化反応における重要中間体として関与することを示唆する結果を得た。これはビニリデン錯体を中間体とする末端アルキンの触媒的ヒドロアミノ化反応において、触媒活性を有する錯体を用いて、重要中間体であるビニリデン錯体などのいくつかの中間体の単離・構造決定に成功した初めての例である。 第 3 章では、PNO ロジウム錯体と銅塩のタンデム型触媒による末端アルキン二分子と第二級アミン一分子からの α-置換プロパルギルアミンの合成反応の開発について述べた。著者は PNO ロジウム錯体の安定性と第 2 章で見出したヒドロアミノ化反応における触媒活性に着目し、他の遷移金属錯体触媒とのタンデム型反応の開発を検討した。その結果、ヒドロアミノ化反応の系に触媒量の銅塩を添加することで、PNO ロジウム触媒による末端アルキンの逆 Markovnikov 型ヒドロアミノ化反応に続く銅触媒による末端アルキンの付加反応のタンデム型反応が進行し、α-置換プロパルギルアミンが高収率かつ選択的に得られることを見出した。 第 4 章では、アミノカルベン錯体を中間体とするエンイン類と第二級アミンの逆 Markovnikov 型ヒドロアミノ化反応／環化反応による環状エナミン類の合成反応の開発について述べた。著者は第 2 章の検討において、反応中間体としてアミノカルベン錯体が生成したことに注目し、この錯体を更なる分子変換反応に利用することのできる反応系の開発を検討した。その結果、基質として 2-ビニルフェニルアセチレン骨格を有する化合物を用いることで、アミノカルベン錯体形成に続く分子内環化反応が進行して得られたと考えられる環状エナミン類を得ることに成功した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5060 号	氏 名	鷹野 祥太郎
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 垣内 史敏
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 山田 徹
		慶應義塾大学教授	工学博士 吉岡 直樹
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 佐藤 隆章
		東京農工大学教授	博士（学術） 平野 雅文
学士（理学）、修士（理学）鷹野祥太郎君提出の学位請求論文は、「ホスフィン-キノリノラト配位子をもつ新規ロジウム錯体の合成とその反応性および新規触媒反応への利用に関する研究」と題し、序論、本論4章、結論、および実験項より構成されている。 遷移金属錯体を触媒に用いる有機合成反応は、目的化合物を効率的かつ選択的に得るために必要不可欠な方法論である。これらの反応において、触媒活性や反応の選択性は錯体上の配位子により影響されるため、反応に適した配位子の設計や新しい機能の発現を狙った配位子を創成することにより、新しい触媒機能を発現させることが可能になると期待される。 著者は本論文において、当研究室の先行研究で見出された 8-キノリノラトロジウム錯体に着目し、8-キノリノラト配位子にホスフィン部位を導入した三座配位子であるホスフィン-キノリノラト配位子（PNO 配位子）をもつロジウム錯体の合成、合成したそれら錯体を触媒に用いた末端アルキンへの第二級アミンの逆 Markovnikov 型付加の反応機構解明、さらにその知見に基づく新規触媒反応開発について述べている。 序論では、当研究室で開発した低原子価 8-キノリノラトロジウム錯体を触媒に用いた末端アルキンを基質に用いた触媒反応の例について述べ、これらの反応の重要中間体としてロジウムビニリデン錯体が推定されているが、それらに対応する中間体の単離・構造決定、さらに反応機構の解明が行われていないことを述べている。また、配位子を三座にすることにより、触媒活性をもつ中間体を安定化させ、末端アルキンの逆 Markovnikov 型ヒドロアミノ化反応の機構解明を行っている。さらに、その途上で見出された知見を基にした新規触媒反応の開発を行ったことを述べている。 第1章では、様々な PNO ロジウム錯体の合成について述べている。[Rh(OMe)(cod)]₂ 錯体とホスフィン-キノリノラト配位子前駆体を反応させることによるロジウム二核錯体の合成について述べ、この錯体とホスフィンや一酸化炭素などの各種単座配位子との反応により対応する単座配位子を有する PNO ロジウム錯体が合成できることを述べている。 第2章では、末端アルキンの第二級アミンによる逆 Markovnikov 型ヒドロアミノ化反応において推定されているビニリデンロジウム錯体やロジウムアミノカルベン錯体に関する知見を得るために、PNO ロジウム錯体を用いて対応する錯体の単離・構造解析を行い、反応機構解明と触媒活性の検討を行った結果を述べている。PNO ロジウム二核錯体が末端アルキンのヒドロアミノ化反応の触媒として機能すること、また末端アルキンと錯体の反応での架橋ビニリデンロジウム錯体の生成と、これらが第二級アミンと反応することによりアミノカルベン錯体へと変換されることを述べ、これら2つの錯体が本ヒドロアミノ化反応における重要中間体として関与することについて述べている。なお、実際の触媒系においてビニリデン錯体を中間体とする触媒的ヒドロアミノ化反応の反応機構研究では、中間体の単離・構造決定は報告されておらず、この研究が初めての例である。 第3章では、PNO ロジウム錯体と銅塩のタンデム型触媒による末端アルキン二分子と第二級アミン一分子からの α-置換プロパルギルアミンの合成反応の開発について述べている。この反応では、PNO ロジウム錯体が末端アルキンと反応して生成する中間体が、三座配位子により安定化されている利点を利用している。ヒドロアミノ化反応でエナミン類が生成した後、銅触媒によりエナミンと末端アルキンとの反応が進行し、α-置換プロパルギルアミンを高収率かつ選択的に得られることを述べている。 第4章では、エンイン類と第二級アミンの逆 Markovnikov 型ヒドロアミノ化反応／環化反応による環状エナミン類の合成反応の開発について述べている。著者はヒドロアミノ化反応がアミノカルベン錯体を經由することに注目し、この錯体をさらなる分子変換に利用する反応系の開発を検討し、2-ビニルフェニルアセチレン骨格を有する化合物を用いることで、アミノカルベン錯体生成に続く分子内環化が進行して得られたと考えられる環状エナミン類が生成することを述べている。 以上、本研究成果は、ロジウム触媒によるビニリデン中間体およびアミノカルベン中間体を經由するアルキンの触媒的新規分子変換法の開発に重要な新しい知見を提供した。上記の研究成果は、有機化学分野のみならず有機金属化学分野の発展に貢献し、理化学上寄与するところが少なくない。 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 5061 号	氏 名	横寺 裕
主 論 文 題 名 : Design of Quantum Signal Detectors via Coherent Feedback Control (コヒーレントフィードバック制御による量子信号検出器の設計)			
量子情報科学において、高精度の信号検出技術は不可欠である。例えば、量子コンピュータを構成する量子ビットの読み出しや、重力波検出を実現するには、量子レベルの超微弱信号を検出する必要がある。これまで、超伝導回路や光学系において、量子検出器の理論解析および実装が進められてきたが、高性能な検出器を設計するための一般理論については、十分な議論がなされてこなかった。実際、従来の検出器の多くは、システム制御理論に基づいたフィードバック機構を組み込むことで、その性能を高める設計がなされているが、量子検出器に対してそのような試みはこれまで見られなかった。特に、量子測定機構を含まない「コヒーレントフィードバック制御」による設計理論の定式化は皆無であった。そこで本論文では、光-機械結合型量子センサと多段量子増幅器という2種類の重要な検出系において、コヒーレントフィードバック制御による量子検出器の設計理論を提案する。 第1章では、本論文の研究背景と研究成果の概要を説明する。 第2章では、予備知識として、システム制御理論、フィードバック増幅法および量子開放系の基礎事項についてまとめる。 第3章では、重力波検出などで用いられる量子センサの基本構造である光-機械結合型センサについて、その性能向上を実現するコヒーレントフィードバック制御理論について述べる。この種の量子センサはショット雑音と輻射圧雑音によって原理的な性能限界を有するため、雑音除去が重要な課題である。本章では、システム制御理論で開発された「幾何学的制御法」という方法を用いて、輻射圧雑音を完全除去するための設計理論を提案する。また、そのような雑音除去を実現するフィードバック制御器の具体的な実装例を示すと同時に、系の不完全さを考慮に入れた現実的な設定においても、同制御法に有効性があることを数値計算によって示す。 第4章では、超伝導量子ビットの読み出しなどに必要な、広帯域かつ特性変動の小さい量子増幅器の設計法を考える。具体的には、量子増幅器を多段接続して、その上で増幅器の特性変動を抑えるコヒーレントフィードバック制御の構築法について述べる。特に、最も基礎的な制御機構として、(i)個々の増幅器ごとにフィードバックを施す方法、(ii)系全体に単一のフィードバックを施す方法、の2種類の制御法を提示し、理論的に、後者の方が(感度の観点から)特性変動を抑える能力が高いことを示す。さらに、不確定性関係に由来する量子特有の感度特性を見出し、ゲイン線図やナイキスト線図に基づく数値計算で実証する。 第5章では、本論文の成果を総括し、今後の課題について述べる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5061 号	氏 名	横寺 裕
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 山本 直樹
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 足立 修一
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 滑川 徹
	副査	慶應義塾大学専任講師	博士（理学） 古池 達彦
学士(工学)、修士(工学) 横寺裕君の学位請求論文は「Design of quantum signal detectors via coherent feedback control（コヒーレントフィードバック制御による量子信号検出器の設計）」と題し、全5章より構成される。 量子情報科学では、高精度の信号検出が不可欠である。例えば、量子計算機を構成する量子ビットの読み出しや、重力波測定を実現するには、量子レベルの超微弱信号の検出を行う必要がある。これまで、超伝導回路や光学系においてそのような量子信号検出を実現するための理論と実装が進められてきたが、高性能な検出器を設計するための一般理論については、まだまだ開発の余地がある。実際、従来の検出器はその性能を高めるためにフィードバック機構を内包することが多いが、量子信号検出のためのフィードバック機構をシステム制御理論の枠組みで見通しよく設計する試みはこれまで見られなかった。とくに量子測定の機構を含まない「コヒーレントフィードバック制御」による量子検出器の設計理論は皆無であった。この状況において、本論文では、2種類の重要な検出系において、コヒーレントフィードバックを内包する量子検出器の設計理論が提案されている。 第1章では、本論文の研究背景と研究成果の概要が説明されている。ついで第2章では、本研究で用いるシステム制御理論、量子開放系およびフィードバック増幅法の基礎事項についてのまとめが与えられている。 第3章では、重力波測定をはじめ様々な量子信号検出器の基本構造である光-機械結合型量子センサについて、その性能向上を実現するコヒーレントフィードバック制御理論が展開されている。この量子センサはショットノイズと輻射圧ノイズによって原理的な性能限界を有するが、本章では、システム制御理論で開発された「幾何学的制御法」という方法を用いて、輻射圧ノイズを完全除去するための設計理論が説明されている。また、そのようなノイズ除去を実現するフィードバック制御器の具体的な実装例が示されるとともに、系の不完全さを考慮に入れた現実的な設定において、同制御に有効性があることが数値的に示されている。 第4章では、超電導多体量子ビットの測定を念頭に、ブロードバンドでかつ特性変動の小さい量子信号検出器の設計法が示されている。具体的には、そのような目的を達成するために量子増幅器を多段結合して、その上で増幅器の特性変動を抑えるコヒーレントフィードバック制御の構築法が展開されている。とくに、最も基礎的な制御機構として、(i)個々の増幅器ごとにフィードバックを施す方法、(ii)系全体に単一のフィードバックを施す方法、の2種類の制御法の比較が問題として提示され、理論的に、後者の方が(感度の観点から)特性変動を抑える能力が高いことが証明されている。さらに、不確定性関係に由来する量子固有の安定性に関する性質を見出し、ナイキスト法に基づく数値計算で実証している。 第5章では、本論文のまとめと展望が記述されている。 量子信号検出の精度向上は量子情報科学を本質的に進展させる重要な課題である。本研究の成果は、システム制御理論に基づく新しいアプローチでこの課題に貢献し、量子情報科学分野のさらなる発展に寄与することが期待されるものである。 よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5062 号	氏 名	巻内 崇彦
主 論 文 題 名 :			
Elastic Anomaly of Adsorbed Films (吸着薄膜の弾性異常)			
分子の吸着は身の回りの到るところで起きている現象であり、工業や基礎科学において重要な役割を担う。固体表面に吸着した数層の分子薄膜には、バルクに存在しない様々な創発相が現れる。本博士論文では、多孔質ガラス基板に吸着したヘリウム、ネオン、水素薄膜に対するねじれ振子法を用いた一連の弾性測定について報告する。 古典的描像では、吸着薄膜は基板からの van der Waals 引力により十分低い温度で局在し、固化する。ヘリウム薄膜は重要な例外であり、ゼロ点振動エネルギーと弱い原子間相互作用により超流動になる。固体基板上に吸着した数原子層の ^4He 薄膜は、吸着量（密度）が 2 原子層程度の臨界値を超えると超流動になるが、臨界吸着量より薄い膜は低温で局在相にある。この局在相がどのような多体状態にあるかは古くから関心が持たれており、過去にはボースグラス状態の可能性が提案されていた。ヘリウム以外の分子薄膜に対しては極低温での研究が殆どないため、基底状態および有限温度の状態やその相転移については判っていなかった。 局在相では弾性が本質的な物理的性質であるが、これまで薄膜の弾性定数を直接測定する方法はなかった。本研究ではねじれ振子を用いた弾性定数の直接測定を行い、ボース粒子である ^4He とフェルミ粒子である ^3He の両方で、我々が弾性異常と呼んでいる異常な弾性の振る舞いを発見した。弾性異常では、弾性定数が低温で散逸を伴って増大する。これは局在したバンドから空間的に広がったバンドへの原子の熱的励起と緩和プロセスにより説明できる。^4He、^3He 薄膜はモット絶縁体やモットグラスの一種であるギャップの開いた圧縮性の局在状態にあり、吸着量を増やすとギャップが閉じて量子相転移を起こすことが明らかになった。この弾性異常がヘリウム薄膜の量子相転移に特有の現象であるか否かを調べるため、より量子性の弱いネオンと、多様な同位体を有する水素分子 (H_2, HD, D_2) 薄膜で同様の実験を行った。ネオン薄膜は約 5 K で弾性異常を示し、量子相転移を起こさないことが明らかになった。さらにボース粒子の H_2, D_2、フェルミ粒子の HD においても弾性異常を観測した。ヘリウムやネオンとは異なり、水素では 1–10 K にある複数の温度域に弾性異常が現れた。これは水素の量子性と薄膜表面の拡散に起因すると考えられる。以上の通り調べた全ての薄膜で弾性異常を発見したことは、弾性異常があらゆる吸着薄膜に普遍的な現象であることを示唆する。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5062 号	氏 名	巻内 崇彦
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） 齊藤 圭司
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 渡邊 紳一
		慶應義塾大学教授	Ph. D. 堀田 篤
学士(理学)、修士(理学) 巻内崇彦君提出の学位請求論文は、「Elastic Anomaly of Adsorbed Films (吸着薄膜の弾性異常)」と題し、全 6 章より構成されている。 固体表面での気体分子の吸着現象は、物理、化学、工学の多方面から盛んに研究されており、触媒や水素貯蔵などの基盤技術でも重要である。物理学では、単原子層程度の厚さの吸着薄膜は 2 次元系として振る舞い、バルク物質にない様々な創発相が発現するため、重要な研究対象となってきた。著者は本研究で、ガラス表面に物理吸着したヘリウム、水素、ネオンの薄膜の弾性率が極低温で異常な増大を示すこと、即ち吸着薄膜が「硬くなる」ことを発見した。このような現象が見つかったのは一世紀以上にわたる吸着現象の研究で初めてのことであり、「弾性異常(Elastic Anomaly)」と名付けられた。本論文では 6 種類の分子薄膜に対して弾性異常の詳細な測定と解析を行い、弾性異常は吸着薄膜特有のエネルギー構造に起因することが示された。 第 1 章は序論であり、ヘリウム、水素、ネオンの基本的性質、物理吸着現象の基礎、本研究の背景となるヘリウム薄膜の過去の研究について述べたあと、本論文の概要が述べられている。第 2 章は実験方法の記述であり、ねじれ振動子による弾性の測定方法、吸着基板として用いた多孔質ガラス試料、極低温生成と温度測定法、気体吸着の方法、実験の手順について述べている。 第 3, 4, 5 章でそれぞれヘリウム、ネオン、水素薄膜に対する弾性測定の結果と解析が述べられ、実験結果に対する解釈が提案されている。第 3 章はヘリウム薄膜の記述である。ボース粒子である ^4He 薄膜は、吸着量が臨界値(約 2 原子層)を越えると超流動状態となるが、臨界吸着量より薄い膜は超流動を示さない局在状態にある。本章では局在薄膜の弾性率が低温で散逸を伴って増大すること(弾性異常)の発見と、弾性異常の性質が詳細に記述されている。著者はこの弾性異常がヘリウム薄膜に存在する 2 つのエネルギーバンドに起因することを提案している。すなわち、弾性異常は局在バンドから空間的に広がったバンドへの原子の熱活性化型励起と緩和プロセスにより生じることを、詳細な解析と実験データとの比較により明らかにしている。さらにフェルミオン同位体の ^3He 薄膜でも同様の弾性異常を発見し、その振る舞いを記述している。これらの結果より、^4He と ^3He 薄膜はともにモット絶縁体やモットガラスに類似した、励起にギャップを持つ圧縮性の局在状態であり、吸着量の増加とともにギャップが閉じて量子相転移を起こすと結論している。 著者はさらに、弾性異常がヘリウム薄膜に特有の現象かを調べるため、ヘリウムより重く量子性の弱いネオンと、多様な同位体を有する水素分子(H_2, HD, D_2)薄膜で弾性測定を行った。第 4 章はネオン薄膜の弾性異常の記述である。ネオン薄膜でも約 5 K で弾性異常を発見したが、ヘリウムと異なり量子相転移を示さない古典系であることを明らかにしている。この結果から、弾性異常は量子性に関係なく、薄膜のエネルギー構造に起因する普遍的現象であることを示唆している。第 5 章では、3 種類の水素同位体薄膜において異なる温度で複数の弾性異常を発見したことと、その性質を記述している。複数の異常は水素分子の古典及び量子拡散と、薄膜最表面の分子の過冷却状態に起因するという解釈を提案している。第 6 章では結論として、本研究の成果がまとめられている。 以上、著者は本研究で吸着薄膜の弾性異常という新しい現象を発見し、その振る舞いが薄膜の量子性や熱力学的性質に起因することを解明している。また調べた全ての薄膜で弾性異常を発見したことは、弾性異常があらゆる吸着薄膜に存在する普遍的現象であることを示唆している。従って本研究は、ヘリウムや水素薄膜の持つ量子多体的性質や、吸着現象の普遍的性質を明らかにする重要な成果であり、広く物理学、化学、工学等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5063号	氏 名	土井 万理香
主論文題名： 心筋細胞に対する光増感反応による活動電位障害の検討モデル			
本研究では、<i>in vivo</i>心筋組織に対するタラポルフィンナトリウムを用いた光増感反応による即時的な活動電位障害の調査に用いる、<i>in vitro</i>心筋細胞モデルに関して検討した。不整脈の電気信号遮断治療に光増感反応を応用するための基礎検討として、心筋組織の酸化作用に対する即時的な活動電位障害に関するエビデンスを <i>in vitro</i> 細胞実験で得ることが望ましいが、調査に用いる <i>in vitro</i> モデルが存在しない。そこで本研究では、溶液流れにより光増感反応の酸素環境を改善するとともに、低侵襲な <i>in vitro</i> 電位計測法を採用した。<i>In vitro</i> モデルの対照となる <i>in vivo</i> モデルでは、薄い心筋組織と、安定した接触が可能な環状レーザカテーテルおよび環状電極カテーテルを採用した。そして、これらのモデルで共通の電位障害基準を定義して、両モデルの光増感反応に対する応答を比較することで、<i>in vitro</i> 心筋細胞モデルの光増感反応による活動電位障害検討の有用性を示した。 <i>In vitro</i> でのラット心筋細胞の電位計測法として、低侵襲な多電極アレイによる接触電位計測と、膜電位感受性色素蛍光計測の2方法を検討した。前者では、電極に対する垂直方向の細胞接触性が不安定なため生じたと思われる測定波形のバリエーションが観測されたため、本研究に適さないと判断した。後者の方法の色素毒性に関する条件検討後、安定した活動電位計測が可能であったため、膜電位感受性色素の蛍光計測法を採用した。光増感反応中に反応領域に対して細胞剥離、細胞の自発拍動停止が生じない上限である 0.4 mm/s で未反応の溶液を流して、反応領域に酸素供給を行った。酸素供給速度の改善は、流れが 0.02 mm/s のときと比較し約 9.7 倍と見積もられた。この <i>in vitro</i> モデルとの比較に用いる <i>in vivo</i> モデルとして、イヌ上大静脈壁の薄い心筋組織と、安定した接触が可能な環状レーザカテーテルを用いて光増感反応を行い、洞調律伝導電位の減少を環状電極カテーテルを用いて測定した。<i>In vitro</i> および <i>in vivo</i> モデルにおいて測定した活動電位の振幅減衰を用いて、両モデルの実験結果を比較した。電位減衰が初期値の 1/e になるまでに必要なエネルギーを、<i>in vitro</i> と <i>in vivo</i> 実験で比較したところ、それぞれ約 6 J/cm² および 2.6-3.9 J/cm² となり、オーダーが一致した。この結果より、<i>in vitro</i> および <i>in vivo</i> において同オーダーの効率で光増感反応障害が起きていると考えられる。 以上本研究では、<i>in vitro</i> モデルにおける酸素環境の改善および、共通の電位基準を用いた <i>in vivo</i> 実験との比較により、作成した <i>in vitro</i> モデルを使えば光増感反応による即時的な <i>in vivo</i> 活動電位に対する酸化障害を検討できることを確認した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5063 号	氏 名	土井 万理香
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 荒井 恒憲
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 内山 孝憲
		慶應義塾大学准教授	博士（工学）・博士（医学） 塚田 孝祐
		慶應義塾大学教授	工学博士 岡田 英史
修士（工学）、Diplôme d'Ingénieur, 土井万理香君の学位請求論文は、「心筋細胞に対する光増感反応による活動電位障害の検討モデル」と題して、7章より構成されている。 不整脈の電気信号遮断治療に光増感反応を応用するための基礎検討として、心筋組織の酸化作用に対する即時的な活動電位障害に関するエビデンスを <i>in vitro</i> 細胞実験で得ることが望ましいが、調査に用いる <i>in vitro</i> モデルが存在しない。本研究では、溶液流れにより光増感反応の酸素環境を改善するとともに、低侵襲な <i>in vitro</i> 電位計測法を採用した。一方、<i>In vitro</i> モデルの対照となる <i>in vivo</i> モデルでは、薄い心筋組織と、安定した接触が可能な環状レーザカテーテルおよび環状電極カテーテルを採用した。そして、これらのモデルで共通の電位障害基準を定義して、両モデルの光増感反応に対する作用のエネルギー効率を比較することで、<i>in vitro</i> 心筋細胞モデルの光増感反応による活動電位障害検討の有用性を示した。 第1章では、光増感反応による心筋細胞の即時的な活動電位障害を調査するための <i>in vitro</i> モデルの作成に関する本研究の背景と目的を述べた。 第2章では、心房性不整脈（主に心房細動）の病態と治療法を述べ、カテーテルアブレーション治療の課題を述べた。 第3章では、光線力学的治療の原理と抗腫瘍効果および光線力学的治療を応用した心房性不整脈のアブレーション技術について述べた。 第4章では、光線力学的治療を応用した不整脈に対するアブレーション技術において、光増感反応による心筋細胞における即時的な活動電位障害の調査を行う <i>in vitro</i> モデルの作成の必要性を述べた。 第5章では、多電極アレイを用いて光増感反応中の心筋細胞活動電位を計測し、酸化障害による心筋細胞接触電位の変化に関して検討を行った。 第6章では、膜電位感受性色素を用いて光増感反応中の心筋細胞活動電位を計測し、実験結果を <i>in vivo</i> 実験における心筋活動電位変化と比較した。<i>In vitro</i> 実験では溶液流れにより、光増感反応中の酸素供給を改善した。<i>In vitro</i> と <i>in vivo</i> の比較のために、共通に用いることのできる電位評価基準を設定した。 第7章では、第5章および第6章の検討から研究を総括した。 以上要するに、申請者は <i>in vivo</i> 心筋組織に対するタラポルフィンナトリウムを用いた光増感反応による即時的な活動電位障害の調査に用いる、<i>in vitro</i> 心筋細胞モデルに関して検討した。<i>In vitro</i> モデルにおける酸素環境の改善および、共通の電位基準を用いた <i>in vivo</i> 実験との比較により、作成した <i>in vitro</i> モデルを使えば光増感反応による <i>in vivo</i> 活動電位に対する即時的な酸化障害を検討できることを確認した。 以上の結果は、工学、工業上、また医学、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。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5064 号	氏 名	小池 開
主 論 文 題 名 : Mathematical Analysis of Gas—Structure Interaction Problems in the Kinetic Theory of Gases (分子気体力学における気体—構造連成問題の数学解析)			
物体が気体中を運動すると、物体は気体を乱し、逆に気体は物体の運動に影響を及ぼす。こうした運動物体と気体の相互作用の解析は、気体—構造連成問題とよばれている。本論文では分子気体力学の視点に立ち、気体—構造連成問題を論じる。これはとくに MEMS (micro-electro-mechanical systems) と関連して、様々な工学的研究がなされている。一方、数学的な理論は少なく、自由分子流の場合に Caprino et al. (2006) の理論が知られているに留まる。 Caprino らは、自由分子流中を並進運動する剛体の長時間挙動に関して、以下のことを証明した：剛体が一定の外力を受け d 次元 Euclid 空間 $\mathbf{R}^d$ を運動するとき、その剛体の速度 $\mathbf{V}(t)$ はべき乗則 $t^{-(d+2)}$ に従って終端速度に漸近する。このべき乗則は、ひとつの気体分子が剛体と複数回衝突することによって引き起こされる。この現象は再衝突 (recollision) とよばれている。 本論文ではこの自由分子流に対する理論を、以下の 2 点について拡張する：(i) 全空間から半空間への拡張、および (ii) 自由分子流からある特殊な Lorentz 気体への拡張。 第 3 章で、半空間への拡張を論じる。剛体は平面壁で境された半無限領域を、半空間境界の法線方向に動くとする。このとき以下のことを証明する：剛体速度 $\mathbf{V}(t)$ はべき乗則 $t^{-(d+1)}$ ($d \geq 2$) に従って終端速度に漸近する。この結果は、自由分子流中の剛体運動は境界の影響を強く受けることを示唆する。 第 4 章で、自由分子流からある特殊な Lorentz 気体への拡張を論じる。このモデルは Tsuji と Aoki によって提案され、数値的に検討されている。本論文では、外力のない場合に、数値計算で観察された以下の現象を厳密に証明する：あるパラメータ ε が正のとき、速度 $\mathbf{V}(t)$ は指数的に減衰する；また ε がゼロのときは、$\mathbf{V}(t)$ は次元によらない指数を持つべき乗則で減衰する。これは自由分子流以外で得られた最初の数学的な結果である。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5064 号	氏 名	小池 開
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 井口 達雄
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（理学） 生駒 典久
		慶應義塾大学専任講師	博士（理学） 曾我 幸平
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 中野 誠彦
		京都大学大学院教授	博士（工学） 高田 滋
学士（理学）、修士（理学）、小池開君提出の学位請求論文は「Mathematical Analysis of Gas-Structure Interaction Problems in the Kinetic Theory of Gases（分子気体力学における気体－構造連成問題の数学解析）」と題し、本文 5 章と付録から構成されている。 気体中を物体が運動するとき、物体は気体の運動に影響を与えると同時に、気体から抵抗という形で力を受ける。このような物体の運動と気体の相互作用の解析は気体－構造連成問題と呼ばれている。気体の運動は、通常、流体力学における Navier-Stokes 方程式によって記述されるが、航空宇宙工学などで重要な低圧気体やマイクロマシンで問題となる小さな系の気体では、流体力学的な取り扱いは無効性を失う。このような場合、微視的な分子論的考察に基づいて気体分子の速度分布関数を解析する分子気体力学が有効となる。本論文は、分子気体力学の視点から、希薄な気体中を運動する物体の気体－構造連成問題を論じている。 このような問題は、その応用上の重要性から、様々な工学的研究がなされている。一方、その数学的な理論はほとんど構築されておらず、自由分子気体と呼ばれる、分子同士の衝突が無視できるような非常に希薄な気体に対する理論が知られているに留まる。本論文は、自由分子気体が剛体壁で仕切られた半空間を占めている場合、およびある種の分子間同士の衝突を考慮したモデルである特殊な Lorentz 気体が全空間を占めている場合について、その中を並進運動する剛体の長時間挙動を研究したものである。 第 1 章は、序論であり、分子気体力学に基づく気体－構造連成問題が定式化され、本研究の背景と位置付けおよび本論文の二つの主定理が述べられている。 第 2 章では、自由分子気体が全空間を占めている場合、その中を一定の外力を受け並進運動する剛体の速度がべき乗則にしたがって終端速度に漸近するという Caprino et al. (2006) の結果が紹介されている。指数関数的ではなくべき乗則にしたがうこの挙動は、一つの気体分子が剛体と複数回衝突する再衝突という現象によって引き起こされることが詳しく解説されている。 第 3 章では、自由分子気体が半空間を占めている場合、壁面に垂直な方向に一定の外力を受け並進運動する剛体の長時間挙動に関する一つ目の主定理が証明されている。この場合も剛体の速度はべき乗則にしたがって終端速度に漸近するが、その指数は全空間の場合よりも小さくなることが見いだされた。この定性的な違いは、壁面の存在により気体分子の新たな再衝突が生み出されたことに起因することが示されている。また、この結果は自由分子気体中における剛体の運動は境界の影響を強く受けることを示唆している。 第 4 章では、辻-青木(2012)によって提案された特殊な Lorentz 気体が全空間を占めている場合、その中を並進運動する剛体の長時間挙動に関する二つ目の主定理が証明されている。このモデルには背景分子の温度を無次元化したパラメータ ε が含まれており、剛体速度の終端速度への漸近は、ε が正の場合は指数関数的であり、ε が零の場合はべき乗則にしたがうことが数値計算により予想されていた。本論文の著者はその予想を理論的に証明することに成功した。これは自由分子気体以外で得られた最初の数学的な結果である。 第 5 章は、本論文の総括であり、今後の展望も述べられている。 以上、要するに、本論文の著者は希薄な気体中を運動する剛体の終端速度への漸近挙動を理論的に解明した。特に、気体分子と剛体との再衝突による気体分子の履歴効果が剛体の長時間挙動を支配していることを明らかにしたことは理学的に益することが少なくない。 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5065号	氏 名	澄本 慎平
主論文題名： 海洋シアノバクテリア由来ポリケチドーアミノ酸・ペプチドハイブリッド化合物 の構造と生物活性			
海洋シアノバクテリアは多様な化学構造をもつ二次代謝産物を生産している。海洋シアノバクテリアの生産する二次代謝産物の構造多様性には、シアノバクテリア特有の生合成酵素が関連していると考えられている。また、これらの二次代謝産物には特異的な生物活性を示すものも多い。このため、海洋シアノバクテリア抽出物から HeLa 細胞（ヒト子宮頸がん細胞）への増殖阻害を指標として生物活性物質の探索を行った。 第1章では、研究の序論として、過去にシアノバクテリアから単離された生物活性物質の有用性と生合成分野の研究における重要性を概説した。 第2章では、探索源となる海洋シアノバクテリアの種同定に対する問題点とそれを解決する手法の確立について述べた。 第3章では、鹿児島県徳之島で採集した海洋シアノバクテリア <i>Moorea bouillonii</i> より単離した kanamienamide の構造と生物活性について記述した。Kanamienamide の構造上の特徴は、エノールエーテルが隣接した <i>N</i>-Me-エナミド構造であり、その生合成遺伝子を取得する目的で、<i>M. bouillonii</i> の全ゲノム増幅を用いたゲノム解析を行った。 第4章では、沖縄県水納島で採集した海洋シアノバクテリア <i>Okeania hirsuta</i> より単離した minnamide A の構造と生物活性について述べた。Minnamide A は、水酸基とβ-分岐型メチル基の繰り返し構造からなる脂肪酸を有する直鎖リポペプチドであり、この繰り返し構造は天然物で初の報告例となる。種々の活性評価から minnamide A が HeLa 細胞に対してネクロシス様の細胞死を誘導し、細胞内では銅イオンが関与する lipid ROS の蓄積を引き起こしていることが明らかとなった。確認された細胞死の特徴は、既知の細胞死である ferroptosis とよく類似したものであった。金属イオンと lipid ROS の増加は、アルツハイマーなどのいくつかの神経病の原因と考えられている。また、いくつかのがん細胞において、銅イオンの濃度が上昇することが知られている。今後の詳細な研究により銅イオンの関わる神経変性疾患の解明や銅イオンに着目した抗がん剤の開発へ貢献することが期待される。 第5章は、これらの研究に対する総括である。本研究では海洋シアノバクテリアより2つの新規ポリケチドーアミノ酸・ペプチドハイブリッド化合物を発見した。また、minnamide A の作用機序を部分的に解明した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5065 号	氏 名	澄本 慎平
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 末永 聖武
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 藤本 ゆかり
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 犀川 陽子
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 高橋 大介
学士（理学）、修士（理学）澄本慎平君提出の学位請求論文は「海洋シアノバクテリア由来ポリケチド・アミノ酸・ペプチドハイブリッド化合物の構造と生物活性」と題し、序論、本論、総括および実験項より構成されている。 海洋シアノバクテリアは多様な化学構造をもつ二次代謝産物（天然物）を生産している。海洋シアノバクテリアの生産する天然物の構造多様性には、シアノバクテリア特有の生合成酵素が関連していると考えられている。また、これらの天然物には特異な生物活性を示すものも多い。このような新規天然物の発見を目的として、海洋シアノバクテリア抽出物から HeLa 細胞（ヒト子宮頸がん細胞）への増殖阻害を指標として生物活性物質の探索を行った。 第 1 章では、研究の序論として、過去にシアノバクテリアから単離された生物活性天然物の有用性と生合成分野の研究における重要性を概説した。 第 2 章では、探索源となる海洋シアノバクテリアの種同定に対する問題点とそれを解決する手法の確立について述べた。 第 3 章では、鹿児島県徳之島で採集した海洋シアノバクテリア <i>Moorea bouillonii</i> より単離した kanamienamide の構造と生物活性について記述した。Kanamienamide の構造上の特徴は、エノールエーテルが隣接した <i>N</i>-Me-エナミド構造であり、その生合成遺伝子を取得する目的で、<i>M. bouillonii</i> の全ゲノム増幅を用いたゲノム解析を行った。 第 4 章では、沖縄県水納島で採集した海洋シアノバクテリア <i>Okeania hirsuta</i> より単離した minnamide A の構造と生物活性について述べた。Minnamide A は、水酸基とβ-分岐型メチル基の繰り返し構造からなる脂肪酸を有する直鎖リポペプチドであり、この繰り返し構造は天然物で初の報告例となる。種々の活性評価から minnamide A が HeLa 細胞に対してネクロシス様の細胞死を誘導し、細胞内では銅イオンが関与する lipid ROS の蓄積を引き起こしていることが明らかとなった。確認された細胞死の特徴は、既知の細胞死である ferroptosis とよく類似したものであった。金属イオンと lipid ROS の増加は、アルツハイマーなどのいくつかの神経病の原因と考えられている。また、いくつかのがん細胞において、銅イオンの濃度が上昇することが知られている。今後の詳細な研究により銅イオンの関わる神経変性疾患の解明や銅イオンに着目した抗がん剤の開発へ貢献することが期待される。 第 5 章は、これらの研究に対する総括である。本研究では海洋シアノバクテリアより 2 つの新規ポリケチド・アミノ酸・ペプチドハイブリッド化合物を単離・構造決定した。また、minnamide A の作用機序を部分的に解明した。 以上、本研究で発見した物質 minnamide A が銅イオンが関わる新しい型の細胞死を誘導することを明らかにした。そのシグナル制御機構研究に有用な研究用試薬につながるものと考えられる。また、新規性の高い化学構造をもつ天然物を発見したことにより、新しい生合成経路の発見につながると考えられる。本研究成果は天然物化学のみならず、生命科学や生合成など関連分野にも貢献するものである。よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5066 号	氏 名	伊勢川 和久
主 論 文 題 名 :			
軟 X 線吸収微細構造によるその場測定システムの開発と不均一触媒反応の観測への応用			
不均一触媒は化学合成や排ガス処理など様々な場面で我々の社会を支えている。反応進行中の触媒に対する X 線内殻分光法によるその場測定は、金属などの重元素から成る触媒の反応中の姿を明らかにしたが、軽元素から成る反応種や触媒材料の振る舞いについては未解明な点が多い。そこで本研究では、軽元素に対する感度が高い軟 X 線を用いた X 線吸収微細構造(XAFS)によるその場測定システムの開発を行った。固体高分子形燃料電池反応および銀触媒を用いたエチレンのエポキシ化反応を対象とし、測定システムの評価と反応活性に対する軽元素分子の振る舞いの観測に応用してその有用性を実証した。本論文は以下の 5 章からなる。 第 1 章 序論 本研究の背景と目的について述べる。不均一触媒反応に対する X 線内殻分光法によるその場測定について、これまでの到達点と課題について概説する。 第 2 章 実験手法の原理 本研究で用いる実験手法(XAFS, X 線光電子分光(XPS)等)について、それぞれの原理と特徴を説明する。 第 3 章 固体高分子形燃料電池のその場測定と Nafion の分解の研究 固体高分子形燃料電池(PEFC)は白金微粒子触媒と高分子電解質 Nafion から構成される。白金触媒に対してはその場測定が数多く行われているのに対し、Nafion に関する元素選択的手法を用いたその場観察はほとんど行われていない。そこで、軟 X 線 XAFS 測定用 PEFC セルを開発し、Nafion のスルホン酸基の振る舞いをその場観察した。硫黄 K 端 XAFS から、湿度による Nafion の持つスルホン酸基へのプロトンの吸脱着の情報が得られることを明らかにした。また、スルホン酸が分解して原子状硫黄が白金触媒に吸着するという新たな劣化過程を見出した。 第 4 章 エチレンのエポキシ化反応条件下における Ag(111)単結晶モデル触媒上の含酸素種の研究 エチレンオキシドは酸素によるエチレンのエポキシ化反応によって合成され、様々な化学製品の間接材料になるが、100 年近く工業生産に用いられている銀触媒の反応機構は未だに明らかでない。近年、エポキシ化反応の活性種は原子状酸素や表面酸化物などではなく、吸着した共有結合性分子であることがわかってきた。そこで、表面敏感なオージェ電子収量 XAFS を立ち上げ、XPS と組み合わせて反応活性条件下の Ag(111)モデル触媒の表面に存在する酸素種の化学状態を調べた。その結果、これまで活性条件下には存在しないとされてきた炭酸イオンが、表面平行な配向で銀表面に存在することを明らかにした。 第 5 章 結論と今後の展望 本研究で得られた知見を総括するとともに、触媒メカニズムの解明に迫るための今後の展望について述べる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5066 号	氏 名	伊勢川 和久
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 近藤 寛
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 藪下 聡
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 栄長 泰明
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 角山 寛規
学士（理学）、修士（理学）伊勢川和久君提出の学位請求論文は「軟 X 線吸収微細構造によるその場測定システムの開発と不均一触媒反応の観測への応用」と題し、全 5 章より構成されている。 触媒反応の解析には、反応が進行する過程を直接観測する「その場測定」が極めて有効である。触媒の局所構造や化学状態を知ることができる X 線吸収微細構造（XAFS）は触媒のその場測定によく用いられてきた手法である。この手法によるその場測定には、これまで、透過力が高く、使用条件の制限が少ない硬 X 線が広く用いられてきたが、硬 X 線による XAFS では、金属元素などの重元素を含む触媒の解析には有効なもの、軽元素から成る触媒や反応・生成種の観測には適していない。このような軽元素化学種を観測するには、軽元素に対する感度が高い軟 X 線を用いるのが有効であるが、軟 X 線は透過力が低いため、触媒過程をその場測定するには技術的課題が多い。本論文の著者はこのような課題を克服し、触媒反応進行下の軽元素触媒成分や反応・生成種を観測できる軟 X 線 XAFS によるその場測定システムの開発を行った。固体高分子形燃料電池および銀触媒を用いたエチレンのエポキシ化を対象とし、これらの系の軽元素化学種の振る舞いの観測に応用してその有用性を実証した。本論文は以下の 5 章からなる。 第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的について述べられている。初めに不均一触媒とその理解に重要な表面化学について概観し、不均一触媒反応を理解するうえで、XAFS によるその場測定が有用であることが述べられている。そのうえで、これまでの硬 X 線 XAFS によるその場測定では観測しにくい軽元素化学種の観測が触媒反応の理解に不可欠になる場合があることが指摘され、そのような触媒に対する軟 X 線 XAFS の開発の必要性が述べられている。軽元素化学種の観測が不可欠な例として、固体高分子形燃料電池とエチレンエポキシ化触媒における課題について紹介され、このような課題へのアプローチとして、軟 X 線 XAFS によるその場測定システムの開発と応用を本研究の目的とすることが述べられている。 第 2 章では、本研究で用いる実験手法（XAFS、X 線光電子分光）について、それぞれの原理と特徴が説明されている。 第 3 章では、固体高分子形燃料電池を対象とした軟 X 線 XAFS その場測定システムの開発とそれを用いた高分子電解質 Nafion の湿度応答と劣化過程の観測について述べられている。燃料電池セルを内蔵した軟 X 線 XAFS 測定システムを開発し、Nafion のスルホン酸基の振る舞いを硫黄 K 吸収端 XAFS でその場観測した。系統的な観測結果から、湿度による Nafion の持つスルホン酸基へのプロトンの吸脱着の情報が得られることを明らかにし、さらに、スルホン酸が分解して原子状硫黄が白金触媒に吸着する新たな劣化過程を見出した。 第 4 章では、準大気圧下で軟 X 線オージェ電子収量 XAFS が測定できるその場測定システムの開発とそれによる銀触媒上のエチレンエポキシ化反応における活性酸素の観測への応用について述べられている。この活性酸素は長年の議論の対象となってきたが、本研究によるアプローチによって、これまで反応条件では存在しないとされてきた炭酸種が生成することを見出し、さらに、軟 X 線 XAFS の偏光依存性から、炭酸種の反応条件下での配向性についても明らかにした。 第 5 章では、本研究で得られた知見について総括し、本研究におけるアプローチの今後の発展の方向に関する展望が述べられている。 以上まとめると、軟 X 線 XAFS によるその場測定システムを開発し、それを不均一触媒系における軽元素化学種の振る舞いの観測に応用して、このアプローチの有用性を明らかにした。本研究は、不均一触媒の作動機構や劣化機構の理解に貢献するものであり、触媒科学、材料科学への学術的寄与は少なくない。よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5067 号	氏 名	上田 昂平
主論文題名： 準大気圧下オペランド計測による 白金族金属触媒上の一酸化窒素還元における反応メカニズムの研究			
触媒は環境・エネルギー分野等において広く用いられているが、その触媒の反応メカニズムは未だ明らかでないことが多い。また、従来の真空中における実験では実際の触媒反応を再現できないことがある。本研究ではイリジウム(Ir)およびロジウム(Rh)表面上での、自動車の排ガス浄化反応の一つである一酸化炭素(CO)による一酸化窒素(NO)の還元反応を実動作環境に近い準大気圧下においてオペランド計測を行い、触媒活性化に必要な要因や、律速段階や活性種等の反応メカニズムを明らかにした。さらに主生成物である窒素(N₂)と副生成物である亜酸化窒素(N₂O)の選択率の異なるIrとRhの比較から、選択率を決める要因について新たな観点を提案した。 第1章では、本研究の背景や目的について述べる。不均一触媒に関するこれまでの表面科学研究について概観した後、特に本研究に関連するNO還元反応について述べる。また、それを踏まえて本研究の目的について述べる。 第2章では、本研究で用いた実験手法(準大気圧 X 線光電子分光法(NAP-XPS)、質量分析法(MS)、低速電子線回折)について、それぞれの原理と特徴を述べる。 第3章では、Ir(111)モデル触媒に排ガス成分のNO+COガスを導入しながら活性と触媒表面状態をMSとNAP-XPSで測定するオペランド計測を行った結果について述べる。Ir(111)表面上では、従来提案されていたNO分子の解離が反応速度を決める律速段階ではなく、解離によって生成した原子状窒素(N)の会合によるN₂の生成が律速段階であることが分かった。N₂の生成にはN+N会合反応に加え、N+NO反応が寄与するが、この反応に活性なNO種を見出した。 第4章では、Rh(111)モデル触媒上のNO+CO反応のオペランド計測を行った結果について述べる。NOの解離とともに還元反応が開始するが、Irと同様にN₂の生成が律速段階であることが分かった。実験結果に基づいて速度論解析を行い、副生成物のN₂O生成経路を明らかにした。また、N₂Oがほとんど生成しないIrの解析結果との比較から、N₂Oの生成要因として、活性種の吸着構造と表面空きサイトの寄与を提案した。 第5章では、本研究で得られた知見について総括し、本論文の結論を述べる。さらにNO還元反応メカニズムの解明に向けた研究の今後の展望を述べる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5067 号	氏 名	上田 昂平
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 近藤 寛
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 中嶋 敦
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 羽曾部 卓
		慶應義塾大学准教授	Ph. D 清水 智子
学士（理学）、修士（理学）上田昂平君提出の学位請求論文は「準大気圧下オペランド計測による白金族金属触媒上の一酸化窒素還元における反応メカニズムの研究」と題し、全 5 章より構成されている。 触媒は化学品製造や環境・エネルギー分野などにおいて広く用いられているが、その触媒の反応メカニズムは未だ明らかでない点が多い。これらの分野でよく用いられる固体触媒では反応が触媒表面で進行するので、その反応メカニズムの理解のために表面分析手法が多く用いられている。近年、表面分析手法を用いて触媒反応が進行するその場を計測する「オペランド計測」が行われるようになってきており、触媒反応メカニズムを理解するうえで有用なアプローチになっている。 触媒反応メカニズムの理解が強く求められている触媒に自動車の排ガス触媒がある。近年、排ガス浄化性能の更なる向上が急務になっているが、触媒反応メカニズムは未解明な点が多く残されている。本論文の著者は、自動車の排ガス浄化の主要反応の一つである一酸化窒素（NO）の還元反応に注目し、この反応に有用とされるロジウム（Rh）およびイリジウム（Ir）モデル触媒上での一酸化炭素（CO）による NO 還元反応のオペランド計測を行った。これらの金属による NO 還元においては、主生成物である窒素（N₂）と副生成物である亜酸化窒素（N₂O）の生成比が大きく異なる特徴がある。実作動環境に近い準大気圧下において反応が進行する触媒表面を、準大気圧 X 線光電子分光（NAP-XPS）によって観測し、反応開始に必要な要因、律速段階、反応活性種等を明らかにした。さらに N₂ と N₂O の選択率が大きく異なる Ir と Rh の比較から、選択率を決める要因について新たな観点を提案した。本論文は以下の 5 章からなる。 第 1 章では、本研究の背景や目的について述べられている。不均一触媒に関するこれまでの表面科学的分析について概観した後、オペランド計測の重要性について述べられている。さらに Ir および Rh による NO 還元反応のこれまでの研究を説明したうえで、オペランド計測によってこれらの反応のメカニズムと N₂ と N₂O の選択率を決める要因を調べることを本研究の目的とすることが述べられている。 第 2 章では、本研究で用いた実験手法（NAP-XPS、質量分析（MS）、低速電子線回折）について、それぞれの原理と特徴が述べられている。 第 3 章では、Ir(111)モデル触媒に排ガス成分の NO+CO ガスを導入しながら MS と NAP-XPS によって活性と触媒表面状態を調べた結果について述べられている。Ir(111)表面上では、従来提案されていた NO 分子の解離が反応速度を決める律速段階ではなく、解離によって生成した原子状窒素（N）の会合による N₂ の生成が律速段階であることを見出した。さらに N₂ の生成には N+N 会合反応に加え、N+NO 反応が寄与することを見出し、この反応に活性な NO 種を推定している。 第 4 章では、Rh(111)モデル触媒上の NO+CO 反応のオペランド計測を行った結果について述べられている。NO の解離とともに還元反応が開始するが、Ir と同様に N₂ の生成が律速段階であることを見出した。さらに、実験結果に基づいて速度論解析を行い、副生成物の N₂O 生成に寄与する NO 種を推定した。さらに、N₂O がほとんど生成しない Ir の結果との比較から、N₂O の生成要因として、活性な NO 種の吸着サイトの違いや表面空きサイトの欠如が提案されている。 第 5 章では、本研究で得られた知見について総括し、本論文の結論を述べられている。さらに NO 還元反応メカニズムの研究の今後の展望が述べられている。 以上まとめると、オペランド計測によって Ir および Rh のモデル触媒表面における NO 還元反応を詳細に解析することによって、これらの反応のメカニズムを明らかにした。本研究は、不均一触媒の作動機構の理解に貢献するものであり、触媒科学、表面科学への学術的寄与は少なくない。よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5068号	氏 名	紙谷 武
主論文題名：			
初心者特有の頸部挙動に着目し開発した柔道用頭部保護具に関する研究			
近年柔道による重症頭部外傷の報告が散見されている。初心者が大外刈りで投げられて後頭部を打撲し、急性硬膜下血腫を発症するのが典型的である。本研究では柔道における急性硬膜下血腫の発生機序を明らかにし、それに基づいた予防策を提示することを目的としている。 第1章では、本研究の対象である急性硬膜下血腫について、病態と予後、従来の研究で報告されている発生機序や発生評価基準について概説し、本研究の目的を述べた。 第2章では、頭蓋内挙動が可視できる頭部実体モデルおよびダミー人形を用いて、大外刈りで投げられ後頭部が衝突した際の頭蓋内挙動の可視化実験を行った。そして、後頭部衝突時に脳と頭蓋がずれるように相対変位が生じ、これが急性硬膜下血腫の原因である架橋静脈の破断につながることを明らかにした。また、衝突様式を頭部衝突、背部衝突、水平衝突の3つに分類し、頭部衝突の予防には、身長差のある選手同士の練習を控えること、背部衝突の予防には、頸部の伸展を抑制することが重要である。 第3章では、背部衝突を模擬した後方受身実験を施行した。初心者には後方受身を行う際に、背部が接地した時、頸部が伸展し頭部が大きく後方へ振られる、背部の接地前に打ち手を行っているという2つの特徴が認められた。背部接地後に頸部が伸展運動することにより頭部の回転角速度が増大し、このことが初心者の後方受身で一番の問題であることと考えられた。さらに、この原因は、初心者の頸部筋力不足によるものであり、受け身の際に頸部筋力が十分に発揮されなければ、頭部外傷の危険が高くなるという非常に重要な知見を得た。 第4章では、頸部筋力不足を補うための保護具を検討した。頭部保護具、頸部保護具およびその両者を組合せた保護具を製作し、ダミー人形を用いた後頭部衝突実験を行った。その結果、頭部と頸部の保護具を組み合わせた保護具が、頭蓋と脳の相対変位抑制に最も効果的であることを示した。 第5章では、実際に柔道用頭部保護具を製作した。3点支持の理論に基づき、後頭骨・第6胸椎・前頭部の3点で固定するように設計し、頸部伸展抑制器具と緩衝材を組み合わせた保護具となっている。ダミー人形を用いた後頭部衝突実験から、急性硬膜下血腫発生指標である頭部角速度変化幅を、器具単独で29%、緩衝材単独で21%、器具と緩衝材の組み合わせで48%減少させることに成功した。頸部伸展抑制器具は、頸椎胸関節の伸展抑制効果に寄与し、緩衝材は環椎後頭関節の回転抑制効果に寄与し、これらを組み合わせることで、角速度変化幅が大幅に低減することを明らかにした。 第6章では、研究成果を要約し、本論文の結論および今後の展望について述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5068 号	氏 名	紙谷 武
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 大宮 正毅
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 荻原 直道
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 宮田 昌悟
		東京工業大学准教授	博士（工学） 宮崎 祐介
学士（医学）紙谷武君提出の学位請求論文は「初心者特有の頸部挙動に着目し開発した柔道用頭部保護具に関する研究」と題し、6章から構成されている。 近年柔道による重症頭部外傷の報告が散見されている。初心者が大外刈りで投げられ後頭部を打撲し、急性硬膜下血腫を発症するのが典型的である。後頭部衝突時の頭部回転運動が急性硬膜下血腫発生の原因とされているが、実際の柔道動作時の受傷形態については明らかにされておらず、また、保護具等を用いた有効な安全策を打ち出せていないのが現状である。そこで、本研究では柔道動作時における急性硬膜下血腫の発生機序を明らかにし、それに基づいた予防策を提示することを目的としている。 第1章では、本研究の対象である急性硬膜下血腫について、病態と予後、従来の研究で報告されている発生機序や発生評価基準について概説し、本研究の目的を述べている。 第2章では、頭蓋内挙動が可視できる頭部実体モデルおよびダミー人形を用いて、大外刈りで投げられ後頭部が衝突した際の頭蓋内挙動の可視化実験を行っている。そして、後頭部衝突時に脳と頭蓋がずれるように相対変位が生じ、これが急性硬膜下血腫の原因である架橋静脈の破断につながることを明らかにしている。また、衝突様式を頭部衝突、背部衝突、水平衝突の3つに分類し、頭部衝突の予防には、身長差のある選手同士の練習を控えること、背部衝突の予防には、頸部の伸展を抑制することが重要であることを指摘している。 第3章では、背部衝突を模擬した後方受身実験を行っている。初心者は後方受身を行う際に、背部が接地した後、頸部が伸展し頭部が大きく後方へ振られるという特徴を持つことを見出している。そして、これは初心者の頸部筋力不足が原因であることを指摘し、頸部筋力を補うための保護具の必要性について述べている。 第4章では、頭部保護具、頸部保護具およびその両者を組合せた保護具を製作し、ダミー人形を用いた後頭部衝突実験を行っている。その結果、頭部と頸部の保護具を組み合わせた保護具が、脳と頭蓋の相対変位抑制に最も効果的であることを示している。 第5章では、実際に柔道用頭部保護具を製作している。そして、ダミー人形を用いた後頭部衝突実験から、急性硬膜下血腫発生指標である頭部角速度変化幅を、器具単独で29%、緩衝材単独で21%、器具と緩衝材の組み合わせで48%減少させることに成功している。頸部伸展抑制器具は、頸椎胸関節の伸展抑制効果に寄与し、緩衝材は環椎後頭関節の回転抑制効果に寄与し、これらを組み合わせることで、角速度変化幅を大幅に低減できることを示している。 第6章では、研究成果を要約し、本論文の結論および今後の展望について述べている。 以上要するに、本研究は柔道動作時における急性硬膜下血腫の発生機序について明らかにし、初心者特有の頸部筋力不足を補うための頭部保護具を開発し評価することで、その有効性について論じたものであり、インパクトバイオメカニクス、スポーツ工学分野において、工学上、工業上寄与することが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5069	Name	Nurul Adni Binti Ahmad Ridzuan
Thesis Title Design and Fabrication of a Tooth-Inspired Tactile Sensor for the Detection of Multidirectional Force			
Demands on tactile sensors have been increasing rapidly. When they are thin and flexible, they can be attached to arbitrary surfaces and contribute to enhance precision in monitoring and handling objects. A capacitive-type tactile sensor with liquid dielectric is proposed to achieve both high accuracy and flexibility. There also are demands for tactile sensors that can detect multidirectional load in a narrow space. For such applications, the tactile sensors cannot have shapes of a sheet or a pad as reported in many of the previous work. Thus, in this thesis, a tactile sensor that has a three-dimensional format and can detect multi-directional force is designed and demonstrated, which is inspired by the anatomy of a tooth. Chapter 1 summarizes background of the research. Tactile sensors are thoroughly surveyed, among which the highly accurate and flexible tactile sensor is detailed. The objective of this work is explicitly described. Chapter 2 illustrates the design strategy of the sensor device. The inspiration of the design of the sensor, which is a tooth, is discussed. Chapter 3 explains the design of the sensor device. The sensor consisted of a center pole that acts like a tooth, which can sense the direction of light touch or pressure applied on its enamel. The bottom of the center pole is equipped with four strain gauges, whose resistances change according to the movement of the center pole. Chapter 4 illustrates the fabrication and assembly processes of the sensor device. The center pole is made of stainless-steel and is plugged into an acrylic base, just like a tooth that is plugged in the alveolar bone. The assembly process allows the sensor to have the strain gauges in a three-dimensional manner, which support the pole and detect the shear force applied to the pole. Chapter 5 describes the experimental results. The sensitivity of the sensor device per unit 1 mm displacement is deduced to be -0.016 mm^{-1}, while sensitivity per unit 1 N load is -0.313 N^{-1}. The sensor is verified to be capable of detecting the magnitude and direction of the multidirectional load. Chapter 6 summarizes the result of this study.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5069 号	氏 名	Nurul Adni Binti Ahmad Ridzuan
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
	慶應義塾大学専任講師	博士（工学）	加藤 健郎
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	竹村 研治郎
学士（工学）、修士（工学） Nurul Adni Binti Ahmad Ridzuan 君提出の学位請求論文は、「Design and Fabrication of a Tooth-Inspired Tactile Sensor for the Detection of Multidirectional Force」（歯構造を模した多方向荷重を検出可能な触覚センサの設計と製作）と題し、6章から構成されている。 近年、触覚センサの適用範囲が広がっている。薄く柔軟性を有する触覚センサは任意の曲面に貼付けることが可能であり、その表面への荷重、圧力を計測することが可能である。例えば、柔軟な高分子材料を電極形成のための基板材料として用い、誘電体として液体を封入した静電式触覚センサは、柔軟性と高感度を両立することができる。また、狭隘空間における多方向荷重検出可能な触覚センサが求められている。この応用には、平面的な触覚センサではなく、3次元構造を有することが求められる。 本論文の目的は、多方向荷重を検出可能な3次元構造を有する触覚センサの研究開発である。そのために、歯の解剖学的な構造を模倣し、円筒形の接触部ならびに歯根膜中の受容器を模したひずみゲージを有する、多方向荷重検出可能な触覚センサを提案している。特に、触覚センサの設計において、ひずみゲージを3次的に配置する組立てプロセスを考慮している。 第1章では、触覚センサに関する先行研究を、特に、柔軟性、高感度、多方向荷重検出の観点から概説し、研究目的を述べている。 第2章では、歯の解剖学的な構造を示し、これに基づいた多方向荷重検出触覚センサの設計を提案している。 第3章では、研究開発した触覚センサの設計について述べている。触覚センサは、歯のエナメル質と象牙質部分を模した円筒形の接触部、ならびに歯根膜中の受容器を模した4つのひずみゲージを有する。4つのひずみゲージが接触部周縁に配置されることで、接触部へのせん断力の大きさならびに方向を検出できることを説明している。 第4章では、触覚センサを構成する各部の製作プロセスならびに、組立てプロセスを詳述している。円筒形接触部は、歯肉に固定される歯のようにアクリル製基板に固定されている。組立てプロセスにおいて、ひずみゲージを形成したポリイミド製基板の中央部を円筒形接触部で貫くことにより、ひずみゲージを接触部周縁に3次的に保持できることを示している。 第5章では、製作した触覚センサの評価実験を行い、荷重の大きさ、ならびに方向に関して十分な分解能を有することを、実験的に証明している。 第6章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望について述べている。 以上要するに、本論文は多方向の荷重検出が可能な3次元構造を有する触覚センサを提案し、その有効性を実験的に示したものであり、センサ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 5070 号	氏 名	鈴木 良
主論文題名： Investigation into the effects of optical nonlinearities on microresonator frequency combs (微小光共振器周波数コムへの非線形光学効果の影響に関する研究)			
高い光閉じ込め性能（高 Q 値）を有する微小光共振器を用いて発生させる光周波数コムは、マイクロコムと呼ばれ、波長分割多重光通信、マイクロ波発振器、光センサ、高精度分光や LiDAR などへの応用が期待されている。マイクロコムは、小型かつ低パワーで駆動し、10～1000 GHz を超える高い繰り返し周波数の光パルスが得られるという特徴がある。 マイクロコムは、微小光共振器に単色の連続波レーザを入力することで、四光波混合を介して発生するコヒーレントな光である。しかし、光共振器中では様々な非線形光学効果が四光波混合と同時に生じるため、これらの非線形光学効果がマイクロコムの発生を補助、または阻害し、得られる光の繰り返し周波数や発生波長域、コヒーレンスなどの特性に影響を与える。 本研究では、共振器オプトメカニクス、誘導ラマン散乱、相互位相変調がマイクロコムへ与える影響について明らかにし、それらを制御することで、マイクロコムの低雑音、動作波長の拡大、スペクトル形状や繰り返し周波数の制御性の向上につなげる。 第1章では、本研究の背景と目的を述べた。 第2章では、マイクロコム発生で用いる高 Q 値微小光共振器の作製と光結合の手法について述べた。 第3章では、マイクロコム発生の機構を説明し、四光波混合によってマイクロコムが発される様子を示した。 第4章では、マイクロコム発生時の共振器オプトメカニクスの振る舞いについて調べ、マイクロコムを発生させると共振器構造のパラメトリック振動が抑制できることを明らかとした。この結果により、マイクロコム発生時には、機械振動に起因する雑音を低減できることが明らかとなった。 第5章では、シリカ製微小光共振器を用いて行った、誘導ラマン散乱を介したマイクロコム発生の実験について述べた。共振周の共振器周波数に対する励起光の周波数デチューニング量と、光共振器への入力光の結合強度を操作することで、マイクロコムの中心波長を制御できることを明らかとし、波長拡大への道筋を示した。 第6章では、Lugiato-Lefever 方程式を用いて、直交偏光の2光波で励起された単一共振器における、デュアルコム発生とソリトン捕捉についての計算結果を示した。2つのモードの繰り返し周波数の差が大きいと相互位相変調によるソリトン捕捉が起きず、繰り返し周波数の異なるデュアルマイクロコムが単一共振器を用いて発生できることを明らかとした。 第7章では、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5070 号	氏 名	鈴木 良
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			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 木下 岳司			
慶應義塾大学教授 理学博士 佐々田 博之			
慶應義塾大学特別招聘教授（国際）Ph.D. ワイナー，アンドリュー			
学士（工学）、修士（工学）鈴木良君提出の学位論文は「Investigation into the effects of optical nonlinearities on microresonator frequency combs」（微小光共振器周波数コムへの非線形光学効果の影響に関する研究）と題し、7 章から構成されている。 高い光閉じ込め性能（高 Q 値）をもつ微小光共振器を用いて発生する光周波数コムは、マイクロコムと呼ばれ、波長分割多重光通信、マイクロ波発振器や高精度分光などへの応用が期待されている。マイクロコムは、小型であることから低パワーで動作し、10 GHz から 1 THz 程度の高い繰り返し周波数の光パルスが得られるという特徴がある。 マイクロコムは、微小光共振器に単色の連続波レーザを入力すると、四光波混合を介して発生するコヒーレントなパルス光である。しかし、微小光共振器中では様々な非線形光学効果が四光波混合と同時に起き、これらの効果がマイクロコムの発生を促進、又は阻害する。その結果、得られる光の繰り返し周波数、発生波長域、コヒーレンスなどの特性が変化する。 本研究は、共振器オプトメカニクス、誘導ラマン散乱や相互位相変調が、マイクロコムへ与える影響について調べ、それらの影響を制御することで、マイクロコムの低雑音化、さらにはスペクトル形状と繰り返し周波数の制御性の向上につなげることを目的としている。 第 1 章では、本研究の背景と目的を述べている。 第 2 章では、本研究で用いる高 Q 値 ($Q > 10^7$) 微小光共振器の作製について述べており、微小光共振器の特性と、それらの測定手法について解説している。また、微小光共振器内で起きる様々な非線形光学効果についての基礎理論を説明している。 第 3 章では、マイクロコム発生の機構を説明し、波長 1547 nm の連続光で励起すると四光波混合によって帯域 414 nm のマイクロコムが発生することを示している。 第 4 章では、マイクロコム発生時の共振器オプトメカニクスの振る舞いについて述べている。マイクロコムが発生すると、微小光共振器の機械的な振動が抑制されることを理論及び実験の両面から明らかにしている。この結果は、マイクロコムが発生すると、機械振動に起因する雑音が自動的に低減されることを示しており、高い波長精度を有するマイクロコムが実現し得ることを示唆するものである。 第 5 章では、シリカ製微小光共振器内で起きる誘導ラマン散乱を介したマイクロコム発生の実験について述べている。微小光共振器の共振波長に対する励起光の波長デチューニング量と、微小光共振器への入力光の結合強度を操作すると、波長 1540 nm の光で励起したとき、1652 nm 又は 1666 nm のいずれかに中心波長を持つ、マイクロコムが得られることを明らかにした。この結果は、スペクトル形状が高度に制御できることを示している。 第 6 章では、単一の微小光共振器において、直交した直線偏光を持つ二つの異なる横モードを同時に励起したときの、ソリトン捕捉とデュアルコム発生について、Lugiato-Lefever 方程式を用いた計算結果を示している。二つのモード間で相互位相変調が起きることでソリトン捕捉が起き、相互のモード間で繰り返し周波数の引き込みが生じる。一方で、繰り返し周波数の異なるマイクロコムを、単一微小光共振器を用いて発生する条件も明らかにしており、デュアルコム実現の可能性を示している。 第 7 章では、結論として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、本研究は微小光共振器を用いたマイクロコム発生に関して、非線形光学効果を介した、雑音の軽減、スペクトル形状の制御性の向上、さらにはデュアルコムを実現する新たな手法を示したものであり、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。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5071号	氏 名	保坂 有杜
主論文題名： ファイバ非線形光学を用いたマルチモードスクイズド光の生成に関する研究			
古典計算機を打ち負かす性能をもつ量子コンピュータを実現するためには、大規模なエンタングルメントを生成する技術が不可欠である。光量子情報処理の分野では、2次の非線形光学効果を用いて周波数域に多重生成したスクイズド光を用いてエンタングルメントを大規模化に形成する研究が推し進められている。 本研究ではこれまで検討されていなかった光ファイバ伝搬中の3次の非線形光学効果を用いたスクイズド光の大規模発生に関して理論的に解析し、3次の非線形光学効果によっても同様に周波数域においてスクイズド光を多重化できることを示した。また、正確な数値解析が得られにくい複雑でかつ高い非線形効果を伴う光ファイバ伝搬に関しては、実験によって広帯域スクイズド光パルスの解析を行った。さらに、周波数域で多重化されたスクイズド光パルスを実際の量子計算に応用する方法を新規に提唱した。 第一章では、先行研究を紹介し、本研究の位置づけを行った。 第二章では、本研究に関連した先行研究の理論を単一モードの場合と多モードの場合を対応付けて整理し記述した。 第三章では、実験による光子数スクイズド光の生成を行い、光子数スクイズド光生成における周波数モードの取り扱いの重要性に着目した。これを受けて、ソリトンパルス伝搬を仮定した場合に周波数モード間に形成される光子数相関の解析を行い、最適な実験手法について議論した。 第四章では、光ファイバの非線形伝搬によりスクイズド光パルスが周波数モード間で大規模に生成されることを数値解析とモード解析理論により示した。この結果、入射レーザー波長において0分散を示す高非線形ファイバを用いることで、エルミートガウシアン状のスペクトルをもったスクイズド光パルスが多重生成されることを明らかにした。 第五章では、正確な数値解析が困難な超高非線形ファイバ伝搬の領域における周波数モード間量子相関を実験的に取得し、モード解析により、この場合でもスクイズド光パルスが生成されていることを確認した。 第六章では、周波数域で多重化された量子状態に対して、プログラマブルな線形干渉を引き起こす手法を提唱し、この手法を実現する光学回路の提案と量子シミュレータへの応用を議論した。 第七章では、各章の結果をまとめ、本論文を総括した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5071 号	氏 名	保坂 有杜
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 神成 文彦
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎木 敏治
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 田邊 孝純
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 山本 直樹
学士（工学）、修士（工学）保坂有杜君提出の学位請求論文は、「ファイバ非線形光学を用いたマルチモードスクイズド光の生成に関する研究」と題し、7章から構成されている。 古典計算機に勝る性能をもつ量子計算機を実現するためには、大規模な量子エンタングルメント状態を生成する技術が不可欠である。光量子情報処理の分野では、2次非線形光学効果により周波数域に多重生成したスクイズド光を用いることで量子エンタングルメント状態を大規模に形成する手法が注目されている。本論文の著者は、同様の手法は光ファイバの3次非線形光学効果を用いることによっても実現可能であることに注目し、超短レーザパルスが非線形ファイバ伝搬の過程でその広い周波数帯にスクイズド状態を大規模発生できることを理論的に明らかにした。また、正確な数値解析が得られにくい複雑でかつ高い非線形効果を伴う光ファイバ伝搬の条件においては、実験によって広帯域スクイズド光パルス発生を実証し、その数値解析から理論の妥当性を証明した。さらに、周波数域で多重化されたスクイズド光パルスを実際の量子シミュレータに応用する方法を新規に提案した。 第1章では、本研究の背景および先行研究を紹介し、本研究の目的と意義をまとめている。 第2章では、本研究に用いた理論をシングルモードとマルチモードの場合にそれぞれ対応付けて整理している。 第3章では、光ファイバを用いた光子数スクイズド光パルス発生実験について述べている。フェムト秒レーザパルス全体としての光子数量子揺らぎの評価ではなく、固有周波数モード毎の評価が重要であることを、光子数共分散行列を固有値解析することで明らかにしている。 第4章では、フェムト秒レーザパルスの光ファイバ非線形伝搬により、直交周波数モードのスクイズド光パルスが大規模に生成されることを、直交位相振幅に対するモード解析より明らかにしている。入射レーザ波長において零群速度分散を示す高非線形光ファイバを用いた場合、エルミートガウシアン状のスペクトルをもったスクイズド光パルスを多重生成できることを見出している。 第5章では、数値モデル解析では正確な取り扱いが困難な非線形性が著しく大きい光ファイバ伝搬の条件において、周波数モード間量子相関を実験的に計測し、4章で用いたモード解析により、そのような実験条件においてもスクイズド光パルスモードが多重生成されることを確認している。 第6章では、周波数域で多重化された量子状態に対して、プログラマブルに線形干渉を引き起こす手法を立案し、この手法を実現する光学回路の提案と量子シミュレータへの応用を議論している。 第7章では、各章の結果をまとめ、本論文を総括している。 以上要するに本論文の著者は、光ファイバの3次非線形光学効果を利用して、フェムト秒レーザパルスの直交周波数モードに多重化したスクイズド状態を発生できることを理論解析と実験結果から明らかにし、光量子情報処理において必要な量子エンタングルメント状態の大規模形成に応用できることを明らかにした。この成果は量子光学分野のみならず量子計算を実現する上において、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5072号	氏 名	栗谷 龍彦
主論文題名：			
指向性エネルギー堆積法による Inconel 718 の造形物における空孔に関する研究			
近年、金属のレーザ金属積層への注目が高まっている。いくつかある積層方法の中でも指向性エネルギー堆積法（Directed Energy Deposition：以下、DED）は比較的大きな部品を作製可能ということもあり、航空宇宙産業からの期待が強い。しかし多くの課題が残されており、その中でも積層造形物内部に形成された空孔は機械的強度低下につながるため、これを抑制すること、またその形成メカニズムを明らかにすることは最重要課題のひとつといえる。造形物の空孔に関する研究は盛んに行われているが、積層後に生じた空孔分布の評価や積層プロセスのシミュレーションによる間接的評価が多く、レーザ出力が高いことから直接的な観察を通して空孔形成を検討した例はあまり見られない。そこで本研究では航空宇宙産業で多く用いられるニッケル合金 Inconel 718 を対象とし、造形物における空孔の評価に加え積層プロセスの直接観察を試み、空孔形成の抑制を図ることを目的とした。 第1章では、本研究の背景と従来の研究を概説した。 第2章では、DED の各方式と積層プロセスを述べた。また、造形物の成分や結晶構造、引張強さの評価結果や形成された空孔の特徴を述べ、用いる金属粉末の製造方法や形状についても説明した。加えて、DED の応用例やその他の DED 方式について概説した。 第3章では、積層に用いた加工装置の構成と仕様を述べるとともに、空孔評価のための試料作製方法や用いた実験装置を示した。空孔の評価に関して、空孔率の算出方法、空孔形成の要因を調べるために行った空孔内部のガス分析の方法について述べた。また、積層プロセス観察に用いた高速度カメラ、および温度観察に用いた二色法による温度計測方法について説明した。 第4章では、第3章で述べた加工装置と空孔評価方法を用い、空孔を抑制可能な積層条件を明らかにするために、異なるレーザ出力で作製した造形物内部に形成された空孔の評価を行った。また、実用での積層において複雑形状を造形する場合、送り速度の変化に応じてレーザ出力を調整する必要がある。そこで、異なるレーザ出力での積層において最も空孔率が低かった条件から入力エネルギー密度を算出し、そのエネルギー密度を維持するように送り速度を変化させ造形を行うことで、形成される空孔が抑制できるか調べた。 第5章では、空孔形成の要因を明らかにすることを目的に、造形物内部の空孔内に残存するガス分析を行なった。その結果、シールドガスやキャリアガスであるアルゴンガスが検出された。レーザ出力が高い場合ではシールド切れによる窒化や酸化の影響と思われる大気成分検出された。また、積層プロセス観察のために高速度カメラを用いて観察するとともに、二色法を用いた温度計測によって積層時の温度分布の観察や、熔融から凝固までの時間算出を行い、空孔率との関連を調べ、空孔形成のメカニズムを考察した。 第6章では、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5072 号	氏 名	栗谷 龍彦
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	柿沼 康弘
副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	青山 英樹
	慶應義塾大学教授	工学博士	鈴木 哲也
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	寺川 光洋
学士(工学)栗谷龍彦君提出の学位請求論文は「指向性エネルギー堆積法による Inconel 718 の造形物における空孔に関する研究」と題し、6 章から構成されている。 金属材料の付加製造の中でも指向性エネルギー堆積法(Directed Energy Deposition：以下、DED)は比較的大きな部品を作製可能ということもあり、航空宇宙産業からの期待が高まっている。一方で、造形物内部に形成された空孔は機械的強度低下につながるため、これを抑制すること、またその形成メカニズムを明らかにすることが求められている。本論文の著者は、航空宇宙産業で用いられるニッケル合金 Inconel 718 を対象とし、造形物における空孔の評価に加え積層プロセスの直接観察を試み、空孔形成の抑制について検討している。 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、DED の各方式と積層現象について述べた後、積層物の成分や結晶構造、形成された空孔の特徴を示している。また、用いた金属粉末や DED の応用例についても概説している。 第 3 章では、積層に用いた加工装置の構成と仕様を述べるとともに、空孔評価のための試料作製方法や実験装置を示している。空孔の評価に関して、空孔率の算出方法と空孔内部のガス分析の方法を、積層現象の観察に関して、高速度カメラによる観察方法と温度観察に用いた二色法による温度計測方法をそれぞれ詳説している。 第 4 章では、第 3 章で述べた加工装置と空孔評価方法を用い、空孔を抑制可能な積層条件を明らかにするために、異なるレーザー出力で作製した造形物内部に形成された空孔を評価している。また、複雑形状を造形する場合、送り速度の変化に応じてレーザー出力を調整する必要がある。そこで、異なるレーザー出力での積層において最も空孔率が低かった条件から入力エネルギー密度を算出し、そのエネルギー密度を維持するように送り速度を変化させ造形を行うことで、形成される空孔が抑制できることを明らかにしている。 第 5 章では、空孔形成の要因を明らかにすることを目的に、造形物内部の空孔内に残存するガス分析を行い、レーザー出力が高い場合ではシールド切れによる窒化や酸化が影響することを論じている。また、積層現象観察のために高速度カメラを用いて観察するとともに、二色法を用いた温度計測によって積層時の温度分布の観察や、熔融から凝固までの時間算出を行い、空孔率との関連を調べ、空孔形成のメカニズムを考察している。 第 6 章は結論であり、上記の内容を統括している。 以上要するに、本研究は指向性エネルギー堆積法による Inconel 718 の造形において積層条件と空孔の関係を明らかにし、空孔の抑制や空孔形成メカニズムを推察したものであり、生産加工学分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5073号	氏 名	武末 翔吾
主論文題名：			
高周波誘導加熱微粒子ピーニングシステムを用いた チタン合金の表面改質とその効果発現メカニズム			
近年、身の回りで使用される機械システムは高機能化してきており、それに使用される金属にも高い特性が求められている。チタン合金は比強度と耐食性に優れるため、産業界では幅広く利用されている。しかし耐摩耗性には劣り、それがチタン合金の適用範囲を制限している。金属を高性能化する方法の1つとして、表面処理がある。チタン合金に対して表面処理を施すことにより、耐摩耗性を向上させることは、工業的には極めて有意義と考えられる。 本研究では、最近開発した高周波誘導加熱微粒子ピーニングシステムを用いて、チタン合金に対して、ガスブローIH窒化と雰囲気制御高周波誘導加熱微粒子ピーニング(AIH-FPP)処理を施し、処理による表面改質効果をまず明らかにした。次に、改質効果の発現メカニズムについて検討・考察を加えた。 第1章では、本研究の背景と従来の研究成果をまとめ、本研究の目的について述べた。 第2章では、ガスブローIH窒化の改質効果と短時間で改質が実現されるメカニズムについて検討した。その結果、ガスブローIH窒化の場合には数分間の短時間処理に関わらず、数時間を要する一般的なガス窒化と同等な窒化層が形成されることが明らかになった。これは、ガスブローIH窒化の場合には、被処理材内部が高温化すること、高周波電流による電氣的影響が発生すること、処理中に不動態被膜が消失することが原因であることを明らかにした。 第3章では、ガスブローIH窒化を施したチタン合金の耐摩耗性と疲労特性について検討した。その結果、高温で処理を施すことにより、チタン合金の耐摩耗性は向上することが明らかになった。これは、表面に高硬さの窒素化合物層が形成されるためである。しかしながら、高温での処理により結晶粒が粗大化し、その結果、疲労強度は低下することが明らかになった。 第4章では、チタン合金のガスブローIH窒化挙動に及ぼすガス流速の影響を検討した。その結果、ガス流速を上昇させることにより、チタン合金の窒化が促進されることが明らかになった。これは、被処理材内部の高温化と高周波電流による電氣的影響がより顕著になり、窒素の拡散が促進されるためである。またこの処理により、ガスブローIH窒化の低温化が実現できることを示した。 第5章では、ガスブローIH窒化の前処理としての微粒子ピーニング(FPP)の導入について検討した。その結果、前処理としてFPPを施すことにより、ガスブローIH窒化を低温で施した場合でも、チタン合金の耐摩耗性が向上することが明らかになった。これは、前処理として施したFPPにより、被処理面の結晶粒が微細化されるためであることを明らかにした。 第6章では、AIH-FPP処理により、チタン合金の表面にTi-Al金属間化合物を創成することを試みた。その結果、高速度工具鋼と純アルミニウムの粒子をメカニカルミリングすることにより作製した粒子を投射することで、チタン合金の表面にTi-Al金属間化合物層が創成できることが明らかになった。これは、投射粒子に含有されるアルミニウムが被処理面に移着し、それが基材内部へ拡散するためである。 第7章では、AIH-FPP処理により、より厚いTi-Al金属間化合物被膜を創成し、チタン合金の耐摩耗性と耐高温酸化性を向上させることを試みた。その結果、純チタン、純アルミニウム、純ニッケルの粒子をメカニカルミリングすることにより作製した粒子を投射することで、被処理面において燃焼合成反応が生じ、厚く緻密で高硬さを有するTi-Al金属間化合物被膜が創成されること、その結果、チタン合金の耐摩耗性と耐高温酸化性が向上することを明らかにした。 第8章では、各章で得られた結果をまとめ、本研究の結論を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5073 号	氏 名	武末 翔吾
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 小茂鳥 潤
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 志澤 一之
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 大宮 正毅
		慶應義塾大学教授	工学博士 鈴木 哲也
		静岡大学准教授	博士（工学） 菊池 将一
学士（工学）、修士（工学）武末翔吾君提出の学位請求論文は「高周波誘導加熱微粒子ピーニングシステムを用いたチタン合金の表面改質とその効果発現メカニズム」と題し、8章からなっている。 チタン合金は比強度が高く耐食性にも優れることから、産業界では幅広く利用されている。しかし耐摩耗性には劣り、それがチタン合金の適用範囲を制限している。この点を解決するために、様々な表面改質法が提案されその一部は実用化されているが、プロセスが複雑なものが多く必ずしも十分とは言えない。そこで本論文では、ガスブロー高周波誘導加熱（Induction heating：IH）窒化と雰囲気制御高周波誘導加熱微粒子ピーニング（Atmospheric-controlled induction heating fine particle peening：AIH-FPP）処理を提案し、これらのもたらす表面改質効果をまず明確にしたうえで、効果発現メカニズムについて学術的観点から検討を加えている。 第1章は緒論であり、本論文の背景と従来の研究成果をまとめ、研究の目的を明確にしている。 第2章では、提案したガスブローIH窒化の場合には、数分間の処理にも関わらず、数時間を要する一般のガス窒化に匹敵する窒化層が形成されることを明らかにし、その要因を検討している。 第3章では、ガスブローIH窒化を施したチタン合金の耐摩耗性と疲労特性について検討している。その結果、この処理によりチタン合金の耐摩耗性が向上すること、その要因は、表面に高硬さの窒素化合物層が形成されるためであることを明らかにしている。 第4章では、チタン合金のガスブローIH窒化挙動に及ぼすガス流速の影響を検討している。その結果、ガス流速の上昇に伴い、チタン合金の窒化が促進されることを明らかにしている。またその原因は、ガス流速を上昇させることにより、被処理材内部の高温化と高周波誘導電流による電氣的影響がより顕著になり、窒素の拡散が促進されるためであると結論づけている。 第5章では、ガスブローIH窒化の前処理としてのFPPを導入し、その効果により、処理温度を低下させた場合でも、チタン合金の耐摩耗性が向上することを明らかにしている。これは、前処理として施したFPPにより、被処理面の結晶粒が微細化され窒素の拡散が促進するためであることを述べている。 第6章では、AIH-FPP処理によりチタン合金の表面にTi-Al金属間化合物を創成することを試みている。その結果、高速度工具鋼と純アルミニウムをメカニカルミリングすることにより作製した粒子を投射することで、チタン合金の表面にTi-Al金属間化合物層が創成できることを明らかにしている。これは、投射粒子に含有されるアルミニウムが被処理面に移着し、それが基材内部へ拡散するためであると結論づけている。 第7章では、より厚いTi-Al金属間化合物被膜を創成し、チタン合金の耐摩耗性と耐高温酸化性を向上させることを試みている。その結果、純チタン、純アルミニウム、純ニッケルをメカニカルミリングすることにより作製した粒子を投射することで、被処理面において燃焼合成反応が発生し、厚く緻密で高硬さのTi-Al金属間化合物被膜が創成されること、その効果により、チタン合金の耐摩耗性と耐高温酸化性が向上することを明らかにしている。 第8章では、各章で得られた結果をまとめ、本研究の結論を述べている。 以上要するに本論文は、高周波誘導加熱を活用した新しい表面改質プロセスを提案することにより、チタン合金の表面特性を向上させることが可能なことを示したものである。その成果は、材料工学分野において、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.5074	Name	Nurul Ashikin Binti Daud
Thesis Title Silicon photonic crystal nanocavity modulator and receiver fabricated by photolithography Silicon (Si) photonics is considered a promising candidate as a key technology with which to develop optical interconnects due to the mature state of nanofabrication, together with the unique characteristics of Si, namely a high refractive index and a low absorption loss at telecom wavelengths, thus offering the advantage of confining light in a tiny device on a chip. Today, researchers are working towards accomplishing complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) compatible fabrication, which will allow Si photonic devices to be commercialized. On the other hand, Si photonic crystal (PhC) has been attracting a lot of attention since it enables us to devise high-Q nanocavities with a small mode volume. This feature has facilitated various functional operations at a very low power. Hence, the integration of a Si PhC with Si photonics will allow us to expand the functionality of Si photonic systems. Although it is often claimed that existing Si PhC devices are compatible with CMOS and Si photonics, several challenges need to be met before integration is achieved. This thesis discusses the fabrication of CMOS compatible high-Q Si PhC nanocavities and studies the functionality of these devices. CMOS compatible fabrication allows the devices to be easily integrated with heaters and <i>p-i-n</i> diode structures, and this enables us to demonstrate integrated optical modulator and receiver operation at a very low power. Chapter 1 describes the background and motivation of this study. It reviews current Si photonics and Si PhC technologies. Chapter 2 presents the theory. It describes the principle of the photonic bandgap and the formation of a nanocavity in a PhC. The design strategy for achieving a high-Q PhC nanocavity is described. Chapter 3 presents the fabrication process of the PhC device with the integration of a <i>p-i-n</i> diode structure. A very high Q of 2.2×10^5 is achieved with a <i>p-i-n</i> integrated Si PhC nanocavity that is fabricated photolithographically and has a SiO₂ clad structure. Chapter 4 reports the demonstration of a PhC nanocavity device as an electro-optic modulator by injecting a carrier into a <i>p-i-n</i> diode. Refractive index modulation is demonstrated via the carrier plasma dispersion effect with a modulation voltage of 1.0 V at a speed of 0.35 GHz. Chapter 5 reports the demonstration of a PhC nanocavity device as a photoreceiver with the help of two-photon absorption. A small dark current of 38 pA with a minimum detectable power of 10 μW is obtained. Chapter 6 describes a transmittance experiment using a Si PhC nanocavity modulator and receiver. This demonstration shows that an all-silicon transmission link is achievable. Chapter 7 summarizes the content of each chapter and concludes the thesis.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5074 号	氏 名	Nurul Ashikin Binti Daud
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	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	木下 岳司
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	久保 亮吾
	慶應義塾大学教授	工学博士	山中 直明
学士（工学）、修士（工学） Nurul Ashikin Binti Daud 君提出の学位論文は「Silicon photonic crystal nanocavity modulator and receiver fabricated by photolithography」（フォトリソグラフィで作製したシリコンフォトニック結晶ナノ共振器変調器と受光器）と題し、7 章から構成されている。 シリコンチップ上に光回路を集積する技術であるシリコンフォトンクスを用いると、エレクトロニクス分野で発展した高度な作製技術を利用できることに加えて、通信波長帯の光に対してシリコンが高い屈折率と小さな光吸収を有するため、優れた性能の微小光学素子が得られる。その結果、当該技術は光インターコネクトの要素技術になるものと目されている。近年では、シリコンフォトンクス素子の大量生産につながる、CMOS(complementary metal-oxide-semiconductor) 互換での作製技術に関する研究開発が精力的になされている。 一方で、シリコンフォトニック結晶を用いると、微小な空間に強く光を閉じ込められる高 Q 値微小光共振器を作製できる。高 Q 値微小光共振器では、小さなパワーで動作する機能素子が実現できることが知られている。したがって、シリコンフォトニック結晶をシリコンフォトンクス素子と集積することで、シリコンチップ上の、光回路の機能性をさらに高めることができる。しかし従来のシリコンフォトニック結晶では、作製手法も構造も CMOS 互換性が低い光機能素子しかなかった。 そこで本論文では、CMOS 互換性の高い作製手法と構造を用いて、高 Q 値シリコンフォトニック結晶微小光共振器を作製し、その機能動作を検証することを目的としている。CMOS 互換性の高いプロセスを用いることで、ヒータや PIN 接合構造との集積を可能とし、小さなパワーで動作する電気光変調器や光検出器を作製し、その特性を明らかにしている。 第 1 章では、研究の背景と目的を述べている。現在のシリコンフォトンクスとシリコンフォトニック結晶技術について概説し、それぞれの分野における課題を明らかにしている。 第 2 章では、フォトンニックバンドギャップやフォトンニック結晶微小光共振器の基礎理論について説明している。また、高 Q 値微小光共振器の設計手法についても示し、作製した素子の基礎特性について述べている。 第 3 章では、PIN 接合構造を集積した、CMOS 互換シリコンフォトニック結晶微小光共振器の作製方法とその光学特性を示している。フォトリソグラフィを用いて作製した、シリカクラッド構造を有するシリコンフォトニック結晶微小光共振器において、PIN 接合構造を集積しても 2.2×10^5 の高 Q 値が得られることを明らかにしている。 第 4 章では、PIN 接合構造を集積したフォトンニック結晶微小光共振器素子に、キャリアを注入することで電気光変調を実現した実験について説明している。キャリアプラズマ効果によって屈折率を変調できるので、1.0 V の電圧振幅を持つ信号を印加すると、0.35 GHz の速度で動作する電気光変調器が実現できることを示している。 第 5 章では、二光子吸収を用いた光受光器動作について報告している。全シリコン製の素子であるので、38 pA の小さな暗電流が実現でき、検出可能な光パワー 10 μW が達成されている。 第 6 章では、シリコンフォトニック結晶微小光共振器による電気光変調器と光受光器の二つを同時に用いて行った、光伝送実験について示している。この実証実験によって全シリコン光回路素子による伝送リンクが実現できることが示されている。 第 7 章では、結論として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、本研究はフォトンニック結晶工学分野において、CMOS 互換性の高い素子を用いても機能動作が実現できることを示したものであり、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5075号	氏名	上森 寛元
主論文題名： Development of an in vitro neurovascular unit model by on-chip tissue engineering (オンチップ組織工学による生体外 Neurovascular Unit モデルの開発)			
Neurovascular Unit (NVU) とは、主にニューロン、アストロサイトなどのグリア細胞、ペリサイトを伴う微小血管、細胞外マトリクスから成る概念的な構成単位である。このことは、神経変性疾患に対する治療戦略としてニューロンのみに着目するのではなく、周辺の細胞との相互作用の調査を行うことの重要性を示唆している。NVU における微小血管には血液脳関門という脳血管特有のバリア機能があり、ニューロンに対する薬剤の供給を制限する。これまで血液脳関門の機能について多くの研究が行われてきたが、生体外の脳血管モデルは生体内の環境との乖離があり、いまだに NVU の 3 次元生体外モデルは実現していない。そこで本研究では、マイクロ流体デバイスという細胞の 3 次元培養が可能なチップを用いて、神経幹細胞と脳の血管内皮細胞を培養し、生体外 NVU モデルを構築することを目的とした。 第 1 章に、本研究に関する基礎事項、従来の研究、本研究の目的を概説した。 第 2 章に、本研究で用いた試薬類や実験手法などについてまとめて述べた。 第 3 章では、まず NVU の中の微小血管のみに着目し、生体外血管新生モデルの確立のために行った実験について述べた。特に血管内皮細胞の臓器特異性について着目し、脳血管内皮細胞およびヒト臍帯静脈内皮細胞を用いてそれぞれ微小血管網の構築を行い、その構築プロセス、血管バリア機能の評価、血管内皮細胞のジャンクションタンパク群の発現評価などを行った。その結果、生体外脳血管新生モデルを確立するとともに、脳血管において血管バリア機能が優れていることを見出した。 第 4 章では、生体外 NVU 構造の構築を目指し、血管新生モデルと神経新生モデルの統合を試みた。まず、脳血管内皮細胞と間葉系幹細胞の共培養によって血管新生を誘導できるような細胞培養条件を検討した。次に、その培養条件下で神経幹細胞を培養し、3 次元的な神経網形成を誘導することに成功した。さらに、血管新生と組み合わせることで、神経網および微小血管からなる神経・血管組織の構築に成功した。 第 5 章では、第 4 章で述べた培養系を長期培養にすることにより、神経網と微小血管に加えアストロサイトを含んだ NVU 様組織の構築に必要な培養条件を検討した。長期培養によって神経幹細胞からアストロサイトへの分化誘導が確認され、神経・血管・アストロサイトを含む組織の構築に成功したが、生体内の模擬のため、さらなる検討が必要であることが示唆された。 第 6 章に、結論として各章の内容をまとめて研究成果を要約し、今後の展望について述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5075 号	氏 名	上森 寛元
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 須藤 亮
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡 浩太郎
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 田口 良広
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 尾上 弘晃
		ハーバード大学准教授	博士（薬学） 荒井 健

学士（工学）、修士（工学）上森寛元君提出の学位請求論文は「Development of an in vitro neurovascular unit model by on-chip tissue engineering」（オンチップ組織工学による生体外 Neurovascular Unit モデルの開発）と題し、6 章から構成されている。

Neurovascular Unit (NVU) とは、主にニューロン、アストロサイトなどのグリア細胞、ペリサイトを伴う微小血管、細胞外マトリクスから成る概念的な構成単位である。このことは、神経変性疾患に対する治療戦略としてニューロンのみに着目するのではなく、周辺の細胞との相互作用の調査を行うことの重要性を示唆している。NVU における微小血管には血液脳関門という脳血管特有のバリア機能があり、ニューロンに対する薬剤の供給を制限している。これまで血液脳関門の機能について多くの研究が行われてきたが、生体外の脳血管モデルは生体内の環境との乖離があり、いまだに NVU の 3 次元生体外モデルは実現していない。そこで本論文の著者は、マイクロ流体デバイスという細胞の 3 次元培養が可能なチップを用いて、神経幹細胞と脳の血管内皮細胞を培養し、生体外 NVU モデルを構築することを目的としている。

第 1 章では、本研究に関する基礎事項、従来の研究、本研究の目的を概説している。

第 2 章では、本研究で用いた試薬類や実験手法などについてまとめて述べている。

第 3 章では、まず NVU 中の微小血管のみに着目し、生体外血管新生モデルを確立するために行った実験について述べている。特に血管内皮細胞の臓器特異性について着目し、脳血管内皮細胞およびヒト臍帯静脈内皮細胞を用いてそれぞれ微小血管網を構築し、その構築プロセス、血管バリア機能の評価、血管内皮細胞のジャンクションタンパク群の発現評価などを行っている。その結果、生体外脳血管新生モデルを確立するとともに、脳血管において血管バリア機能が優れていることを見出している。

第 4 章では、生体外 NVU 構造の構築を目指し、血管新生モデルと神経新生モデルの統合を試みている。まず、脳血管内皮細胞と間葉系幹細胞の共培養によって血管新生を誘導できるような細胞培養条件を検討している。次に、その培養条件下で神経幹細胞を培養し、3 次元的な神経網の形成を誘導することに成功している。さらに、血管新生と組み合わせることで、神経網および微小血管からなる神経・血管組織の構築に成功している。

第 5 章では、第 4 章で述べた培養系を長期培養に拡張することによって、神経網と微小血管に加えアストロサイトを含んだ NVU 様組織の構築に必要な培養条件を検討している。長期培養によって神経幹細胞からアストロサイトへの分化誘導が確認され、神経・血管・アストロサイトを含む組織の構築に成功したが、生体内を模擬するためには、さらなる検討が必要であることが示唆されている。

第 6 章では、結論として各章の内容をまとめて研究成果を要約し、今後の展望について述べている。

以上要するに、本研究は生体外で NVU を構成する毛細血管網を再構築するうえで血管内皮細胞の臓器特異性を考慮することが重要であることを示し、さらに、血管内皮細胞・間葉系幹細胞・神経幹細胞の培養条件を検討することでチップ上に NVU 構造を構築するための細胞の自己組織化が誘導されることを明らかにしたもので、3 次元組織工学分野において、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5076号	氏 名	鎌田 慎
主 論 文 題 名：			
光誘起誘電泳動を用いた拡散係数測定デバイスと極微量分析プラットフォームの開発			
ナノサイズ試料の拡散係数測定では、試料サイズや相互作用などを分析できる。それゆえ、液中に分散したナノサイズ試料を短時間・微量・前処理不要で測定する小型拡散測定デバイスは、工業プロセスにおけるナノ材料の迅速なインライン評価や、希少なバイオ医薬品の凝集評価、バイオマーカー等の微量検体における分子間相互作用の迅速かつ網羅的な分析などで活躍が期待される。本研究では、光誘起誘電泳動を利用した拡散係数測定デバイスを提案し、数秒以内かつ前処理不要な測定を達成するセンシング技術の開発を行った。また、極微量拡散センシングを実現するマイクロ流体システムを提案し、pL 液滴に分散したナノサイズ試料に対してレーザ誘起誘電泳動により縞状濃度分布を励起した。その結果 pL オーダ多検体連続分析プラットフォームの実現に至った。 第1章では、ナノサイズ試料を高速かつ微量で分析する小型拡散センサの必要性を紹介し、従来研究および本研究の目的を概説した。 第2章では、光誘起誘電泳動を用いた濃度分布形成による、数秒以内かつ前処理不要な拡散係数測定を実現する測定手法を提案した。誘電泳動を励起可能な光導電膜のインピーダンス条件を明らかにし、マイクロスケール縞状濃度分布が形成される光誘起誘電泳動の原理を示した。また、回折による光学的な拡散係数測定原理を示した。 第3章では、光誘起誘電泳動を用いた拡散係数測定デバイス開発にあたり、スパッタ成膜水素化アモルファスシリコンを光導電膜として利用することを提案した。スパッタ成膜光導電膜の可視光および赤外光吸収特性を評価し、成膜温度による膜内水素結合状態の変化および、電気的特性の変化について明らかにした。数値解析によって流路内二乗電界強度勾配を推算し、デバイスを設計・作製した。 第4章では、作製したデバイスを用いて、光誘起誘電泳動によるナノサイズ粒子のマイクロスケール縞状濃度分布形成に成功した。これにより、スパッタ成膜光導電膜の光誘起誘電泳動への適用性を示した。さらに、粒子径標準試料の測定及び不確かさ評価から、提案手法の拡散係数測定デバイスとしての妥当性を確認した。 第5章では、pL オーダ拡散係数測定を実現する極微量分析プラットフォームを提案した。マイクロ流体送液システムによって pL の液滴を形成し、分散させたナノサイズ粒子に対して光誘起誘電泳動を励起し、縞状濃度分布を形成した。これにより、ナノサイズ粒子の極微量拡散係数測定を実現した。さらに、構築したプラットフォームにおいて、pL オーダ連続多サンプル拡散センシングを実証し、極微量多検体連続分析への適用性を示した。 第6章に、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果と今後の展望について要約した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5076 号	氏 名	鎌田 慎
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 田口 良広
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 長坂 雄次
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 佐藤 洋平
		慶應義塾大学専任講師	Ph. D. 安藤 景太
学士（工学）、修士（工学）鎌田慎君提出の学位請求論文は「光誘起誘電泳動を用いた拡散係数測定デバイスと極微量分析プラットフォームの開発」と題し、6章から構成されている。 材料分野や創薬分野において前処理を行わずにナノサイズ試料の拡散係数を短時間かつ極微量で分析する新しいセンシング手法が要求されている。本論文の著者は、スパッタ成膜水素化アモルファスシリコンに着目し、光誘起誘電泳動によって形成された縞状の濃度分布を光学的にセンシングする拡散係数測定デバイスと pL オーダ多検体連続分析プラットフォームを提案・実証している。 第 1 章では、従来の拡散係数測定方法ならびに光誘起誘電泳動技術を概説するとともに、本研究の目的と測定意義を述べている。 第 2 章では、光誘起誘電泳動を用いた拡散係数測定デバイスを提案している。光導電膜に 2 光束干渉レーザを照射することで縞状の濃度分布を形成する光電子ピンセット技術の原理を説明しており、光導電膜に要求されるインピーダンス特性を明らかにしている。また、縞状濃度分布の過渡的な物質輸送過程を光学的にセンシングする原理について述べている。 第 3 章では、拡散係数測定デバイスに適した光導電膜の成膜方法を提案している。反応性 RF マグネトロンスパッタ装置の雰囲気ガスであるアルゴンに反応性ガスとして水素を混合し、水素化アモルファスシリコンを成膜している。室温から 300℃まで成膜温度を変化させた際の光学特性ならびに構造特性の成膜温度依存性について、ラマン分光分析、分光エリプソメトリおよびフーリエ変換赤外分光分析を用いて明らかにしている。また、成膜した水素化アモルファスシリコン薄膜上にコプラナ型のマイクロ電極を微細加工技術により作製し、光導電率を評価している。測定結果に基づく数値解析によって、拡散係数測定デバイスの形状デザインを決定している。 第 4 章では、粒子直径標準ポリスチレンビーズ分散液を用いて、拡散係数測定デバイスの妥当性を検証している。粒子直径が 51 nm, 100 nm, 203 nm, 216 nm および 240 nm の 5 種類のナノサイズ試料の拡散係数をデバイスを用いて測定し、測定の不確かさを評価している。合成標準不確かさは最小で 2.0%, 最大で 8.4% であり、粒子界面の電荷の作用に起因して Stokes-Einstein 式を用いた推算値と比較して偏差が生じることを明らかにしている。 第 5 章では、pL オーダ拡散係数測定を実現する極微量分析プラットフォームを提案している。マイクロ流体送液システムにより 300 pL 程度の液滴試料を形成し、光誘起誘電泳動により pL 液滴内に縞状濃度分布の励起に成功している。光誘起誘電泳動により液滴の水・油界面が縞状に変形しノイズの原因になることを確認するとともに、ノイズを低減する励起条件を明らかにしている。内包するナノサイズ試料が交互に異なる pL 液滴列を形成し、多検体連続分析が可能であることを実験的に明らかにし、提案するプラットフォームの妥当性を確認している。 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、本研究はスパッタ成膜水素化アモルファスシリコンを用いることによってナノサイズ試料の拡散係数を高速にセンシング可能であることを明らかにし、pL オーダの極微量分析プラットフォームの実現可能性を示したものであり、マイクロ熱流体デバイス分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5077号	氏 名	簗崎 勝也
主論文題名： エッジ修飾グラフェンナノリボンの電気的特性に対する エッジ欠陥効果の第一原理計算解析			
炭素の六角格子構造を持つ単原子シートであるグラフェンは、優れた導電性やスピ ン輸送効率からエレクトロニクスデバイス応用のための次世代材料として期待が持た れている。これをナノメートル幅にしたグラフェンナノリボン(GNR)においてはエッ ジ部の炭素が他の原子によって修飾されており、その代表例として水素原子や酸素原 子が挙げられる。水素修飾 GNR の電気的特性については欠陥の影響も含めて既に数多 くの研究が行われており、微細配線やスピントロニクスなどへの応用が期待されてい る。これに対して、酸素修飾時の電気的特性についてはバルク状態でこそ調べられて おり、配線応用やスピントロニクス応用について期待できる結果が報告されているも のの、デバイス特性について、特に電子輸送特性への欠陥の影響については、小さな 単一の欠陥を対象としたものでさえ報告されていない。本研究はこの酸素修飾 GNR(O-GNR)に対する欠陥の影響について第一原理計算を用いて解析を行うことによ って、O-GNR のデバイス応用可能性に関して議論を行った。 第1章では、研究背景として電子デバイスの現状及び GNR の研究状況について言及 して、本研究の目的を示した。 第2章では、本研究で用いた密度汎関数法を基にした第一原理計算の理論及び計算 モデルについて、説明を行った。 第3章では、zigzag 型のエッジ形状を持った O-GNR(O-ZGNR)に単一の欠陥を入 れた場合の電子輸送特性への影響について、計算結果及び考察を述べた。O-ZGNR は金 属的なバンドを持っており、ここに欠陥を入れた場合、エネルギーに依存して欠陥の 影響の有無が変化する。この欠陥の影響におけるエネルギー依存性は、酸素修飾によ ってエッジ付近に偏って存在する電子状態が生じたことに起因することを示した。ま た、本章での結果から、O-ZGNR にはナノスケールエレクトロニクスにおける微細配 線としての応用可能性があることを示した。 第4章では、armchair 型のエッジ形状を持った O-GNR(O-AGNR)に単一の欠陥を入 れた場合の電子輸送特性への影響について、計算結果及び考察を述べた。まず、 O-AGNR の平面構造において、対向するエッジ間で反平行なスピンの状態がそれぞれのエ ッジ付近に集中している状態を、フェルミエネルギー近傍にて有していることが明らか となった。ここに単一の欠陥を導入することによってスピン流が生じ、化学ポテンシ アルを与えた状態でのアップスピンとダウンスピンの電流値を比較すると、最大で 10^6 程度の差が生じることを示した。また、本章での結果から、O-AGNR にはスピントロ ニクスへの応用可能性があることを示した。 第5章では、結論として各章で述べた内容をまとめ、本研究について要約した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5077 号	氏 名	藪崎 勝也
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学准教授 博士（工学） 野田 啓			
副査 慶應義塾大学教授 博士（工学） 斎木 敏治			
慶應義塾大学教授 博士（工学） 内田 建			
慶應義塾大学准教授 博士（工学） 牧 英之			
学士（工学）、修士（工学） 藪崎勝也君提出の学位請求論文は「エッジ修飾グラフェンナノリボンの電気的特性に対するエッジ欠陥効果の第一原理計算解析」と題し、5章から構成されている。 炭素の六角格子構造を持つ単原子シートであるグラフェンは、優れた導電性やスピン輸送効率からエレクトロニクスデバイス応用のための次世代材料として期待が持たれている。これをナノメートル幅にしたグラフェンナノリボン（graphene nanoribbon：GNR）においてはエッジ部の炭素が他の原子によって修飾されており、その代表例として水素原子や酸素原子が挙げられる。水素修飾 GNR の電気的特性については欠陥の影響も含めて既に数多くの研究が行われている。一方、酸素修飾 GNR の電気的特性についてはバルク状態でこそ調べられているものの、デバイスにおける電子輸送特性への欠陥の影響については、小さな単一の欠陥を対象としたものでさえ報告例がない。本研究では、この酸素修飾 GNR（O-GNR）の電気的特性に対する欠陥の影響について第一原理計算を用いて解析を行うことによって、O-GNR の微細配線やスピントロニクスへの応用可能性に関して議論を行っている。 第1章では、研究背景としてナノカーボン材料や GNR の研究状況、並びに GNR におけるエッジ欠陥効果に関する研究動向について言及して、本研究の目的を示している。 第2章では、本研究で用いた密度汎関数法を基にした第一原理計算の理論及び計算モデルについて、説明を行っている。 第3章では、zigzag 型のエッジ形状を持った O-GNR（O-ZGNR）に単一の欠陥を入れた場合の電子輸送特性への影響について、計算結果及び考察を述べている。O-ZGNR は金属的なバンドを持っており、ここに欠陥を入れた場合、エネルギーに依存して欠陥の影響の有無が変化する。この欠陥の影響におけるエネルギー依存性は、酸素修飾によってエッジ付近に偏って存在する電子状態が生じたことに起因することを示している。また、本章での結果は、O-ZGNR にはナノスケールエレクトロニクスにおける微細配線としての応用可能性があることを示している。 第4章では、armchair 型のエッジ形状を持った O-GNR（O-AGNR）に単一の欠陥を入れた場合の電子輸送特性への影響について、計算結果及び考察を述べている。まず、O-AGNR の平面構造において、対向するエッジ間で反平行なスピンのそれぞれのエッジ付近に集中している状態を、フェルミエネルギー近傍にて有していることを明らかにしている。ここに単一の欠陥を導入することによってスピン流が生じ、化学ポテンシャルを与えた状態でのアップスピンとダウンスピンの電流値を比較すると、最大で 10^6 程度の差が生じることを示している。これはスピントラッキング効率がほぼ 100%であることを意味し、スピントロニクスへの応用可能性があることを示している。 第5章では、結論として各章で述べた内容をまとめ、本研究について要約し、展望を述べている。 以上要するに、本研究は酸素修飾グラフェンナノリボンの電子状態や電子輸送特性におけるエッジ欠陥効果を理論的に調査したものであり、各エッジ形状の O-GNR がそれぞれ、ナノデバイス配線やスピントロニクス向け電子材料として有望であることを示しており、ナノ材料工学や電子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 5078 号	氏 名	大澤 友紀子
主 論 文 題 名 : Modeling and Control of Heat Conduction System Based on Spatial Information (空間情報に基づく熱伝導システムのモデリングと制御)			
離れた人と人をつなぐ超臨場感コミュニケーションの実現に向けて多くの研究が行われてきた。中でも触覚情報を扱う研究は多くなされ、力触覚に関しては人工再現技術が確立された。力触覚に続く感覚情報として、近年温熱感覚が注目を集めており、熱電変換素子を用いた制御手法が数多く提案されてきている。しかしながら、従来のヒューマンインタフェースに関する研究の多くは、熱の拡散現象まで考慮した設計は行われていないため、熱源近傍での呈示にとどまり、性能向上にあたり限界があった。すなわち、制御設計面においても集中定数系に基づく手法が一般的であり、時間と空間を考慮した熱拡散の再現までは行われていなかった。そこで本論文では、空間情報を考慮した熱伝導システムのモデリングおよび制御手法の提案を行った。具体的には、空間上で制御する温度や熱流の割合を空間的制御熱コンダクタンスとして新たに定義し、温熱感覚呈示の機能性を向上させるための制御系設計手法を示した。 第 1 章では、本研究の背景および目的について関連研究を交えて説明した。 第 2 章では、空間的制御熱コンダクタンスという新しい制御指標を定義し、外部から流入する熱流に対する温度の感度と空間情報の関係性を示した。 第 3 章では、1 つの熱源を用いた熱伝導システムのモデリングならびに制御手法を提案した。まず、集中定数系に基づき制御対象を有限個の熱容量を持つ系としてモデル化し、外部からの接触点に追従して温度制御を行う手法を提案した。さらに、この手法を空間上の任意の点で制御熱コンダクタンスを変化させる制御系設計手法として拡張を行った。次に、これらの制御系設計手法を分布定数系に適用するとともに、制御対象を減衰要素と遅延要素を用いてモデル化を行う手法についても新たに提案を行った。 第 4 章では、2 つの熱源を用いた熱伝導システムの制御手法について示した。第 3 章での理論を拡張し、集中定数系に基づくモデルに対しては、2 点の接触点に追従して熱コンダクタンスの値を変化させる手法について検証を行った。さらに、分布定数系に基づくモデルに対しては、空間上の任意の 2 点の温度制御について設計法を示した。 第 5 章では、多数の熱源を用いた熱伝導システムの制御手法を提案した。熱源間に仮想の熱伝導現象を作り出し、有限個の熱源で空間的に連続な温熱感覚を呈示する手法を提案した。また装着型の温熱感覚呈示グローブを開発し、指先間での双方向熱伝導制御について示した。さらに指先の温熱感覚呈示においては、熱源を 4 個用いた際の熱伝導制御手法を提案した。ここでは、第 3 章で提案した一次元の熱拡散方程式に基づく制御手法を応用し、二次元平面モデルへの理論の拡張を行った。さらに各提案手法において、空間的制御熱コンダクタンスの指標に基づき、実験により比較検討を行った。 第 6 章では、本研究の成果を要約し、結論とともに展望を述べた。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5078 号	氏 名	大澤 友紀子
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学 准教授 博士（工学） 桂 誠一郎			
副査 慶應義塾大学 教授 工学博士 大森 浩充			
慶應義塾大学 准教授 博士（工学） 田口 良広			
慶應義塾大学 教授 博士（工学） 斎藤 英雄			
学士（工学）、修士（工学）大澤友紀子君提出の学位請求論文は「Modeling and Control of Heat Conduction System Based on Spatial Information」（空間情報に基づく熱伝導システムのモデリングと制御）と題し、6章から構成されている。 高速・広帯域通信網の整備とともに、離れた人と人をつなぐ超臨場感コミュニケーションの実現に向けて多くの研究が行われてきた。中でも触覚情報を扱う研究は多くなされ、力触覚に関しては人工再現のための制御技術が確立されている。力触覚に続く感覚情報としては、温熱感覚の呈示が注目を集めており、熱電変換素子を用いたヒューマンインタフェースが数多く提案されてきている。しかしながら、従来研究では制御設計において熱の拡散現象まで考慮されていないため、熱源近傍での感覚呈示にとどまっていた。すなわち、制御設計面において集中定数系に基づく手法が一般的であり、時間と空間の双方を考慮した熱拡散の再現までは行われていなかった。本論文では上記に鑑み、空間情報を考慮した熱伝導システムのモデリングおよび制御手法を提案している。 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、空間上で制御する温度や熱流の割合を空間的制御熱コンダクタンスとして新たに定義し、温熱感覚呈示の機能性を向上させるための制御系設計の枠組みを示している。 第3章では、1つの熱源を用いた熱伝導システムのモデリングならびに制御手法を提案している。まず、集中定数系に基づき、制御対象を有限個の熱容量を持つ系としてモデル化し、外部からの接触点を推定し温度制御を行う手法を提案している。さらにこの制御手法を拡張し、空間上の任意の点で制御熱コンダクタンスを変化させることが可能になることを示している。次に、これらの制御系設計手法を分布定数系に適用するとともに、一次元の熱拡散方程式に基づいて制御対象を減衰要素と遅延要素を用いてモデル化する手法を示し、実験により有効性の確認を行っている。 第4章では、2つの熱源を用いた熱伝導システムの制御手法について示している。第3章での理論を拡張し、集中定数系に基づくモデルに対しては、2点の接触点に追従して熱コンダクタンスの値を変化させる手法について検証を行っている。さらに、分布定数系に基づくモデルに対しては、空間上の任意の2点の温度制御について設計法を示し、双方の有効性を実験により示している。 第5章では、多数の熱源を用いた熱伝導システムの制御手法の提案ならびにヒューマンインタフェースへの応用を示している。1つ目の応用例が装着型の温熱感覚呈示グローブである。指先に4個の熱源を導入し、双方向温度制御を構成することで、遠隔地からの温熱感覚呈示を可能にしている。2つ目の応用例は温熱感覚呈示ディスプレイである。第3章で提案した制御手法を応用し、熱拡散現象の二次元平面モデル構築に向けた理論面での拡張を行っている。熱源間に仮想的に熱伝導現象を作り出すことで、有限個の熱源で空間的に連続な温熱感覚を呈示する手法を提案している。さらにそれぞれの応用例において、空間的制御熱コンダクタンスの指標に基づき、実験により評価を行っている。 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、本論文では熱拡散現象を考慮した熱伝導システムのモデリングならびに制御系設計の方法論を明らかにするとともに、新たなヒューマンインタフェース創出に向けて理論と実験の双方からその有効性を実証しており、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 5079 号	氏 名	野村 昂太郎
主 論 文 題 名 : レプリカ交換分子動力学シミュレーションによる準一次元閉じ込め系の水の相挙動に関する研究			
相転移現象は、科学から工学、ナノテクノロジーに至る多くの分野に浸透する普遍的な現象である。相転移現象のよく知られている例としては、水の凝固が挙げられる。水は、系の圧力と温度に応じて、18 種類の固相と 3 種類のアモルファス相を呈することがこれまでに知られているが、さらにナノチューブやナノスリットなどのナノ細孔内に閉じ込められるとバルクには見られないさまざまな結晶相を呈することがわかっている。閉じ込め系における結晶相はチューブ直径やスリット幅などの細孔の特徴長さに応じて変わるほか、固液臨界現象や固相液相間の連続な転移が起こることが分子動力学シミュレーションから予測されている。空間的な制約を加えるだけで、バルクとは異なる性質を示し、細孔の特徴長さを変えることで物性をコントロールすることができる可能性をもつ閉じ込め系における物質の振る舞いは、基礎的な相挙動に関する物理の知識を広げるだけでなく、さまざまなナノデバイスへの応用を視野に、議論が重ねられてきた。温度・圧力に加え、特徴長さが次元に入る閉じ込め系においては、未だ十分にその相図がわかっているとは言えず、これを効率的に探索する方法は重要になる。 その候補の一つとして、レプリカ交換分子動力学法が挙げられる。レプリカ交換分子動力学法は、拡張アンサンブル法と呼ばれる手法の一つであり、温度や圧力条件の異なる複数の分子動力学シミュレーションを同時に行い、一定の間隔毎にその条件を交換しながらそれぞれの条件でのサンプリングを行っていく方法である。一度のシミュレーションで広い範囲の条件でサンプリングを行えるほか、通常の分子動力学シミュレーションよりも低温で準安定状態にとらわれにくいため比較的正しくサンプリングを行うことができる。また、得られたエネルギー・体積ヒストグラムから任意の条件での物理量や自由エネルギー平面などを計算できるという利点もある。 以上をふまえて、直径が $12.5 \text{ \AA}$ のカーボンナノチューブ内に閉じ込められた水を対象に、レプリカ交換分子動力学シミュレーションを用いてその相挙動について研究を行った。本研究では、広範囲の温度・圧力範囲を探索する必要があったため、レプリカ交換分子動力学シミュレーションを Graphics Processing Unit(GPU) と呼ばれるアクセラレータに実装し、計算の高速化を図った。エンタルピーや比熱などの物理量の温度・圧力依存性を計算することで、六角柱型および七角柱型の準一次元氷と液体との相平衡条件を決定した。また、カーボンナノチューブの円筒軸方向の動径分布関数や半径方向の密度分布関数などの構造解析から、液体が六角柱氷の相に隔てられて、高密度と低密度の二つの液体相に分類できることを示した。さらに、先行研究で存在が予測されていた固液臨界点について、自由エネルギー表面計算と体積及びエントロピーの Challa-Landau-Binder パラメータの計算を行うことにより、改めて固液臨界点の決定を行った。また、中心が空洞の六角柱型の準一次元氷が、徐々に中心に水分子が詰まった構造に変化していくことを予測した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5079 号	氏 名	野村 昂太郎
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 泰岡 顕治
	副査	慶應義塾大学専任講師	Ph. D. 安藤 景太
		慶應義塾大学教授	工学博士 天野 英晴
		明治大学准教授	博士（理学） 光武 亜代理
学士（工学）、修士（工学）野村昂太郎君の学位請求論文は「レプリカ交換分子動力学シミュレーションによる準一次元閉じ込め系の水の相挙動に関する研究」と題し、7章から構成されている。 相転移は様々な工学分野に広く関わる現象であり例えば水の凝固が挙げられる。バルクの水は系の圧力と温度に応じて、18 種類の固相と 3 種類のアモルファス相を呈することがこれまでに知られている。また、近年ナノチューブやナノスリットなどのナノ細孔内に閉じ込められた場合には、バルクでは見られないさまざまな結晶相を呈することが報告されてきた。ナノ細孔内に閉じ込められた系では、実験的な研究が難しく分子シミュレーションによる研究が行われてきたが、まだ十分にその相図が解明されているとは言えない。本論文では、分子動力学シミュレーションを用いてカーボンナノチューブを対象として閉じ込め系の水の相挙動に関する研究を行っている。 第 1 章では本論文の背景および目的、構成を、第 2 章では分子動力学（MD）シミュレーションの基礎理論を、第 3 章では本研究で用いているレプリカ交換 MD シミュレーションについて説明している。第 4 章から第 6 章に結果を示している。 第 4 章では、グラフィックスプロセッシングユニット(GPU)を用いてレプリカ交換 MD シミュレーションを高速化する研究を行っている。広い範囲の温度と圧力を交換するレプリカ交換 MD シミュレーションを行うために、温度と圧力が異なる複数のレプリカの計算を 1 つの GPU で実行するように実装を行っている。また、分散環境での GPU の仮想化も取り入れ、準一次元閉じ込め系の水への最適化も行っている。 第 5 章では、第 4 章で高速化について評価するために、Lennard-Jones 流体を用いたレプリカ交換 MD シミュレーションを行っている。シミュレーションから得られたポテンシャルエネルギーの平均は、先行研究と良い一致を示し実装が正しく行われていることを確認している。また計算速度の測定では、64 GPU を使用して最大 8.13 TFlops の実行性能を達成しており、GPU のマルチプロセッサ数以上のレプリカ数で実行した場合に十分な計算性能を得ることを確認している。 第 6 章では、カーボンナノチューブ内に閉じ込められた水分子系に適用して相挙動についての解析を行っている。10 MPa < P < 500 MPa の圧力条件において、六角柱型の準一次元氷 (INT(6,0)) と液体の相図を描いている。圧力(縦)－温度(横) 線図において相平衡線が横に凸な曲線を描き、$dP/dT > 0$ の領域では低密度液体(LDL)と接し、相平衡線の頂点に当たる固相と液相の体積が等しくなる点（固液等容点、$dP/dT = \infty$）を境に高密度液体 (HDL) に接することを見いだしている。この二種類の液体は固液等容点以下の温度では INT(6,0) によって隔てられて分かれているが、固液等容点より高い温度ではその区別がつかなくなることを見いだしている。一方先行研究で固液臨界現象が予測されていた圧力温度条件 ($P > 1000$ MPa の圧力条件領域)において、圧力が高くなるにつれて固相液相間の自由エネルギー障壁が徐々に小さくなり、$P = 2950$ MPa においてエネルギー障壁がなくなることを見いだしている。エントロピーの Challa-Landau-Binder パラメータも臨界点を表す値に収束しており、粒子数が無限大の極限でも固液相転移現象が起こることを予測している。さらに、INT(6,0) は圧力が大きくなるとその中空部分に水分子が詰まる INT(6,0)pf 構造へと相転移し、圧力を上げていくとより多くの水分子が中へ詰まるようになることを確認している。 最後に第 7 章で研究全体に関する結論を述べている。 以上要するに、本論文の著者は、カーボンナノチューブに閉じ込められた準一次元の水の系に対して、レプリカ交換 MD シミュレーションを適用して、その相挙動についての解析を行った。その成果は、ナノ細孔内に閉じ込められた系の相挙動を明らかにするだけでなく、レプリカ交換 MD シミュレーションの高速化による同シミュレーションの可能性を広げることに寄与した。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5080号	氏 名	徳差 雄太
主論文題名： Multi-layer Key-value Cache Architecture with In-NIC and In-kernel Caches (In-NIC 及び In-kernel キャッシュを用いた マルチレイヤ Key-value キャッシュアーキテクチャ)			
データセンタでは、数十万に及ぶ計算機を収容しており、様々なサービスを顧客に提供している。データセンタの消費電力の約半分程度をCPUと冷却システムが占めており、高効率なデータセンタの構築は重要な課題である。近年、ネットワークの速度が増加している一方で、CPUの性能向上は鈍化しつつある。このCPUとネットワークの速度差は今後も拡大すると予測され、ネットワークベースアプリケーションの性能改善はCPUによって律速されると予測される。従来、コンピュータアーキテクチャの歴史ではCPUとメモリの速度差の問題に直面した際にキャッシュ階層が研究され、コンピュータアーキテクチャに導入されてきた。本論文では、ネットワークベースアプリケーションを高速化するために、In-NICキャッシュとカーネル内キャッシュ(In-kernel キャッシュ)を併用するネットワークアプリケーション向けキャッシュ階層を提案する。 本論文では、ネットワークベースアプリケーションの一つであるKey-value storeにおけるキャッシュ階層を研究する。CPUのキャッシュ階層と同様にその設計手法は様々存在し、その設計手法の探求は重要な課題である。設計手法には、書き込みポリシー、evictionポリシー、キャッシュの包含関係などがあり、それぞれの設計オプションをシミュレーションでそのキャッシュミス率などについて解析した。さらに実用的な設計として、Key-value storeを高速化するために、パイプライン化されていない小さなコアを並列化したIn-NICキャッシュを実装した。さらに、使用するFPGAカードには、オンチップRAMとオンボードDRAMモジュールの二つの異なるメモリがあり、In-NICキャッシュ上でオンチップRAMをL0キャッシュ、オンボードのDRAMモジュールをL1キャッシュとしたキャッシュ階層化を提案した。実際にFPGAに実装し、性能を計測したところ、オンチップRAMにヒットした場合10GbEラインレートで処理することができ、さらに低遅延を達成することができた。既存のハードウェアシステムやソフトウェアと比較して、遅延、スループット、電力効率は大幅に改善された。 さらに In-NIC キャッシュを分散型サービス拒否攻撃(DDoS)のセキュリティシステムに応用した。近年、DDoS 増幅攻撃トラフィックは増加している。これを防ぐために、ICMP ベースの検出方式を用いて、FPGA 上に実装した key-value store でフローを管理することで、DDoS mitigation を実現した。実際のインターネットトラフィックに疑似DDoS トラフィックを混在させた実験により、本実装の有用性を示した。 従来までは、In-NIC キャッシュおよび In-kernel キャッシュは個々に研究されてきた。本論文では、In-NIC キャッシュおよび In-kernel キャッシュを用いた Key-value store の階層化を提案し、その設計空間を研究した。本キャッシュ階層は、ワークロードに時間的局所性がある場合に小容量の下位レベルのキャッシュにヒットすることでアプリケーションの高速化を実現している。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5080 号	氏 名	徳差 雄太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 松谷 宏紀
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 天野 英晴
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 中村 修
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 河野 健二
学士(環境情報学)、修士(工学) 徳差雄太君提出の学位請求論文は、「Multi-layer Key-value Cache Architecture with In-NIC and In-kernel Caches」と題し、6 章で構成されている。 クラウドコンピューティングの普及によって、ネットワークサービスのために多数の計算サーバが収容されるデータセンタに計算負荷が集中するようになり、データセンタにおける計算処理の高効率化が求められるようになった。このための解決策の 1 つとして FPGA (Field-Programmable Gate Array) のような計算アクセラレータの利用が注目されている。本論文においてもデータセンタの主要なアプリケーションの 1 つである KVS (Key-Value Store) 型データストアを 10Gbit Ethernet インタフェースを有する FPGA ボードを用いて高効率化している。このような KVS は要求-応答型のネットワークサービスとして利用されるケースが多い。この場合、サーバ側はクライアントからの要求パケットを受信、要求されたデータをメモリから読み取り、クライアントに応答パケットとして返すという処理の流れになるため、演算に比してネットワークやメモリアクセスといった入出力 (I/O) に要する負荷が高い。本論文では、このような I/O インテンシブなデータストア向けのキャッシュ階層を提案している。具体的には、ネットワークに近い順に、FPGA ベースの NIC (Network Interface Card)、および、Linux 等の OS カーネル内にキャッシュを持たせている。前者は小容量ではあるが専用回路として動作する高効率キャッシュであり、後者は前者の欠点である容量の少なさを補うために導入したカーネル内大容量ソフトウェアキャッシュである。 1 章では本論文の背景や研究目的を述べ、2 章では関連研究として既存の KVS の高効率化手法をハードウェア的アプローチとソフトウェア的アプローチに分けて調査している。3 章では上述の通り NIC 内キャッシュと OS カーネル内キャッシュを組み合わせたキャッシュ階層を提案している。本論文ではこれらをそれぞれ Level-1 (L1) キャッシュ、L2 キャッシュと呼んでいる。そのうえで従来からある CPU-メモリ間キャッシュ階層における様々なキャッシュ構成法を本論文の L1・L2 キャッシュに適用し、トレードオフを明らかにしたうえで、提案するキャッシュ階層のための設計指針を示している。4 章では FPGA 内に実装されるオンチップメモリが近年大容量化していることを鑑み、3 章で提案したキャッシュ階層を拡張している。具体的には、FPGA 内のオンチップメモリを L0 キャッシュ、NIC 上のオンボード DRAM を L1 キャッシュとして両者を明確に区別するようにしている。L0・L1 キャッシュは FPGA ベースの NIC に専用回路として実現されるため、4 章では両者のハードウェア実装を詳細に解説している。5 章では FPGA ベースの NIC 上に構築されたキャッシュシステムを DDoS (Distributed Denial of Service) 攻撃の緩和のために利用する応用例を紹介している。具体的には、ネットワークを流れるパケットからフィルタすべきパケットを検出し、その特徴を記憶するために上述の FPGA ベースのキャッシュシステムを利用している。最後に 6 章では本論文によって得られた成果と結論をまとめている。 以上、要約すると、徳差君の博士論文は、KVS のような要求-応答型ネットワークサービスの高効率化のために、FPGA 内のオンチップメモリ (L0 キャッシュ)、NIC ボード上のオンボード DRAM (L1 キャッシュ)、OS カーネル内キャッシュ (L2 キャッシュ) から成るキャッシュ階層を定義し、実機およびシミュレーションによる評価を基にいくつかの設計指針を示し、その実用化に貢献した点で、工業上、工学上、寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5081	Name	Hua, Weizhuo
Thesis Title Numerical investigation on the discharge process of a nanosecond-pulsed surface dielectric-barrier-discharge plasma actuator			
Surface dielectric-barrier-discharge plasma actuator (SDBD-PA) has shown its promising prospects in aerodynamic applications. Due to the complexity in discharge plasmas, numerical modelling of plasma actuators is important to understand its physics and improve the intensity of plasma actuation. Two-dimensional fluid-model simulation of an SDBD-PA, driven by a nanosecond voltage pulse, is conducted. We first focus on the influence of grid resolution on the computational result. It is found that the result is not sensitive to the streamwise grid spacing, whereas the wall-normal grid spacing has a critical influence. The computed propagation velocity of discharge streamer changes discontinuously around the wall-normal grid spacing about 2 μm due to a qualitative change of discharge structure. The present result suggests that a computational grid finer than that was used in most of previous studies is required to correctly capture the structure and dynamics of streamer: under positive nanosecond voltage pulse, a streamer forms in the vicinity of upper electrode and propagates along the dielectric surface with a maximum propagation velocity of 2×10^8 cm/s, and plasma sheath layer with low electron density exists between the streamer and dielectric surface. Based on the grid convergence study, a systematic numerical investigation of the nanosecond-pulsed SDBD evolution under positive (PEP) and negative electrode polarity (NEP) is performed. Under both PEP and NEP, two discharge strokes take place corresponding to the leading edge and trailing edge of the nanosecond voltage pulse. During the first stroke, the positive streamer propagates along the dielectric surface accompanying a thin sheath layer, while the negative streamer stays attached to the dielectric surface. The positive streamer propagates faster than the negative streamer. During the second stroke, a sheath layer forms between the negative streamer and the dielectric surface due to the electrons drifting away from the near-surface region, while the sheath layer between the positive streamer and the dielectric surface fades away due to the electrons drifting toward the dielectric surface. For both PEP and NEP, it is revealed that a strong downstream body force is generated when the sheath layer exists, due to the high net charge density and strong electric field in the near-surface sheath layer. Parametric study is conducted to investigate the influence of voltage amplitude, dielectric permittivity and thickness on the discharge propagation, generated body force and heat source under both PEP and NEP. It is found that the discharge current, generated body force and heat source increase with increasing the dielectric permittivity or decreasing the dielectric thickness. The improvement of body force is mainly due to the increase of net charge density in the sheath layer. The series of the present numerical simulations reveal the plasma discharge in detail, which is important to understand the physics of SDBD-PA and to help improving its flow control ability.			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5081 号	氏 名	Hua, Weizhuo
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）・TeknD 深潟 康二
	副査	慶應義塾大学教授	Dr. -Ing. 小尾 晋之介
		慶應義塾大学専任講師	Ph. D. 安藤 景太
		東京農工大学准教授	博士（工学） 西田 浩之
工学修士（Master in Mechanical and Aerospace Engineering）、化 為卓（Hua, Weizhuo）君提出の学位論文は Numerical investigation on the discharge process of a nanosecond-pulsed surface dielectric-barrier-discharge plasma actuator（ナノ秒パルス表面誘電体バリア放電プラズマアクチュエータにおける放電過程に関する数値的研究）と題し、本編 6 章により構成されている。 表面誘電体バリア放電プラズマアクチュエータ（SDBD-PA）は、航空機や乗用車の空力抵抗の低減や新幹線パンタグラフの騒音低減などの先進的な流れの制御において、柔軟性やロバスト性などの長所を有するアクチュエータとして、近年大きな注目を集めている。その一方、投入電力に対して発生できる運動エネルギーの効率が低いなど、実用化にむけた課題がある。SDBD-PA の性能向上のためには、放電現象およびそれによる体積力と熱の発生メカニズムの解明が重要であるが、SDBD-PA における放電現象は複雑であり、未だそのメカニズムの理解は不十分である。 本論文の著者はこの問題点を解決すべく、ナノ秒電圧パルスで駆動した SDBD-PA の電子およびイオン輸送に関する二次元数値シミュレーションを行い、SDBD-PA におけるプラズマ放電現象およびそれによって誘起される体積力や発熱のメカニズム解明を試みている。 第 1 章では、これまでの SDBD-PA に関する文献のレビューを行い、異なる物理モデル間の比較を行い、問題点を明らかにすることで、本研究を動機づけている。 第 2 章では、本研究における数値シミュレーションの支配方程式である、陽イオン、陰イオンおよび電子の輸送方程式と構成方程式、および計算領域、境界条件、印加電圧波形を提示し、数値的な離散化手法についても詳細に述べている。 第 3 章では、計算結果に対する計算格子解像度の影響を徹底的に調査している。その結果、計算結果として得られる放電の様相は誘起流方向の格子間隔に敏感ではないが、壁面垂直方向の格子間隔は重大な影響を持つことが分かった。例えば、計算される放電ストリーマの伝播速度は、放電構造の質的变化のために、壁面垂直方向の格子間隔約 2 μm を境として不連続に変化することが明らかにされている。今回の計算結果から、ストリーマの構造とダイナミクスを正確に捉えるためには、従来の知見よりもさらに細かい計算格子が必要であることを示唆された。 第 4 章では、前章で格子解像度が確かめられた数値シミュレーションを用いて、SDBD-PA の露出電極に正の電圧（PEP）および負の電圧（NEP）を印加した場合の放電現象の相違に関する詳細な考察を行っている。PEP、NEP いずれの場合でもナノ秒電圧パルスの前縁と後縁に対応した 2 つの放電ストロークが起こるが、PEP の場合の最初のストロークでのストリーマ放電は薄いシース層を伴って誘電体表面に沿って伝播するのに対し、NEP の場合のストリーマ放電は誘電体表面に付着したままであることが分かった。この違いにより、PEP のストリーマは NEP のストリーマよりも速く伝播するというメカニズムが明らかにされた。 第 5 章では、PEP と NEP の両方の条件で、SDBD-PA に用いられる誘電体の誘電率と厚さおよび印加する電圧振幅が、放電の伝播や発生する体積力と熱に及ぼす影響を調査するために、パラメトリックスタディを行っている。その結果、誘電率の増加または誘電体の厚さの減少とともに、放電電流や発生する体積力と熱が増加すること、さらに体積力の増加は主にシース層中の正味の電荷密度の増加が原因であることを明らかにした。 第 6 章は結論であり、本論文の結果の総括と今後の展望を述べている。 以上の研究結果は、今後、プラズマアクチュエータの性能向上および、それを用いた先進的な流れ制御手法の実用化にも役立つことが期待され、学術的にも工学的にも極めて有意義といえる。 よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5082号	氏 名	志村 啓
主論文題名： 離散粒子モデルに基づく 衝撃波による堆積粒子群分散現象の研究			
本論文では、数値流体力学と離散要素法の組み合わせによる反応性粒子による圧縮性粒子流れに対する解析手法を構築し、流体の圧縮性を考慮する必要のある高速流中において粒子間衝突が粒子挙動を支配する圧縮性粒子流れに対する数値解析を行い、衝撃波による堆積粒子分散現象の関わる問題に対する粒子挙動を調べた。対象とする問題に対して従来用いられていた二流体モデルに基づく解析手法では捉えることの出来ない、粒子希薄領域での粒子挙動追跡を目的として新規解析モデルを構築した。粒子群挙動に対して粒子間接触が支配的であり粒子変形を無視できるとの仮定のもと、気相に対しては粒子の非圧縮を仮定して流れ場を体積平均した支配方程式を採用し、粒子挙動追跡には粒子間衝突を離散要素法によってモデル化した粒子追跡法を導入した。また、粒子と気相の相間作用として流体抵抗、マグヌス力、圧力勾配力、対流熱伝達、熱輻射を考慮した。また、流体の対流、化学反応、粒子挙動の解析を時間分離解法により連成した。 非反応粒子における垂直衝撃波と堆積粉塵群の干渉現象に対する数値解析を行い、粒子群挙動に関する先行研究の実験値との比較より計算手法の妥当性を検討した。本解析結果は粒子分散挙動について実験結果とよく一致した。また、粒子群分散過程に対して支配的な力を検討した。粒子間衝突力が粒子分散を開始させていること、粒子飛翔後の粒子挙動に対しても重要であることを示した。マグヌス力の影響は粒子飛翔開始直後の粒子上昇に対して支配的であるが、粒子群上縁部に位置する粒子挙動に対しては限定的であり粒子間衝突力が支配的であった。 堆積粒子群上を伝播する衝撃波に対する粒子群の影響を調査するため、爆風衝撃波と堆積粉塵群の干渉現象に対する数値解析を行った。結果より、堆積粒子群は衝撃波減衰効果を有することを示した。粒子による減衰効果としては、気相-粒子間の熱輸送によるエネルギー吸収および相間作用力による衝撃波湾曲効果が存在した。湾曲した衝撃波を支持するためのエネルギーは垂直衝撃波より増加するため、相間作用力によって衝撃波が湾曲させられることにより衝撃波は弱まる。 衝撃波によって誘起される堆積炭塵燃焼に対する数値解析を行い、実験値との比較により本手法の多分散系燃焼問題に対する妥当性を検討した。また、定常伝播時の燃焼波構造について検討した。燃焼波構造は拡散火炎的であり、炭塵の揮発に伴う圧力上昇によって誘起された流体の移流によって火炎が超音速で移動することを示した。燃焼によって生成される圧力波によって気相流速が増大するため、粒子に働くマグヌス力が増大する。結果、粒子分散高さは非反応粒子よりも高くなった。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5082 号	氏 名	志村 啓
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 松尾 亜紀子
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 植田 利久
		慶應義塾大学教授	博士（工学）・TeknD 深淵 康二
		慶應義塾大学専任講師 Ph. D.	安藤 景太
学士（工学）、修士（工学）志村啓君の学位請求論文は「離散粒子モデルに基づく衝撃波による堆積粒子群分散現象の研究」と題し、本論 7 章から構成されている。堆積粒子群分散現象とは、地上に堆積した粒子群が周囲流体の働きによって浮遊分散していく現象を指す。粒子群が空中に分散すると粉塵爆発を生じ甚大な被害を及ぼす危険性があるため、粉塵爆発を予防する上で堆積粒子群分散現象を解明する必要がある。しかし、粒子群を構成する個々の粒子と周囲流体の相互干渉を実験的に観測することは難しく、粒子分散の機序解明には至っていない。また数値解析では、計算負荷軽減を目的として粒子群を一つの流体として取り扱う手法が主流であり、連続体仮定の成立しない粒子希薄領域が生ずる粒子分散現象に対しては十分な解析精度を有さないのが現状である。 本論文では、数値流体力学に基づく混相流解析手法と粒子追跡法に基づく離散要素法との連成解析を用いることにより、前述した数値解析の課題解決を目指した研究を行っている。 第一章では、堆積粒子分散現象に代表される圧縮性粒子流れの特徴および物理的な定義について解説し、数値解析が取り扱う物理モデルが考慮すべき現象について概説している。また、圧縮性粒子流れに対する数値モデルの分類を行っている。 第二章では、圧縮性粒子流れに対して構築した物理モデルについて述べている。粒子群挙動に対して粒子間接触が支配的であり粒子変形を無視できるとの仮定のもと、気相に対しては粒子の非圧縮を仮定して流れ場を体積平均した支配方程式を採用し、粒子挙動追跡には粒子間衝突を離散要素法によってモデル化した粒子追跡法を導入している。 第三章では、物理モデルに対する数値解析手法として数値流体力学と離散要素法の組み合わせに基づく離散粒子モデルの詳細を述べている。また、物理モデルによって導入された支配方程式の離散化を行っている。 第四章では、垂直衝撃波と堆積粒子群の干渉現象に対する数値解析を行い、粒子群挙動に関する実験値との比較より計算手法の妥当性を検討しており、本モデルが堆積粒子分散現象を再現できることを確認している。また、粒子に働く外力より粒子群分散の機序を考察し、粒子間衝突力が分散の開始および粒子飛翔後の粒子挙動に対して重要であると述べている。粒子飛翔後の挙動は連続体仮定を用いた先行研究の解析とは異なっており、粒子追跡法による解析の有用性を示している。 第五章では、爆風衝撃波と堆積粉塵群の干渉による爆風減衰効果について解析を行い、爆風が堆積粒子群に沿って伝播するとともに徐々に減衰されていくことを示している。また、粒子による爆風減衰機構として気相-粒子間の熱輸送によって爆風の有するエネルギーが粒子に吸収されていく機構、および相間作用力によって衝撃波が湾曲されることにより爆風先頭圧力が低下する機構が存在すると述べている。 第六章では、衝撃波によって誘起される堆積炭塵燃焼に対する数値解析を行い、実験値との比較により多分散性を有する粒子燃焼問題に対する本手法の適用可能性検討しており、燃焼波の定常伝播時における伝播速度が再現できると述べている。また、定常伝播時の燃焼波構造は拡散火炎的であり、炭塵の揮発に伴う圧力上昇によって誘起された流体の移流によって火炎が超音速で移動することを示している。 最後に第七章において本論文の結論および将来の展望を述べている。 以上、本論文をまとめると、著者は粒子追跡法を用いたモデルを構築して堆積粒子群分散現象に対する数値解析を実施し、粒子分散の機序について解明を行った。その結果は、爆発安全防護技術の発展に貢献するだけでなく、圧縮性粒子流れに対する数値解析技術の進展にも寄与するところである。従って、本論文の著者は工学(博士)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5083号	氏 名	野澤 拓磨
主論文題名：			
分子シミュレーションを用いた棒状液晶分子の研究 — 相転移及び液滴核生成の解析とその高速化 —			
液晶とは液体のような流動性と結晶のような長距離秩序を併せ持つ物質の総称である。液晶は古くから研究されているにも関わらず未だに謎の多い物質である。例えば、液晶分子に付加されたキラリティやダイポールは、液晶の物性に大きな影響を与えるが、これらの相互作用が共存した場合にどのような影響があるかは調べられていない。また、1次相転移の初期過程である核生成は、様々な物理現象と密接に関わっていることから工学的に重要であるが、液晶のような1軸性の異方性分子の核生成過程については未だに分かっていない。 近年では、コンピュータ上で分子運動を再現出来るようになり、液晶分子の微視的な運動を直接観察出来るようになった。このような分子シミュレーションを用いた研究は、液晶の分子論的な性質の解明に有益な情報をもたらすことが期待されている。本研究では、分子シミュレーションを用いて、キラリティとダイポールが共存した液晶分子の相転移シミュレーションを行い、これらの相互作用が液晶の長距離構造に与える影響について調べた。その結果、キラリティによってスメクチック構造の形成が阻害される場合があり、そのような場合には短距離秩序を持ったコレステリック相が現れることが確認された。また、液晶分子の均一核生成シミュレーションを行い、その核生成や成長過程を調べたところ、液晶の核生成は非常に高い配向状態から始まり、一度分子配向が乱れた状態を経た後にネマチックな液滴となる事が分かった。 Atomistic な分子モデルを用いたシミュレーションは、実験系を模擬出来るという点で工学的であるが、液晶の相転移や核生成は大規模かつ長時間スケールのシミュレーションを必要とするため、液晶分子系では分子を回転楕円体に粗視化したモデルが用いられることが多い。近年では、Isotropic Periodic Sum (IPS)法などの並列計算効率の高い Coulomb 相互作用の計算手法と大規模な並列計算実行の組み合わせによって、計算精度を維持しながらも飛躍的な計算の高速化が可能になると期待されている。しかしながら、液晶分子のように分子の先端に大きな電氣的偏りがある高分子系では IPS 法の有効性が未だに不明である。そこで本研究では、IPS 法を用いた分子動力学シミュレーションの結果を既存手法と比較することにより、その有効性の検証を行った。また、より高速な計算を実現するために、GROMACS への IPS 法の実装と group-based カットオフ利用時の精度評価を行った。その結果、IPS 法は液晶の物性を正しく見積もる事が出来ること、group-based カットオフ利用時にはカットオフ境界におけるポテンシャルの滑らかさが特に重要になる事が明らかになった。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5083 号	氏 名	野澤 拓磨
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 泰岡 顕治
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）・TeknD 深潟 康二
		慶應義塾大学専任講師	Ph. D. 安藤 景太
		慶應義塾大学教授	理学博士 高野 宏
学士（工学）、修士（工学）野澤拓磨君の学位請求論文は「分子シミュレーションを用いた棒状液晶分子の研究－相転移及び液滴核生成の解析とその高速化－」と題し、8章から構成されている。 液晶は液体のような流動性があり、かつ結晶のような長距離秩序を持つ状態の総称である。液晶はディスプレイの表示素子として広く用いられており、近年では構造材料やマイクロ流体デバイスとしての応用にも注目されている。液晶についてはこれまでも多くの研究がなされているが未解明な問題も多い。例えば、液晶分子に付加されたキラリティやダイポールは、液晶の物性に大きな影響を与えるが、これらの相互作用が共存した場合にどのような影響があるかは明らかではない。また一次相転移の初期過程である核生成においても、液晶のような一軸性の異方性分子の核生成過程については解明されていない。本論文では、棒状液晶分子について相転移および液滴核生成の現象について分子シミュレーションを用いて解析を行っている。またこれらの系を扱うための分子動力学シミュレーションについて、クーロン力の計算の高速化に関する研究を行っている。 第1章では本論文の背景および目的、構成を、第2章では本論文で扱っている液晶について、第3章では分子シミュレーションの基礎理論について説明している。第4章から第7章に結果を示している。 第4章では、粗視化された棒状液晶分子のモデルによるモンテカルロシミュレーションを行い、相転移に関する解析を行っている。本章では液晶分子にキラリティとダイポール付加したモデルを用いている。分子を並ばせようとするダイポール相互作用と分子を捻れた配置にしようとするキラリティが相反することにより、スメクチック相の形成が阻害されることを見いだしている。また、そのような場合には弱い層構造を持ったコレステリック相が現れることを示している。 第5章では、一軸性の異方性分子として粗視化された棒状液晶分子を扱い、液滴核生成の分子動力学シミュレーションを行っている。液晶の均一核生成は高い配向状態から始まり、一度分子配向が乱れた状態を経て、ネマチックな液滴が生成されることを見いだしている。さらに様々な種類の液晶分子において液滴の伸長と配向の関係を調べることで、ポテンシャルの異方性によってクラスターの性質がどのように変化するかを明らかにしている。 第6章では、原子レベルのモデル液晶分子を用いて棒状液晶分子の分子動力学シミュレーションにおける Isotropic Periodic Sum (IPS) 法の有効性の評価を行っている。IPS 法はクーロン力などの長距離相互作用の計算に有用であり、大規模な並列実行環境下において高速な計算が期待されている。本章では IPS 法が液晶のように先端に大きな電荷の偏りがある分子系においても有効であることを見いだしている。 第7章では、分子動力学シミュレーションの汎用パッケージへの IPS 法の実装の研究を行っている。テーブル関数を用いることで汎用パッケージでも IPS 法を用いて先行研究の結果を再現できることを明らかにしている。またカットオフ境界における IPS 法のポテンシャルが滑らかではない場合には、グループカットオフの影響が顕著であり注意が必要であることを示している。 最後に第8章で研究全体に関する結論を述べている。 以上要するに、本論文の著者は、分子シミュレーションを用いて液晶の相転移や核生成の研究を行った。また、それらの計算に必要な液晶分子の分子動力学シミュレーションの高速化に関する研究を行った。その成果は、粗視化モデルを用いて液晶の物理現象を明らかにするだけでなく、原子レベルの液晶分子のシミュレーションを高速に行うため研究に寄与するものであり、工学分野への応用が期待できる。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5084号	氏 名	海塩 渉
主論文題名： Intervention Study of Home Insulation Retrofit and Blood Pressure for the Prevention of Cardiovascular Diseases (循環器疾患の予防に向けた住宅の断熱改修と家庭血圧の関連に関する介入研究)			
循環器疾患は、毎年約 1,790 万人が命を落とす世界の死因第一位の病である。循環器疾患による死亡は冬季に増加し、「Excess Winter Mortality (EWM)」と称される。EWM は特に寒冷な住宅で顕著であり、寒冷への曝露に伴う血圧上昇によりその一部が説明できる。にもかかわらず、現状の高血圧及び循環器疾患対策は生活習慣改善のみに重点が置かれている。食事や運動、飲酒、喫煙の対策は政策に取り入れられている一方で、科学的エビデンスが不足している住環境は取り入れられていない。従って、住環境改善による循環器疾患予防効果を検証することを本研究の目的とする。特に循環器疾患の危険因子とされ、測定が広く普及している「血圧」に焦点を当て、「住宅内温熱環境と血圧の関係」の分析を行う。本論文は、以下に示す全 8 章から構成される。 第 1 章では、序論として、本研究の背景と意義、目的を示す。 第 2 章では、住宅と健康に関する国内外の政策及び先行研究についてまとめる。 第 3 章では、第 4 章以降の全国調査のベースとなった実態調査を紹介する。結果の一部として、1) 寝室の室温が早朝血圧変動に及ぼす影響、2) 高断熱住宅への転居による室温上昇と血圧低下の因果関係、の 2 点に触れ、全国調査を実施するにあたっての課題点を整理する。 第 4 章では、日本全国で実施した住宅の断熱改修前後調査（スマートウェルネス住宅研究）の概要を述べる。リサーチクエスト、調査デザイン、介入内容、調査項目について解説するとともに、倫理的問題、調査のオンライン登録について触れる。更に、調査対象者数並びにベースライン調査時点の調査対象者の属性を整理する。 第 5 章では、断熱改修前のベースライン調査から得られた成果である、1) 家庭血圧と室温の関係、2) 室温変化に対する家庭血圧の感度分析、の 2 点をまとめる。加えて、全国調査の強みを活かし、寒冷な住宅で暮らしている地域や居住者の属性（ハイリスク居住者）を明らかにする。 第 6 章では、断熱改修を行った「断熱改修群（介入群）」と、断熱改修を行わなかった「対照群」の比較分析により、断熱改修の介入による血圧低下の因果関係の検証を行う。 第 7 章では、温暖な住宅（室温 18℃以上）と寒冷な住宅（室温 18℃未満）の比較分析を行い、健康診断データから得られた循環器疾患との関連が強い指標である「動脈硬化」や「心電図の異常」が寒冷な住宅で助長されるのか、を断面分析により検討する。 第 8 章では、本研究の成果を総括するとともに、長期コホートスタディにより、住環境による健康影響を長期的な視点で検証する必要性を述べる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5084 号	氏 名	海塩 渉
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	Ph. D. 三田 彰
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 満倉 靖恵
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） アルマザン, ホルヘ
学士(工学)、修士(工学)、海塩 渉君提出の学位請求論文は「Intervention Study of Home Insulation Retrofit and Blood Pressure for the Prevention of Cardiovascular Diseases（循環器疾患の予防に向けた住宅の断熱改修と家庭血圧の関連に関する介入研究）」と題し、8 章からなっている。 循環器疾患は、毎年約 1,790 万人が命を落とす世界の死因第一位の病である。循環器疾患による死亡は冬季に増加し、「Excess Winter Mortality (EWM)」と称される。EWM は特に寒冷な住宅で顕著であり、寒冷への曝露に伴う血圧上昇によりその一部が説明できる。にもかかわらず、現状の高血圧及び循環器疾患対策は生活習慣改善のみに重点が置かれている。食事や運動、飲酒、喫煙の対策は政策に取り入れられている一方で、科学的エビデンスが不足している住環境は取り入れられていない。従って、住環境改善による循環器疾患予防効果を検証することを本研究の目的とする。特に循環器疾患の危険因子とされ、測定が広く普及している「血圧」に焦点を当て、「住宅内温熱環境と血圧の関係」の分析を行う。本論文は、以下に示す全 8 章から構成される。 第 1 章では、序論として、本研究の背景と意義、目的を示す。 第 2 章では、住宅と健康に関する国内外の政策及び先行研究についてまとめる。 第 3 章では、第 4 章以降の全国調査のベースとなった実態調査を紹介する。結果の一部として、1) 寝室の室温が早朝血圧変動に及ぼす影響、2) 高断熱住宅への転居による室温上昇と血圧低下の因果関係、の 2 点に触れ、全国調査を実施するにあたっての課題点を整理する。 第 4 章では、日本全国で実施した住宅の断熱改修前後調査（スマートウェルネス住宅研究）の概要を述べる。リサーチクエスション、調査デザイン、介入内容、調査項目について解説するとともに、倫理的問題、調査のオンライン登録について触れる。更に、調査対象者数並びにベースライン調査時点の調査対象者の属性を整理する。 第 5 章では、断熱改修前のベースライン調査から得られた成果である、1) 家庭血圧と室温の関係、2) 室温変化に対する家庭血圧の感度分析、の 2 点をまとめる。加えて、全国調査の強みを活かし、寒冷な住宅で暮らしている地域や居住者の属性（ハイリスク居住者）を明らかにする。 第 6 章では、断熱改修を行った「断熱改修群（介入群）」と、断熱改修を行わなかった「対照群」の比較分析により、断熱改修の介入による血圧低下の因果関係の検証を行う。 第 7 章では、温暖な住宅（室温 18℃以上）と寒冷な住宅（室温 18℃未満）の比較分析を行い、健康診断データから得られた循環器疾患との関連が強い指標である「動脈硬化」や「心電図の異常」が寒冷な住宅で助長されるのか、を断面分析により検討する。 最後の第 8 章では、本研究の成果を総括するとともに、長期コホートスタディにより、住環境による健康影響を長期的な視点で検証する必要性を明らかにしたものであり、工学的に寄与するところが多い。 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 5085 号	氏 名	池田 泰成
主 論 文 題 名 : A Computer Graphics Framework for Representing Fine Details of Fiber Objects (繊維状物体の微細構造を表現するコンピュータグラフィックスフレームワーク)			
現実世界において、様々な物体が繊維状物体から作成される．そしてこれらのオブジェクトはコンピュータグラフィックスにおいて現実的な仮想空間を構築するために不可欠な要素である．特に、頭髮や糸のレンダリングは古くからコンピュータグラフィックスにおいて重要な研究対象として捉えられてきた．繊維の細さと半透明性はコンピュータを使用して表現することが困難な特徴として知られている．現実では様々な種類の糸が異なる素材を利用して製造されている．さらに、一本の糸ですら多数の繊維をもつため、メモリ消費量は繊維状物体を扱う際の重要な課題である．2016 年に少数のパラメタから逐次的に仮想的な糸を生成する手法が提案され、生成される仮想的な糸の品質は劇的に向上した．しかし、品質及びメモリ使用量の観点では繊維状物体を生成することはいまだに困難である．本研究では、繊維状物体を生成する明示的、近似的、確率的的手法を含むフレームワークを提案する．三つの異なる抽象度の手法の提案を通じて、本研究では繊維状物体を扱うための適切な手法を模索する．最初の手法は明示的に柔らかな効果をもつ糸を定義する．シェニール糸のようないくつかの現実の糸は繊維の周囲に特殊な外観をもつ．この手法では現実の繊維の様子を模倣するために微細繊維を生成する．第二の手法では繊維状物体の集合体の密度分布を近似するために小さなスプラットを使用する．繊維状物体の影のアンチエイリアシングはインタラクティブレンダリングにおいて重要な課題である．第三の手法はボリュームレンダリングのアプローチを利用してメッシュ表面に確率的に糸を生成する．メモリ消費量の課題を回避するため、この手法は実行時に糸をレンダリングする．提案した手法は繊維状物体の品質を向上させることに成功した．繊維状物体を生成する際に究極の手法は存在せず、したがって仮想空間で繊維状物体を扱うためには問題ごとに適した手法を選択することが重要であるということが確認された．			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5085 号	氏 名	池田 泰成
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 藤代 一成
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
		慶應義塾大学専任講師	博士（メディアデザイン学） 杉浦 裕太
		米国ユタ大学専任講師 Ph. D.	Cem Yuksel
学士（工学）、修士（工学）、修士（商学）の池田 泰成君が提出した学位請求論文は「A Computer Graphics Framework for Representing Fine Details of Fiber Objects（繊維状物体の微細構造を表現するコンピュータグラフィックスフレームワーク）」と題し、全7章より構成されている。 コンピュータグラフィックス（CG）は、近年のコンピュータの性能向上に加え、スマートフォンや没入的表示デバイスの普及に伴い、急速にその適用範囲を拡大させている。CG は、現実には存在しない物体の写実的な描画や、用途に合わせた結果画像の見えの変化、不可視物理現象の構造や挙動の観測等の視覚効果を提供する。さらに、CG で生成したアバターをインターネット上のコミュニケーションに介入させることで、プライバシー保護や情報発信・共有の安全性確保にも貢献できる。これらの代表的事例は、映像産業・ゲーム産業に既に多く見られるが、近年では深層学習用の教師データ生成や防災都市設計等の社会的利活用の側面も重要視されている。 第1章では、このようなCG 技術を利用しても描画が困難な対象として知られる、繊維状物体を採り上げ、その描画における課題や周辺技術の現状を俯瞰し、本研究で焦点をあてるべき具体的な研究の方向性を明らかにしている。 第2章では、繊維状物体を描画する際に利用されてきた関連手法について、明示的構造定義、特定環境下での近似、計算処理の効率化の三視軸にそって分類し、紹介している。 第3章では、本研究で提案する処理フレームワークの概観を与えている。仮想空間内に設置するカメラ位置に応じて相異なる最適な描画手法について、各々の基本方針と効能が述べられている。 第4章では、第一の提案手法である繊維状物体の明示的構造定義手法を詳細に説明している。ここでは、毛羽立ちや装飾の表現に着目し、その描画に必要な微細繊維構造を作成する自動生成とユーザ介入の二種類の方式を提案した。さらに、一本の糸から編み物や織物のように巨大な構造物を構成する手法も併せて提案し、タオルや車のシート地、衣服など生活のあらゆる場所で使用される一般的な素材であるにもかかわらず、その構造の複雑性から CG モデリングが困難であった、パイル織りやシェニール織りの質感表現を実現した。 第5章では、第二の提案手法である近似的繊維モデリングによる影のフィルタリング手法を詳述している。具体的には、物体の密度の積算値から光の減衰を計算する既存の影付け手法を発展させ、密度計算時に不透明分布をもつ可変サイズの正方形小板による近似表現を用い、影の経時的表現で発生するフリッカーを抑制する手法を提案し、独自の定量的評価法を用いてその効果を検証した。 第6章では、第三の提案手法である確率的繊維レンダリング手法について説明している。この手法は、繊維の詳細な構造を描画するには一般的に膨大な空間計算量を消費するという課題を解決しながらも、高品質な見えを同時に実現する手法である。具体的にはレンダリング処理の実行時に繊維の存在位置を確率的に計算し、その結果に基づいたレンダリング処理を行うことで、遠景からのひだ付の布地の写実的表現に成功している。 第7章では、本研究で提案された各手法およびその組合せによって描画可能なケースの限界を特定するとともに、今後のさらなる発展の可能性にも言及し、本研究を総括している。 以上要するに、本研究で提案する繊維状物体描画のフレームワークは、インターネットや XR（VR, AR, MR）技術の普及により仮想空間が「第二の現実」となりつつある現状において、日常的な衣服や住環境を仮想空間で従来以上に効果的に表現できるという点で、工学的に寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5086 号	氏 名	高倉 優理子
主 論 文 題 名： A Visual Analysis Methodology for Music Compositional Processes with Sound Resynthesis (音響分析・合成を伴う作曲過程の視覚解析方法論)			
コンピュータ技術の発達に伴い、20 世紀以降作曲家は創作にコンピュータを使用するようになった。多くの作曲技法のなかで、音響分析・合成は新しい音色を作り出すための基本的なプロセスの一つである。本論文では、この音響分析・合成の過程を“リシンセシス (resynthesis)”とよぶ。コンピュータ技術は作曲家の創作における行動をも変化させた。彼らは紙上にスケッチや楽譜を作成しない可能性があり、いくつかの先行研究はそのことがコンピュータ音楽の作曲過程の分析を困難にしていると指摘している。 本論文の目的は、スケッチ分析と視覚解析の 2 つのアプローチを用いて、リシンセシスを伴う作曲過程を分析するための視覚解析方法論を提案することである。第一に、黛 敏郎 (1929-1997) の 2 つの代表的な交響曲の作曲過程を明らかにするスケッチ研究について述べる。黛は、梵鐘音の音響分析結果をもとに作曲をしたことで知られている。この作曲手法は、スペクトル楽派の先駆けであると位置づけられる。本研究では、これらの交響曲間の関係を明らかにするとともに、スケッチ研究に関する可能性と限界を指摘した。第二に、作曲過程研究においてコンピュータ利用を前提とした作品の作曲過程を明らかにする際の困難な点を指摘したうえで、それらの音楽の作曲過程を視覚解析するための <i>Spectrail</i> というシステムを提案した。本システムでは、リシンセシスのソフトウェアである <i>AudioSculpt</i> から作曲過程に関するデータを取得し、画素指向空間基板上の専用対話操作群によって作曲の過程を視覚的に分析することを可能としている。システムの第一の対象ユーザは音楽学者と作曲家である。本システムはフランス国立音響音楽研究所 (IRCAM) の作曲家から提供された作品の分析と作曲家へのインタビューによる実験に基づいて評価されている。 この研究を通じて、提案した視覚解析がリシンセシスを伴う作曲過程を包括的に分析する際に有効であることが示された。視覚解析は、作曲過程の詳細な時系列情報と作曲過程における音響変化の概要を提供する。一方で、スケッチは作品のコンセプトや楽曲の構成に関する追加情報をもたらすといえる。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5086 号	氏 名	高倉 優理子
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 藤代 一成
	副査	慶應義塾大学准教授	工学博士 斎藤 博昭
		お茶の水女子大学教授	博士（工学） 伊藤 貴之
		尚美学園大学教授	芸術音楽博士（DMA） 小島 有利子
学士（美学）、修士（美学）、修士（工学）の高倉 優理子君が提出した学位請求論文は、「A Visual Analysis Methodology for Music Compositional Processes with Sound Resynthesis（音響分析・合成を伴う作曲過程の視覚解析方法論）」と題し、全 6 章より構成されている。 コンピュータ技術の発達に伴い、作曲家は自身の創作過程にコンピュータを使用するようになった。コンピュータ技術は多様な音楽上の表現を可能にし、また作曲家の創作における行動をも変化させた。先行研究では、コンピュータ音楽の創作において、作曲家が紙上にスケッチや楽譜を作成しない場合があり得ることから、紙資料のみによる作曲過程の分析が困難となる可能性が指摘されている。多くの作曲技法のなかで、音響分析・合成は新しい音色を創り出すための基本的なプロセスの一つである。本論文では、この音響分析・合成過程を“リシンセシス（resynthesis）”とよび、その過程を含む創作プロセスを対象として行われた研究を取り纏めている。 第 1 章では、コンピュータを用いた音楽創作の現状および音楽学分野で従来行われてきた研究の状況を俯瞰し、コンピュータ音楽の創作過程を研究する際の課題が指摘されている。さらにこれらの背景をふまえて本研究の研究領域を決定し、スケッチ分析と視覚解析の 2 種類のアプローチを組み合わせ、リシンセシスを伴う作曲過程を分析する視覚解析方法論を提案することを本研究の主目的として定めている。 第 2 章では、本研究が音楽学研究、音楽可視化、および出自可視化という 3 領域に跨がる性格を述べたうえで、各々の領域における関連研究についてまとめ、各領域の従来研究と比較した本研究の新規性を明らかにしている。 第 3 章では、黛 敏郎（1929～1997）が梵鐘音の音響分析結果をもとに作曲した 2 つの代表的な交響曲である《涅槃交響曲》（1958）と《曼荼羅交響曲》（1960）の主要和音の成立過程をスケッチの分析によって明らかにしている。論文内では、本研究における調査を通じて発見された黛の自筆スケッチである「Campanology 資料」を用いてこれらの和音の成立過程が詳細に示されており、両作品間の関係を明確にしたうえで、スケッチ研究に関する可能性と限界を指摘している。 第 4 章では、音楽の作曲過程を視覚解析するための <i>Spectrail</i> というシステムが提案されている。本システムでは、リシンセシスを目的としたソフトウェアである AudioSculpt から作曲過程に関するデータを取得し、創作過程研究の目的および Shneiderman の提唱した TTT（Type-by-Task Taxonomy）に基づいて設計された画素指向空間基盤上の専用対話操作群によって作曲の過程を視覚的に分析することを可能にしている。 第 5 章では、その <i>Spectrail</i> の評価実験として、フランス国立音響音楽研究所（IRCAM）で研修を受けた 4 人の作曲家から提供された作品の創作過程を同システムによって視覚解析し、さらに作曲家へのインタビューを行った結果が示されている。本評価実験によって、<i>Spectrail</i> が紙資料のスケッチを用いることなく創作過程を視覚解析することを可能としたことが実証され、作曲家および研究者のいずれの立場においても提案手法の有用性が示されている。 第 6 章では、本研究を総括したうえで、実際の作曲を扱う際の課題をふまえた本研究の今後の可能性に言及している。 以上要するに、提案した視覚解析とスケッチ研究を組み合わせる方法論がコンピュータを用いて作曲された作品における創作過程を包括的に分析できるという点において工学的に寄与するところが少なくない。 よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5087号	氏 名	山下 達也
主論文題名： Experimental Study of Gas Bubble Nuclei and Acoustic Cavitation in Gas-Supersaturated Water (ガス過飽和水中のガス気泡核および音響キャビテーションに関する実験研究)			
超音波洗浄では複数の音響流体现象が生じ、洗浄物の表面汚れを機械的に除去する。近年の報告によると、音響キャビテーション気泡の運動が促進する洗浄面近傍の局所的な液流動が洗浄に有用であることが指摘されている。ところが、高音圧超音波の照射下の激しい気泡崩壊に伴う衝撃波の放射およびジェット流の水撃による洗浄面の壊食（エロージョン）が技術的課題の一つである。本研究では、高効率かつダメージレスの超音波洗浄技術として、曝気水（ガス過飽和水）を洗浄液とする低音圧超音波の使用を提案する。ガス過飽和水では、低音圧超音波の照射下においても、比較的穏やかな音響キャビテーション気泡の駆動が期待される。 はじめに、マイクロバブル曝気によりガス過飽和水を生成し、水中溶存ガス量を評価した。溶存酸素濃度は商用の溶存酸素計により取得できるが、溶存窒素濃度は同様の計測ができない。そこで、固体壁面で初生したガス気泡の準静的な拡散成長過程を観察し、複数気体種 Epstein-Plesset モデルによりフィッティング処理することで溶存窒素濃度を推算した。この結果、大気下で水中に飽和溶存していた窒素（または酸素）の大部分は酸素マイクロバブル（または窒素マイクロバブル）曝気によりパージ（脱気）されることを確認した。 次に、溶存酸素過飽和度に対するキャビテーション気泡の初生確率の応答特性を評価した。ブラウン運動を計測原理とするナノ径粒子解析により、溶存酸素濃度の変化による粒子数密度の大きな差異は見られず、水中の固体ナノ粒子が計測されている事が示唆された。また、ナノ秒パルスレーザの照射により局所的に水および固体ナノ粒子を加熱することで、ガス気泡の初生を誘起した。初生した気泡は拡散成長し、観察可能なサイズの気泡による散乱光を撮影した。この結果、溶存酸素濃度の増加に伴い、初生氣泡数は非線形に増加し、キャビテーション気泡核数が増大（気泡初生閾値が減少）することを確認した。 最後に、ガス過飽和水を洗浄液とし、低音圧超音波の照射下での音響キャビテーション気泡に関する音響流体现象を評価した。洗浄槽内の高速度観察およびPIV解析により、溶存酸素濃度の増加に伴うキャビテーション気泡発生量の増大および音響流・気泡流の促進を確認した。次に、シリカ粒子を塗布したガラス板を洗浄サンプルとし、粒子除去効率を評価した。洗浄試験では、音響キャビテーション気泡による液流動が洗浄を発現させる一方で、粒子除去率が最大となる溶存酸素濃度の最適値の存在を確認した。これは超音波振動子から伝播する音響エネルギーが気泡群の力学的散逸効果により減衰し、音響キャビテーション気泡の洗浄効果が消失したためである。またアルミ箔のエロージョン痕観察および気泡振動が発する音響周波数解析では、溶存酸素濃度の増加に伴いエロージョンが低減され、気泡の激しい崩壊が回避された。この結果、最適なガス過飽和度の探索により、低音圧超音波照射下で洗浄効率を維持しつつ、エロージョンを極力回避できる当洗浄技術の優位性が示唆された。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5087 号	氏 名	山下 達也
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学専任講師 Ph. D.	安藤 景太
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）・TeknD 深淵 康二
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 竹村 研治郎
		慶應義塾大学教授	工学博士 寺坂 宏一

学士(工学), 修士(工学)山下達也君の学位請求論文は「Experimental Study of Gas Bubble Nuclei and Acoustic Cavitation in Gas-Supersaturated Water (ガス過飽和水中のガス気泡核および音響キャビテーションに関する実験研究)」と題し, 本編 5 章により構成されている。

超音波洗浄は物理洗浄法の一つであり, 産業界の各種製造プロセスにおいて欠かせない技術である。近年では, 環境負荷低減の観点から, 有害な化学薬品に頼らず水を洗浄液とする超音波洗浄に注目が集まっている。水中超音波照射に基づく物理洗浄力の向上のためには, 音響キャビテーション気泡の運動による洗浄面近傍の液流動の促進が欠かせないが, その代償として気泡の崩壊現象に伴う洗浄面のエロージョンを引き起こす恐れがある。本論文では, 高洗浄効率かつエロージョンフリーの物理洗浄法として, ガス過飽和水を用いた低音圧超音波洗浄を提案し, その実用性を可視化実験に基づき実証している。

第 1 章では, 超音波洗浄におけるキャビテーション気泡の役割を音響学および流体力学的観点から説明している。さらに, 超音波洗浄のエロージョンフリー化を目指す上で, 洗浄液である水に溶存するガスの濃度 (すなわちガス過飽和度) が支配的なパラメータになり得ることを熱力学的観点から指摘し, 本研究の動機付けを行なっている。

第 2 章では, 超音波洗浄試験 (第 4 章) で洗浄液として用いる酸素過飽和水の生成法, ならびに直接測定が困難である溶存酸素濃度の計測法を提案している。ポンプにより水を循環させる系に, マイクロバブル生成器を組み込み, 酸素マイクロバブルを連続投入することにより, 効率的に酸素過飽和水を生成できることを示した。さらに, 水槽壁面上で発泡した気泡の成長速度を, 多成分溶存ガスの拡散を考慮した気泡成長モデルと比較し, 酸素過飽和水中の溶存酸素濃度の算定を行うことで, 酸素マイクロバブル曝気による溶存酸素のパーシ効果に関する定量評価を実現した。

第 3 章では, 酸素過飽和水におけるキャビテーション初生と酸素飽和度の関係を調べている。キャビテーション初生の起点となるガス気泡核はサブマイクロ径であり, その数密度を光学的に評価するのは困難である。ここでは, ナノ秒緑色パルスレーザーの照射により酸素過飽和水中の発泡を誘起し, その発泡頻度をガス気泡核の数密度と比例関係にある一指標として取り扱っている。酸素過飽和度をパラメータとするレーザー誘起発泡の可視化実験から, 酸素過飽和度の増大に伴う発泡頻度が上昇すること, すなわち酸素過飽和下ではより多数のガス気泡核が安定存在できるためキャビテーションが初生しやすくなることを示した。

第 4 章では, 高洗浄効率かつエロージョンフリーの物理洗浄法として, 酸素過飽和水を用いた低音圧超音波洗浄を提案している。サブマイクロ径のシリカ粒子をスピンコートしたガラス板を洗浄サンプルとする超音波洗浄試験を行い, 洗浄効率の一指標として粒子除去率を定義している。実効音圧を大気圧で固定, 酸素過飽和度をパラメータとする洗浄試験から, 粒子除去率が最大となる酸素過飽和度の最適値が存在することを示した。さらに, 超音波洗浄槽内の音響・流動現象の可視化実験およびアルミ箔を用いたエロージョン試験から, 最適な酸素過飽和度下では超音波加振により穏やかに振動するキャビテーション気泡が多数現れることにより, 洗浄面近傍の液流動が適度に促進され, その結果, 高効率かつエロージョンフリーな物理洗浄が実現することを明らかにした。

第 5 章では結言として, 本論文の結果の総括ならびに超音波洗浄研究の展望を述べている。

以上要するに, 本論文で得られた学術的知見は, 産業界の各種製造プロセスで欠かせない超音波洗浄の技術向上に貢献するものであり, 工学的に極めて有意義なものと言える。よって, 本論文の著者は, 博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第5088号	氏 名	近藤 智貴
主論文題名： Simulation of Compressible Gas-Liquid Flows in Physical Cleaning Applications: High-Speed Droplet Impact and Bubble Collapse (物理洗浄工程における圧縮性気液二相流れに関する数値解析 —高速液滴衝突ならびに気泡崩壊現象について—)			
本論文では、液体ジェット洗浄および超音波洗浄に代表される流体物理洗浄技術の洗浄メカニズム解明を目的として、高速液滴衝突および気泡崩壊に関する直接数値解析を実行する。それらに付随する音響現象（キャビテーション、衝撃波伝播）と粘性現象（壁面せん断流の形成）を定量評価し、エロージョン(表面壊食)と付着粒子除去性能の観点から考察する。 第一に、高速液滴衝突に付随するキャビテーションによるエロージョンの影響を評価するための圧縮性・非粘性解析を行う。理論上、液滴内部を伝播する水撃衝撃波は液滴界面（音響インピーダンス不連続面）との干渉により負圧領域を生じるためキャビテーションを発生し得るが、この現象を数値的に再現した研究例はない。キャビテーションの評価には相変化を考慮しない液滴衝突の数値解析から液相圧力履歴を取得し、それを Rayleigh-Plesset 型方程式に入力することで、ある初期気泡核の運動を解析する。すなわち、one-way-coupling に基づく数値解析を行う。解析の結果キャビテーションの発生は数値的に確認され、そのキャビテーション気泡崩壊に伴う音響放射は、衝突に伴う水撃圧を上回る可能性が示された。 第二に、高速液滴衝突が壁面上にもたらす水撃圧および壁面せん断流の形成を評価する圧縮性・粘性解析を行う。ここでは乾き壁面並びに液膜で覆われた壁面への衝突を考慮し、乾き壁面への衝突では壁面せん断流の形成を再現するため、三相が接触する移動界面を正確に捉えるための滑り壁モデルを適用する。せん断流による粒子はく離を評価するためには、粒子がせん断流から受ける表面応力トルクとファンデルワールス力のトルクの比較に基づき、壁面せん断応力分布を粒子はく離の可能性を予測する無次元パラメータ分布へ写像する手法を提案する。本研究は液滴衝突による壁面せん断流形成が物理洗浄メカニズムに大きく寄与することを確認した。加えて壁面上の液膜厚さに依存する水撃圧・壁面せん断応力の減衰率をモデル化した。 最後に、壁面近傍気泡の非球形崩壊に伴うマイクロジェットの形成および壁面せん断流の形成を評価する圧縮性・粘性解析を行う。対象として、単一気泡および気泡間相互干渉を含む二気泡の崩壊を議論する。気泡崩壊では液滴衝突と異なり大幅な気相体積変化が数値的な界面鈍りを助長するため、界面捕獲の移流方程式にこれを修正するソース項を導入する。単一気泡崩壊の結果から、気泡壁面間距離の増加に伴ってマイクロジェットは増速するが、壁面せん断応力はべき乗則に従って減衰することを確認した。壁面に対して水平に位置する二気泡崩壊の結果では、気泡間相互干渉によってマイクロジェットの衝突角が他方の気泡方向へ傾斜する作用が観察され、その結果として壁面せん断応力の上昇は約 1/10 以下に著しく抑制されることを確認した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5088 号	氏 名	近藤 智貴
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学専任講師 Ph. D.	安藤 景太
	副査	慶應義塾大学教授 博士（工学）	松尾 亜紀子
		慶應義塾大学教授 博士（工学）・TeknD	深潟 康二
		慶應義塾大学専任講師 博士（工学）	藤岡 沙都子
学士(工学), 修士(工学)近藤智貴君の学位請求論文は「Simulation of Compressible Gas-Liquid Flows in Physical Cleaning Applications: High-Speed Droplet Impact and Bubble Collapse (物理洗浄工程における圧縮性気液二相流れに関する数値解析 一高速液滴衝突ならびに気泡崩壊現象について一)」と題し、本編 5 章により構成されている。 液体ジェット洗浄および超音波洗浄に代表される流体物理洗浄の技術は、産業界の各種製造プロセスにおいて欠かせないものである。環境負荷低減の観点から、有害な化学薬品に頼らず水力学的作用のみで洗浄することが好まれる。液体ジェット、水中超音波による洗浄力の向上のためには、液体ジェットの増速、高音圧超音波の使用が各々必要となるが、その代償として水撃およびキャビテーション気泡の崩壊に伴う洗浄面のエロージョンを引き起こす恐れがある。これら流体物理洗浄の技術向上のためには、洗浄力の増強とエロージョン低減との間のトレードオフ関係を詳細に把握する必要がある。本論文は、流体力学シミュレーションに基づき、液体ジェットの高速衝突および壁面近傍気泡の崩壊に伴う音響現象ならびに水力学的現象を定量評価することにより、流体物理洗浄さらにはエロージョンのメカニズム解明を目指すものである。 第 1 章では、流体物理洗浄プロセスにおける洗浄・エロージョンのメカニズム解明を行う上で、気液の粘性と圧縮性の両者を考慮した流体力学シミュレーションを行う必要があることを指摘することにより、本研究の動機付けを行なっている。 第 2 章では、液体ジェット洗浄の問題を、液滴の剛体壁への高速衝突とモデル化した上で、液滴内部の水撃およびキャビテーション現象に関するシミュレーションを行なっている。二次元圧縮流れに対する Euler の式に基づくシミュレーションにより、液滴内部の水撃衝撃波の伝播・反射を再現し、構築された液滴内部の圧力場をもとにキャビテーション気泡の初生および崩壊を Rayleigh-Plesset 型の運動方程式に基づき評価している。その結果、キャビテーション気泡の崩壊圧が液滴衝突に直接起因する水撃圧を凌駕し得ることを明らかにした。 第 3 章では、洗浄面として乾き剛体壁および液膜で覆われた濡れ剛体壁を想定し、液滴の高速衝突問題に関するシミュレーションを行なっている。洗浄力の指標として壁面せん断応力、エロージョンの指標として水撃圧を取り上げ、これらを二次元圧縮流れに対する Navier-Stokes の式に基づくシミュレーションにより評価している。気液の圧縮性に加え粘性を考慮した本シミュレーションから、液滴衝突により壁面上に境界層が形成され、衝突点近傍に強い壁面せん断応力が出現することで高い洗浄効果を生み出すことを明らかにした。また、液膜厚さに関するパラメータスタディにより、液膜厚さの増大に伴う水撃圧および壁面せん断応力の低減効果に関する定量評価を実現した。 第 4 章では、水中超音波の照射による洗浄力の主要因とされる洗浄面近傍キャビテーション気泡の崩壊現象を、一様周囲昇圧により駆動される剛体壁近傍ガス気泡の Rayleigh 崩壊問題としてモデル化した上で、三次元圧縮流れに対する Navier-Stokes の式に基づくシミュレーションを行なっている。壁面・気泡間距離に関するパラメータスタディから、崩壊気泡が壁面に近いほど、壁面せん断力がより強く現れ、高い洗浄効果を生み出すことを示した。さらに、複数気泡の崩壊現象に関するシミュレーションから、気泡間の音響干渉により壁面せん断力が低減することを示した。 第 5 章では結言として、本論文の結果の総括ならびに流体物理洗浄研究の展望を述べている。 以上要するに、本論文で得られた学術的知見は、産業界の各種製造プロセスで欠かせない流体物理洗浄の技術向上に貢献するものであり、工学的に極めて有意義なものと言える。よって、本論文の著者は、博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			

内容の要旨

報告番号	甲 第5089号	氏 名	前川 駿人
主論文題目： Research of antithrombogenic fluorine-incorporated amorphous carbon thin film for medical applications (フッ素添加した非晶質炭素薄膜の生体適合性と医療機器への応用)			
材料表面への薄膜被覆技術は、既存のバルク材料の特性をそのままに新たな特性を付与可能な技術であり、多くの分野で開発が進められている。非晶質炭素 (amorphous carbon: a-C) 薄膜は、高硬度、絶縁性、低摩擦性、耐摩耗性、化学的安定性などの様々な優れた特性を持ち、従来は切削工具や摺動部品の表面加工に利用されてきた。近年では、生体適合性、血液適合性に注目が集まり、体内留置型医療デバイスのコーティング材料としての応用が期待され、研究が進んでいる。特に、他元素を添加することで多面的な特性を発揮するため、医療デバイスへの応用を目的とした材料設計を目指した研究は広がりを見せている。生体材料は身体にとって「異物」であり、材料と生体の接触は炎症反応をはじめとした異物反応を引き起こす。特に体内留置型医療デバイスにおいては、血液との接触により生じる血栓形成が臨床上的課題であり、優れた血液適合性を有した生体材料が求められている。 本論文は、医療機器をはじめとする生体材料に応用可能な生体適合性を有する非晶質炭素薄膜の中で、特にフッ素を添加した非晶質炭素薄膜に関しまとめている。第1章では、血液接触型医療デバイスの問題点、医療材料としての非晶質炭素薄膜の現状と、非晶質炭素薄膜へのフッ素添加による生体適合性向上効果および課題について述べる。第2章では、フッ素を添加した非晶質炭素薄膜の医療用コーティングとしての安定性・安全性を明らかにしている。第3章ではフッ素添加非晶質炭素薄膜を難接着材として利用する新たな機能性付与効果について述べる。第4章では、現在臨床現場で多く使用されているポリテトラフルオロエチレン等のフッ素樹脂材料基材上に、密着性の高い非晶質炭素薄膜を合成する手法について述べている。第5章ではフッ素添加した状態で、膜中に水素を含まないフッ素添加非晶質炭素薄膜を開発し、実際に硬度と血液適合性を調べている。具体的には、硬質な非晶質炭素薄膜合成に用いられてきたアーク放電を利用し、従来よりも水素含有量比率を低下させ、より硬質なフッ素添加非晶質炭素薄膜の合成に成功している。第6章では、フッ素添加非晶質炭素薄膜の界面で生じる現象に対する可視化方法について述べている。 第7章では研究成果の総括と共に今後の研究の展望をまとめている。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 5089 号	氏 名	前川 駿人
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授 工学博士	鈴木 哲也
	副査	慶應義塾大学教授 Ph. D.	堀田 篤
	副査	慶應義塾大学教授 工学博士	小茂鳥 潤
	副査	慶應義塾大学准教授 博士（工学）	宮田 昌悟
修士（工学）前川駿人君提出の学位請求論文は「Research of antithrombogenic fluorine-incorporated amorphous carbon thin film for medical applications（フッ素添加した非晶質炭素薄膜の生体適合性と医療機器への応用）」と題し、全7章からなる。本論文をもって、2018年11月より主査と副査による専修予備審査がとり行われ、専攻にて受理申請が承認されるに至った。その後、2019年2月8日に公聴会が開催され、最終審査会において論文審査と学識確認が無事になされて認められ、本報告に至った。前川駿人君の研究成果につき、以下に述べる。 材料表面への薄膜被覆技術は、既存のバルク材料の特性をそのままに新たな特性を付与可能な技術であり、多くの分野で開発が進められている。非晶質炭素薄膜は、高硬度、耐摩耗性、化学的安定性などの様々な優れた特性を持ち、近年では、生体適合性、血液適合性に注目が集まり、体内留置型医療デバイスのコーティング材料としての応用が期待され、研究が進んでいる。体内留置型医療デバイスにおいては、血液との接触により生じる血栓形成が臨床上の課題であり、優れた血液適合性を有した生体材料が求められている。本論文は、医療機器に応用可能な生体適合性を有する非晶質炭素薄膜の中で、特にフッ素を添加した非晶質炭素薄膜に関し、以下にまとめている。 第1章では、血液接触型医療デバイスの問題点、医療材料としての非晶質炭素薄膜の現状と、非晶質炭素薄膜へのフッ素添加による生体適合性向上効果および課題について述べる。第2章では、フッ素を添加した非晶質炭素薄膜の医療用コーティングとしての安定性・安全性を明らかにしている。第3章ではフッ素添加非晶質炭素薄膜を難接着材として利用する新たな機能性付与効果について述べる。第4章では、現在臨床現場で多く使用されているポリテトラフルオロエチレン等のフッ素樹脂材料基材上に、密着性の高い非晶質炭素薄膜を合成する手法について述べている。第5章ではフッ素添加した状態で、膜中に水素を含まないフッ素添加非晶質炭素薄膜を開発し、実際に硬度と血液適合性を調べている。具体的には、硬質な非晶質炭素薄膜合成に用いられてきたアーク放電を利用し、従来よりも水素含有量比率を低下させ、より硬質なフッ素添加非晶質炭素薄膜の合成に成功している。第6章では、フッ素添加非晶質炭素薄膜の界面で生じる現象に対する可視化方法について述べている。第7章では研究成果の総括と共に今後の研究の展望をまとめている。 以上、要するに、著者は1) フッ素添加した非晶質炭素薄膜が長期に渡り血液適合性を発揮することを明らかにし、2) 難接着性材料のフッ素添加非晶質炭素薄膜を既存材料と密着性高く合成する手法を確立し、3) 新規合成方法の確立による高硬度なフッ素添加非晶質炭素薄膜合成を実施した。また、これらの成果を実際にカテーテルや補助人工心臓への応用を試み、臨床への適用可能性を示した。本論文の結果は、国際誌論文・国際学会・国内学会で発表されており、工学上寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。			

2019（平成31）年3月までの新制博士学位授与者数は次のとおり。

学位の種類	課程修了によるもの (課程博士・・・・・・甲)	論文提出によるもの (論文博士・・・・・・乙)	計
工学博士	451	389	840
博士（工学）	1,406	317	1,723
理学博士	26	8	34
博士（理学）	394	49	443
学術博士	0	1	1
博士（学術）	1	1	2
計	2,278	765	3,043

本書に記載した論文審査担当者の所属および職位は2018（平成30）年度秋学期のものである。

2019年6月3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