

2021（令和3）年度 春学期

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

Theingi Zin (ティンギ ジン)	Improvement of Image Denoising with Interpolation and RAISR (補間とRAISRを用いた画像デノイズングの改良)	1
Iza Husna Binti Mohamad Hashim (イザ フスナ ビンティ モハマド ハシム)	Hierarchical Modeling of Tactile Sensation based on Human Perception and Augmentation of Thermal Perception using Spatial Summation (ヒトの知覚特性に基づいた触感の階層モデリングと空間加重特性を用いた温度知覚の拡張)	3
吉田 光輝	Untethered Micro-Robots Integrated with Stimuli-Responsive Hydrogel for Sensing External Environment (外部環境検知のための非拘束型刺激応答性ハイドロゲルマイクロロボット)	5
田宮 英明	安定化格子干渉方式を用いた高精度3次元エンコーダの開発	7
Cai, Lin (蔡 林)	Correlating Functional Near-Infrared Spectroscopy with Underlying Brain Regions for Adult and Infant Populations by Theoretical Light Propagation Analysis (成人・乳幼児に対する頭部光伝播解析に基づくfNIRSと脳機能部位の空間的対応付け)	9
Schneider, Lars Robin (シュナイダー, ラルス ロビン)	Innovation in the Digital Economy: Valuing Investments in Digital Business Models under Uncertainty (デジタル・エコノミーにおけるイノベーション: 不確実性下でのデジタル・ビジネスモデルに関する投資評価)	11
Ali Mardan, Asraa Abdulrazak (アリ マーダン, アスラー アブドゥルラザク)	Study of Database Management System Performance and Isolation in Virtualization Environments (仮想化環境におけるデータベース管理システムの性能と隔離に関する研究)	14
Wu, Yue (武 悦)	Quantitative Evaluation of Human Skin Surface Characteristics Based on Image Processing (画像処理に基づく肌表面特徴の定量的評価法)	16
坂上 良介	Synthesis and Transport Properties of van der Waals-type Quasi-Two-Dimensional Pnictide, EuSn_2As_2 (ファン・デル・ワールズ型擬2次元ニクタイト EuSn_2As_2 の合成と輸送特性)	18
横山 高徳	超原子ナノクラスターの精密大量合成に基づく集積構造体の電子物性評価	20
紅村 冬大	Quotients of inverse semigroups, étale groupoids and C^* -algebras (逆半群、エタール亜群、 C^* 環の商について)	22
中村 俊太	High-Yield and Long-Lived Triplet Exciton Generation through Intramolecular Singlet Fission using Acene Derivatives (アセン分子連結体を用いた分子内一重項分裂による高効率かつ長寿命三重項励起子の生成)	24
伊藤 厚史	圧縮Epsilon Photographyによる撮影後の画像制御	26
大平 峻	Robust Model-based Control in Motion Control Systems (モーションコントロールシステムにおけるロバストなモデルベース制御)	28
富崎 真衣	ダイヤモンド電極による二酸化炭素の電解還元: 選択的および効率的有価物生成に向けて	30
Huang, Weihai (黄 玮海)	Mechanisms of Material Removal and Surface Formation in Ultraprecision Machining of Polycrystalline Zinc Selenide (多結晶セレン化亜鉛の超精密加工における材料除去と表面形成のメカニズム)	32
矢加部 祥	流動解析を用いた多チャネルシングルモードポリマー光導波路の低損失化とfan-in/fan-out素子への応用	34

Aye Mon Htun (エー モントン)	A Study of Antenna and User Selection Schemes for Multiuser Massive MIMO Systems (マルチユーザ大規模MIMOシステムにおけるアンテナとユーザの選択方法に関する研究)	36
澤田 奈生子	Visual Analytics of Features in Multi-Dimensional Time-Dependent Observation Datasets of Blazars (多次元時系列ブレーザー観測データに潜在する特徴の視覚分析論)	38
Cao, Yuwen (曹 誉文)	A Study on Transmit Precoder Designs for Spatial Modulation and Deep Learning-Based Beam Allocation (空間変調のための送信プリコーダー設計と深層学習ベースのビーム割り当てに関する研究)	40
初谷 智美	オゾンハイドレート連続生成技術の開発	43
Badri Ghomizad, Mehdi (バデリゴミザド, メデー)	Development of a Versatile and Accurate Immersed Boundary Method with Adaptive Mesh Refinement Approach (適合格子細分化による多目的高精度埋め込み境界法の開発)	45
Doan, Nhat Minh (ドゥアン ニャット ミン)	A Study on Cross-Flow Hydrokinetic Turbines in Counter-Rotating Configurations (一対の逆回転構成のクロスフロー型タービンに関する研究)	47
山本 幸平	Remote Sensing of Cardiac Activity Based on Signal Reconstruction with Deep Learning (深層学習を用いた信号再構成に基づく心臓活動のリモートセンシング)	49

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2021(令和3)年度春学期に博士の学位を授与した者の論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨である。収録したものは次のとおり。

慶應義塾大学理工学部

学位の種類	学位記号・番号	授与年月日	氏名
博士(工学)	甲 第 5604 号	令和 3 年 5 月 26 日	Theingi Zin (テインギ ジン)
博士(工学)	甲 第 5609 号	令和 3 年 6 月 9 日	Iza Husna Binti Mohamad Hashim (イザ フスナ ビンティ モハマド ハシム)
博士(工学)	甲 第 5613 号	令和 3 年 9 月 21 日	吉田 光輝
博士(工学)	甲 第 5620 号	令和 3 年 9 月 21 日	田宮 英明
博士(工学)	甲 第 5621 号	令和 3 年 9 月 21 日	Cai, Lin (蔡 林)
博士(工学)	甲 第 5622 号	令和 3 年 7 月 28 日	Schneider, Lars Robin (シュナイダー, ラルス ロビン)
博士(工学)	甲 第 5623 号	令和 3 年 9 月 21 日	Ali Mardan, Asraa Abdulrazak (アリ マーダン, アスラー アブドゥルラザク)
博士(工学)	甲 第 5631 号	令和 3 年 9 月 21 日	Wu, Yue (武 悦)
博士(工学)	甲 第 5632 号	令和 3 年 9 月 21 日	坂上 良介
博士(理学)	甲 第 5633 号	令和 3 年 9 月 21 日	横山 高穂
博士(理学)	甲 第 5634 号	令和 3 年 9 月 21 日	紅村 冬大
博士(理学)	甲 第 5635 号	令和 3 年 9 月 21 日	中村 俊太
博士(工学)	甲 第 5636 号	令和 3 年 8 月 26 日	伊藤 厚史
博士(工学)	甲 第 5637 号	令和 3 年 9 月 21 日	大平 峻
博士(理学)	甲 第 5638 号	令和 3 年 9 月 21 日	富崎 真衣
博士(工学)	甲 第 5639 号	令和 3 年 9 月 21 日	Huang, Weihai (黄 玮海)
博士(工学)	甲 第 5640 号	令和 3 年 9 月 21 日	矢加部 祥
博士(工学)	甲 第 5641 号	令和 3 年 9 月 21 日	Aye Mon Htun (エー モントン)
博士(工学)	甲 第 5642 号	令和 3 年 9 月 21 日	澤田 奈生子
博士(工学)	甲 第 5643 号	令和 3 年 9 月 21 日	Cao, Yuwen (曹 誉文)
博士(工学)	甲 第 5644 号	令和 3 年 9 月 21 日	初谷 智美
博士(工学)	甲 第 5645 号	令和 3 年 9 月 21 日	Badri Ghomizad, Mehdi (バデリゴミザド, メデー)
博士(工学)	甲 第 5646 号	令和 3 年 9 月 21 日	Doan, Nhat Minh (ドゥアン, ニャット ミン)
博士(工学)	甲 第 5647 号	令和 3 年 9 月 21 日	山本 幸平

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5604	Name	Theingi Zin
Thesis Title			
Improvement of Image Denoising with Interpolation and RAISR			
<p>Digital images are frequently contaminated by noise due to different sources such as transmission errors, malfunctioning pixel elements in the camera sensors, faulty memory location and timing errors in analog-to-digital conversion. Some undesirable effects such as image degradation and distortion of some important image features may occur in the digital images due to the noises. Therefore, image denoising has been recently become an essential step in many subsequent image processing applications. The purpose of this thesis is to improve the denoising performance of the image with interpolation and RAISR without deteriorating the image details.</p> <p>Chapter 1 provides a brief introduction to background theory of image denoising, a variety of noise commonly encountered in the digital images in the real world, the causes of noise in the digital images, main issues in the removal of mixed noise and Gaussian noise, the principal objectives to tackle these problems, the methodology used in this research and organization of this thesis.</p> <p>Chapter 2 presents the characteristics and methodology of some state-of-the-art nonlocal-based Gaussian noise removal methods and convolutional neural network (CNN)-based denoising methods.</p> <p>Chapter 3 describes the removal of mixed-noise composed of Additive White Gaussian Noise (AWGN) and Random-Valued Impulse Noise (RVIN) by utilizing interpolation technique based on multi-surface fitting for single frame. Directional Weighted Median (DWM) filter is used to remove RVIN, and Block Matching and 3D filtering (BM3D) is utilized to suppress GN. The core of this research is the addition of interpolation before the detection of impulse noise of DWM filter to reduce the impulse noise rate and to improve the accuracy of impulse noise detection.</p> <p>Chapter 4 describes the improvement of nonlocal-based denoising methods for Gaussian noise by employing Improved Rapid and Accurate Image Super-Resolution (IRAISR) with less number of filters. There are two processes in this approach. The first process is to remove noise by using benchmark Gaussian noise removal methods such as BM3D and Weighted Nuclear Norm Minimization (WNNM). The second process is to enhance the denoising performance by utilizing an Improvement of RAISR as a post-processing step. Two improvements of RAISR which are the minimization of the classes for the gradient angle by geometric conversion and the reduction of the classes for the strength are also contributed in this research.</p> <p>Chapter 5 explains an overall conclusion of this thesis, some limitations and further extensions of image denoising methods.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5604 号	氏 名	Theingi Zin
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	田中 敏幸
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	眞田 幸俊
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	久保 亮吾

学士（工学）、修士（工学）Theingi Zin 君提出の学位請求論文は「Improvement of Image Denoising with Interpolation and RAISR」（補間と RAISR を用いた画像デノイズングの改良）と題し、5章から構成されている。

画像の雑音除去、デノイズングは古くて新しい必須の画像処理技術である。携帯電話が普及し、様々な場面で写真を撮る機会が増えるに従い、特に暗所で撮影した時の雑音の問題が顕在化している。近年では BM3D と呼ばれる非局所的処理により雑音除去性能が大幅に向上し、深層学習の発展も相まって、デノイズングの研究が見直されている。本論文では補間と超解像で用いられている RAISR(Rapid and Accurate Image Super-Resolution)を使って、従来のデノイズングの性能を向上させる二つの手法を提案している。一つは白色雑音とインパルス雑音の混合雑音を扱っており、補間を用いた提案法により性能向上できる。もう一つは白色雑音を対象とし、BM3D と RAISR を組み合わせることにより、雑音除去の性能限界を超えた性能が得られている。

第1章では、デノイズングの研究背景と本研究の目的を述べている。

第2章では、各問題の基礎理論と従来手法を概説している。

第3章では、画像に混入する雑音の発生原因として、撮影時の暗電流雑音とセンサ故障、伝送時のドット落ちやメモリ欠損を考慮して、ガウスランダム値インパルス混合雑音除去法を考案している。従来の雑音除去手法では高周波数成分の劣化が生じ、雑音除去画像の品質を大きく低下させるという問題があった。本論文では多表面フィッティングに基づく補間を用いることでランダム値インパルス雑音の検出精度を向上させ、これをメジアンフィルタの一つであるDWMによって除去し、残るガウス雑音をBM3Dで更に除去するという2段階除去手法を提案している。これにより高周波成分を劣化させることなく高精度な雑音除去を行うことを可能にしている。

第4章では、白色雑音の除去性能を向上させるため、超解像で用いられているRAISRを用いて、BM3DやWNNM等の非局所的雑音除去手法の改善を試みている。非局所的雑音除去手法は高性能であるが、エッジ等の高周波成分を含むテクスチャを鈍らせるという問題がある。これを超解像で用いられているRAISRを使って高周波成分を復元させることで、性能を保ちつつ、よりシャープな雑音除去が可能となる。更にRAISRには216個のフィルタが必要であったが、幾何学的特性や強度を考慮することにより、わずか18個のフィルタで実現できることを示している。

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、本研究は画像の雑音除去の改善法を提案したものであり、従来法に比べ高品質な画像の雑音除去を実現しており、画像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.5609	Name	Iza Husna Binti Mohamad Hashim
Thesis Title			
Hierarchical Modeling of Tactile Sensation based on Human Perception and Augmentation of Thermal Perception using Spatial Summation			
<p>The interest in haptic technology has been growing exponentially in recent years due to its capabilities in accelerating product development cycles especially in analysis and design stage. It is primarily due to the significance in tactile sensations in consumer. By introducing haptic technology in the manufacturing industry, new products can be developed rapidly, thus allowing higher rate of production to satisfy the booming market demand. The integration of haptic technology, namely tactile rendering will be a great aid in product development industries as it can manipulate the prototype's touch sensation to the chosen material's touch sensation without producing a sample of the product. Furthermore, to evaluate new products, manufacturers need to conduct a sensory evaluation which is a time consuming and costly process. Therefore, a need to quantify tactile sensation is explored to accelerate the product development.</p> <p>In this research, we investigate the significance of tactile rendering and sensation technologies in manufacturing industry. For tactile rendering, we focus on the impact of spatial summation for augmentation of thermal sense in AR thermal display. The proposed display is used to replicate the material identification, in order to allow users experience various materials without changing the material of an object. In tactile sensation, we present a novel quantification method of human tactile sense evaluation for fabrics to provide a reliable quality assessment method for textile industry. We hierarchically classify adjectives into three groups called as low-order of tactile sensation (LTS), high-order of tactile sensation (HTS) and desired tactile sensation (DTS). We then perform a multiple regression analysis to discover the correlations between each extracted LTS factor and all measured physical quantities. We express DTS adjectives in terms of physical quantities by computing equations. From the proposed quantification, we are able to predict or evaluate unknown samples' tactile sensation.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5609 号	氏 名	Iza Husna Binti Mohamad Hashim	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	竹村 研治郎
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	泰岡 顕治
		慶應義塾大学教授	博士（工学）	三木 則尚
		慶應義塾大学准教授	博士（工学）	加藤 健郎

学士（工学）、修士（工学）、Iza Husna Binti Mohamad Hashim 君提出の学位請求論文は「Hierarchical Modeling of Tactile Sensation based on Human Perception and Augmentation of Thermal Perception using Spatial Summation（ヒトの知覚特性に基づいた触感の階層モデリングと空間加重特性を用いた温度知覚の拡張）」と題し、本論 6 章により構成されている。

近年、触感のセンシングおよびディスプレイ技術への関心が高まっている。こうした関心は、新たな産業の創出のみならず、既存産業における製品開発サイクルの加速への期待にも起因している。すなわち、製品開発の過程に触感センシング／ディスプレイ技術を導入することで、試作や評価を繰り返すことなく生産効率を向上することが期待されている。試作品の触感評価において頻繁に行われる官能評価試験は多大な時間とコストを要するが、これに代わる触感センシング技術が実現されれば、試作品の評価プロセスを大幅に変革できる。また、試作品の触感を疑似的に異なる材質への変更できれば、製品開発プロセスの革新につながる。こうした背景に鑑み、本論文は、ヒトの知覚特性に基づいた触感の階層モデリングおよび空間加重特性を用いた温感知覚の拡張技術に関するものである。各章の内容は以下の通りである。

第 1 章は序論であり、研究の背景および関連研究の動向をまとめ、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、触感を司るヒトの体性感覚の知覚メカニズムをまとめている。触感技術を研究するには触感を受容する機械受容器、温冷受容器、痛覚受容器の働きを理解することが重要である。このため、各受容器の特性を、特に工学的な視点から整理し、次章以降の研究内容への導入としている。

第 3 章では、触感知覚のモデリングについて述べている。触感を表現する用語が、触察対象物の触り心地を直接表現する用語、心理的要素を表現する用語、嗜好性を表現する用語に分類できることを指摘し、これらを階層的に取り扱うことによって各用語の関係を明らかにする階層モデリングを提案している。また、自動車のドアアームレストおよび布地製品を具体的な対象として、提案した階層モデリングの有効性を明らかにした。

第 4 章では、物理的な測定データから対象物の触感を定量化する手法を提案している。第 3 章と同様に自動車ドアアームレストおよび布地製品を対象として、物理的計測によって得られたデータから、第 3 章で明らかにした対象物の触感を定量的に推定できることを明らかにした。

第 5 章では、物体に触れた際の温度知覚を疑似的に提示する手法を提案している。触感ディスプレイにおいて温冷感の呈示技術の開発が遅れていることを指摘した上で、異なる部位への触感刺激が統合される空間加重特性を利用した温冷感の提示手法を開発した。これにより、触感ディスプレイを温度知覚にまで拡張でき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。

以上のように、本論文で論じられたヒトの知覚特性に基づいた触感の階層モデリングと空間加重特性を用いた温度知覚の拡張技術は、新たな触感センシングならびに触感ディスプレイ技術を実現するものであり、人間工学および設計工学分野に寄与するところが少なくない。また、こうした成果は著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力および豊かな学識を有することを証したものとと言える。

よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 5613 号	氏 名	吉田 光輝
主論文題名： Untethered micro-robots integrated with stimuli-responsive hydrogel for sensing external environment (外部環境検知のための非拘束型刺激応答性ハイドロゲルマイクロロボット)			
<p>非拘束型マイクロロボットは数ミクロンから数ミリスケールの物理的拘束のないロボットである。外部環境を検知することで環境探査や体内治療を行うことが可能なマイクロロボットの実現に向けた研究が盛んに行われている。しかしながら、従来のセンサやアクチュエータ、情報処理機能を微小なシステムに集積統合することは技術的に課題が多く困難である。そこで、新たなマイクロロボットの構成要素として刺激応答性ゲルに着目した。刺激応答性ゲルは外部刺激に応じて膨潤収縮する特性を持つため、アクチュエータやセンサとしてマイクロロボットの構成要素に利用することが期待できる。本研究では2種類の外部環境検知に向けた非拘束型刺激応答性ハイドロゲルマイクロロボットを提案した。具体的には、螺旋状のマイクロ構造に刺激応答性ゲルをパターンニングすることで、環境温度に応じて推進速度を自律的に制御することが可能なマイクロロボットを実現した。次に、コロイド結晶構造色ハイドロゲルをマイクロロボットに統合することで、温度やエタノール濃度などの外部刺激を可視光の色変化として伝達可能なマイクロロボットを実現した。</p> <p>第1章では、本研究の背景および研究目的について概説した。</p> <p>第2章では、本研究で用いる刺激応答性ゲルの架橋原理および膨潤収縮原理について述べた。</p> <p>第3章では、外部環境に応じて推進速度を自律的に制御可能な螺旋状マイクロロボットの研究背景について概説した。次に、螺旋状マイクロロボットの形状と推進速度の関係について流体力学的な理論による考察を示した。また、非対称ゲル化手法を応用してピッチ角の異なる螺旋状マイクロロボットが構築可能であることを示した。さらに、螺旋状マイクロロボットのピッチ角を変化させることによって推進速度が制御可能であることを実験的に明らかにした。</p> <p>第4章では、有限要素法シミュレーションを用いて螺旋状ゲルの変形について解析した。実測したハイドロゲルのヤング率と熱収縮率を用いて、二層状の刺激応答性ゲルの変形特性をシミュレーションと実験により比較し、シミュレーションの妥当性を評価した。この結果をもとに、刺激応答性ゲルのパターンに基づく螺旋状マイクロロボットの変形挙動の変化を解析した。さらに解析した変形結果をもとに螺旋状マイクロロボットの推進変化を解析し、刺激応答性ゲルのパターンを決定した。</p> <p>第5章では、螺旋状マイクロロボットの自律的な推進速度制御について述べた。刺激応答性ゲルをパターンした螺旋状マイクロロボットの外部刺激に応じた螺旋形状の変形を達成した。さらに、螺旋形状の変形によるマイクロロボットの加速および減速に成功した。</p> <p>第6章では、コロイド結晶構造色ハイドロゲルを統合したマイクロロボットの背景、理論、実験手法および結果について述べた。マイクロロボットに統合したコロイド結晶構造色ハイドロゲルの温度およびエタノール濃度に応じた色変化に成功した。この結果より、外部環境の情報をマイクロロボットによって提示可能であることを示した。</p> <p>第7章では、本研究の結論および今後の課題について述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5613 号	氏 名	吉田 光輝
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（情報理工学） 尾上 弘晃
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 杉浦 壽彦
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 三木 則尚
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 竹村 研治郎

学士（工学），修士（工学）吉田光輝君提出の学位請求論文は「Untethered micro-robots integrated with stimuli-responsive hydrogel for sensing external environment」（外部環境検知のための非拘束型刺激応答性ハイドロゲルマイクロロボット）と題し，7章から構成されている。

非拘束型マイクロロボットは，数マイクロメートルから数ミリメートルの物理的拘束のないロボットである．外部環境を検知することで環境探査や体内治療を行うことが可能なマイクロロボットの実現に向けた研究が盛んに行われている．しかしながら，従来のセンサやアクチュエータ，情報処理機能を微小なシステムに集積統合することは技術的に課題が多く困難である．そこで本研究では，新たなマイクロロボットの構成要素として刺激応答性ゲルに着目し，その外部刺激に応じて膨潤収縮する特性をアクチュエータやセンサとしてマイクロロボットの構成要素に利用することを提案している．外部環境検知に向けた非拘束型刺激応答性ハイドロゲルマイクロロボットとして，環境温度に応じて推進速度を自律的に制御することが可能なマイクロロボット，および温度やエタノール濃度などの外部刺激を可視光領域の色変化として伝達可能なマイクロロボットを実現している．

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，刺激応答性ゲルの架橋原理および膨潤収縮原理について述べている．

第3章では，螺旋状マイクロロボットの形状と推進速度の関係について流体力学的な理論により考察し，非対称ゲル化手法を応用してピッチ角の異なる螺旋状マイクロロボットが構築可能であることを示している．その上で，螺旋状マイクロロボットのピッチ角変化によって推進速度が制御可能であることを実験的に明らかにしている．

第4章では，有限要素法シミュレーションを用いて螺旋状ゲルの変形について解析している．二層構造の刺激応答性ゲルの変形をシミュレーションと実験により比較し，シミュレーションの妥当性を評価している．この結果をもとに，螺旋状マイクロロボットのデザインを決定している．

第5章では，螺旋状マイクロロボットの自律的な推進速度制御について述べている．刺激応答性ゲルをパターンニングした螺旋状マイクロロボットを用いて，外部温度刺激に応じた螺旋形状の変形を達成している．さらに，螺旋形状の変形によるマイクロロボットの加速および減速に成功している．

第6章では，周囲環境情報を提示する方法として，コロイド結晶を用いた構造色ハイドロゲルを付与したマイクロロボットについて述べている．コロイド結晶構造色ハイドロゲルにより，温度およびエタノール濃度の変化に応じた色提示に成功し，周囲環境の情報をマイクロロボットによって提示可能であることを示している．

第7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，本論文では環境に応答する自律型ゲルマイクロロボットの構成論を提示するとともに，その機能に関して理論と実験の双方から有効性を実証しており，ロボティクス分野において，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5620号	氏名	田宮 英明
主論文題名：			
安定化格子干渉方式を用いた高精度3次元エンコーダの開発			
<p>半導体露光装置の開発において、集積回路の細線化のために、ウェハの更なる高い位置決め精度が要求されている。その要求に対して、ウェハの位置決め精度に関わるステージのXY軸上およびZ軸上の変位検出精度および再現性は、両立させて向上させなければならない。しかし、従来の方式では、Z軸上の変位検出において、要求性能を達成できないことが問題となっている。本論文では、XYZ軸上の高精度なステージ制御を実現させるための計測手段として、回折格子を用いた干渉の原理に基づく2つのタイプの高精度3次元エンコーダを提案・開発し、それらの基本性能を確認するとともに、それぞれの優位性と課題を明らかにした。</p> <p>第1章では、本研究の背景と従来技術について概説した。半導体露光装置の分野において、光波干渉計に替わって格子干渉計のエンコーダが必要とされた理由と、ステージのXYZ軸上の変位検出において、Z軸上の高精度な変位検出を可能にする格子干渉計が存在しないという課題を示した。</p> <p>第2章では、XY軸上の変位を検出する格子干渉計の既存技術の評価を行った。XY軸上の変位検出における分解能、安定性、リニアリティを確認し、光波干渉計に対して格子干渉計が安定性の点で優れていることを示した。</p> <p>第3章では、Z軸上の変位を検出する格子干渉計を提案・開発し、性能を評価した。Z軸上の変位検出における分解能、安定性、リニアリティを確認し、提案した格子干渉計の高い分解能と優れた安定性を明らかにした。</p> <p>第4章では、XZ軸上の変位を検出する格子干渉計を提案・開発し、性能を評価した。提案手法は、XY面に配置された格子スケールのZ軸上の変位に対し、スケール上の検出ポイントおよび光路長が変化しないというメリットをもつ光学系を実現した。開発システムにより、XZ軸上の変位検出における分解能、安定性、リニアリティについて評価し、リニアリティに関して課題があることを明らかにした。</p> <p>第5章では、XY軸上の変位検出格子干渉計とZ軸上の変位検出格子干渉計を組み合わせた3次元エンコーダと、XZ軸上の変位検出格子干渉計をYZ軸にも同時に適用させた3次元エンコーダの性能を比較し、3次元エンコーダとしての実現性について検討した。XY軸上とZ軸上の変位検出格子干渉計を組み合わせた3次元エンコーダは、目標とした性能をすべて満足しており、光学系の原理的な課題を解決できていることを明らかにし、小型化によって実用化できるという結論を導いている。一方、XZ軸上とYZ軸上の変位検出格子干渉計を組み合わせた3次元エンコーダは、リニアリティに課題があるが、XY面に配置されたスケール上に入射するビームの間隔を最小化することにより、実用化が可能であることを示している。</p> <p>第6章では、結論として、各章の内容をまとめ、研究の成果を要約している。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5620 号	氏 名	田宮 英明
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 青山 英樹
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 柿沼 康弘
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 田口 良広
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 閻 紀旺
		カリフォルニア大学教授	工学博士 山崎 和雄

学士（工学）田宮英明君提出の学位請求論文は「安定化格子干渉方式を用いた高精度 3 次元エンコーダの開発」と題し、6 章から構成されている。

半導体露光装置の開発において、集積回路の細線化のために、ウェハの更なる高い位置決め精度が要求されている。その要求に対して、ウェハの位置決め精度に関わるステージの XY 軸上および Z 軸上の変位検出精度および再現性は、両立させて向上させなければならない。しかし、従来の方式では、Z 軸上の変位検出において、要求性能を達成できないことが問題となっている。本論文では、XYZ 軸上の高精度なステージ制御を実現させるための計測手段として、回折格子を用いた干渉の原理に基づく 2 つのタイプの高精度 3 次元エンコーダを提案・開発し、それらの基本性能を確認するとともに、それぞれの優位性と課題を明らかにしている。

第 1 章では、本研究の背景と従来技術について概説している。半導体露光装置の分野において、光波干渉計に替わって格子干渉計のエンコーダが必要とされた理由と、ステージの XYZ 軸上の変位検出において、Z 軸上の高精度な変位検出を可能にする格子干渉計が存在しないという課題を示している。

第 2 章では、XY 軸上の変位を検出する格子干渉計の既存技術の評価を行っている。XY 軸上の変位検出における分解能、安定性、リニアリティを確認し、光波干渉計に対して格子干渉計が安定性の点で優れていることを示している。

第 3 章では、Z 軸上の変位を検出する格子干渉計を提案・開発し、性能を評価している。Z 軸上の変位検出における分解能、安定性、リニアリティを確認し、提案した格子干渉計の高い分解能と優れた安定性を明らかにしている。

第 4 章では、XZ 軸上の変位を検出する格子干渉計を提案・開発し、性能を評価している。提案手法は、XY 面に配置された格子スケールの Z 軸上の変位に対し、スケール上の検出ポイントおよび光路長が変化しないというメリットをもつ光学系を実現している。開発システムにより、XZ 軸上の変位検出における分解能、安定性、リニアリティについて評価し、リニアリティに関して課題があることを明らかにしている。

第 5 章では、XY 軸上の変位検出格子干渉計と Z 軸上の変位検出格子干渉計を組み合わせた 3 次元エンコーダと、XZ 軸上の変位検出格子干渉計を YZ 軸にも同時に適用させた 3 次元エンコーダの性能を比較し、3 次元エンコーダとしての実現性について検討している。XY 軸上と Z 軸上の変位検出格子干渉計を組み合わせた 3 次元エンコーダは、目標とした性能をすべて満足しており、光学系の原理的な課題を解決できていることを明らかにし、小型化によって実用化できるという結論を導いている。一方、XZ 軸上と YZ 軸上の変位検出格子干渉計を組み合わせた 3 次元エンコーダは、リニアリティに課題があるが、XY 面に配置されたスケール上に入射するビームの間隔を最小化することにより、実用化が可能であることを示している。

第 6 章では、結論として、各章の内容をまとめ、研究の成果を要約している。

以上要するに、本論文では、高精度なステージ制御を実現させるために、回折格子を用いた高精度な 3 次元エンコーダを提案・開発して実用化の可能性を示しており、生産工学の分野において、工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5621	Name	Cai, Lin
Thesis Title			
Correlating Functional Near-Infrared Spectroscopy with Underlying Brain Regions for Adult and Infant Populations by Theoretical Light Propagation Analysis			
<p>Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) is a noninvasive neuroimaging modality that assesses neural activity by measuring changes in oxygenated and deoxygenated hemoglobin after positioning single/multiple source-detector (SD) pairs over the human scalp. In the past few decades, fNIRS has widely been used to investigate the function of the adult brain and developing brain in the field of cognitive neuroscience. The fast growth of fNIRS studies is due to the several advantages that fNIRS is highly portable and has a relatively robust tolerance for body movements, which is suitable for different experimental settings and various populations including neonates, children, and adults. However, it remains a challenge for fNIRS to target specific brain regions of interest by the positioning of SD pairs on the scalp. Since fNIRS data does not provide any anatomical information on the cerebral cortex, it is extremely important to establish a scalp-cortex correlation (SCC) between the scalp location of the SD pair and brain regions for measuring brain functions. Given that the near-infrared light is strongly scattered in head tissues, the objective of this thesis is to establish the precise optics-based SCC using the light propagation analysis based on the diffusion equation for the adult and infant populations.</p> <p>Chapter 1 describes the purpose and background of this thesis.</p> <p>Chapter 2 validates that the diffusion approximation is a highly efficient and robust light propagation analysis methodology, which can be used to obtain the precise optics-based SCC, by comparing optics-based SCC results obtained by the finite element method and Monte Carlo method that is viewed as the gold standard method.</p> <p>Chapter 3 proposes a sensitivity-based matching (SBM) method to establish the optics-based SCC for 45 subject-specific adult head models. Furthermore, when the SCC was computed, the performance of the SBM method was compared with that of three conventional geometrical matching methods ignoring the effect of light scattering. The results demonstrate that the light scattering and individual anatomical differences in the head affect the SCC, which further indicates that the SBM method is compulsory to obtain the precise SCC.</p> <p>Chapter 4 aims to establish optics-based SCC for 0-, 1-, 2-year-old infants using the SBM method, and to determine the optimal SD distance for this age period, during which the most dynamic growth in head structures and remarkable cognitive changes occur.</p> <p>Chapter 5 summarizes the main findings of this thesis and presents conclusions with future works.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5621 号	氏 名	Cai, Lin
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡田 英史
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 池原 雅章
		慶應義塾大学教授	博士（工学）博士（医学） 満倉 靖恵
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 牛場 潤一
		産業技術総合研究所	博士（工学） 川口 拓之

学士(心理学), 修士(心理学) CAI, Lin 君提出の学位請求論文は「Correlating Functional Near-Infrared Spectroscopy with Underlying Brain Regions for Adult and Infant Populations by Theoretical Light Propagation Analysis」(成人・乳幼児に対する頭部光伝播解析に基づく fNIRS と脳機能部位の空間的対応付け) と題し, 5 章から構成されている。

機能的近赤外分光法 (fNIRS: functional near-infrared spectroscopy) は, 頭皮上に照射-受光プローブを装着して, 検出光量の変化から非侵襲的に脳機能を計測する方法である。fNIRS は大脳皮質上の脳機能部位の位置情報を取得できないため, 頭皮上における fNIRS 装置の照射-受光プローブの装着位置と測定される大脳皮質上の脳領域の対応づけ (SCC: scalp-cortex correlation) を明確にすることが極めて重要となる。

本論文の著者は, 近赤外光が頭部組織で強い散乱を受けることを考慮し, 成人と乳幼児の頭部モデルを対象に fNIRS 計測における照射-受光プローブ間の光伝播を有限要素法 (FEM: finite element method) で解析することで, 成人と乳幼児の脳機能を fNIRS で計測する際の SCC を求めている。

第 1 章は序論であり, fNIRS 研究における本論文の位置づけと目的について述べている。

第 2 章では, 成人と乳幼児頭部モデルの光伝播解析を, 本論文で用いた FEM と計算コストはかかるが最も正確な結果が得られるモンテカルロ法で行っている。2 つの方法による大脳皮質中の光伝播を比較することで, fNIRS 計測の SCC を FEM によって解析することの妥当性を検証している。

第 3 章では, 光伝播解析を用いた SCC として, 照射-受光プローブ間を伝播した光の各脳領域における光路長で表される感度に基づく対応づけ方法 (SBM: sensitivity-based matching) について提案している。45 例の成人頭部モデルを対象に, 提案した SBM と, 照射-受光プローブの midpoint と最近傍にある脳領域と対応づけを行う従来法で SCC を求めている。両者の結果を比較することで, 提案した SBM の方が頭部形状の個人差に対応した SCC が得られることを明らかにしている。

第 4 章では, 0, 1, 2 歳の乳幼児の頭部モデルを用いて, 成長によって頭部の大きさと認知機能に変化が生じる年齢層において, fNIRS による脳機能計測を行う際の SCC を SBM によって求めるとともに, 最適な照射-受光プローブ間隔について検討している。測定の感度および脳領域の選択性の観点から評価した結果, 0~2 歳児の乳幼児を対象とした fNIRS 計測では, 照射-受光プローブ間隔は 15~25 mm に設定することが望ましいことを明らかにしている。

第 5 章は結論であり, 上記の内容を総括するとともに, 将来展望を述べている。

以上要するに, 本論文は, 頭部モデルの光伝播解析結果に基づいて fNIRS 装置の照射-受光プローブの装着位置と測定される大脳皮質上の脳領域の対応づけを行う新たな方法を提案し, 成人と 0~2 歳の乳幼児の頭部モデルを対象に解析を行ったもので, 生体工学分野において工業上, 工学上寄与するところが少なくない。

よって, 本論文の著者は博士 (工学) の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5622	Name	Schneider, Lars Robin
Thesis Title			
Innovation in the Digital Economy: Valuing Investments in Digital Business Models under Uncertainty			
<p>The Digital Economy has changed the way of how business is done. Since the emergence and growing importance of digital technologies, a new class of digital business models has emerged. These business models have substantially different characteristics from traditional asset-based business models that are built around linear value chains. Today, we can witness increasing success of such digital business models engaged by both tech-newcomers as well as established corporations around the world. When it comes to investment decision-making, managers are facing times of unprecedented pace, unforeseeable trends and ultimately risk. This dissertation aims to help investment decision-makers to face these uncertainties by presenting a set of quantitative frameworks that can identify and evaluate investment opportunities related to digital business models under uncertainty.</p> <p>Our contributions to this interdisciplinary research area are comprised by several studies. First, we discuss recent developments in the digital economy and provide an understanding of digital transformation, BMI and DTBM. Second, based on these findings, we introduce real options analysis as a viable approach to value these investments and derive investment strategies under uncertainty. A quantitative model is presented that is based on an iterative approach of experimentation and learning to support managers in finding the strategic value of DTBM projects. Third, an alternative perspective on valuation in the digital economy is given by shedding light on the intangible value of users. We introduce customer-based corporate valuation methods as a promising alternative to traditional performance measure and derive business value from a digital company's most valuable asset: It's users. We employ this approach to show how to value a digital business by applying it to real-world business cases including Netflix, Roku and Stitch Fix and present some sensitivity analyses to derive concrete measures for managerial action. Finally, we show how input parameters for some of the presented models can be obtained by integrating finance concepts with quantitative technology forecasting literature and demonstrate its functioning by applying it to the 3D printing technology.</p>			

The overall scope of this dissertation is to provide an understanding of doing business in the digital age, provide deeper understanding of digital business transformation from a financial perspective and improve managerial investment decision-making. The study places its focus on investments in digital business models rather than digitization investments for operational layers of businesses. The presented frameworks shall serve as a guide for decision-makers to evaluate digital transformation opportunities in uncertain environments and increase the efficiency of value-based management in such situations.

審査の要旨

報告番号	甲 第 5622 号	氏 名	Schneider, Lars Robin
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 今井 潤一
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 枇々木 規雄
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 山本 零
		同志社大学教授	博士（経済学） 辻村 元男

学士（理学）、修士(理学)Robin Schneider 君提出の学位請求論文は、「Innovation in the Digital Economy: Valuing Investments in Digital Business Models under Uncertainty（デジタル・エコノミーにおけるイノベーション：不確実性下でのデジタル・ビジネスモデルに関する投資評価）」と題し、本論9章により構成されている。

デジタル・トランスフォーメーション（DX）と呼ばれる情報技術の浸透による社会の変革の動きは現在も進行中である。DXは企業に新たなビジネスモデルの構築を迫ると考えられることから、数多くの学術的研究やビジネス・プラクティスが報告されている。ただし、それらの多くは定性的な研究や個別の事例報告に留まっており、DXが与える経済的な影響を定量的に評価しようとする試みは、その重要性は認識されているものの未だ十分とはいえない。このような現状認識のもと、本論文では、DX時代におけるビジネスモデルの変革（DTBM）に着目し、数理的なアプローチを用いて定量的な経済分析を行っている。具体的には、第1に従来の財務情報、金融市場情報に加えて、特許情報や文献情報、顧客情報などを駆使して不確実性を記述する新しい金融モデルを構築している。第2にその金融モデリング手法を用いて旧来の固定的な経済評価法ではなく、リアルオプションアプローチを用いて、マネジメントの柔軟性をも含めた経済評価モデルを構築している。そして第3に、それらを定量的に評価するための数値計算手法を駆使して最適な意思決定を導出し、その経済的インパクトに関して説明力の高い結果が導出できることを実証している。

第1章では、研究の背景としてDTBMの重要性と本研究の目的、貢献について述べている。

第2章では、DXを議論する上で必要な概念を導入している。

第3章では、DX時代における事業への投資問題を取り上げ、ビジネスモデルと投資のタイプについて、それぞれに含まれる不確実要素を分類し、その定性的な評価を行っている。

第4章では、資本予算の問題におけるマネジメントの投資意思決定について概観し、その中でもリアルオプション分析についての導入を行っている。

以上4つの章を踏まえて、第5章ではリアルオプション分析を用いて一般的なDTBMの投資プロジェクトの評価モデルを構築している。

第6章、及び第7章では、従来の会計情報を基準とした投資評価手法ではなく、DTBMの特徴を踏まえた顧客ベースの事業評価モデルを新たに提案し、実在する複数の上場企業の株価時系列データを参照し、提案モデルによる企業評価の結果が、従来の方法と比べて極めて精度が高いことを実証している。

第8章では、デジタル技術への投資評価に不可欠なモデル構築とパラメータ推定の問題に関して、3Dプリンティング技術を取り上げ、特許情報と文献情報を用いた新しい確率過程モデルを提案し、リアルオプションの定量分析を行っている。

第9章は結論であり、本論文で得られた結果を総括している。

以上要するに、本論文はDXの時代に求められる新しいビジネスモデルの経済評価を行うためのフレームワークを提示しているだけでなく、これらの事業がもつ不確実性の数理モデリング、統計手法を用いたパラメータ推定方法の提案、最適な投資戦略の導出、そして新規事業や新興企業の経済価値導出手法の提案という総合的な提案を行っている。これらの貢献は、コーポレート・ファイナンス分野、とくに金融工学やリアルオプション研究に対する重要な示唆を与えるものと評価できる。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。

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5623	Name	Ali Mardan, Asraa Abdulrazak
Thesis Title: Study of Database Management System Performance and Isolation in Virtualization Environments			
<p>Database management system (DBMS) is one of the foundational and largest applications in the cloud. Major cloud service providers like Amazon web services, Microsoft Azure, Google clouds offer DBMS as a service. The cloud employs virtualization to consolidate DBMSes for efficient resource utilization and to isolate collocated workloads. There are two major virtualization technologies: hypervisor-based (virtual machines) and operating-system-level virtualization (containers). The underlying virtualization technologies in the cloud have a critical impact on performance and isolation, especially in disk I/O. To guarantee the service-level agreement (SLA), the disk I/O performance and its isolation are important in DBMSs because they are inherently disk I/O intensive.</p> <p>This dissertation investigates DBMS performance and isolation in containers and virtual machines. Containers have become widely used in clouds and preferred over virtual machines to consolidate DBMS due to their near-native performance and lightweight deployment. The key finding in this dissertation is virtual machines outperform containers in DBMS performance. Our analysis reveals that file-system journaling has negative effects on DBMS performance and isolation in containers. DBMS is an update-intensive application and causes a lot of file-system journaling. Journaling is very important to keep file-system consistency and for crash recovery. Hence, file-system journaling cannot be disabled especially with DBMS applications.</p> <p>The contribution of this dissertation is twofold. First, identifying the underlying causes behind file-system journaling problems in containers. Since containers share the same file-system, the sharing of journaling modules causes performance dependencies among containers. Also, file-system journaling interferes with disk I/O control of containers and violates isolation between them. Since the journaling module runs outside of controlled containers, their journaling I/Os are overlooked by the disk control mechanism and not accounted for by the container that initiates them. Second, proposing a configuration method to overcome the journaling problems in containers. The method achieves per-container journaling without re-designing the file-systems or modifying the existing kernel. The results show that DBMS performance improves up to 3.4x in containers with the proposed configuration. Eventually, containers get their performance advantage and outperform virtual machines by 1.4x, and show an identical disk I/O isolation.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5623 号	氏 名	Ali Mardan, Asraa Abdulrazak
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 河野 健二
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 遠山 元道
		九州工業大学教授	博士（理学） 光来 健一
		産業技術総合研究所研究チーム長	博士（工学） 広渕 崇宏

Ali Mardan , Asraa Abdulrazak 君の学位請求論文は、「Study of Database Management System Performance and Isolation in Virtualization Environments (仮想化環境におけるデータベース管理システムの性能と隔離に関する研究)」と題し、全6章で構成されている。

近年、計算資源の保守・運用・管理コストの削減を目的にクラウド環境が広く実用化されている。クラウド環境の実用化を可能としたのは、物理的な計算資源を仮想化し複数台の仮想的な計算機として提供する仮想化技術によるところが大きい。仮想化を行う手法には 1) 仮想機械による手法と 2) コンテナによる手法があり、それぞれ利害得失がある。前者は高い性能隔離を実現できる反面、性能上のオーバーヘッドが大きい。一方、後者は性能上のオーバーヘッドを低く抑えられる反面、性能隔離が不十分である。本論文では、クラウド環境上で多く利用されているデータベース管理システムの場合、一般的に言われている利害得失とは異なり、コンテナによる手法のオーバーヘッドが仮想機械による手法よりもはるかに大きくなることを指摘している。その要因を突き止めるため、詳細な性能分析を行い、コンテナ間におけるカーネル資源の共有により発生するコンテナ間の干渉がその要因であることを明らかにしている。さらに、コンテナ間での干渉を回避するための手法を示し、実験的にその手法の有効性を示している。本論文の対象は、二次記憶装置の管理に関するものに限定されているものの、コンテナ間の干渉が性能上のボトルネックとなりうることを実証的に示しており、仮想化技術の進展のために有用な知見を与えている。

第1章では、クラウド環境上で展開されているデータベース管理システムのサービス品質の重要性を論じ、仮想化環境がサービス品質に与える影響を指摘し、本論文の動機と目的及び得られた結果の概略を述べている。

第2章では、クラウド環境における性能干渉についての定量的分析やその解決手法についてまとめ、関連研究と本論文との差分を明確にしている。

第3章では、仮想化を行う手法である仮想機械による手法とコンテナによる手法について、その動作原理についてまとめ、シンセティックなワークロードを用いて両者の定量的な比較を行なっている。

第4章では、データベース管理システムを対象とした場合、一般的に言われている利害得失とは異なり、コンテナによる手法のオーバーヘッドが仮想機械による手法よりもはるかに大きくなることを定量的に示している。さらにその要因の分析を行い、二次記憶装置の管理モジュールがコンテナ間で共有されていることに起因し、コンテナ間での干渉が発生しているためであることを明らかにしている。

第5章では、二次記憶装置の管理モジュールに起因するコンテナ間の干渉を回避する手法を提案し、その有効性を定量的に確認している。さらに、同様の問題がキーバリューストアについても発生することを示し、本論文の提案手法がその場合にも有効であることを示している。

第6章では、本論文で得られた成果をまとめている。また、今後の研究の方向性について議論している。

以上、本論文はクラウド環境における仮想化技術の性能特性に関する重要な成果であり、その貢献は工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5631	Name	Wu, Yue
Thesis Title			
Quantitative Evaluation of Human Skin Surface Characteristics Based on Image Processing			
<p>Skin changes depending on disease, aging or season and conventional skin measurement are not sufficient. Therefore, it is necessary to simultaneously evaluate a plurality of characteristics, while the conventional single-purpose device does not perform high effectively. Therefore, establishment of an objective evaluation method of skin condition using multi-measured skin scope and the image analysis technique aimed at this research is an extremely important task.</p> <p>To assess skin condition objectively and comprehensively, several properties are involved in evaluation system, including skin hydration, skin sebum, skin micro-relief, skin color, and skin microbiological flora. Chapter 1 introduces the fundamental knowledge of skin structure and skin surface properties. What's more, an overview of existing measurement of these characteristics is provided. With rapid development of image processing technology, typical and classic image processing algorithms are given a presentation, as the basis for subsequent algorithms in Chapter 2 to 6.</p> <p>Skin micro-relief relates to quite a few parameters, and it is hard to evaluate all of them at the same time. In chapter 2, we propose a quantitative evaluation algorithm of skin micro-relief and extract four aspects, including skin surface properties, skin pores, skin furrows, and the skin closed polygons. The age-dependent changes of them are explored, that most parameters increased as age went on with significant differences. In addition, skin coarseness is proved to be strongly related to the skin pore area.</p> <p>Skin color is one of the most obvious features of the skin. According to the CIE-L*a*b* color model, we perform a skin color measurement in Chapter 3, utilizing the individual typology angle (ITA) and hue angle, indexes that are calculated from digital images with specific algorithms. The changes of skin color parameters by age, anatomical sites, and geographic locations are figured out.</p> <p>Chapter 4 develops a novel approach to segment skin porphyrins induced by P. acnes from ultraviolet images, which has the potential to predict skin conditions as an assisted tool. We also investigate the age-dependent changes, that all parameters of porphyrins arrive at the peak at 30 years old.</p> <p>Abundant hydration in the skin is quite important for skin barrier function. A prior study for quantitative evaluation algorithm of skin surface hydration by visible optical image processing is proposed in Chapter 5. Skin hydration content is successfully extracted which has a heavy correlation with the results measured by commercial instruments.</p> <p>Chapter 6 establishes a comprehensive skin condition measurement system from 5 sides by combining the parameters extracted from Chapter 2 to 5. The measurement system is displayed as a radar chart with 5 levels. The integrated quantitative evaluation of skin surface characteristics has become reality so far. Finally, Chapter 7 summarizes the conclusions and imagines the future perspectives of this work.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5631 号	氏 名	Wu, Yue
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 田中 敏幸
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 青木 義満
		慶應義塾大学教授	工学博士 池原 雅章
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 堀 豊

Bachelor of Biotechnology, Master of Chemical Engineering, Wu, Yue 君提出の論文は、**Quantitative Evaluation of Human Skin Surface Characteristics Based on Image Processing**（画像処理に基づく肌表面特徴の定量的評価法）と題し7章から構成されている。

画像解析技術の普及に伴い、質感計測の技術を医療や美容における肌の診断に応用する研究が行われている。これらの分野では、これまで目視評価と分光光度計による評価が診断法の中心となっていた。目視評価は、画像解析によって定量的評価を行うことが可能となったが、体調・加齢・季節などによって肌状態が変化するため、従来手法では診断のために十分な結果を得ることができなかった。皮膚の状態を客観的かつ包括的に評価するために、皮膚科学などの医療分野および美容分野では、水分量、皮脂量、マイクロレリーフ、皮膚色、微生物フローラなどを同時に評価する必要があるが、従来用いられてきた手法では複数の項目の同時計測を行うことが難しい。本研究では、皮膚計測用マルチスコープと画像解析技術を用いて、複数の特徴量による皮膚状態の客観的評価法を提案している。

第1章では、皮膚の構造と表面特性について紹介し、それらの特性を解析するための測定法と従来の画像処理手法が説明されている。

第2章では、皮膚の表面特性、毛穴、皮溝、閉じたポリゴンの4つの特徴量を抽出し、それらの特徴量の年齢依存性の調査を行っている。年齢に伴って各特徴量が増加する傾向にあり、肌荒れが毛穴面積と強く相関することが確認されている。これまでのマイクロレリーフの計測には高価なデバイスと特殊な解析手法が用いられており、またマイクロレリーフが多くのパラメータに依存しているため、計測結果を評価することは困難であった。そこで、マイクロレリーフの定量的評価アルゴリズムを提案し、皮膚表面特性、毛穴、皮溝、閉じたポリゴンの特徴量を抽出している。

第3章では、肌の色の分析を行う手法を提案している。CIE-L*a*b*色空間において計算されるIndividual Typology Angle (ITA) と色相角を肌の色の特徴量として、年齢、解剖学的部位、居住地による肌の色のパラメータの変化について解析している。この解析結果から、肌の色から年齢や健康状態などの情報を抽出している。

第4章では、紫外線画像から Propionibacterium acnes (P. acnes) によって誘発された皮膚ポルフィリンをセグメント化する新しい手法を提案している。P. acnes は通性嫌気性菌であり、皮膚、にきびの誘発に関与し、紫外線を吸収して赤色蛍光を発するポルフィリンを生成する。また、得られた特徴量の年齢依存性についても検討している。

第5章では、画像処理による皮膚表面水分量の定量的評価アルゴリズムについて説明し、解析によって得られた水分量と水分量計で測定された結果とに強い相関関係があることを示している。これまでの研究では、皮膚水分量評価を行う際、静電容量画像や近赤外線画像を利用することが多く、可視光画像を用いたアルゴリズムは少ない。

第6章では、第2章から第5章で得られた5つの特徴量を基にした総合的な肌状態測定システムを構築している。測定結果は5レベルのレーダーチャートとして表示されている。

第7章では、総括として本論文の成果がまとめられている。

以上、本論文で提案された肌の質感計測手法は、医療や美容における肌状態の解析のために有用であり、用いている解析手法は、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第5632号	氏名	坂上 良介
主論文題名： Synthesis and Transport Properties of van der Waals-type Quasi-Two-Dimensional Pnictide, EuSn_2As_2 (ファン・デル・ワールス型擬2次元ニクタイト EuSn_2As_2 の合成と輸送特性)			
<p>擬2次元ニクタイトは、熱電変換材料、超伝導体、トポロジカル物質など、様々な機能を有する層状化合物である。本研究は、van der Waals型擬2次元ニクタイト EuSn_2As_2 の熱電変換材料への応用を目指し、この輸送特性を明らかにする。さらに、この Mössbauer 分光測定、磁化測定および電子状態計算により化学結合状態を調べ、輸送特性との関連を議論する。</p> <p>第1章では研究背景を述べている。擬2次元ニクタイトの結晶構造と化学結合状態を、機能性物質としての観点から記述する。さらに、六方晶層状化合物 EuSn_2As_2 とこの関連化合物の機能について過去の報告をまとめ、本研究の意義を述べる。EuSn_2As_2 は、Eu カチオン層と SnAs アニオン層とが交互に積層した結晶構造を有し、近接 Sn-Sn 間が van der Waals 力で弱く結合しているため、単結晶の劈開剥離による薄膜化が可能である。このような結晶構造から、EuSn_2As_2 は熱電変換材料の候補として期待される。第2章では、輸送特性測定に必要な高純度多結晶の EuSn_2As_2 試料を得るための試料合成方法について述べる。1つ目の合成方法では、アルミナ管に Eu 塊、Sn 粉末および As 粉末を入れた。2つ目の合成方法では、カーボンるつぼに Eu 塊および Sn と As の混合物のペレットを入れた。高純度試料は後者の方法で得られる。第3章では、輸送特性測定の実験方法を詳述する。電気計測器類と温度制御器を制御する、自動測定のための LabVIEW プログラムを示す。測定で得られた生データを整理し物理量の測定値を得るための Python コードを公開する。第4章では、第2章で確立した高純度試料合成方法で合成した試料をホットプレスして得た EuSn_2As_2 高密度多結晶試料の熱電変換性能を調べる。ホットプレス方向に垂直な方向における 673(3) K での無次元性能指数 (ZT) は 0.092(17) である。このときの電気抵抗率は、室温以上の温度では、温度上昇とともに増加し、温度の2乗に比例する。電気抵抗率と Seebeck 係数の温度依存性は、複数キャリアにより解釈される。第5章では、EuSn_2As_2 の輸送特性との関連を議論するため、この化学結合状態を Mössbauer 分光と磁化測定により直接観察する。^{151}Eu の Mössbauer 分光スペクトルでは、Eu^{2+} と Eu^{3+} の両方の成分が観測される。これは EuSn_2As_2 の飽和磁化の観測値と矛盾しない。^{119}Sn の Mössbauer 分光スペクトルは、Eu の内部磁場に起因する磁気分裂を示す。EuSn_2As_2 において Eu はカチオンとして孤立しているのではなく、SnAs アニオン層に電荷を供給する。第6章では、密度汎関数理論に基づく電子状態計算で得られた EuSn_2As_2 の化学結合状態について述べる。第7章では、総合討論を記す。EuSn_2As_2 を母相とする化合物は熱電変換材料として有望であると結論する。</p> <p>本研究は、機能性材料の開発にあたって、Mössbauer 分光測定で原子核をプローブとして得た原子価や磁化測定結果を援用した点で、古典的なアプローチをとったと言える。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5632 号	氏 名	坂上 良介
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 神原 陽一
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 的場 正憲
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 海住 英生
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 太田 英二

学士(工学)、修士(工学)、坂上良介君の学位請求論文(主論文)は、「Synthesis and Transport Properties of van der Waals-type Quasi-Two-Dimensional Pnictide, EuSn_2As_2 (ファン・デル・ワールス型擬 2 次元ニクタイト EuSn_2As_2 の合成と輸送特性)」と題し、全 7 章から構成されている。

結晶中にファン・デル・ワールス(vDW)結合の在る層状化合物は、 $\text{Bi}_2(\text{Se}, \text{Te})_3$ を代表とする熱電変換材料として 1960 年以前より知られている。これらの化合物は、金属としては、高い熱起電力、低い熱伝導率、及び低い電気抵抗率を示し、熱電変換材料としての機能向上が期待される。これらの化合物は、フェルミ準位を横切る複数の金属的で異方的なバンド構造を示す。このような異方的なバンド構造に着目した磁性と輸送現象の研究が現在盛んに行われている。

主論文は vDW 結合を結晶中に有する層状化合物 EuSn_2As_2 (Eu122)の熱起電力、熱伝導率、電気抵抗率、および元素ごとの原子価と内部磁場を報告する。

第 1 章は、序論であり、Eu122 を含む vDW 結合を有する擬 2 次元ニクタイトの結晶構造を単体である $\alpha\text{-As}$ と、イオン結合性の擬 2 次元ニクタイト SmFeAsO の結晶学的な性質と比較する。vDW 結合の存在する擬 2 次元ニクタイトは、3 次元的な電子構造を示す元素半導体やイオン結合性の層状化合物と比べ、電子構造の低次元化により熱伝導率の低減と熱起電力の増加が期待される。

第 2 章は Eu122 の試料合成方法の原理と方法を説明する。熱処理条件は、原材料の二元相図からの類推により新規に求まる。輸送現象測定に使用可能な多結晶の作製方法が示される。この多結晶は、0.5-2 mm の大きさを示す配向結晶又は単結晶を含む。この多結晶は、異相として金属錫を 1-2 vol.%含む。Eu122 の格子定数は、Eu122 のわずかな化学組成変化に依存する。

第 3 章は輸送現象測定の方法を示す。室温～700 K の直流 4 端子抵抗、熱起電力、定常法による熱伝導率はいずれも自作装置を用いて測定された。熱伝導率測定で議論となる輻射熱の影響を装置の内壁を室温と定め、直方体試料のモデルとして定量する。熱伝導率測定中の試料の平均温度を一定に制御し、Fourier の法則で定義される熱伝導率が系統誤差とともに求められた。

第 4 章は Eu122 の多結晶試料を加熱加圧成型(ホットプレス)により低空隙率化した多結晶試料の室温～700 K 付近の熱電変換性能を報告する。Eu122 は金属であり、その無次元性能指数(ZT)は 673 K で 0.092(2)である。Eu122 の低い電気抵抗率と高い熱起電力は複数のバンド構造に起因する熱起電力の相異なるキャリアの存在を仮定した起電力と伝導率に対する並列回路近似で解釈される。

第 5 章は Eu122 の化学結合の状態を ^{151}Eu と ^{119}Sn の Mössbauer 分光により明らかにする。Eu122 中の Eu は Eu^{2+} と Eu^{3+} の 2 成分を示す。これは直流磁化測定で求まる Eu122 の磁気モーメントと矛盾しない。非磁性元素である Sn の Mössbauer 分光スペクトルは低温、ゼロ磁場で明らかな磁気分裂を示す。これは磁性元素である Eu 原子で生じる内部磁場の影響により Sn 原子の内部磁場が誘起したと解釈される。すなわち Eu122 中の Eu は孤立したカチオンではなく、SnAs 層との共有結合により輸送現象に関わる価電子を供給するイオンとして存在すると解釈される。

第 6 章は密度汎関数理論を用いた電子状態計算で得られた Eu122 の化学結合状態を述べる。Eu122 においては、近年、高機能熱電変換材料の必要条件と提言されているダブルローンペア(Ls2p)の存在は陽(あきらか)ではない。しかしながら、理論的に求まる電子状態密度分布の空間的な差分を求めることで、Ls2p の存在可能な結晶学的な配置を求めることができる。

第 7 章は、総合討論であり、Eu122 を母相とする化合物の熱電変換性能の機能性を議論する。

以上、主論文は、熱電変換材料候補である Eu122 の作製と評価という観点のみならず、既存の仮説の検証を物性物理と計測の双方の視点により示すものであり、工学上寄与するところが少なくない。よって、審査担当者は、主論文の著者は博士(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 5633 号	氏 名	横山 高穂
主論文題名：			
超原子ナノクラスターの精密大量合成に基づく集積構造体の電子物性評価			
<p>原子が数個から数百個程度集まった粒子であるナノクラスター(NC)はバルク固体では見られない特異な幾何構造をとることに加え、価電子が NC 全体に非局在化した軌道に收容されることで、構成原子数(クラスターサイズ)、組成によって鋭敏に変化する多様な物性を呈する。NC の中には幾何的、電子的に高い安定性を有する「超原子」と呼ばれる物質が存在し、新奇な幾何・電子構造を有する超原子を単位とした固体材料の創製はボトムアップアプローチによる機能設計の観点から重要である。超原子集積体の作製のためには、原子レベルで精密に合成された超原子が大量に求められることに加え、個々の超原子の凝集を防いで集積させる必要があることから、これまでに報告例がなく、新たな方法論が求められている。</p> <p>そこで本論文では、精密大量合成された超原子を機能性物質としての活用することを念頭に、集積構造体の作製手法の開拓と機能物性評価法の構築を目的とした。超原子の凝集を防いだ薄膜作製を配位子で保護された超原子に加え、超原子同士を直接接合した薄膜を、電子的および幾何的な安定性を有する金属原子内包ケージ型 NC で実現した。作製した集積薄膜に対して様々の物性評価を行い、個々の超原子の電子・幾何構造と集合体物性の相関を明らかにした。</p> <p>第 1 章では、研究の背景としてクラスター科学の進展と超原子に関するこれまでの研究について概説し、本論文の各章の内容を記した。</p> <p>第 2 章では、単層膜作製装置、伝導特性評価装置、赤外反射吸収分光装置、気相高強度ナノクラスター生成源などの本論文で使用した実験装置とその動作原理・測定原理を詳述した。</p> <p>第 3 章では、有機配位子で保護された超原子であるチオラート保護金属 NC の単層膜を作製し、基板へと転写することで作製した浮遊ゲートメモリデバイスの特性を述べた。単層膜作製・転写手法の確立とデバイス特性評価法を探ることで超原子へのホールおよび電子の注入特性が個々の超原子コアの酸化還元電位と相関していることを見出した。</p> <p>第 4 章では、チオラート保護金 NC 単層膜を Au(111)単結晶基板へと転写し、赤外反射吸収分光を用いて保護配位子の振動構造について述べた。クラスターサイズ、温度によるスペクトルの変化から保護配位子の末端のコンフォメーションが変化することを明らかにし、保護配位子の秩序性がクラスターサイズの低下、または温度上昇によって低減する挙動を見出した。</p> <p>第 5 章では、5 族金属を内包したシリコンケージ超原子(MV@Si₁₆)の気相精密大量合成と、ソフトランディング技術による集積薄膜の作製と電気伝導特性に関して述べた。電気伝導度の温度依存性から電気伝導機構が、局在した電子準位を電荷が電子相関を感じながら移動する Efros-Shklovskii の広域ホッピングであることを見出し、孤立系での MV@Si₁₆ の電子構造との相関を明らかにした。また、異なる 5 族金属(MV = V, Nb, Ta)を内包した MV@Si₁₆ における集積薄膜での電子状態の違いを見出し、超原子の集合体物性における周期律に基づく振る舞いを解明した。</p> <p>第 6 章では、各章で得られた結論をまとめ、本研究の成果を要約した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5633 号	氏 名	横山 高穂
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 中嶋 敦
	副査	慶應義塾大学教授	博士 (理学) 近藤 寛
		慶應義塾大学教授	博士 (工学) 野田 啓
		慶應義塾大学准教授	博士 (理学) 畑中 美穂

学士(理学)、修士(理学) 横山高穂君提出の学位請求論文は「超原子ナノクラスターの精密大量合成に基づく集積構造体の電子物性評価」と題し、6章から構成されている。

原子が数個から数百個程度集まった粒子であるナノクラスター(NC)はバルク固体では見られない特異な幾何構造をとることに加え、価電子がNC全体に非局在化した軌道に収容されることで、構成原子数(クラスターサイズ)、組成によって鋭敏に変化する多様な物性を呈する。NCの中には幾何的、電子的に高い安定性を有する「超原子」と呼ばれる物質が存在し、新奇な幾何・電子構造を有する超原子を単位とした機能材料の創製はボトムアップアプローチによる機能設計の観点から重要である。超原子集積体の作製のためには、原子レベルで精密に合成された超原子が大量に求められることに加え、個々の超原子の凝集を防いで集積させる必要があることから、これまでに報告例がなく、新たな方法論が求められている。

そこで本研究では、精密大量合成された超原子を機能性物質として活用することを念頭に、集積構造体の作製手法の開拓と機能物性評価法の構築を目的とした。超原子の凝集を防いだ薄膜作製を配位子で保護された超原子に加え、超原子同士を直接接合した薄膜を、電子的および幾何的な安定性を有する金属原子内包ケージ型NCで実現した。作製した集積薄膜に対して様々の物性評価を行い、個々の超原子の電子・幾何構造と集合体物性の相関を明らかにした。

第1章では、研究の背景としてクラスター科学の進展と超原子に関するこれまでの研究について概説し、本論文の目的と意義を述べている。

第2章では、単層膜作製装置、伝導特性評価装置、赤外反射吸収分光装置、気相高強度ナノクラスター生成源などの本論文で使用した実験装置とその動作原理・測定原理を詳述している。

第3章では、有機配位子で保護された超原子であるチオラート保護金属NCの単層膜を作製し、基板へと転写することで作製した浮遊ゲートメモリデバイスの特性を述べている。単層膜作製・転写手法の確立とデバイス特性評価法を探ることで超原子へのホールおよび電子の注入特性が個々の超原子コアの酸化還元電位と相関していることを明らかにしている。

第4章では、チオラート保護金NC単層膜を金単結晶Au(111)基板へと転写し、赤外反射吸収分光を用いて保護配位子の振動構造について述べている。クラスターサイズ、温度によるスペクトルの変化から保護配位子の末端のコンフォメーションが変化することを明らかにし、保護配位子の秩序性がクラスターサイズの低下、または温度上昇によって低減する挙動を見出している。

第5章では、5族金属を内包したシリコンケージ超原子($M^V@Si_{16}$)の気相精密大量合成と、ソフトランディング技術による集積薄膜の作製と電気伝導特性に関して述べている。電気伝導度の温度依存性から電気伝導機構が、局在した電子準位を電荷が電子相関を感じながら移動するエフロス・シクロフスキーの広域ホッピングであることを見出し、孤立系での $M^V@Si_{16}$ 超原子の電子構造との相関を明らかにしている。また、異なる5族金属($M^V = V, Nb, Ta$)を内包した $M^V@Si_{16}$ 超原子における集積薄膜での電子状態の違いを見出し、超原子の集合体物性における周期律に基づく振る舞いを解明している。

第6章では、各章の結論を述べ本研究の成果をまとめている。

以上要するに、本論文は精密大量合成された超原子を機能性物質としての活用することを念頭に、配位子で保護された超原子、もしくは、超原子同士を直接接合した集積薄膜を創製し、これらの超原子の集積薄膜に対して様々の物性評価を行い、個々の超原子の電子・幾何構造と集合体物性の相関を明らかにした。これらの知見と方法論は、超原子ナノクラスターを最小の構成単位とする次世代機能材料の創出に重要な基礎をなすものであり、物理化学、そしてナノ材料化学の発展への寄与が少なくない。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第5634号	氏 名	紅村 冬大
主論文題名： Quotients of inverse semigroups, étale groupoids and C^* -algebras (逆半群、エタール亜群、 C^* 環の商について)			
<p>本論文では、逆半群、エタール亜群、C^*環という三種の対象を扱う。逆半群とは一般化逆元を備えた半群のことであり、エタール亜群とはある種の離散性を備えた亜群のことである。C^*環はノルムと対合を備えた複素多元環のことである。逆半群が位相空間に作用しているとき、変換亜群と呼ばれるエタール亜群を構成することができる。また、エタール亜群からは亜群C^*環と呼ばれるC^*環を構成することができる。逆半群と変換亜群の関係や、エタール亜群と亜群C^*環の関係を調べることは基本的な問題であり、実際に様々な研究が行われてきた。本論文では、逆半群、エタール亜群、C^*環のそれぞれの商の関係について述べる。</p> <p>前半では、エタール亜群と亜群C^*環のそれぞれの商の関係について述べる。まず、エタール亜群の商について基本的な性質をまとめ、エタール亜群の商が引き起こす亜群C^*環の商について考察する。その後、亜群C^*環のアーベル化について考察する。具体的には、エタール亜群に対しそのアーベル化ともいべきエタール亜群を定義し、その亜群C^*環が元々の亜群C^*環のアーベル化になっていることを示す。また、亜群C^*環のアーベル化は可換C^*環なのでGelfandスペクトラムが定義されるが、亜群C^*環のアーベル化のGelfandスペクトラムが材料となったエタール亜群のアーベル化の双対亜群になっていることを示す。これは、群C^*環のアーベル化のGelfandスペクトラムが材料となった群のポントリャーギン双対になることを一般化する定理である。</p> <p>後半では、逆半群とエタール亜群のそれぞれの商の関係について述べる。逆半群から普遍亜群と呼ばれるエタール亜群を構成することができる。本論文では、逆半群の商が普遍亜群の商を誘導することを示し、商逆半群の普遍亜群が元々の普遍亜群の商になっていることを示す。次に、この結果を用いて、逆半群のアーベル化と普遍亜群のアーベル化が対応することや、普遍亜群を不動点集合に制限することが逆半群のクリフォード化と対応することを示す。最後に、自由クリフォード半群の普遍亜群の計算や、変換亜群の不動点の個数の評価を行う。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5634 号	氏 名	紅村 冬大
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士 (数理科学) 勝良 健史
	副査	慶應義塾大学教授	博士 (理学) 井関 裕靖
		慶應義塾大学教授	博士 (理学) 栗原 将人
		慶應義塾大学教授	博士 (数理科学) 坂内 健一
		慶應義塾大学准教授	博士 (数理科学) 服部 広大
		上越教育大学教授	理学博士 松本 健吾

学士 (理学), 修士 (理学) 紅村冬大君提出の学位請求論文は「Quotients of inverse semigroups, étale groupoids and C^* -algebras (逆半群、エタール亜群、 C^* 環の商について)」と題し、全3章より構成されている。

C^* 環論は、量子力学の数学的定式化という目的で誕生したのち、数学や物理の様々な分野と関連しあいながら今日までさかんに研究されている。本論文では、エタール亜群と呼ばれるものに付随する C^* 環である亜群 C^* 環が調べられている。エタール亜群は離散群、位相空間、離散力学系を包括する概念である。本論文の後半では、逆半群と呼ばれる代数的対象、およびその作用から定まるエタール亜群を扱っている。

本論文の主眼は、逆半群、エタール亜群、 C^* 環という異なる性質を持った3つの対象およびそれらの間の関係を、商という観点から調べているところにある。 C^* 環に対しては、閉両側イデアルで割るということで自然に商という概念が定義されている。また、逆半群に対しても合同と呼ばれる同値関係で割ることで商という概念が定義されている。一方で、エタール亜群に対しては適切な商をどう定義するべきかについて統一的な見解は無かった。本論文では、エタール亜群に対する商というものを提唱し、それが有用であるということ、 C^* 環や逆半群の商と関連させることで証明した。

第1章は序論であり、本論文で扱う C^* 環、エタール亜群、逆半群の定義や基本的な性質が述べられた後、これら3つの対象の関係に関して知られている事がまとめられている。

第2章では、最初にエタール亜群に対する商の概念が提唱されている。この概念は本論文で新たに提唱されたものであるが、その概念が有用であることが亜群 C^* 環の商と関連づけることで証明されている。さらに、 C^* 環に対するアーベル化という特別な商の、エタール亜群に対する類似物が提唱され、実際にエタール亜群のアーベル化の C^* 環が亜群 C^* 環のアーベル化に等しくなることが証明されている。最後に、エタール亜群のアーベル化の双対亜群を定義することで、亜群 C^* 環のアーベル化に対しゲルファンドスペクトラムと呼ばれる空間が計算されている。

第3章では、逆半群と亜群の関係がやはり商という観点から調べられている。逆半群が空間に作用しているとき変換亜群と呼ばれるエタール亜群が定義される。特に逆半群のスペクトラル作用と呼ばれる特別な作用から定まるエタール亜群を普遍亜群という。逆半群の商が普遍亜群の第2章で新たに提唱された意味での商を誘導することが示され、さらに商逆半群の普遍亜群が元々の普遍亜群の商になっていることが示されている。この結果を用いて、逆半群のアーベル化と普遍亜群のアーベル化が対応することや、普遍亜群を不動点集合に制限することが逆半群のクリフォード化と対応することなどが示されている。最後にこれまでの成果の応用として、自由クリフォード半群の普遍亜群の計算や、変換亜群の不動点の個数の評価などが行われている。

以上のように、本論文では、エタール亜群に対する商の概念が新たに提唱され、すでに定義されている C^* 環の商や逆半群の商との様々な関連を、亜群 C^* 環や普遍亜群を通して見ることにより、その概念の有用性が示されている。さらにアーベル化との関連や逆半群のクリフォード化などとの関連などに対し、様々な応用がなされている。この成果は、さらなる発展、応用が見込まれ、広く理学上寄与することが少なくない。よって、本論文の著者は博士(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 5635 号	氏 名	中村 俊太
主論文題名： High-Yield and Long-Lived Triplet Exciton Generation through Intramolecular Singlet Fission using Acene Derivatives (アセン分子連結体を用いた分子内一重項分裂による高効率かつ長寿命三重項励起子の生成)			
<p>一般に、分子の光吸収過程では 1 光子の吸収過程から 1 励起子が生成する一光子光学許容状態のみが遷移可能である。また、結晶や薄膜等の分子会合状態では均一溶液中の単量体と比べて励起子-励起子消滅をはじめとする迅速かつ大幅な励起エネルギー失活が生じる。つまり、分子およびその集合体における光励起過程では励起子の生成と長寿命化に依然解決すべき問題を抱えている。この問題点の解決策として、近接二分子間での 1 光子の吸収過程 (S_1S_0) から強相関三重項対 (TT) を経由して 2 つの独立した三重項励起子 (T_1+T_1) を生成し、励起子生成の量子収率が最大 200%の一重項分裂 (Singlet Fission: SF) が挙げられる。SF により生成する三重項励起子を高効率かつ長寿命で生成できれば、革新的な光エネルギー変換系の実現が期待できる。その鍵は TT の生成 ($S_1S_0 \rightarrow TT$) と開裂 ($TT \rightarrow T_1+T_1$) の制御であるが、分子間相互作用との関連について十分な知見はない。本論文では、最低励起一重項状態 (S_1) と三重項状態 (T_1) の間でエネルギー適合条件 $E(S_1) \geq 2E(T_1)$ を概ね満たすベンゼン環が直線上に縮環したアセン系分子を用いた。近接二分子間の相互作用を厳密に制御するため、共有結合で連結した一連のアセン分子連結体を合成し、分子内 SF (ISF) の評価を時間分解分光や電子スピン共鳴を用いて行った。その結果、高効率かつ長寿命の三重項励起子の生成に向けた分子設計戦略を具体的に明らかにするだけでなく、ISF による高効率な二電子移動や分子内二励起子拡散の観測にも成功した。</p> <p>第 1 章では、研究背景を概説し、本論文の目的と概要を記した。</p> <p>第 2 章では、SF 発現において最も代表的なペンタセンとより長い分子長を有するヘキサセンについて分子間の配向を変化させた 4 種類の二分子連結体を合成した。TT の生成についてはその発熱性の程度と分子間の電子カップリングに応じて反応速度は変化した。一方、TT の開裂過程に関しては遷移状態理論による活性化エンタルピーおよびエントロピーを算出した。その結果、それぞれの相補的な寄与、つまり、エンタルピー-エントロピー補償効果を明らかにし、分子内における振動運動と三重項励起子の生成量子収率の関連を示した。</p> <p>第 3 章では、上述の 2 つのアセンと比較して、T_1 のエネルギーがより高く、TT 生成の発熱性がより乏しい特徴を有するテトラセンに着目した。上述の電子カップリングだけでなく、新たに立体柔軟性に着目し、異なるスペーサー部位を有する計 4 種類の二分子連結体を合成した。その結果、小さな電子カップリングと大きな立体柔軟性を有する 4,4'-ビフェニル基で連結したテトラセン二分子連結体において量論的な三重項量子収率 ($\Phi_T = 196 \pm 12\%$) の実現に成功した。</p> <p>第 4 章では、前章と同様に高い Φ_T が期待できる 2,2'-ビフェニル連結型テトラセン二分子連結体を用いて電子アクセプターのテトラクロロ-<i>p</i>-ベンゾキノンへの分子間二電子移動反応を検証した。その結果、テトラセン二分子連結体の高効率三重項量子収率 $\Phi_T = 175 \pm 5\%$ だけでなく、電子移動量子収率 $\Phi_{ET} = 173 \pm 5\%$ を観測し、SF を介した量論的な二電子移動を初めて報告した。</p> <p>第 5 章では、前章で高効率 T_1+T_1 状態が生成したテトラセン二分子連結体を共有結合により一次的に伸長したテトラセン六分子連結体を合成した。両末端にエネルギーアクセプターユニットを連結したテトラセンヘテロ六分子連結体において、光励起に伴う SF から T_1+T_1 を高効率で生成し、両末端のエネルギーアクセプターユニットへの励起子拡散過程の直接観測に成功した。</p> <p>最後に、第 6 章では、本論文の総括および SF の光機能化に関する今後の展望について記した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5635 号	氏 名	中村 俊太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 羽曾部 卓
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 近藤 寛
		慶應義塾大学教授	工学博士 吉岡 直樹
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 藪下 聡

学士（理学）、修士（理学）中村俊太君提出の学位請求論文は「High-Yield and Long-Lived Triplet Exciton Generation through Intramolecular Singlet Fission using Acene Derivatives（アセン分子連結体を用いた分子内一重項分裂による高効率かつ長寿命三重項励起子の生成）」と題し、6章から構成されている。一般に、分子の光吸収過程では1光子の吸収過程から1励起子が生成する一光子光学許容状態のみが遷移可能である。また、結晶や薄膜等の分子会合状態では均一溶液中の単量体と比べて励起子-励起子消滅をはじめとする迅速かつ大幅な励起エネルギー失活が生じる。つまり、分子およびその集合体における光励起過程では励起子の生成と長寿命化に依然解決すべき問題を抱えている。この問題点の解決策として、近接二分子間での1光子の吸収過程 (S_1S_0) から強相関三重項対 (TT) を経由して2つの独立した三重項励起子 (T_1+T_1) を生成し、励起子生成の量子収率が最大200%の一重項分裂 (Singlet Fission: SF) が挙げられる。SFにより生成する三重項励起子を高効率かつ長寿命で生成できれば、革新的な光エネルギー変換系の実現が期待できる。その鍵はTTの生成 ($S_1S_0 \rightarrow TT$) と開裂 ($TT \rightarrow T_1+T_1$) の制御であるが、分子間相互作用との関連について十分な知見はない。本論文では、最低励起一重項状態 (S_1) と三重項状態 (T_1) の間のエネルギー適合条件 $E(S_1) \geq 2E(T_1)$ を概ね満たすベンゼン環が直線上に縮環したアセン系分子を用いた。近接二分子間の相互作用を厳密に制御するため、共有結合で連結した一連のアセン分子連結体を合成し、分子内SF (ISF) の評価を時間分解分光や電子スピン共鳴を用いて行った。その結果、高効率かつ長寿命の三重項励起子の生成に向けた分子設計戦略を具体的に明らかにするだけでなく、ISFによる高効率な二電子移動や分子内での二励起子拡散の観測にも成功した。

第1章では、研究背景を概説し、本論文の目的と概要を記した。

第2章では、SF発現において最も代表的なペンタセンとより長い分子長を有するヘキサセンについて分子間の配向を変化させた4種類の二分子連結体を合成した。TTの生成についてはその発熱性と分子間の相互作用（電子カップリング）の程度に応じて反応速度は変化した。一方、TTの開裂過程に関しては遷移状態理論による活性化エンタルピーおよびエントロピーを算出した。その結果、それぞれの相補的な寄与、つまり、エンタルピー-エントロピー補償効果を明らかにし、分子内における振動運動と三重項励起子の生成量子収率の関連を示した。

第3章では、上述の2つのアセンと比較して、 T_1 のエネルギーがより高く、TT生成の発熱性がより乏しい特徴を有するテトラセンに着目した。上述の電子カップリングだけでなく、新たに立体柔軟性に着目し、異なるスペーサー部位を有する計4種類の二分子連結体を合成した。その結果、小さな電子カップリングと大きな立体柔軟性を有する4,4'-ビフェニル基で連結したテトラセン二分子連結体において量論的な三重項量子収率 ($\Phi_T = 196 \pm 12\%$) の実現に成功した。

第4章では、前章と同様に高い Φ_T が期待できる2,2'-ビフェニル連結テトラセン二分子連結体を用いて電子アクセプターのテトラクロロ-*p*-ベンゾキノンへの分子間二電子移動反応を検証した。その結果、テトラセン二分子連結体の高効率三重項量子収率 $\Phi_T = 175 \pm 5\%$ だけでなく、電子移動量子収率 $\Phi_{ET} = 173 \pm 5\%$ を観測し、SFを介した量論的な二電子移動を初めて報告した。

第5章では、前章で高効率 $T_1 + T_1$ 状態が生成したテトラセン二分子連結体を共有結合により一次元的に伸長したテトラセン六分子連結体を合成した。両末端にエネルギーアクセプターユニットを連結したテトラセンヘテロ六分子連結体において、光励起に伴うSFから T_1+T_1 を高効率で生成し、両末端のエネルギーアクセプターユニットへの励起子拡散過程の直接観測に成功した。

最後に、第6章では、本論文の総括およびSFを利用した光機能化に関する今後の展望を記した。

以上、要するに本論文は、一連のアセン分子連結体を合成し、構造と励起ダイナミクスの相関を詳細に議論している。特に、分子間の電子カップリングと立体柔軟性の相乗的制御による高効率かつ長寿命三重項励起子の生成は光化学・材料科学分野の発展への寄与は少なくない。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 5636 号	氏 名	伊藤 厚史
主 論 文 題 名 :			
圧縮 Epsilon Photography による撮影後の画像制御			
<p>銀塩カメラからデジタルカメラへの切り替えが進み、撮影の利便性は著しく向上した。しかし、撮影者それぞれが持つ独自の好みに合致した「好ましい画像」を得るために、撮影者は未だ、フォーカス位置や絞りのサイズ、シャッタ速度や ISO 感度など、カメラの数多くのパラメータを撮影時に調整しなければならず、撮影後にそれらを変更・制御するのは従来、不可能であった。デジタルカメラ内の計算資源の向上や、光学技術の進歩に伴い、これらを自動で制御する技術は発展しているが、完全に間違えない撮影には至っておらず、ユーザの好みに応じて後から撮影画像を制御したい欲求は満たされない。ライトフィールド撮影は、フォーカス位置と撮影視点について撮影後の画像制御を可能にした。しかし、専用ハードウェアが必要であり、空間解像度を犠牲にして光線情報を取得するため、最終的な画像の解像度が低くなり、フォーカス位置や絞りの大きさの完全にフレキシブルな復元はできない。</p> <p>それに対し、本論は、従来カメラを用いて、フォーカス位置や絞りの大きさ、露光時間を各々に変えて撮影された複数枚の撮影画像から、あらゆるカメラパラメータで撮影された画像を復元する技術を提案する。言い換えれば、あらかじめ設定されたパラメータによる連写画像を入力とし、従来であれば数千枚の撮像を必要とする完全な画像スタック（例：HDR の Aperture-Focus スタック）を、その 1%にも満たない 16~32 枚程度の撮像数から再構成する。</p> <p>第 1 章では、本研究の背景と従来の研究を概説する。</p> <p>第 2 章では、アルゴリズム構築の上で着目した、フォーカス位置・絞り値・露光レベルの全パラメータで撮影された画像スタックの統計的な冗長性を示す。</p> <p>第 3 章では、数少ない撮影画像から完全な画像スタックを復元するアルゴリズムを解説する。前途の冗長性を活用した混合ガウシアンモデル表現、グリーディ・アルゴリズムにより最適な組み合わせのパラメータ組合せについての説明が含まれる。</p> <p>第 4 章では、実画像における実験により本手法の効果を示す。Focus スタック、Aperture-Focus スタック、複数露光レベルの Aperture-Focus スタックのそれぞれについて、定性・定量評価の結果を示す。</p> <p>第 5 章では、画像スタック再構成が実現するアプリケーション例を示す。高精細な奥行情報を取得する Confocal ステレオ、および、撮影後のカメラ制御による画像のレタッチング、について解説する。</p> <p>第 6 章では、結論として内容をまとめ、本研究の成果を要約する。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5636 号	氏 名	伊藤 厚史
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 青木 義満
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 池原 雅章
		慶應義塾大学教授	工学博士 田中 敏幸
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄

学士（工学）、修士（工学）伊藤厚史君提出の学位請求論文は「圧縮 Epsilon Photography による撮影後の画像制御」と題し、6章から構成されている。

銀塩カメラからデジタルカメラへの切り替えが進み、撮影の利便性は著しく向上した。しかし、撮影者それぞれが持つ独自の好みに合致した「好ましい画像」を得るために、撮影者は未だ、フォーカス位置や絞りのサイズ、シャッター速度や ISO 感度など、カメラの数多くのパラメータを撮影時に調整しなければならず、撮影後にそれらを変更・制御するのは従来、不可能であった。デジタルカメラ内の計算資源の向上や、光学技術の進歩に伴い、これらを自動で制御する技術は発展しているが、完全に間違えない撮影には至っておらず、ユーザの好みに応じて後から撮影画像を制御したい欲求は満たされていない。ライトフィールド撮影は、フォーカス位置と撮影視点について撮影後の画像制御を可能にした。しかし、専用ハードウェアが必要であり、空間解像度を犠牲にして光線情報を取得するため、最終的な画像の解像度が低くなり、完全にフレキシブルな復元はできない。

本研究は、従来カメラを用いて、フォーカス位置や絞りの大きさ、露光時間を各々に変えて撮影された複数枚の撮影画像から、あらゆるカメラパラメータで撮影された画像を復元することを目的としている。予め設定されたパラメータによる連写画像を入力とし、従来、数千枚の撮像を必要とする完全な画像スタックを、その1%にも満たない16～32枚程度の撮像数から再構成する手法を提案している。フォーカス位置・絞り値・露光レベルの全パラメータで撮影された画像スタックの統計的な冗長性を示し、混合ガウシアンモデルを用いてモデル化することで、数少ない画像から完全な画像スタック復元するアルゴリズムを構築し、実証している。

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、アルゴリズム構築の上で着目した、フォーカス位置・絞り値・露光レベルの全パラメータで撮影された画像スタックの統計的な冗長性を示している。

第3章では、数少ない撮影画像から完全な画像スタックを復元するアルゴリズムを解説している。具体的には、冗長性を活用した混合ガウシアンモデル表現、及びグリーディ・アルゴリズムによる最適なパラメータの組み合わせについて説明している。

第4章では、実画像における実験により提案手法の有効性を示している。Focus スタック、Aperture-Focus スタック、複数露光レベルの Aperture-Focus スタックのそれぞれについて、定性・定量評価の結果を示している。

第5章では、画像スタック再構成が実現するアプリケーション例を示している。高精細な奥行情報を取得する Confocal ステレオ、及び撮影後のカメラ制御による画像のレタッチングについて解説している。

第6章では、各章で得られた成果をまとめ、本論文全体の結論を述べている。

以上要するに、本論文ではフォーカス位置や絞りの大きさ、露光時間を各々に変えて撮影された複数枚の撮影画像から、あらゆるカメラパラメータで撮影された画像を復元可能であることを理論と実験の双方から実証しており、画像工学分野において、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5637号	氏名	大平 峻
主論文題名： Robust Model-based Control in Motion Control Systems (モーショントラッキングシステムにおけるロバストなモデルベース制御)			
<p>近年、人と協調して動作するロボットの研究が世界中で注目されている。このようなロボットにおいて、人への安全性とロボットの安定な動作を保証できる制御の実現は最優先課題となる。安全性及び安定な動作の保証は、ロボット・環境の制約条件として表され、この制約条件を常に確保した制御が望まれる。制約条件を考慮した制御系設計手法の1つにモデル予測制御がある。モデル予測制御は、数式的に記述された制約条件の下で最適な動作制御を実現する手法であり、この手法の協調ロボットへの適用が期待される。しかしながら、モデル予測制御は、制御対象の数式モデルを利用して予測・制御を行うため、実環境下における不確かさに起因したロバスト性の低下を招くという課題が未だに存在する。そこで、本研究では、制約された安全なロボット動作の実現を目指し、制約付き制御のロバスト化のため、外乱除去及びノイズ除去に着目した新たな制御系設計指針を明確化している。また、これに伴い、外乱とノイズへのロバスト性を適応的に自動調整する新しい状態と外乱の推定技術の設計指針を明らかにしている。</p> <p>第1章では、本研究の背景、従来手法の問題点と課題、目的について説明している。</p> <p>第2章では、制約付き制御の外乱除去を目的とし、従来手法である状態と外乱の同時推定を行う外乱オブザーバを説明し、外乱オブザーバを併用したモデル予測制御系設計法を提案し、外乱除去機能を付加した制約付き制御系の設計指針を明らかにした。また、制約付き加速度制御系について設計手法を明確化し、有用性を実証した。さらに、従来の外乱推定手法の問題点であるノイズ感度と外乱推定性能のトレードオフが制御系に与える影響も明らかとなっている。</p> <p>第3章では、制約付き制御のノイズ・外乱除去を目的とし、従来手法であるカルマンフィルタを用いた状態と外乱の同時推定手法を活用し、制約付き制御系の設計を行うことで、観測ノイズへのロバスト性を確保した制約付き制御系の設計法とその検証を示した。検証結果から、提案手法が制御系のノイズの影響を適切にキャンセルする性能を有することを確認した。また、外乱推定を含むカルマンフィルタ手法にも従来の外乱推定手法と同様の問題が存在し、その改善を要することを明らかにしている。提案手法は非線形システムへも容易に拡張可能であり、非線形カルマンフィルタを用いた適用例を示し、その有用性を確認した。</p> <p>第4章では、従来の外乱推定手法の問題点を根本的に解決することを目的として、ノイズ除去と外乱推定速度のトレードオフの関係性を改善する設計指針を明らかにし、観測ノイズの影響を適応的に除去する機能を付加した状態と外乱の同時推定手法を提案し、その有用性を検証した。検証結果から、従来の外乱オブザーバと異なり、提案手法は観測雑音、量子化雑音を適応的に除去しながら、状態と外乱を精度よく同時推定する性能有することを確認した。提案手法は低分解能、低コストセンサにおいても実装可能であり、従来の外乱推定手法では適用が困難であったシステムでも効果的な性能が得られることをシミュレーションにより確認した。</p> <p>第5章では、本研究の成果についてまとめている。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5637 号	氏 名	大平 峻
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	博士（工学）	村上 俊之
	副査 慶應義塾大学教授	工学博士	大森 浩充
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	滑川 徹
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	高橋 正樹
	芝浦工業大学教授	博士（工学）	島田 明
<p>学士（デザイン工学）、修士（工学）大平 峻 君提出の学位請求論文は「Robust Model-based Control in Motion Control Systems」（モーションコントロールシステムにおけるロバストなモデルベース制御）と題し、5章から構成されている。近年、人と協調するロボットの実現に対する期待が高まっており、その安全性および安定性の保証において、ロボットと環境の制約条件が導入可能なモデル予測制御に多くの関心が寄せられている。しかしながら、モデル予測制御は、制御対象の数式モデルを利用した予測・制御則となっているため、実環境下でのモデルの不確かさに対するロバスト性は必ずしも充分ではない。そこで、本論文では観測ノイズ除去にも着目しつつ、制約付き制御のロバスト性向上に関する新たな手法を提案し、シミュレーションおよび実験によりその有用性を検証している。</p> <p>第1章では、本研究の目的を述べ、研究の位置付けおよび論文構成を概説している。</p> <p>第2章では、ロバスト制御の従来手法として外乱オブザーバについて概説し、外乱オブザーバを併用したモデル予測制御における制御器設計法を提案している。また、外乱オブザーバにより実現可能な加速度制御器に対する制約付き制御器設計手法を明確化し、ノイズ感度と外乱推定性能において従来手法と同様にトレードオフが存在することを確認しつつ、その有用性をシミュレーションならびに3自由度マニピュレータによる実機実験により実証している。</p> <p>第3章では、モデル予測制御による制約付き制御で問題となる外乱に対するロバスト性向上とともに、観測ノイズ感度低減のため、カルマンフィルタを導入した制約付き制御器の新たな設計指針を提案している。また、提案手法の有用性を含め制御系の観測ノイズに対する影響を適切に低減できることをシミュレーションにより検証を行っている。さらに、検証結果から外乱推定の収束性能に関して従来手法と同様に解決すべき問題があることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、第3章で明らかとなった問題を考慮し、観測ノイズ除去と外乱推定速度の向上に関するトレードオフを改善する制御器設計指針を明らかにしている。提案手法では、状態推定と観測ノイズ除去性能の両者に関わるパラメータとなる忘却係数を可変ゲインとする適応カルマンフィルタを構成することで、外乱推定に影響を与える観測ノイズを適応的に除去しつつ、状態と外乱の推定速度向上を可能としている。提案手法により、観測ノイズの影響を適応的に除去しつつ状態と外乱をより高速に推定する手法を実現し、シミュレーションによりその有用性を検証している。検証結果より、従来手法である外乱オブザーバと比較し、観測ノイズおよび位置検出センサとしてエンコーダを想定した量子化ノイズを適応的に除去しつつ、状態と外乱の推定精度が向上することを確認している。</p> <p>第5章では、結論を述べ、得られた成果の重要な貢献と今後の展望について総括している。</p> <p>以上要するに、本研究では観測ノイズ除去を考慮した制約付き制御のロバスト性向上に関する新たな制御器設計手法を提案し、シミュレーションおよび実機実験によりその有用性を実証したものである。これらの研究はモーションコントロールにおけるロバスト制御手法のさらなる実応用を含め、ロボティクス、メカトロニクス分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第5638号	氏名	富崎 真衣
主論文題名： ダイヤモンド電極による二酸化炭素の電解還元： 選択的および効率的有価物生成に向けて			
<p>CO₂の有効利用の観点から、豊富な炭素資源であるCO₂の有用物質への変換技術は重要である。種々の変換手法の中でも、室温・大気圧の条件下、印加する電位や電流により反応を制御できることから、電解還元は優れた方法である。これまでに金属や金属酸化物などを作用極としたCO₂還元が多数報告されているが、それらの従来電極においては、生成物選択性が不十分であることや、電極材料の安定性が課題となっていた。一方、ホウ素をドーピングした導電性のダイヤモンド電極は、ダイヤモンド構造由来の高い物理・化学的安定性や、水溶液中での高い水素過電圧を有するため、CO₂還元用の電極として期待できる。そこで本研究では、ダイヤモンド電極を用いたCO₂還元反応について検討し、選択的かつ高効率な有価物生成を目指した。特に、CO₂還元反応における電解液の及ぼす影響について詳細に調べることで、選択的かつ高効率にギ酸や一酸化炭素を生成する条件や、反応に要する過電圧を低減する条件を見出すことに成功した。</p> <p>第1章では、本研究の背景を概説し、本論文の目的と概要を述べた。</p> <p>第2章では、本論文で作用極として使用する、ホウ素ドーピングダイヤモンドの作製および物性評価について述べた。</p> <p>第3章では、ダイヤモンド電極上でのCO₂還元により得られる、ギ酸と一酸化炭素の生成に対する電解質の影響について調べた。電解質のカチオンとアニオンの組み合わせを変化させてCO₂還元を行ったところ、ギ酸生成には、サイズの大きなアルカリ金属カチオンと、電極に特異吸着すると言われているアニオンの組み合わせが適していることが明らかとなった。ギ酸生成の電流効率は最大で95.5%、選択性は最大で99.7%であり、選択的かつ高効率なギ酸生成を達成した。さらに、アニオンとして過塩素酸イオンを用いた際には、一酸化炭素生成が促進されることを見出した。生成条件の最適化を行うことで、一酸化炭素生成の電流効率は最大で67.7%、選択性は最大で81.9%を達成した。このような選択性の制御が、CO₂還元反応の中間体と電極界面との相互作用の相違によることを全反射赤外分光測定により明らかにした。</p> <p>第4章では、ダイヤモンド電極上での効率的なCO₂還元を模索するため、CO₂の微細気泡を利用したCO₂還元反応を検討した。CO₂の微細気泡が電気化学反応の触媒として働くことで、必要な印加電位が貴側へシフトし、一酸化炭素生成が促進されることが明らかとなった。</p> <p>第5章では、本論文の総括と、ダイヤモンド電極を作用極としたCO₂の電解還元の応用に関する展望を述べた。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5638 号	氏 名	富崎 真衣
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 栄長 泰明
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 今井 宏明
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 羽曾部 卓
		慶應義塾大学教授	工学博士 寺坂 宏一

学士（理学）、修士（理学）富崎真衣君提出の学位請求論文は、「ダイヤモンド電極による二酸化炭素の電解還元：選択的および効率的な有用物生成に向けて」と題し、5章から構成されている。

二酸化炭素（CO₂）有効利用の観点から、豊富な炭素資源である CO₂ の有用物質への変換技術が求められている中、優れた電気化学特性と耐久性をもつダイヤモンド電極を用いた電気化学還元法が注目されている。本論文では、ダイヤモンド電極上での CO₂ 還元反応における電解液の及ぼす影響について詳細に調べること、それらの反応機構を明らかにしている。さらに、電解生成物であるギ酸や一酸化炭素の選択的かつ効率的な生成条件に関する知見を得ている。

第1章では、本研究の背景を概説し、本論文の目的と概要を述べている。

第2章では、本論文で作用極として使用する、ホウ素ドーパダイヤモンドの作製および物性評価について述べている。

第3章では、ダイヤモンド電極上での CO₂ 還元により得られる、ギ酸と一酸化炭素の生成に対する電解質の影響について調べている。電解質のカチオンとアニオンの組み合わせを変化させて CO₂ 還元を行い、ギ酸生成には、サイズの大きなアルカリ金属カチオンと、電極に特異吸着するアニオンの組み合わせが適していることを明らかにしている。ギ酸生成の電流効率は最大で 95.5%、選択性は最大で 99.7%であり、選択的かつ高効率なギ酸生成を達成している。さらに、アニオンとして過塩素酸イオンを用いた際には、一酸化炭素生成が促進されることを見出している。生成条件の最適化を行うことで、一酸化炭素生成の電流効率は最大で 67.7%、選択性は最大で 81.9%を達成している。このような選択性の制御が、CO₂ 還元反応の中間体と電極界面との相互作用の相違によることを全反射赤外分光測定により明らかにしている。

第4章では、ダイヤモンド電極上での効率的な CO₂ 還元を模索するため、CO₂ の微細気泡を利用した CO₂ 還元反応を検討している。CO₂ の微細気泡が電気化学反応の触媒として働くことで、必要な印加電位が貴側へシフトし、一酸化炭素生成が促進されることを明らかにしている。

第5章では、本論文の総括と、ダイヤモンド電極を作用極とした CO₂ の電解還元への応用に関する展望を述べている。

以上要するに、本論文の著者は、CO₂ の電気化学的還元における反応機構を明らかにするとともに、有用物質への変換に関する重要な知見を得ており、電気化学分野のみならず、環境科学分野の発展に大きく貢献するものである。よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5639	Name	Huang, Weihai
Thesis Title			
Mechanisms of Material Removal and Surface Formation in Ultraprecision Machining of Polycrystalline Zinc Selenide			
<p>Polycrystalline zinc selenide (<i>p</i>-ZnSe) is a typical infrared optical material that has many important applications. <i>p</i>-ZnSe possesses soft and brittle properties and consists of grains with various orientations; therefore, it is very difficult to machine. Unless strictly controlled conditions are applied, it is difficult to avoid surface damage caused by the brittle fracture of <i>p</i>-ZnSe during mechanical processing. Meanwhile, owing to the acute toxicity of <i>p</i>-ZnSe, the chips generated from the material removal process must be well collected to prevent health hazards and environmental pollution. The overall purposes of this thesis are to understand the material removal mechanism and surface integrity of <i>p</i>-ZnSe when using different shapes of cutting tools, and to propose a chips-free processing method for machining <i>p</i>-ZnSe.</p> <p>Chapter 1 provides the background, motivation, and objectives of this research.</p> <p>Chapter 2 provides an introduction to ultraprecision machining technology, and an overview of the material removal mechanisms for brittle single crystalline materials, polycrystalline materials and multiphase ceramics, as well as a literature review on ultraprecision machining of ZnSe.</p> <p>Chapter 3 presents the results of ultraprecision diamond turning experiments on <i>p</i>-ZnSe under various conditions by using round-nosed tools. The corresponding surface formation mechanisms were investigated by examining the surface topography, chip morphology, material microstructural change, and cutting forces.</p> <p>Chapter 4 presents the results of micro-grooving experiments on the <i>p</i>-ZnSe pre-coated with resin layer by using V-shaped tool. Experimental results showed that the workpiece pre-coating method is effective in preventing the formation of cracks at the edges of the groove. Through the finite element simulation, it was found that the resin coating makes the tensile stresses distributed away from the edge of the groove and the workpiece surface.</p> <p>Chapter 5 presents the results of single and repeated nanoscratching tests on <i>p</i>-ZnSe by using a Berkovich-type diamond indenter along the face-forward (FF) and edge-forward (EF) directions. Results showed that the material removal for the grooves scratched in the EF direction and the FF direction are in ductile and brittle modes, respectively.</p> <p>Chapter 6 presents the results of micro/nanoscale burnishing tests on <i>p</i>-ZnSe under dry and lubricated conditions by using a spherical diamond tool. The material deformation behaviors and subsurface damages in burnishing process were investigated. The feasibility of high-precision surface patterning of brittle polycrystalline material without chip generation was verified.</p> <p>Chapter 7 presents the overall conclusions and the future work from this research.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5639 号	氏 名	Huang, Weihai
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 閻 紀旺
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 小茂鳥 潤
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 大宮 正毅
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 青山 英樹
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 柿沼 康弘

学士（工学）、修士（工学）HUANG, Weihai 君提出の学位請求論文は「Mechanisms of Material Removal and Surface Formation in Ultraprecision Machining of Polycrystalline Zinc Selenide」（多結晶セレン化亜鉛の超精密加工における材料除去と表面形成のメカニズム）と題し、7 章から構成されている。

多結晶セレン化亜鉛 (p -ZnSe) は赤外線波長領域で高い透過性を示しており、車載レンズなどとしての応用が期待されている。しかし、 p -ZnSe は典型的な脆性材料であり、強い結晶異方性を有するため、高精度な機械加工が困難とされている。本研究では、形状の異なる 4 種類のダイヤモンド工具を用いて p -ZnSe のマイクロ・ナノスケールの加工を行い、平滑面や微細溝および 3 次元パターンの創成を試みている。材料除去と変形における工具形状および被削材の結晶粒界などの影響を調査することにより表面形成メカニズムを解明し、超精密加工を実現するための加工条件を見出している。

第 1 章では、本研究の背景を概説し、目的を明確にしている。

第 2 章では、各種材料の機械加工メカニズムに関する従来研究を概説し、 p -ZnSe の加工における課題や関連研究動向の紹介を行っている。

第 3 章では、円弧状切れ刃をもつダイヤモンド工具を用いて p -ZnSe の切削実験を行い、加工表面と切りくずの形態、材料の微視的構造変化および切削力を調査することにより、平滑面の形成メカニズムを解明している。また、適正な加工条件を選定することにより、ナノメートルレベルの表面粗さを有する超精密表面が得られている。

第 4 章では、V 字型切れ刃をもつダイヤモンド工具を用いて p -ZnSe に対して微細溝加工を行い、結晶異方性の影響を検討している。また、有限要素法によって加工時の応力分布を明らかにし、前処理として施した被削材表面への樹脂コーティングによって引張応力の集中が溝のエッジ部において緩和されることを明らかにしている。

第 5 章では、バーコピッチ型ダイヤモンド圧子を用いて p -ZnSe のスクラッチ試験を行い、異なる条件での材料変形挙動と表面損傷を調べている。圧子の平面と稜線の方位変化によって加工状態の延性・脆性遷移現象が大きく異なることを示している。

第 6 章では、先端が球状のダイヤモンド工具を用いて、乾燥状態および潤滑状態での p -ZnSe のバニシング実験を行っている。材料の変形挙動および表面損傷が各結晶粒の結晶方位に強く依存することを明らかにし、結晶異方性の影響を抑えるための 3 次元パターン形成条件を見出している。

第 7 章では、各章で得られた内容をまとめ、本研究の結論について要約している。

以上要するに、本論文は異なる形状のダイヤモンド工具を用いて p -ZnSe のマイクロ・ナノスケールの加工メカニズムを解明し、高精度加工を実現するための加工条件を明らかにしたものであり、加工学および材料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5640号	氏名	矢加部 祥
主論文題名： 流動解析を用いた多チャネルシングルモードポリマー光導波路の低損失化と fan-in/fan-out 素子への応用			
<p>データセンタ内通信機器の性能向上にともない、通信機器間のネットワークには光配線の導入が進み、さらなるデータ伝送容量の増大および配線の高密度化が求められている。しかしながら、従来の光ファイバ・光コネクタによる配線では、配線密度に限界が予想される。この解決策の一つとして、マルチコアファイバ(MCF)による新たな高密度光配線が提案されている。MCFは、従来の光ファイバと同等の直径を有するクラッド断面内に複数のシングルモードコアを配列することで、単一コア光ファイバに比べ、配線密度、通信容量の増大を可能とする。一方で、MCFを光電変換モジュールに光学的に接続するにはコアを直線状に等間隔に配列させる必要がある。そのため、コア再配列のための光学部品である fan-in/fan-out(FIFO)素子が不可欠であり、さらに光コネクタと一体化できる小型素子が望まれる。この小型 FIFO 素子として、モスキート法にて作製される3次元ポリマー光導波路が期待されている。モスキート法とは、マイクロディスプレイを用いるポリマー光導波路作製法であり、従来の光導波路作製手法では困難であった3次元光配線が容易に形成可能である点を特徴とする。しかしながら、モスキート法によるシングルモード導波路の作製およびシングルモード光ファイバ(SMF)との接続損失の低減について、これまで十分な検討がなされていなかった。そこで本研究では、ポリマー光導波路の FIFO 素子への応用に向けて、光導波路と SMF 間の光結合効率に着目した。特に、コア形状は接続損失に多大な影響を及ぼすため、モノマー流動解析を利用して導波路コアの真円化条件を明らかにした。理論解析結果より求めた最適作製条件にて、実際に多チャネルポリマー光導波路を作製し、設計通りに真円コアが形成されることを検証し、SMF との低損失接続を実証した。</p> <p>第1章は、序論であり大規模データセンタネットワーク高速・長距離化のための光通信デバイス開発の重要性を概説し、本研究の目的を示した。</p> <p>第2章では、データセンタネットワークの光通信デバイスとして重要となる光ファイバおよび光コネクタ等の光接続部品に関して概説した。</p> <p>第3章では、既存のポリマー光導波路作製方法、および3次元光配線を可能にするポリマー光導波路作製法として、本研究で用いたモスキート法に関してまとめた。さらに、シングルモードポリマー光導波路に適応可能なポリマー材料についてまとめた。</p> <p>第4章では、モスキート法工程中の、クラッドモノマーに関する流動解析を行い、多くのパラメータの中からコア形状に影響するパラメータを明らかにした。解析を通してコアの真円化を可能とする作製条件を見出し、その条件下で導波路を作製することで、真円度の高い円形コアが形成できることを実証した。これらの実験および解析の結果、複数コアを有するポリマー光導波路と SMF 間における挿入損失は 1.5 dB 以下、接続損失は 0.2 dB 以下となり、従来のモスキート法で作製された導波路よりも SMF との接続損失を大幅に低減可能であることを理論的、実験的に明らかにした。</p> <p>第5章は、結論であり、光導波路・SMF 間の低接続損失化について総括した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5640 号	氏 名	矢加部 祥
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 石樽 崇明
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 津田 裕之
		慶應義塾大学准教授	工学博士 二瓶 栄輔
		慶應義塾大学教授	博士（工学），TeknD 深淵 康二
<p>学士（工学），修士（工学）矢加部祥君提出の学位請求論文は、「流動解析を用いた多チャネルシングルモードポリマー光導波路の低損失化と fan-in/fan-out 素子への応用」と題し、5 章から構成されている。</p> <p>データセンタの大容量・大規模化にともない、データセンタ内通信機器間ネットワークへの光配線導入が進み、さらなるデータ伝送容量の増大および高密度配線化が求められている。今後、従来の光ファイバ、光コネクタを用いた配線では、配線密度向上の限界が予想されることから、その解決策の一つとして、マルチコアファイバ（MCF）による新たな高密度光配線方式が提案されている。MCF は、従来の光ファイバと同程度の直径を有するクラッド断面内に、複数のシングルモードコアを 2 次元に配列することで、配線密度、通信容量の増大を可能にする。しかしながら、1 次元配列の光源・受光器アレイやシングルモードファイバ（SMF）リボンと MCF との接続には、MCF の両端で、2 次元から 1 次元コア配列に変換する必要がある。このコア再配列には、fan-in/fan-out（FIFO）素子が不可欠とされており、光コネクタと一体化できる小型 FIFO 素子が望まれている。本研究では、モスキート法にて比較的容易に作製可能な 3 次元コア配列のポリマー光導波路を FIFO 素子へ応用するために、流体解析を導入して光導波路のコア形状、配列の最適化設計をした上で、実際に多チャネルシングルモードポリマー光導波路を作製し、低損失 FIFO 素子の作製に成功している。</p> <p>第 1 章は、序論であり、大規模データセンタネットワークの高速・長距離化要求に対応するための光通信デバイス開発の重要性を概説し、本研究の目的を示している。</p> <p>第 2 章では、すでに光通信デバイスとして実用化されている光ファイバおよび光コネクタ等の光接続部品に関して概説している。</p> <p>第 3 章では、既存のポリマー光導波路作製方法および 3 次元光配線を可能にするポリマー光導波路作製法として本研究で用いたモスキート法に関して述べている。さらに、シングルモードポリマー光導波路を構成するポリマー材料に要求される光学特性、物性を示している。</p> <p>第 4 章では、モスキート法工程中、コアモノマー吐出時のモノマーの流動解析を行い、ニードル走査により生じるクラッドモノマー内の圧力分布が、コア断面形状に大きく影響することを定量的に示している。この流体解析を通して、コア断面を真円化するための条件を見出し、実際にその条件下で導波路を作製して、真円度の高いシングルモード円形コアの形成に成功している。その結果、作製されたシングルモードポリマー光導波路では、複数のコアと SMF との間で 0.2 dB 以下の接続損失が得られており、これまでモスキート法にて作製された導波路と SMF との間に生じていた接続損失を、1/3 以下にまで低減できることを理論的、実験的に明らかにしている。以上の流体解析および導波路作製実験の結果をもとに、4 コア MCF のための FIFO 素子に適する 3 次元コア配列のポリマー光導波路を設計し、試作した 14 mm 長の FIFO 素子にて、平均挿入損失 1.4 dB 以下の小型化・低損失化を実現している。</p> <p>第 5 章は、結論であり、3 次元ポリマー光導波路による MCF のための小型・低損失 FIFO 素子実現の可能性と課題について総括している。</p> <p>以上要するに、本論文の著者は、流体解析を導入することでモスキート法により作製するポリマー光導波路の低損失化に成功し、新たな光通信デバイスとなる 3 次元導波路型 FIFO 素子を提案しており、高分子科学、光通信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。</p>			

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5641	Name	Aye Mon Htun
Thesis Title			
A Study of Antenna and User Selection Schemes for Multiuser Massive MIMO Systems			
<p>In the 4th generation mobile communication system, high-speed data transmission is achieved by spatially parallel data transmission between the base station and multiuser using multiple-input multiple-output (MIMO) antennas. However, to meet the rapidly increasing traffic demand, further increase in speed and capacity is required. In mobile communication systems of the 5th generation and later, many antennas are placed in the base station, and multiuser massive MIMO (MU-Massive MIMO) Time Division Duplex (TDD) mobile communication system is promising. But, to maximize the effective use of the transmission power of the base station and maximize the throughput, it is necessary to select antenna sets with excellent propagation path conditions among many antennas of base station and users while reducing the amount of calculation. In this thesis, we propose methods to efficiently select the combination of base station (BS) antennas and multiusers with a small amount of calculation, then clarify the effectiveness of the proposed methods by computer simulation for MU-Massive MIMO systems with TDD mode. Evaluation results show that high throughput can be achieved based on channel gain (CG) and signal to interference and noise ratio (SINR). Chapter 1 describes the features of high-speed, large-capacity transmission technologies such as MU-Massive MIMO and beamforming, which are promising for mobile communications from the 5th generation onward. The issues regarding the selection of the BS antennas and receive users are described, and the purpose and position of this research are summarized. Chapter 2 describes the conventional research related to our research, then clarifies their problems. Chapter 3 describes the MU-Massive MIMO system model for our research works and presents a BS antennas and users selection scheme with a small amount of calculation. The proposed method is based on the Frobenius Norm of the channel information. The selection scheme is simplified by using complexity control factor for the preselection step. And then, the brute force search (BFS) fine tuning selection will be done based on assumption of deterministic MIMO channel to avoid the high computation of singular value decomposition (SVD) requirement for beamforming transmission in downlink communication. As a result of computer simulation, it is shown that the proposed method can reduce the amount of calculation required for selection while maintaining almost the same throughput as the conventional method. Chapter 4 proposes a BS antenna and multiuser selection method based on CG as well as SINR. In the proposed method, users with higher channel gains but lower interferences from surrounding users will be selected by discarding all users who give higher interferences to the selected users in the cell. This kind of selection can be done based on the fine-tuning BFS search on the CG-based and SINR-based users sets. Computation complexity of BFS search can be reduced based on the common users of CG-based and SINR-based users sets. As a results of computer simulation, it is shown that the proposed method achieves higher throughput and reduces the amount of calculation required for user selection compared to the conventional method. Chapter 5 is a conclusion that summarizes the content of the thesis and future issues.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5641 号	氏 名	Aye Mon Htun
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬 巖
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 大槻 知明
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 眞田 幸俊
		アテネ大学教授	Ph. D. P. Takis Mathiopoulos
		Chindwin Technical University 教授	博士（工学） Sann Maw Maung
<p>Batcher of Engineering, 修士（工学），Aye Mon Htun 君提出の学位請求論文は、「A Study of Antenna and User Selection Schemes for Multiuser Massive MIMO Systems (マルチユーザ大規模 MIMO システムにおけるアンテナとユーザの選択方法に関する研究)」と題し、5 章から構成される。</p> <p>第 4 世代移動通信システムでは、複数送受信アンテナ（MIMO: Multiple-Input Multiple-Output）を用いて、基地局とマルチユーザ間で空間的に並列データ伝送を行うことにより、高速伝送を達成しているが、第 5 世代以降の移動通信システムでは、さらなる高速大容量化が求められる。そこで、基地局に超多数のアンテナを配置し、基地局とユーザ間の伝搬状況が優れたアンテナを選択するマルチユーザ MIMO を用いた時分割多重 (TDD: Time Division Duplex) 移動通信システムが有望視されている。基地局の送信電力を最大限有効に利用し、スループットを最大化するためには、超多数アンテナおよび多数のユーザの中から、伝搬路状況の優れた基地局とマルチユーザのアンテナセットを選択することが求められる。しかしながら、計算量を低減しつつ、伝搬路状況の優れたアンテナセットを効率よく選択する方法は、まだ十分には研究されていない。</p> <p>本論文では、マルチユーザ大規模 MIMO を用いた TDD 移動通信システムにおいて、チャネル利得と信号対干渉と雑音の電力比 (SINR: Signal to Interference and Noise Ratio) に基づいて、高いスループットを達成できる基地局アンテナとマルチユーザの組み合わせを、少ない計算量で効率よく選び出す方法を提案し、提案方式の有効性を計算機シミュレーションにより明らかにしている。</p> <p>第 1 章では、マルチユーザ MIMO 等の高速大容量伝送技術の特徴と、第 5 世代以降の移動通信で有望視されているマルチユーザ大規模 MIMO を用いた TDD 方式における、基地局とユーザ間のアンテナセット選択に対する課題を述べ、本研究の目的と位置付けをまとめている。</p> <p>第 2 章では、本研究で扱うマルチユーザ大規模 MIMO システムモデルと、本研究に関連する従来研究を述べ、課題を明らかにしている。</p> <p>第 3 章では、基地局アンテナとマルチユーザの組み合わせを、チャネル利得に基づいて、少ない計算量で選び出す方法を提案している。提案方法では、平均チャネル利得以上の基地局アンテナとユーザを選択候補とし、選択に必要な計算量を制御するパラメータと、基地局で利用するアンテナ数を設定することにより、基地局アンテナとユーザの組み合わせ数を絞り込んだ後、特異値分解計算を回避して計算量を低減しつつ、基地局とユーザのアンテナセットを選択する方法を示している。計算機シミュレーションの結果、提案方法は、従来方法に比べ、ほぼ同等のスループットを保ちながら、選択に要する計算量を低減できることを明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、チャネル利得だけでなく SINR にも基づいて、基地局アンテナとマルチユーザの選択方法を提案している。提案方法では、チャネル利得は高いものの周りのユーザからの干渉が強いユーザの選択を回避し、また、密集したユーザグループ内の高いチャネル利得を有するユーザの一部だけを選択し、スループットの向上を図ると共に、高チャネル利得と高 SINR を持つユーザ候補を別々に絞り込み、共に候補となったユーザをまず選択することにより、残りのユーザ選択に要する計算量を低減している。計算機シミュレーションの結果、提案方法は、従来方法に比べ、高いスループットを達成し、ユーザ選択に要する計算量も低減できることを明らかにしている。</p> <p>第 5 章は結論であり、本論文の内容および今後の課題を総括している。</p> <p>以上、本論文の著者は、マルチユーザ大規模 MIMO を用いた TDD 移動通信システムにおいて、高いスループットを達成できる基地局アンテナとマルチユーザの組み合わせを、少ない計算量で効率よく選び出すことができる方法を提案し、計算機シミュレーションにより、提案方式の有効性を明らかにしており、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第 5642 号	氏 名	澤田 奈生子
主論文題名： Visual Analytics of Features in Multi-Dimensional Time-Dependent Observation Datasets of Blazars (多次元時系列ブレーザー観測データに潜在する特徴の視覚分析論)			
<p>ブレーザーとは、活動銀河とよばれるひじょうに明るい銀河の中心に位置するブラックホールから噴出される相対論的ジェットを進行方向正面から観測した天体である。相対論的ジェットは現代の天文学においても謎が多く、天文学者はジェット内部の磁場構造を解明するために、ブレーザーから発せられる光の偏光状態や光度、色を観測し、それらの時間変化や相関を解析している。先行研究で、多次元時系列ブレーザー観測データの直観的で対話的な視覚分析を実現するために、観測データを三次元のチューブとして幾何学的に表現する可視化手法が提案された。しかし、幾何学的な表現を用いるだけでは、長期にわたる観測データ内の特徴を同定することは容易ではない。そこで本研究では、ブレーザー観測データの特徴探索を効率化・詳細化するために、自動特徴検索、視覚的問合せ、クラスタリングの三つの特徴解析手法を提案する。第一に、自動特徴検索では、複数変数にわたる劇的な時間変化を含む時区間、フレアやローテーションとよばれるブレーザーの特徴的な挙動の発見を支援する。第二に、視覚的問合せでは、ユーザが指定した関心領域や描画したスケッチと類似した特徴をもつ時区間を抽出することで、繰り返し現れるパターンや特定の仮説を支援する時区間の探索を効率化する。第三に、クラスタリングでは、長期にわたる時系列データ内の部分時区間を類似度に応じて分類することで、データ内に潜む普遍的パタンの探索を支援する。本研究では、ブレーザー観測データの視覚分析環境である TimeTubesX を開発し、先述の三次元チューブ表現を用いた可視化に加え、これらの特徴解析手法を提供することで、天文学者の観測データの理解を高度化する。天文学者が提案手法を用いてブレーザー観測データを解析した結果、既存手法では見つけることができなかった短期間の偏光の時間変動に関する特徴や偏光と光度の相関に関する特徴の発見に繋がった。本研究では、ブレーザー観測データの効率的かつ高度な視覚分析を実現することを目的に TimeTubesX の開発を行ってきたが、本研究で提案する特徴解析手法は、ブレーザー観測データ以外の他の様々な多次元時系列データの解析にも適用可能である。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5642 号	氏 名	澤田 奈生子
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	慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 岡 朋治
		広島大学准教授	博士（理学） 植村 誠

修士（工学）の澤田 奈生子君が提出した学位請求論文は、「Visual Analytics of Features in Multi-Dimensional Time-Dependent Observation Datasets of Blazars（多次元時系列ブレーザー観測データに潜在する特徴の視覚分析論）」と題し、全9章から構成されている。

本研究では、ブレーザーとよばれる天体に関する多次元時系列観測データの特徴探索を効率化・詳細化するために、自動特徴検索、視覚的問合せ、クラスタリングの三種類の特徴解析手法を提案している。また、ブレーザー研究者のデータ理解を高度化するための新たな視覚分析フレームワークを実現した視覚分析環境として TimeTubesX を開発している。TimeTubesX では、長期にわたる観測データ内のインスタンスだけでなく普遍的パタンの効率的な解析も実現している。

第1章では、ブレーザーの研究の天文学的重要性と課題について議論し、本研究の基盤となった先行研究のブレーザー観測データの可視化に関する取組みを俯瞰したうえで、本研究の貢献を要約している。

第2章では、天文データ可視化、時系列データ可視化、不確実性の可視化、視覚的問合せ、クラスタリングに関する先行研究を概観し、本研究の立ち位置を与えている。

第3章では、本研究で取り扱う多次元時系列ブレーザー観測データについて詳述したのちに、ブレーザー研究者が従来から用いてきた可視化手法の課題を指摘している。そのうえで、ブレーザー研究者との議論を通じて同定された、ブレーザー観測データの解析における目的、それらを達成するために可視化システムが満たすべきタスク、そして提案手法によってそれらがどう達成されたのかを関連づけている。

第4章では、まず、ブレーザー観測データの視覚分析環境 TimeTubesX を特徴付ける視覚分析のフレームワークについて詳述している。次に、TimeTubesX の開発環境にふれたのち、TimeTubesX のユーザインタフェースを概観している。また、先行研究において提案されたブレーザー観測データの可視化手法、複数の観測データを同一の可視化セッションで扱うための手法について説明している。

第5章では、多変数にわたる劇的な時間変化を含む時区間、フレアやローテーションとよばれるブレーザーの特徴的な挙動の発見を支援する自動特徴検索について述べている。

第6章では、ユーザが指定した関心領域や描画したスケッチと類似した特徴をもつ時区間を抽出することで、繰り返し現れるパターンや特定の仮説を支援する時区間の探索を効率化する二種類の視覚的問合せを紹介している。

第7章では、長期にわたる時系列データ内の部分時区間を類似度に応じて分類することで、データ内に潜む普遍性の探索を支援するクラスタリングについて詳述している。

第8章では、ブレーザー研究者による実際のブレーザー観測データ解析事例を通じて、提案手法の有用性を実証している。

第9章では、本研究の今後のさらなる拡張性を俯瞰したうえで、本研究の結論を述べている。

以上要するに、TimeTubesX において実現された多次元時系列データの対話的な視覚分析フレームワークと特徴解析手法は、天文学のみならず分野横断的にデータ視覚分析の高度化に資する点で、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。

Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.5643	Name	Cao, Yuwen
Thesis Title			
A Study on Transmit Precoder Designs for Spatial Modulation and Deep Learning-Based Beam Allocation			
<p>In this dissertation, I investigate the transmit precoder designs for spatial modulation (SM) and deep learning-based high-resolution beam-quality prediction for guaranteeing high-quality and low-latency communications. Notably, the system performances degrade significantly caused by the correlated fading channels. To tackle this challenge, I first introduce an orthogonality structure design (OSD) for the generalized precoding aided spatial modulation (GPSM) to overcome the performance degradation. To facilitate a better trade-off between performance and computational complexity, I study the peculiarities of the Hermitian matrix which provides an important insight for conceiving orthogonality conditions to the channel matrix of GPSM system. Next, I observe that the system performances degrade distinctly when employing the current existing transmit precoding (TPC) approaches into the multiple-access spatial modulation (MASM) in multiple-input multiple-output (MIMO) systems. To address this challenge, I next investigate the dual-ascent inspired TPC algorithms for MASM-MIMO systems. In addition, I study the peculiarities of the convex optimization methods that take the dual-ascent method into account to find a global optimum against the non-convex maximum minimum Euclidean distance (MMD) and quadratically constrained quadratic program (QCQP) problems, as well as to enlarge the energy-efficiency. Numerical results show the benefits of our proposals under different kinds of performance metrics. On the other hand, due to the challenges in mmWave networks that: (i) existing deep-learning based approaches predict the beamforming matrix that in practice can not be well-suited to the underlying channel distribution as the beamforming dimension at BS is large; (ii) user equipments (UEs) who are geographically co-located together may render the serve beam conflicts, thus deteriorating the system performance. In this context, to make fast beamforming available at BS, this dissertation focuses on investigating the deep learning-based beam and power allocation by exploiting the image super-resolution technology. More explicitly, this dissertation develops a deep learning-based beam and power resource allocation approach which can accurately allocate the desired beam and power for UEs with low-overhead. Numerical results verify the effectiveness of our approach.</p> <p>The reminder of this dissertation will be structured as follows:</p> <p>Chapter 1 introduces the concept of transmit precoding, and its applications into the MASM-MIMO systems. Besides, high resolution beam quality prediction in the downlink mmWave communication and</p>			

its challenges are also introduced in this chapter. Several related works in reference to the above two research topics are also introduced.

Chapter 2 introduces non-convex precoding optimization problem as well as the analysis of the non-convex problem solver and its challenges. In particular, this dissertation focuses on investigating two non-convex optimization problems, i.e., the transmit-precoding optimization problem and the joint precoding weight optimization and power allocation problem.

Chapter 3 develops a low-complexity solution to the non-convex precoding optimization problem. In addition, this dissertation introduces an OSD for the GPSM to overcome the performance degradation.

Chapter 4 studies the challenging non-convex MMD problem and the non-convex QCQP problem. To develop an efficient solution to the above problems as well as to keep low hardware realization cost, this dissertation presents a dual-ascent inspired transmit precoding approach by exploiting the primal-dual optimality theory.

Chapter 5 introduces a low-overhead beam and power allocation solution as a solver to the non-convex joint beamforming (precoding) weight optimization and power allocation problem. By exploiting the deep learning technology and the super resolution technology, high-resolution beam-quality prediction with high accuracy can be realized with a low-overhead.

Finally, Chapter 6 concludes this dissertation by making remark on the key technologies proposed by Chapter 3, Chapter 4, and Chapter 5 as well as stating their technical contributions. Besides, Chapter 6 presents possible venues for future research topic on developing low overhead beamforming (precoding) weight prediction and applications.

審査の要旨

報告番号	甲 第 5643 号	氏 名	Cao, Yuwen
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 大槻 知明
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬 巖
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 眞田 幸俊
Nanjing University of Posts and Telecommunications, Ph.D. Guan Gui			
<p>Bachelor of Engineering, 学士（工学）, Master of Engineering, 修士（工学）, Yuwen Cao君提出の学位請求論文は、「A Study on Transmit Precoder Designs for Spatial Modulation and Deep Learning-Based Beam Allocation（空間変調のための送信プリコーダー設計と深層学習ベースのビーム割り当てに関する研究）」と題し、全6章から構成されている。</p> <p>第5世代移動通信システム(5G)では、高品質で低遅延な通信が要求されている。その実現には、複数送信アンテナを活用した信号送信技術が必須である。また、他の分野同様、5Gでも深層学習に代表されるAI（Artificial Intelligence）の活用が期待されている。</p> <p>本論文では、複数送信アンテナを活用する技術として、空間変調のための送信プリコーダー設計と深層学習ベースのビーム割り当てに関して複数の手法を提案している。</p> <p>第1章では、研究の背景と、5Gにおける典型的なプリコーディング技術を紹介している。また、本論文で取り扱う課題と本論文の貢献について述べている。</p> <p>第2章では、非凸プレコーディング最適化問題を定義した後、この最適化問題を解決する方法を示している。具体的には、まず、送信プレコーディング設計問題と、プレコーディング重み最適化と電力配分の合同問題を定義している。次に、この定式化された非凸最適化問題を解析した後、この問題に対するいくつかの古典的な解決法を紹介している。そして、それら解決法の長所と短所について示している。</p> <p>第3章では、相関フェージング通信路での一般化プリコーディング支援空間変調（GPSM：Generalized Precoding-aided Spatial Modulation）システムの特性を改善する方法として、直交構造（OSD：Orthogonal Structure Design）に基づく方法を提案している。提案法は、一般的なGPSMと比較して、計算量を低減しつつ、優れたビット誤り率（BER：Bit Error Rate）特性を達成できることを示している。</p> <p>第4章では、MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）システムにおける多元接続空間変調（MASM：Multiple-Access Spatial Modulation）のための、二重上昇（Dual Ascent）法を用いた送信プリコーディング技術を提案している。計算機シミュレーションの結果、提案法が従来のMASM-MIMO法と比較して、BER特性を大幅に改善できることを示している。</p> <p>第5章では、マルチユーザミリ波ネットワークにおいて、基地局での高速なビームフォーミングを可能にするために、深層学習に基づくダウンリンクビームフォーミングおよび電力割り当て法を提案している。提案法では、低オーバーヘッドで高解像度のビーム品質を予測するために、深層学習に基づくビーム品質予測モデルを用いている。計算機シミュレーションの結果、提案法が低オーバーヘッドで優れたスループット特性を達成することを示している。</p> <p>第6章は結論であり、本研究の総括を述べている。</p> <p>以上、本論文の著者は、複数送信アンテナを活用する技術として、空間変調のための送信プリコーダー設計と深層学習ベースのビーム割り当てに関して複数の手法を提案し、その有効性を確認しており、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

内容の要旨

報告番号	甲 第5644号	氏名	初谷 智美
主論文題名：			
オゾンハイドレート連続生成技術の開発			
<p>オゾン (O_3) は自己分解性があるため貯蔵して使用することは難しいが、O_3 の工業的な利用拡大には O_3 貯蔵技術の開発が必要となる。 O_3 貯蔵技術として、クラスレートハイドレート (以下、ハイドレート) による分子貯蔵技術は有用な技術である。 これまでオゾンハイドレート ($O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート) の生成と貯蔵に関する研究は、バッチ系・ラボスケールで実施されていた。 しかし、工業的な利用のためには、$O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート連続生成技術の確立が必要である。 本論文は $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートの連続生成装置の基本設計と連続生成技術の実験的評価について纏めたものである。</p> <p>第1章では、ハイドレートの概論及びオゾン (O_3) の基本的な性質、ハイドレート及び O_3 の工業的な利用の現状と課題について説明した。 これらの背景を踏まえて、本研究の目的を $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート連続生成技術の開発とした。</p> <p>第2章では、$O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート生成プロセスの物質・熱収支を計算した。 この結果からハイドレート生成方式や機器の設計・構成を決定した。</p> <p>第3章では、新規設計した装置を用いて CO_2、$CO_2 + O_2$ ハイドレートが生成可能であることを確認し、課題や改善点の抽出を行った。 目視観察により、CO_2、$CO_2 + O_2$ ハイドレートの生成を循環水の白濁から確認することができた。 一方で、ハイドレートによる閉塞やサンプリング方法の改善が解決すべき課題であることが分かった。</p> <p>第4章では、第3章で得られた知見を元に、$O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートが生成可能であるか、また連続生成の安定化及びハイドレート中 O_3 濃度の高濃度化に寄与するパラメータを実験的に評価した。 気相の O_3 濃度を高めて低温下で $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートを生成することにより、ハイドレート中 O_3 濃度が 0.41 mass% のハイドレートを連続的に生成することができた。 X線回折により、生成したサンプル中にハイドレートが 15 mass% 含まれることを確認した。 $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートの長期貯蔵性を評価したところ、一般的な冷凍倉庫の温度である 248 K で6カ月の長期保存が可能であることが分かった。 さらに、$O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート生成にかかる誘導時間を削減可能か試験評価した。 初期の供給ガス中の CO_2 ガス体積比率を $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート生成条件の 2-2.9 倍に増加させることで、誘導時間を 1/4 削減できることが分かった。 また、$O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート連続生成中の総括熱伝達係数が 400-680 W/m²/K であることを実験的に確認できた。 この係数はスケールアップパラメータの1つとして重要となる。</p> <p>第5章では、$O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートを用いて悪臭物質の脱臭性能評価を行った。 代表的な悪臭物質である DMDS (二硫化メチル)、メチルアミン、イソブタノールを $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートを用いて分解できることが分かった。</p> <p>第6章では、本論文の結論として、研究全体の総括と今後の展望を示した。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5644 号	氏 名	初谷 智美
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 大村 亮
	副査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 堀田 篤
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 志田 敬介
		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), 初谷智美君提出の学位請求論文は「オゾンハイドレート連続生成技術の開発」と題し, 全 6 章からなる。

オゾン (O_3) は自己分解性があるため貯蔵して使用することは難しいが, O_3 を安全に貯蔵する技術が開発されればその工業的・社会的な利用拡大が可能となる。 O_3 貯蔵技術としてクラスレートハイドレート (以下, ハイドレート) を活用した分子貯蔵は有用な技術である。 これまでオゾンハイドレート ($O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート) の生成と貯蔵に関する研究はバッチ系・ラボスケールで実施されていた。 しかし, 工業的な利用のためにはハイドレート連続生成技術の確立が必要である。 本論文ではハイドレートの連続生成装置の基本設計と連続生成技術の実験的評価について論じている。

第 1 章ではハイドレートの概論及びオゾン (O_3) の基本的な性質, ハイドレート及び O_3 の工業的な利用の現状と課題について説明している。 これらの背景を踏まえて, 本研究の目的を $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート連続生成技術の開発と定めている。

第 2 章では $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレート生成プロセスの物質・熱収支計算を行っている。 この結果に基づいてハイドレート生成方式や機器の設計・構成を決定している。

第 3 章では新規設計した装置を用いて CO_2 , $CO_2 + O_2$ ハイドレートが生成可能であることを確認し, 課題や改善点の抽出を行っている。 目視観察により CO_2 , $CO_2 + O_2$ ハイドレートの生成を循環水の白濁から確認できることを示している。 一方で, ハイドレートによる閉塞やサンプリング方法の改善を課題として抽出している。

第 4 章では第 3 章で得られた知見を元に, $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートが生成可能であるか, 連続生成の安定化が可能か, 及びハイドレート中における O_3 濃度の高濃度化に寄与するパラメータは何かについて実験的評価を行っている。 気相の O_3 濃度を増加させ低温下で操作することにより, O_3 濃度が 0.41 mass% のハイドレート生成に成功している。 X 線回折により生成したサンプル中にハイドレートが 15 mass% 含まれることを確認している。 ハイドレートの長期貯蔵実験により一般的な冷凍倉庫の温度である 248 K で 6 カ月の長期保存が可能であることを示している。 さらに, 初期の供給ガス中の CO_2 ガス体積比率を 2 倍程度に増加させることで, 誘導時間を 1/4 削減できることを明らかにしている。 ハイドレート連続生成中の総括熱伝達係数が 400-680 W/m²/K であると算出している。 この係数はスケールアップパラメータとして重要である。

第 5 章では, $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートを用いて悪臭物質の脱臭性能評価を行っている。 代表的な悪臭物質である DMDS (二硫化メチル), メチルアミン, イソブタノールを $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートを用いて分解できることを示している。

第 6 章では本論文を総括して今後の展望を含む結論を述べている。

以上要約すると本論文はハイドレートを用いた O_3 貯蔵技術の社会実装に向け, $O_3 + O_2 + CO_2$ ハイドレートの連続生成実験装置の設計・製作と運転を行い, このハイドレート生成の動特性を明らかにしたものであり, 工学上寄与するものが少なくない。 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.5645	Name	Badri Ghomizad, Mehdi
Thesis Title			
Development of a versatile and accurate immersed boundary method with adaptive mesh refinement approach			
<p>A novel non-body conforming mesh formulation is proposed in this thesis, aiming at studying the fluid-structure interaction systems. The proposed method enables us to handle complex shape solids to move arbitrarily in an incompressible viscous fluid without following the solid-fluid interface motion with dynamic meshes. Here we use a high order pressure correction projection method to temporally integrate the governing equations in a predictor-corrector fashion, while imposing the immersed boundary force in the corrector part to consider the presence of the solid body in the domain.</p> <p>To consider the presence of the immersed object, we developed a versatile interpolation/approximation moving least square method that, in contrast to conventional immersed boundary methods, uses a relatively small cloud of points in the vicinity of the boundary. This MLS method uses higher-order bases to capture the boundary and reconstruct the velocity field accurately. This interpolation /approximation method serves the solver a smoother field reconstruction and thus a higher rate of convergence. The proposed method enforces the no-slip boundary condition sharply at the fluid-solid interface with a boundary force, with no need for artificial constants or any user-defined parameter to the rigid body formulation.</p> <p>In addition to the aforementioned immersed boundary method, we used a parallel adaptive mesh refinement method with a novel prolongation/restriction scheme to conserve the fluid flows quantities, particularly mass, in data transformation between coarse and fine grids. Further, to obtain the highest computational efficiency, we adopted a full approximation scheme version of multigrid solvers, in which the solution is specified on all levels, and the coarsest solver equation is equipped with scheduled relaxation Jacobi method for further parallel efficiency. With this strategy, the system's performance is increased, but the quality of the solution is not compensated.</p> <p>The performance of the proposed method is studied by solving incompressible flows around stationary and moving boundaries. As for the moving boundaries, we have treated the well-known spurious force oscillation in the force by enforcing the immersed boundary forces on the solid object. It has been demonstrated that the present combination of force imposition and calculation would result in much less non-physical oscillation in the force comparing to the alternative immersed boundary methods. Thus, it can be considered as the main algorithm for fluid-structure interaction without pre-defined motion in the structure part. Comparison of our numerical results with the existing numerical and experimental data shows general agreement, which confirms the capability of the proposed method.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5645 号	氏 名	Badri Ghomizad, Mehdi
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	博士（工学） 松尾 亜紀子
		慶應義塾大学准教授	Ph. D. 安藤 景太
		東京農工大学教授	博士（工学） 岩本 薫

工学修士（Master of Science in Aerospace Engineering），Badri Ghomizad, Mehdi（バデリゴミザド，メデー）君提出の学位論文は Development of a versatile and accurate immersed boundary method with adaptive mesh refinement approach（適合格子細分化による多目的高精度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ための効率的な数値計算法として，近年，埋め込み境界法（Immersed boundary method：IB 法）が頻繁に用いられるようになってきている。IB 法では，ベースの格子には直交格子など効率的なソルバーが存在する計算格子を用い，物体境界ではその近傍の計算格子に仮想的な力を与えることにより物体表面上の滑りなし境界条件を満たすという計算手法である。これまで数多くの IB 法が提案されてきたが，従来の手法では，流体構造連成問題など境界が移動する問題に対して，界面における圧力の数値振動を抑えつつ速度分布の正確な捕獲を行うことが難しく，かつ速度補間アルゴリズムが複雑な条件分岐を含むため，これらが 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，動径分布関数を用いた補間と局所最小二乗近似に基づく IB 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 章では流体構造連成問題に対してこれまでに提案された数値計算法法に関して概観し，それらにおける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 章では非圧縮性の流れの数値計算法法に関する広範な文献調査についてまとめており，特に流体構造連成問題に対する計算法法の基本要素における数値誤差について論じている。続けて，本研究で用いる Direct forcing IB 法についての詳細を述べている。

第 3 章では動径分布関数を用いた補間と局所最小二乗近似に基づく IB 法（MLS-IBM 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，さらには流体中で自由沈降する円柱や回転振動する楕円翼といった基本的な流体構造連成問題を用いて検証している。この結果，本提案手法の空間解像度に対しては凡そ二次精度を有しており，流体構造連成問題に対しても既存手法よりも小さな数値振動で計算が可能であることが示されている。

第 4 章では提案した MLS-IBM 法に，流束保存性に優れた適合格子細分化法（Adaptive mesh refinement: AMR）を組み合わせることによる，さらなるシミュレーションの効率化についての提案を行っている。第 3 章と同様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が定量的に検証されており，さらに AMR 法の導入により約 10 倍の計算の高速化が達成できることが示されている。また，提案手法は並列化効率にも優れていることがスレッド数を変化させた計算の比較により示されている。

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流体構造連成問題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。

Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5646	Name	Doan, Nhat Minh
Thesis Title			
A Study on Cross-Flow Hydrokinetic Turbines in Counter-Rotating Configurations			
<p>Throughout a series of experimental and numerical studies, this thesis explores the possibility of implementing two cross-flow hydrokinetic turbines in counter-rotating configurations to extract marine power more efficiently compared to the conventional approach.</p> <p>The first part proposed an experimental apparatus design to measure the power output of a cross-flow marine hydrokinetic turbine system operating in a laboratory water tunnel. The results of power coefficient for 8 different configurations showed the tendency of power enhancement of counter-rotating configurations due to blade interaction and increase in blockage ratio. Next, the near-wakes of all the single turbine configurations were captured and correlated with the power output. The relevant flow fields were recorded by a monoscopic particle image velocimetry technique and analyzed. The near-wake results of the single turbine cases indicated the key to refining the current design for enhancement of its power production, while serving as a baseline for comparison with twin turbines in counter-rotating configurations. Similar to the observation of the single turbine configurations, a correlation between flow field structures and the corresponding power output was later observed for twin turbine configurations. Effects of each parameter of the counter-rotating configurations were further discussed which suggested guidelines for setting up multiple devices in a power farm.</p> <p>Additionally, an open-source Reynolds-averaged Navier-Stokes simulation model was presented and scrutinized for the specific turbine geometry. The model was compared with the experimental results and then used to study the turbine power output and relevant flow fields at 4 blockage ratio values. The dynamic stall effect and the related leading edge vortex (LEV) were observed. The results also gave insight into the blockage effect from a different perspective: The physics behind the production and maintenance of lift of the turbine blade at different blockage ratios. The model was then applied to counter-rotating configurations of the turbines and similar analyses of the torque production and maintenance were conducted.</p> <p>Lastly, the thesis discussed the experimental capturing of the LEV structures seen in the simulation models. These experiments not only confirmed the physical existence of the LEVs but were also used to analyze the LEVs in real 3D flow fields which was not possible for the 2D computational fluid dynamics model.</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5646 号	氏 名	Doan, Nhat Minh
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Dr. -Ing. 小尾 晋之介
	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	Ph. D. 安藤 景太
		早稲田大学教授	博士（工学） 宮川 和芳

工学修士、Minh Nhat Doan（ミン ニャットドゥアン）君提出の学位論文は A Study on Cross-Flow Hydrokinetic Turbines in Counter-Rotating Configurations（一对の逆回転構成のクロスフロー型タービンに関する研究）と題し本編 6 章により構成されている。

クロスフロー型タービンは流れの運動エネルギー変換装置の一種で、風力発電で知られる軸流型と比べて、周辺機器構成の単純化や低ヘッド水力発電等への展開が容易である。また、複数のタービンを有するプラントに用いると高いエネルギー変換効率と空間密度が得られることが知られているが、一方、その動作原理は非定常性や 3 次元性が強いなどの理由で整理が不十分である。本論文の著者は、実験室スケールで実現可能な低レイノルズ数で駆動する装置を開発し、タービンの出力特性と流体運動との相互作用を同一の装置を用いて調べることに成功した。さらに数値解析も実行し、クロスフロー型タービンの高出力をもたらす流体の渦運動について新たな知見を見出した。

第 1 章では環境負荷の低い再生可能エネルギーの供給源としての風力・水力発電プラントの可能性について近年の技術動向をまとめ、また、クロスフロー型タービンに関する従来の研究成果をもとに本研究の目的を述べている。

第 2 章では正確な計測が困難とされていた小型タービンの出力評価装置を新たに設計・製作し、その有効性を確認した。流速約 0.3m/s の回流水槽において、翼弦長 25.4 mm の 3 枚の翼を持つ直径 62.6 mm のタービンを用いた実験と、同様の 2 つのタービンを用いて軸間距離、回転方向、位相の組み合わせにより 6 通りの異なる構成についての実験を行った。その結果、順方向に回転する一对の構成において、単に 2 台のタービンを用いた場合を超えるエネルギーが獲得できることを示した。

第 3 章では粒子画像流速計を用いたタービンの下流領域における速度場計測について論じている。タービンの回転に同期した位相平均操作により、瞬時速度場から時間平均値、位相平均値、ならびに乱流変動値への 3 成分分解を行い、それぞれの成分とタービンの出力特性との関連を調べた。その結果、最高出力の条件において、乱流変動の生成が抑制され、流体の運動エネルギーから軸出力への変換が円滑に行われていることを見出した。

第 4 章には数値解析により広範囲のパラメータを扱った結果をまとめている。実験と同様に一様流中において一定速度で回転するタービンを 2 次元数値シミュレーションで再現し、タービンの発生トルクと周囲の流体運動の関係性を詳細に観察した。その結果、高出力をもたらす条件において、タービン翼そのものが発生する揚力によるトルク上昇だけでなく、翼先端からはく離れた渦がつくる低圧領域の存在により、失速状態でも揚力が確保される機構を見出した。さらに、流路の閉塞率の増加が揚力の上昇をもたらすこと、あわせてそのことが一对のタービンを組み合わせた近接効果による出力特性の改善に共通するメカニズムであることを見出した。

第 5 章では実験と数値シミュレーションにより翼先端のはく離渦の運動に焦点を絞り、渦伸長をもたらす 3 次元的な流体運動によるトルク生成メカニズムの本質について議論している。

第 6 章は結論であり、研究で得た知見とともに当該分野における研究課題の将来の方向性について考察が記されている。

以上の研究成果は、流体機械の研究分野においてこれまで見逃されてきた新たな知見をもたらした学術的な意義とともに、普及が進む再生可能エネルギー源としての風力・水力発電プラントの新たな方向性を提言した点で、社会的な貢献も認められる。

よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

内容の要旨

報告番号	甲 第 5647 号	氏 名	山本 幸平
主 論 文 題 名 :			
Remote Sensing of Cardiac Activity Based on Signal Reconstruction with Deep Learning (深層学習を用いた信号再構成に基づく心臓活動のリモートセンシング)			
<p>心拍は健康状態を把握する上で重要な生体信号であり、心拍数などの継続的なモニタリングは生存確認や病気の検知を可能とする。一般的な心臓活動のセンシング法として心電図がある。しかし、心電図は接触型デバイスであり、継続的なモニタリングにおいては、非接触の検出法が望ましい。ドップラーレーダは非接触での心臓活動のセンシングを可能とするデバイスとして注目されており、従来様々なドップラーレーダを用いた手法が検討されている。しかし、心拍の信号対雑音比は、呼吸や体動に比べて微小であるため、心拍成分の検出精度に課題が残る。これを解決するために、本論文では深層学習を用いた信号再構成に基づく心拍検出法を提案する。加えて、従来達成されていない非接触での心電図信号再構成法を提案し、実験を通してこれら提案法の特性を示す。</p> <p>1 章では、研究背景および一般的な心拍検出法とその問題点について述べる。続いて、ドップラーレーダを用いた心拍検出の原理および従来法、本研究の位置づけについて説明する。そして、提案法の概要について述べた後、最後に本論文の構成について紹介する。続いて、2 章ではドップラーレーダを用いた従来の心拍検出法および心電図信号の再構成法、提案法に関連する深層学習法について述べる。3 章では、提案法として、信号対雑音比の劣化にロバストな深層学習を用いた心拍信号の再構成に基づく心拍検出法について説明する。まず、提案する心拍検出法のアイデアについて説明し、続いて提案法のアルゴリズムを (i) 雑音にロバストなスペクトログラムに基づく心拍成分抽出および (ii) 深層学習を用いた信号再構成の 2 つの観点から説明する、そして、実験を通じた特性評価により、心拍成分の信号対雑音比が低い場合でも提案法が心拍を検出できることを示す。4 章では、提案法として心電図信号再構成法について説明する。まず、提案法のアイデアについて述べ、続いて心拍検出結果を踏まえた提案法のアルゴリズムについて説明する。そして、実験による特性評価を通して、提案法が接触型デバイスを用いる手法に近い精度で心電図信号を再構成できることを示す。最後に、5 章で結論と将来の研究について示す。</p>			

審査の要旨

報告番号	甲 第 5647 号	氏 名	山本 幸平
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 大槻 知明
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬 巖
		慶應義塾大学教授	工学博士 池原 雅章
Nanjing University of Posts and Telecommunications, Ph.D. Guan Gui			

学士（工学），修士（工学），山本幸平君提出の学位請求論文は，「Remote Sensing of Cardiac Activity Based on Signal Reconstruction with Deep Learning（深層学習を用いた信号再構成に基づく心臓活動のリモートセンシング）」と題し，全5章から構成されている。

心拍は重要な生体信号の一つであり，心拍数（HR）などの心臓活動を継続的に監視することで，人間の生死や病気を検知できる．心拍を検出する代表的な方法として，これまでは心電図（ECG：Electrocardiogram）などのウェアラブルセンサが用いられてきた．しかし，デバイスを装着したままでの長時間のモニタリングは，ユーザへの負担が大きい．これに対し，ドップラーレーダは，プライバシーを侵害することなく心拍をリモートセンシングできるため，ドップラーレーダを用いた心拍検出法が様々に検討されている．しかし，ドップラーレーダの受信信号から心拍成分を抽出することは，呼吸や体動に比べて心拍成分のSNR（信号対雑音比）が低いため，困難である．

本論文では，ドップラーレーダを用いた心拍検出手法として，深層学習を用いた心拍信号の再構成法を提案している．また，ドップラーレーダ受信信号から，心電図信号を再構成する手法を提案している．

第1章は，序論であり，研究背景およびドップラーレーダを用いた心拍検出の原理，従来のドップラーレーダを用いた心拍検出法，従来のECG信号再構成法について述べた後，既存手法の問題点と本研究の位置付けについて述べている．

第2章では，心拍検出の従来法について述べている．また，ECG信号を再構成する従来法について述べている．更に，本論文に関連する深層学習に基づく従来法について述べている．

第3章では，心拍成分と非心拍成分の周波数成分の違いに基づいて，スペクトログラムを用いて心拍成分を抽出する手法について説明している．そして，心拍成分のSNR劣化に対してロバストに心拍を検出するために，深層学習を用いてスペクトログラムから心拍信号を再構成する手法を提案している．続いて，実験を通して，提案法の心拍信号の再構成精度と心拍検出精度を示している．また，従来法と特性を比較し，提案法が従来法と比較して高精度に心拍を検出できることを示している．

第4章では，心拍の検出結果に基づきドップラーレーダ受信信号をセグメント化し，セグメント化したデータを深層学習によりECG信号に再構成する手法を提案している．ドップラーレーダにより取得可能な心拍信号波形は雑音によって歪みやすい．そこで，深層学習モデルとしてCNN（Convolutional Neural Network）およびLSTM（Long Short-Term Memory）を用いることで，心拍信号波形の歪みにロバストなECG信号再構成法を紹介している．いくつかの実験を通して，提案したECG信号再構成法と従来の接触型デバイスを用いるECG再構成法の特性を比較し，提案法が接触型デバイスを用いる手法に近いECG信号の再構成精度を達成することを示している．

第5章は結論であり，本研究の総括を述べている．

以上，本論文の著者は，深層学習を用いた心拍信号の再構成法と，ドップラーレーダ受信信号から心電図信号を再構成する手法を提案し，その有効性を確認しており，工学上，工業上寄与するところが少なくない．よって，本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める．

2021（令和3）年9月までの新制博士学位授与者数は次のとおり。

[]内は内数。当該年度学期（2021年度春学期）授与者数。

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）	1,543 [20]	318 [0]	1,861 [20]
理学博士	26	8	34
博士（理学）	435 [4]	49 [0]	484 [4]
学術博士	0	1	1
博士（学術）	1 [0]	1 [0]	2 [0]
計	2,456 [24]	766 [0]	3,222 [24]

本書に記載した論文審査担当者の所属および職位は2021（令和3）年度春学期のものである。

2021(令和3)年12月1日 発行

発行者 理工学研究科委員長 村上 俊之

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