

2011（平成23）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

# 目 次

Agung Trisetyarso	Theoretical study towards realization of measurement-based quantum computers (測定ベース量子計算機の実現に向けた理論的研究) .....	1
鈴木 真美子	アオリイカにおける体表模様形成のための色素胞制御に関する研究 .....	3
田中 淳子	少数種のアミノ酸からなる人工タンパク質の構造と機能に関する研究 .....	5
黒岩 奈保	離散型線形悪条件問題の正則化と近似解の決定 .....	7
Tutik Sriani	Electrode Design Method for Orbiting Electrical Discharge Machining Based on Inverse Minkowski Sum (逆ミンコフスキー和に基づく揺動放電加工の電極設計法) .....	9
藤城 孝宏	証明書検証サーバの提案とその実用化に向けた研究 .....	11
村上 小枝子	環境低負荷型バイオベースポリマーの創成に関する研究 .....	13
飯田 孝久	離散変量と連続変量が混在する場合の統計的異常検出法 .....	15
上田 陽平	Stochastic Integral Characterizations of Some Multivariate Infinitely Divisible Distributions and Related Stochastic Processes (多次元無限分解可能分布の確率積分による特徴付けと それに関連する確率過程) .....	17
新藤 豊	蛍光イメージング法を用いたミトコンドリア関連細胞内マグネシウムイオン動態に関する研究	19
LEI, Zhao	A Study of Leakage Power Reduction Mechanisms on Functional Units and TLBs for Embedded Processors (組み込みプロセッサの演算ユニットとTLBに対する漏れ電力削減手 法についての研究) .....	21
K.M.Mohiuddin	Geochemical Partitioning and Assessment of Trace Metal Pollution in Urban Rivers: The Scenario of River Pollution in Developed and Developing Countries (都市河川の微量金属 元素の地球化学的分配と評価: 先進国と発展途上国の河川汚染のシナリオ) .....	24
Maung Sann Maw	Resource Allocation and Reduced Complexity in MIMO Wireless Communication System (MIMOワイヤレス通信システムにおけるリソース割り当てと複雑さ低減に関する研究) .....	26
山田 高幸	薄膜の常温接合による3次元微細加工技術の開発とオーバーレイ誤差の要因解析 .....	29
Md.Masudul Kabir	Near-infrared Femtosecond Laser Pulse Amplification in Photorefractive Two-wave Mixing (フォトリフラクティブ2光波混合を用いた近赤外フェムト秒レーザーパルス増幅) .....	31
新庄 真太郎	高機能バイアス回路を用いた無線通信高線形モノリシック送信RF回路に関する研究 .....	33
Alexandre Suryadi	The Phase-Averaged Velocity Measurement and the Estimation of Pressure Force of a Periodically Moving Body (周期運動をする物体周りの速度計測ならびに圧力の推定) .....	35
小山田 雄仁	Pre/Post Blur Correction from a Single Photo Shooting (1枚の撮影画像を用いた事前/事 後劣化補正) .....	37
ZHANG, Wensheng	Correlation Based Signal Detection Schemes in Cognitive Radio (コグニティブ無線における 相関を用いた信号検出方式) .....	39

SERTTHIN, Chinnapat	An Indoor Positioning Architecture Based on Visible Light Communication and Multiband Received Signal Strength Fingerprinting(可視光通信とマルチバンド受信信号強度指紋法に基づく屋内位置推定アーキテクチャ).....	41
ACAR, Cihan	Advanced Motion Control of Dynamically Stabilized Two-Wheeled Mobile Systems(動的に安定化された2輪移動システムの高度運動制御).....	43
田中 秀典	被写体の姿勢変動によらない顔認識システムに向けた顔画像の時空間解析.....	45
戸井 崇雄	Performance and area optimization methods in compiler for a dynamically reconfigurable processor(動的再構成プロセッサ向けコンパイラにおける性能と面積の最適化).....	47
田村 維都江	タングステン酸塩鉱物および硫化鉱物の生成と交代組織に関する実験的研究.....	49
近藤 信太郎	Initial Boundary Value Problems for Model Equations of Drift Wave Turbulence(ドリフト波乱流のモデル方程式に対する初期境界値問題).....	51
CHU, Bong-Sung	Supply Chain Risk Management: Approaches for Functional Business Processes(サプライチェーンリスクマネジメント:機能的なビジネスプロセスのための方法).....	53
SOUHLI, Oussama	Capacity Enhancements to Wireless MIMO Systems: Channel Feedback, Keyhole Mitigation and Multi-User Support(無線MIMO方式の容量増加:チャンネルフィードバック,キーホール軽減,およびマルチユーザサポート).....	55
小菅 祐史	A Study on Dynamic Detection of Web Application Vulnerabilities(動的解析によるWebアプリケーションの脆弱性検出手法に関する研究).....	57

## 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2011(平成23)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	本籍
博士(理学)	甲第 3523 号	平成 23 年 4 月 13 日	Agung Trisetyarso	インドネシア
博士(理学)	甲第 3524 号	平成 23 年 4 月 13 日	鈴木 真美子	岐阜県
博士(理学)	甲第 3525 号	平成 23 年 9 月 21 日	田中 淳子	神奈川県
博士(工学)	甲第 3529 号	平成 23 年 9 月 21 日	黒岩 奈保	東京都
博士(工学)	甲第 3536 号	平成 23 年 9 月 21 日	Tutik Sriani	インドネシア
博士(工学)	甲第 3537 号	平成 23 年 9 月 21 日	藤城 孝宏	愛知県
博士(工学)	甲第 3538 号	平成 23 年 9 月 21 日	村上 小枝子	神奈川県
博士(工学)	乙第 4476 号	平成 23 年 8 月 1 日	飯田 孝久	東京都
博士(理学)	甲第 3539 号	平成 23 年 9 月 21 日	上田 陽平	山口県
博士(理学)	甲第 3542 号	平成 23 年 8 月 30 日	新藤 豊	埼玉県
博士(工学)	甲第 3543 号	平成 23 年 8 月 30 日	LEI, Zhao	中国
博士(工学)	甲第 3544 号	平成 23 年 9 月 21 日	K.M.Mohiuddin	バングラデシュ
博士(工学)	甲第 3545 号	平成 23 年 9 月 21 日	Maung Sann Maw	ミャンマー
博士(工学)	甲第 3546 号	平成 23 年 8 月 30 日	山田 高幸	静岡県
博士(工学)	甲第 3547 号	平成 23 年 9 月 21 日	Md.Masudul Kabir	バングラデシュ
博士(工学)	乙第 4479 号	平成 23 年 8 月 30 日	新庄 真太郎	愛知県
博士(工学)	甲第 3548 号	平成 23 年 8 月 30 日	Alexandre Suryadi	インドネシア

学位の種類	学位記号・番号	授与年月日	氏名	本籍
博士(工学)	甲第 3549 号	平成 23 年 9 月 21 日	小山田 雄仁	神奈川県
博士(工学)	甲第 3550 号	平成 23 年 9 月 21 日	ZHANG, Wensheng	中国
博士(工学)	甲第 3551 号	平成 23 年 9 月 21 日	SERTTHIN, Chinnapat	タイ
博士(工学)	甲第 3552 号	平成 23 年 9 月 21 日	ACAR, Cihan	トルコ
博士(工学)	甲第 3553 号	平成 23 年 9 月 21 日	田中 秀典	東京都
博士(工学)	甲第 3554 号	平成 23 年 9 月 21 日	戸井 崇雄	東京都
博士(工学)	甲第 3555 号	平成 23 年 8 月 30 日	田村 維都江	北海道
博士(理学)	甲第 3556 号	平成 23 年 9 月 21 日	近藤 信太郎	愛知県
博士(工学)	甲第 3557 号	平成 23 年 9 月 21 日	CHU, Bong-Sung	韓国
博士(工学)	甲第 3558 号	平成 23 年 9 月 21 日	SOUIHLI, Oussama	チュニジア
博士(工学)	甲第 3559 号	平成 23 年 9 月 21 日	小菅 祐史	東京都

# Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.3523	Name	Agung Trisetyarso
Thesis Title			
Theoretical study towards realization of measurement-based quantum computers			
<p>Measurement-based quantum computation (MBQC) is a new paradigm in the field of quantum computation, in which the quantum information processing is proceeded by the sequences of measurements on the logical qubits encoded in a highly entangled state. MBQC is considered to be one of the most realistic formats of quantum computer since it is expected to be more robust than the conventional reversible quantum computation protocols. However, there exists a number of challenges to overcome.</p> <p>This dissertation concerns with a theoretical study towards realization of MBQC using a single atom contained in a cavity as a qubit node. The entanglement between adjacent nodes and control of coherence are achieved with the assistance of an externally applied classical field. An architecture for large number of qubits in a cluster state is also presented.</p> <p>The first half of this dissertation presents a technique to ensure the qubit coherency because the measurement over the cluster state needs to be performed on the coherently evolving qubits. Under this scheme, a cavity is irradiated concurrently with quantum and classical electromagnetic fields to manipulate the atomic population. It is shown theoretically that manipulation of the time evolution of the population of two states in cavity quantum electrodynamics (QED) is possible by introduction of an appropriate electromagnetic field. The theoretical justification is provided by the use of BBGS-Darboux transformations on the electromagnetic field potential in an one-dimensional stationary Dirac model. Here, Pauli matrices are the central parameters for controlling the collapse and revival of the Rabi oscillations.</p> <p>The second half of this dissertation presents a new architecture of MBQC. The circuit design and evaluation of a quantum carry-lookahead adder (QCLA) in MBQC are proposed as a MBQCLA protocol. MBQCLA utilizes MBQC's ability to transfer quantum states in unit time to accelerate addition and breaks the conventional latency limit of addition circuits in nearest neighbor-only architectures; achieving <math>\Theta(\log n)</math> depth compared to <math>\Theta(n)</math> of the conventional design. MBQCLA is an order of magnitude faster than a ripple-carry adder when adding registers longer than 100 qubits, but requires a cluster state that is an order of magnitude larger. The cluster state resources are used for computation and communication. For the unoptimized form ~88 % of the resources are used for communication, while optimization of horizontal communication costs by inspection results in ~12% reduction in the communication resource.</p> <p>The work provides a theoretical study on manipulation of qubit coherency and the architecture for quantum adder towards realization of measurement-based quantum computers. Considering that the proposal is compatible with the framework of present experimental investigations, this work may contribute directly to the next step of MBQC development.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3523 号	氏 名	Agung Trisetyarso
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph.D. 伊藤 公平
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 太田 英二
		慶應義塾大学専任講師	博士（情報理工学） 山本 直樹
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 古池 達彦
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） Van Meter, Rodney
<p>Bachelor of Science (Physics), Master of Science (Physics) Trisetyarso 君の学位請求論文は「Theoretical study towards realization of measurement-based quantum computers（測定ベース量子計算機の実現に向けた理論的研究）」と題し、全4章より構成される。</p> <p>量子計算とは、現在の計算手法では実行不可能とされる計算の一部を可能にし得る新しいパラダイムである。そのハードウェアの実現に向けて、測定ベース量子計算という概念に注目が集まっている。測定ベース量子計算では量子ビットを格子状に配置し、その一つ一つをアルゴリズムに従い測定することから計算を進める。この手法は、従来のユニタリ変換の組み合わせで計算を進める手法より頑健で信頼性が高いとされる。そこで本論文において申請者は、測定ベース量子計算機を構成する量子ビットとして共振器中の原子準位を提案し、そのラビ振動の制御と、それらを組み合わせて量子キャリア先読み加算器を構築する方法を理論的に示した。</p> <p>具体的には、第一章では背景と量子計算の基礎が紹介され、第二章において共振器中の原子ラビ振動の時間発展を外部からの光照射により制御する方法を提案している。照射する光の量子性（光子状態）と古典性（波動状態）の重みを変化させ、一次元 Dirac モデル中のポテンシャルを Darboux 変換することにより原子ラビ振動の時間発展を変化させる手法を数式で示す。さらに、実際の系で本手法を実現する指針も示される。第三章では測定ベース量子計算におけるキャリア先読み加算器の構築方法が示される。この量子キャリア先読み加算器は、最近接相互作用のみを考慮した一次元量子回路のレイテンシ限界を破り、100量子ビット以上のレジスタを加算する場合には桁上げ伝搬加算器より一桁高速に動作することが示される。ただし、高速化と引き換えに量子クラスター状態のサイズも大きくなることから、状況に応じて高速化とサイズ増大の妥協点を探ることの重要性が強調される。また、測定ベース量子キャリア先読み加算器の回路では約88%もの量子ビットがデータ伝搬に使われることを見出し、これを精査することにより1割ほど減少させることに成功する。第四章ではまとめと展望が述べられる。</p> <p>以上要するに、測定ベース量子計算という新しい計算パラダイムの実現にむけて、申請者は共振器に閉じ込められた原子準位を量子ビットとして利用することを提案し、そのラビ振動の時間発展を制御する道筋を数式を用いて示した。また素因数分解などの量子アルゴリズムで必要となる量子キャリア先読み加算器の実現方法を理論的に示すことにも成功した。測定ベース量子計算への注目は今後も益々高まることが予想されるため、本研究で示された手法が将来の量子計算素子設計に活用されることが多いに期待される。</p> <p>よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3524 号	氏 名	鈴木 真美子
主論文題目：  アオリイカにおける体表模様形成のための色素胞制御に関する研究			
<p>種々の動物において、カムフラージュや雌へのアプローチのための体表模様が知られている。イカ・タコの体表模様は瞬時の変化が可能であり、何十種類ものパターンを表出することができる点で他の動物とは異なる。この模様は体表全体に存在する色素胞の拡大と縮小の組み合わせにより形成され、色素胞の拡大と縮小は脳から直接制御された筋肉の収縮と弛緩によって起こる。しかしながら、どのようにパターンが形成されるのか、その制御機構についてわかっていない。</p> <p>本論文では、アオリイカにおける体表模様形成のための色素胞の制御機構を明らかにするため、皮膚標本において神経ペプチドである <b>FMRFamide</b> の薬理作用を明らかにし、また免疫抗体染色によって <b>FMRFamide</b> 含有神経細胞形態を調べた。次に自発的に体表模様を表出するアオリイカについて、色素胞レベルでその挙動を解析することにより、色素胞の振動活動が模様表出に関与していることを示した。</p> <p>第1章は緒言で、さまざまな動物における体表模様について紹介し、またイカ・タコの色素胞に関する先行研究について言及し、本論文の目的と構成を述べた。</p> <p>第2章では、アオリイカ色素胞における <b>FMRFamide</b> の薬理作用を調べた。アオリイカには黒色と黄色の2種類の色素胞が存在し、<b>FMRFamide</b> は成体の黒色色素胞を拡大し、黄色色素胞を縮小させた。また、孵化仔体の黒色色素胞は縮小し、黄色色素胞も縮小した。これまでアオリイカの属するツツイカ目のイカ色素胞は、<b>FMRFamide related peptide (FaRP)</b> には影響されないとされていたが、本研究ではじめて、アオリイカ色素胞には <b>FaRP</b> システムが存在することを示し、色素胞のタイプそして成長に伴ってその作用が変化することがわかった。また、皮膚標本の <b>FMRFamide</b> 抗体による免疫組織染色によって、黒色色素胞と黄色色素胞の <b>FMRFamide</b> 含有神経の形態は異なっており、作用機序も異なると考えられる。</p> <p>第3章では、自発的な色素胞活動から中枢神経系による色素胞制御について明らかにすることを目指した。インタクトのイカが無麻酔下で、体表模様を表出したときの黒色色素胞の活動を詳細に解析した。拡大している色素胞は、微小振幅の拡大と縮小を繰り返しており、その微小振動は脳から投射する色素胞神経の切断と同時に消失した。この中枢神経系に制御された微小振動周期は、模様の‘柄’と‘地’領域の色素胞で異なっており、柄部分では平均 <b>4.7 Hz</b>、地部分では平均 <b>3.2 Hz</b> であった。そして、微小振動の同期性は、模様のそれぞれの領域内で観察され、模様の‘柄’と‘地’領域の色素胞活動の違いは、微小振動の振動周期によることが明らかになった。</p> <p>第4章では、本論文で得られた知見を総括し、色素胞における <b>FaRP</b> システムの役割と中枢神経系による体表模様形成メカニズムについて考察した。</p> <p>第5章では、本研究の結言を述べた。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>			



## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3524 号	氏 名	鈴木 真美子
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	工学博士	岡 浩太郎
	副査 慶應義塾大学准教授	医学博士	松本 緑
	慶應義塾大学准教授	博士（理学）	宮本 憲二
	北海道大学准教授	博士（理学）	小川 宏人

学士（理学）、修士（理学）鈴木真美子君提出の学位請求論文は「アオリイカにおける体表模様形成のための色素胞制御に関する研究」と題し全5章より構成されている。

種々の動物において、カムフラージュや雌へのアプローチのための体表模様が知られている。イカ・タコの体表模様は瞬時の変化が可能であり、何十種類ものパターンを表出することができる点で他の動物とは異なる。この模様は体表全体に存在する色素胞の拡大と縮小の組み合わせにより形成され、色素胞の拡大と縮小は脳から直接制御された筋肉の収縮と弛緩によって起こる。しかしながら、どのようにパターンが形成されるのか、その制御機構についてわかっていない。

本論文では、アオリイカにおける体表模様形成のための色素胞の制御機構を明らかにするため、皮膚標本において神経ペプチドである FMRFamide の薬理作用を明らかにし、また免疫抗体染色によって FMRFamide 含有神経細胞形態を調べた。次に自発的に体表模様を表出するアオリイカについて、色素胞レベルでその挙動を解析することにより、色素胞の振動活動が模様表出に関与していることを示した。

第1章は緒言で、さまざまな動物における体表模様について紹介し、またイカ・タコの色素胞に関する先行研究について言及し、また本論文の目的と構成を述べた。

第2章では、アオリイカ色素胞における FMRFamide の薬理作用を調べた。アオリイカには黒色と黄色の2種類の色素胞が存在し、FMRFamide は成体の黒色色素胞を拡大し、黄色色素胞を縮小させた。また、孵化個体の黒色色素胞は縮小し、黄色色素胞も縮小した。これまでアオリイカの属するツツイカ目のイカ色素胞は、FMRFamide related peptide (FaRP) には影響されないとされていたが、本研究ではじめて、アオリイカ色素胞には FaRP システムが存在することを示し、色素胞のタイプそして成長に伴ってその作用が変化することがわかった。また、皮膚標本の FMRFamide 抗体による免疫組織染色によって、黒色色素胞と黄色色素胞の FMRFamide 含有神経の形態は異なっており、作用機序は異なると考えられる。

第3章では、自発的な色素胞活動から中枢神経系による色素胞制御について明らかにすることを目指した。インタクトのイカが無麻酔下で、体表模様を表出したときの黒色色素胞の活動を詳細に解析した。拡大している色素胞は、微小振幅の拡大と縮小を繰り返しており、その微小振動は脳から投射する色素胞神経の切断と同時に消失した。この中枢神経系に制御された微小振動周期は、模様の‘柄’と‘地’領域の色素胞で異なっており、柄部分では平均 4.7 Hz、地部分では平均 3.2 Hz であった。そして、微小振動の同期性は、模様のそれぞれの領域内で観察され、模様の‘柄’と‘地’領域の色素胞活動の違いは、微小振動の振動周期によることが明らかになった。

第4章では、本論文で得られた知見を総括し、色素胞における FaRP システムの役割と中枢神経系による体表模様形成メカニズムについて考察した。

第5章では、本研究の結言を述べた。

以上要するに本研究では、従来明らかにされていなかった色素胞による体色変化の詳細について、色素胞の動態解析と免疫蛍光実験等を併用して調べ、特に色素胞における微小振動現象に着目してその役割を明らかにしており、動物行動学、神経科学研究の進展に資するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3525 号	氏 名	田中 淳子
主 論 文 題 目 :			
少数種のアミノ酸からなる人工タンパク質の構造と機能に関する研究			
<p>近年、タンパク質解することは、新しい構造や機能をもつ有用なタンパク質を創出する工学的応用にもつながることが期待されているが、生命誕生時にさまざまな機能をもつタンパク質がどのように創出されたか、その原理はまったく分かっていない。の天然タンパク質は 20 種類のアミノ酸から構成されているが、生物進化の初期の遺伝暗号は、化学進化の初期段階で豊富に存在した少数種の「原始的」アミノ酸からなり、その後、次第に「新しい」アミノ酸が加わり現在の 20 種類に達したという仮説が提案されている。本研究では、少数種の異なる組み合わせのアミノ酸からなる人工タンパク質の構造形成能と機能出現頻度を比較することにより、この仮説を実験的に検証することを目的とした。</p> <p>第 1 章では、タンパク質と遺伝暗号の起源と初期進化に関する仮説について概観し、第 2 章では、進化分子工学の手法、特に本研究で用いた mRNA ディスプレイ法について述べている。</p> <p>第 3 章では、少数種のアミノ酸で構成されるランダム配列タンパク質の構造形成能を解析した結果について述べている。すなわち、アミノ酸の種類を 5 および 12 種に限定した原始的と考えられているアミノ酸を多く含むランダム配列ライブラリーは、天然のアミノ酸 20 種すべてを含むランダム配列ライブラリーよりも高い溶解度を示す配列の割合が高いことを示した。一方、それらのランダム配列タンパク質の二次構造や三次構造などの構造形成能は同程度であった。タンパク質の溶解度は、球状タンパク質が機能を発現する上で重要な要素であることから、原始的なアミノ酸を多く含むタンパク質は天然の 20 種すべてを含むものより機能出現頻度が高い可能性が示された。</p> <p>第 4 章では、少数種のアミノ酸からなる人工タンパク質の機能出現頻度を比較した結果について述べている。既存の SH3 ドメインの約半分を原始的アミノ酸を多く含む 12 種に限定したランダム配列に置き換えたライブラリーからは SH3 リガンド結合活性をもつ配列が得られたが、比較的新しいアミノ酸 10 種を含むライブラリーからは得られなかった。これらの結果は、原始タンパク質がこれらの原始的と考えられているアミノ酸で構成されていたという仮説を支持する最初の実験的証拠と言える。また、原始的アミノ酸を多く含む配列空間は、20 種類のアミノ酸の場合よりも、実際に多くの SH3 リガンド結合活性をもつ配列を含んでいることが示された。</p> <p>第 5 章では、以上の結果について考察し、将来の展望としてこのような少数種の原始的アミノ酸を利用した新規タンパク質の創出方法について述べ、本論文を総括した。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3529 号	氏 名	黒岩 奈保
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	工学博士	野寺 隆
	副査 慶應義塾大学教授	理学博士	谷 温之
	慶應義塾大学教授	理学博士	田村 明久
	慶應義塾大学名誉教授	工学博士	大野 義夫

学士（工学）、修士（工学）、黒岩 奈保 君提出の学位請求論文は、「離散型線形悪条件問題の正則化と近似解の決定」と題し、全 5 章から構成されている。

離散型線形悪条件問題は、非適切問題を表すモデル方程式を離散化して得られる連立 1 次方程式である。その応用分野は幅広く、石油探索、重力測定、衛星写真や医療用画像復元などがあり、古くから活発な研究が行われている。通常、このような条件の悪い連立 1 次方程式の求解には、高速な計算機を用いるため、数値的に安定した解を求めることができるソルバーの研究開発が求められている。本論文は、非適切問題から生じる大型の連立 1 次方程式に対し、解の安定を図る正則化手法として **GMRES** 法に基づく算法を提案し、その有効性を確認したものである。

第 1 章は序論であり、離散型線形悪条件問題の解法の 1 つであるクリロフ部分空間法の基礎的な性質と数値計算の精度における解の信頼性の指標となる条件数を定義し、その性質について述べている。

第 2 章は、離散型線形悪条件問題の導出と正則化の必要性について述べている。数学モデルを考える際に、Hadamard が提言した 3 つの条件：(A1) 解の存在性、(A2) 解の一意性、(A3) 解の安定性を取りあげ、モデルの「適切」および「非適切」を議論している。特に、非適切な数学モデルにおける系を離散化して得られる連立 1 次方程式の係数行列は、悪条件になることが多い。本章では、第 1 種 Fredholm 型積分方程式を取りあげ、その離散化による連立 1 次方程式は、悪条件問題となることを示している。

第 3 章は、**GMRES** 法の改良版である適応的な **Augmented GMRES** 法を提案している。**GMRES** 法の利点は、それ自身が解を滑らかにする正則化の性質を有するので、特別な正則化手法の適用を必要としないことである。また、**Augmented GMRES** 法は、従来、収束を速めるためにクリロフ部分空間に適切な部分空間を付加する手法であり、適切な部分空間の選択がたいへん難しかった。そこで、本論文の著者は、**GMRES** 法を構成する **Arnoldi** 分解の初期ベクトルに着目し、そのノルムが最小となる空間の候補を適宜選択してクリロフ部分空間に付加する適応的な手法を考案した。本章では、その手法の有効性を数値実験により確かめている。

第 4 章は、非適切問題に対する古典的な手法の 1 つである **Tikhonov** 正則化に基づく新しい反復終了条件を考案し、**GMRES** 法の修正法について述べている。**GMRES** 法における従来の反復終了条件には、相対残差ノルムを用いることが多い。しかし、この相対残差ノルムを離散型線形悪条件問題に対して用いる場合には、適切な反復終了条件としてうまく働かないことが多い。そこで、反復終了条件として使用できる他の基準が必要となる。著者は、適切なタイミングで反復を終了させることが可能な **Simplified Tikhonov** 値を導出し、**GMRES** 法の新たな反復終了条件として提案している。

第 5 章は、本論文の総括と結論について述べている。

以上、本論文の著者は、離散型線形悪条件問題に対する **Augmented GMRES** 法を用いたアプローチにおいて、ユーザが近似解を決定するまでに生じる負担を軽減できる手法の提案を行い、数値実験によりその有効性を確かめた。これは、離散型線形悪条件問題の解法に新しい見地と数値的に安定して解を構成できる計算ツールを与えたものであり、理工学上益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 3529 号	氏 名	黒岩 奈保
主論文題目：  離散型線形悪条件問題の正則化と近似解の決定			
<p>近年，離散型線形悪条件問題に対する正則化手法として GMRES 法が注目を集めている。離散型線形悪条件問題は，逆問題などで多く見られる非適切な問題を表すモデル方程式の離散化による連立 1 次方程式である。応用分野は，石油探査や重力測定，衛星写真や医用画像の復元等と幅広く，古くから活発な研究が行われている。ここで，非適切な問題とは，Hadamard の意味での適切性を満たさない問題，具体的には，解の存在性・一意性・安定性のいずれかを満たさない問題のことである。</p> <p>本論文は，非適切な問題から生じる連立 1 次方程式に対し，解の安定を図るための正則化手法について考える。解が不安定になる原因は，現象を支配する法則に未知の部分があるためにモデル方程式が不完全であること，利用可能な観測データに誤差が含まれることが挙げられる。また，問題の離散化の際に生じる打ち切り誤差が影響を与える場合もある。それぞれに対し，モデル方程式の改良，誤差の分布に関する統計情報を用いた手法などといった適切化のアプローチがある。本論文では，離散型線形悪条件問題に対する正則化手法として，Krylov 部分空間法の 1 つとして知られる GMRES 法に注目し，GMRES 法適用の過程で現れる各値を用いた制約条件を付加することで，問題の非適切性の改善を試みる。</p> <p>Krylov 部分空間法を用いて正則化を行うには，残差ノルムを最小にするという従来の最小二乗問題を，意味のある解を得られるような問題に変形する必要がある。GMRES 法による正則化の過程は，（1）GMRES 法によって連立 1 次方程式の近似解を生成する，（2）制約条件を用いて最適な近似解を決定する，という 2 つのステップに分けることができる。</p> <p>本論文は，（1）において GMRES 法や前処理付きの GMRES 法を離散型線形悪条件問題に適用した場合の特徴的な振る舞いについて考察する。次に，（2）に相当する近似解決定の制約条件として，Simpler Tikhonov 閾値を提案する。この閾値は，悪条件問題に対する古典的な正則化手法である Tikhonov 正則化の枠組みを利用したもので，従来の反復法で収束判定に用いられる残差ノルムに加え，近似解のノルムを近似解決定の指標として用いるもので，閾値の構成要素はすべて GMRES 法を実行する際に自然に現れる値である。よって，新たに必要となる計算量の負担は小さい。また，Simpler Tikhonov 閾値は，GMRES 法と共に用いることで，適応的なリスタートと，適当なタイミングでの反復終了が可能となる。</p> <p>最後に，数値実験により，離散型線形悪条件問題の性質，提案手法の有効性について考察する。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3529 号	氏 名	黒岩 奈保
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	工学博士	野寺 隆
	副査 慶應義塾大学教授	理学博士	谷 温之
	慶應義塾大学教授	理学博士	田村 明久
	慶應義塾大学名誉教授	工学博士	大野 義夫

学士（工学）、修士（工学）、黒岩 奈保 君提出の学位請求論文は、「離散型線形悪条件問題の正則化と近似解の決定」と題し、全 5 章から構成されている。

離散型線形悪条件問題は、非適切問題を表すモデル方程式を離散化して得られる連立 1 次方程式である。その応用分野は幅広く、石油探索、重力測定、衛星写真や医療用画像復元などがあり、古くから活発な研究が行われている。通常、このような条件の悪い連立 1 次方程式の求解には、高速な計算機を用いるため、数値的に安定した解を求めることができるソルバーの研究開発が求められている。本論文は、非適切問題から生じる大型の連立 1 次方程式に対し、解の安定を図る正則化手法として **GMRES** 法に基づく算法を提案し、その有効性を確認したものである。

第 1 章は序論であり、離散型線形悪条件問題の解法の 1 つであるクリロフ部分空間法の基礎的な性質と数値計算の精度における解の信頼性の指標となる条件数を定義し、その性質について述べている。

第 2 章は、離散型線形悪条件問題の導出と正則化の必要性について述べている。数学モデルを考える際に、Hadamard が提言した 3 つの条件：(A1) 解の存在性、(A2) 解の一意性、(A3) 解の安定性を取りあげ、モデルの「適切」および「非適切」を議論している。特に、非適切な数学モデルにおける系を離散化して得られる連立 1 次方程式の係数行列は、悪条件になることが多い。本章では、第 1 種 Fredholm 型積分方程式を取りあげ、その離散化による連立 1 次方程式は、悪条件問題となることを示している。

第 3 章は、**GMRES** 法の改良版である適応的な **Augmented GMRES** 法を提案している。**GMRES** 法の利点は、それ自身が解を滑らかにする正則化の性質を有するので、特別な正則化手法の適用を必要としないことである。また、**Augmented GMRES** 法は、従来、収束を速めるためにクリロフ部分空間に適切な部分空間を付加する手法であり、適切な部分空間の選択がたいへん難しかった。そこで、本論文の著者は、**GMRES** 法を構成する **Arnoldi** 分解の初期ベクトルに着目し、そのノルムが最小となる空間の候補を適宜選択してクリロフ部分空間に付加する適応的な手法を考案した。本章では、その手法の有効性を数値実験により確かめている。

第 4 章は、非適切問題に対する古典的な手法の 1 つである **Tikhonov** 正則化に基づく新しい反復終了条件を考案し、**GMRES** 法の修正法について述べている。**GMRES** 法における従来の反復終了条件には、相対残差ノルムを用いることが多い。しかし、この相対残差ノルムを離散型線形悪条件問題に対して用いる場合には、適切な反復終了条件としてうまく働かないことが多い。そこで、反復終了条件として使用できる他の基準が必要となる。著者は、適切なタイミングで反復を終了させることが可能な **Simplified Tikhonov** 値を導出し、**GMRES** 法の新たな反復終了条件として提案している。

第 5 章は、本論文の総括と結論について述べている。

以上、本論文の著者は、離散型線形悪条件問題に対する **Augmented GMRES** 法を用いたアプローチにおいて、ユーザが近似解を決定するまでに生じる負担を軽減できる手法の提案を行い、数値実験によりその有効性を確かめた。これは、離散型線形悪条件問題の解法に新しい見地と数値的に安定して解を構成できる計算ツールを与えたものであり、理工学上益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.3536	Name	Tutik Sriani
Thesis Title Electrode Design Method for Orbiting Electrical Discharge Machining Based on Inverse Minkowski Sum			
<p>Despite its outstanding ability to machine hard materials and produce intricate details, Electrical Discharge Machining (EDM) is less efficient compared to milling. This is partly due to poor flushing removal during the machining process. Orbiting the electrode is one method of improving the flushing of debris to enhance the efficiency of the machining process. Orbiting introduces secondary electrode motion to normal Z-feed motion to generate better fluid circulation inside narrow machining gaps. However, the additional electrode motion can create dimensional deviation of the machined cavity if it is not correctly adjusted. This study proposed a novel strategy to adjust EDM electrode geometry to the orbit motion. The electrode adjustment, which is based on the inverse principle of Minkowski sum and reverse electrical discharge machining, is not uniform and unique. This method was verified using a Z-map model, and was then applied directly to a CAD system. Both approaches confirmed the effectiveness of the proposed strategy.</p> <p>Chapter 1 introduces the benefits of electrode orbiting in the EDM process, challenges encountered, significance of the research, and objectives of this study.</p> <p>Chapter 2 reviews the area of electrode design for orbiting EDM, and ends with a discussion on the drawbacks of the current design method and attempts made to overcome them in this study.</p> <p>Chapter 3 describes the methodology of electrode adjustment used in this study. This chapter explains how electrode adjustment is done based on set theory using inverse Minkowski sum principle and how the adjusted electrode is validated using this concept.</p> <p>Chapter 4 presents the development of electrode adjustment method as an application in Z-map modeling. It also covers validation of the adjusted electrode geometry for orbit application, and ends with the shortcomings of the design process in Z-map modeling.</p> <p>Chapter 5 discusses the development of the proposed design method for commercial CAD software. This chapter basically describes the drawbacks of electrode design in Z-map modeling. Further development including the adoption of feature recognition technique and electrode design automation is explained explicitly. Also, a system which can suggest the optimum orbit paths based on recognized features and the electrode manufacturing strategy related to orbiting application is proposed. In addition, experimental works on orbiting EDM using electrode design steps are presented to confirm the effectiveness of the developed method.</p> <p>Chapter 6 provides the conclusions and the summary of contributions. Some directions for future works related to this study are also presented.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3536 号	氏 名	Tutik Sriani
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	青山 英樹
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	青山 藤詞郎
	慶應義塾大学教授	工学博士	三井 公之
	慶應義塾大学教授	工学博士	鈴木 哲也
<p>学士(工学), 修士(工学) Tutik Sriani 君提出の学位請求論文は「Electrode Design Method for Orbiting Electrical Discharge Machining Based on Inverse Minkowski Sum (逆ミンコフスキー和に基づく揺動放電加工の電極設計法)」と題し、6章より構成されている。</p> <p>放電加工は、高硬度材料の加工や複雑形状の成形が可能であるといった優れた特性を有しているが、機械加工に比べて加工能率が低いといった問題がある。この問題は、加工プロセス中において、加工くずの排出が効率的でないことに原因がある。電極を揺らしながら加工を行う揺動放電は、加工くず排出を改善し、加工プロセスを効率化する一つの方法である。電極をz軸方向の動きに加えてxy面で揺動することにより、電極と被加工物の隙間において、効果的な放電加工液の循環を生じさせる。しかしながら、xy面で電極を揺動させ要求形状を成形するためには、揺動に応じて電極形状を調節しなければならない。本研究では、キャビティとコアを反転した逆ミンコフスキー和に基づいて、揺動放電加工の電極設計を実現する新しい方法を提案している。</p> <p>第1章では、放電加工における電極揺動の効果、本研究の意義、本研究の目的が述べられている。</p> <p>第2章では、揺動放電に対する電極設計法が検討され、現在行われている方法の問題点と本研究で提案されている方法の特徴が述べられている。</p> <p>第3章では、本研究で提案されている逆ミンコフスキー和に基づく電極設計法の原理と有用性が述べられている。</p> <p>第4章では、Z-mapモデルを用いて電極設計システムを開発し、電極揺動に対する電極形状調節法の有用性を確認するとともに、Z-mapモデルを基礎としたシステムの問題点を述べている。</p> <p>第5章では、Z-mapモデルを基礎としたシステムの問題点を解決するため、ソリッドモデルを用いて提案手法に基づく電極設計システムを開発し、市販のCADシステムに組み込んでいる。組み込みにおいて、形状特徴の認識に基づく最適揺動パスの提示と自動電極設計を実現している。加えて、提案手法および開発システムの有用性を実験により検証している。</p> <p>第6章では、本研究の結論がまとめられ、将来展望が述べられている。</p> <p>以上要するに、本論文では、揺動放電加工における実用的な電極設計法を提案し、理論的に手法の妥当性を確認するとともに、提案に基づきシステムを開発して、実験により有用性を検証しており、放電加工の利用を推進するものであり、工業上・工学上寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第3537号	氏名	藤城 孝宏
主論文題目： 証明書検証サーバの提案とその実用化に向けた研究			
<p>近年、インターネットの爆発的な普及を受けて、電子商取引や、電子政府が実現されてきている。インターネット上でこれらデータ交換を行う際には、データの盗聴、改ざん、成りすましや、また、事後での否認などへの対策が必須である。</p> <p>これらセキュリティ対策のためには、公開鍵暗号技術に基づく認証基盤の活用が効果的であり、国内外で多くの認証局が構築されてきている。日本政府においても安心・安全な電子政府実現に向けて、その基盤となる認証システムである政府認証基盤(GPKI)や公的個人認証サービスの構築を行っている。</p> <p>これら公的な認証基盤では、各府省の認証局間や民間の認証局との間での連携を行うために、ブリッジ認証局方式を採用している。しかしながら、ブリッジ認証局方式には、利用者にとって公開鍵証明書の検証処理が複雑になるという問題がある。</p> <p>この問題の解決のため、本論文では、従来、利用者側で行っていた検証処理をサーバ側で一括して行うことにより、利用者側の負担軽減と、検証処理の高速化が行えることの提案を行っている。</p> <p>まず、GPKIのようなブリッジ認証方式を採用している認証基盤において、証明書検証を行う際に必要となる認証パスの構築、検証処理を明確化している。ついで、この証明書検証処理を利用者に代行して行う証明書検証サーバに求められる機能要件、セキュリティ要件、また、証明書検証サーバを利用するためのアクセスプロトコルに求められる要件の定義を行っている。</p> <p>次に、これら要件を満足させるために、認証パス構築、検証機能の設計を行うとともに、認証局の公開する証明書や失効情報の取得を効率化するリポジトリキャッシュや、利用者にとって利便性の高い証明書検証のためのアクセスプロトコルの検討を行い、評価実験によりその有効性の検証を行った結果を示している。</p> <p>さらに、本論文では、電子政府の利用の拡大にともない、増大する証明書検証要求に対応するために行った証明書検証処理をさらに高速化し、証明書検証サーバの実用性を向上する手法に関して提案を行っている。具体的には、リポジトリキャッシュの課題を改善する証明書のハッシュテーブル格納方式、ならびに、構築した認証パス情報を再利用する認証パス情報のキャッシュ機能の提案を行っている。加えて、実験環境ならびに、実環境を利用した性能評価実験を行い、提案した手法の有効性の検証を行っている。</p>			



## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3537 号	氏 名	藤城 孝宏
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学 教授	工学博士 岡田 謙一
	副査	慶應義塾大学 教授	工学博士 笹瀬 巖
		慶應義塾大学 准教授	博士(理学) 河野 健二
		慶應義塾大学 准教授	博士(工学) 重野 寛

学士（工学）、修士（工学）藤城孝宏君提出の博士学位請求論文は、「証明書検証サーバの提案とその実用化に向けた研究」と題し、6章より構成されている。

近年、インターネットの爆発的な普及を受けて、電子商取引や、電子政府が実現されてきている。インターネット上でこれらデータ交換を行う際には、データの盗聴、改ざん、成りすましや、また、事後での否認などへの対策が必須である。これらセキュリティ対策のためには、公開鍵暗号技術に基づく認証基盤の活用が効果的であり、国内外で多くの認証局が構築されてきている。日本国政府においても、電子政府のセキュリティを支える基盤として政府認証基盤や住民基本台帳に基づき住民に公開鍵証明書を発行する公的個人認証基盤などの公的な認証基盤を構築、運用してきている。

提案手法は、政府認証基盤などの大規模な認証基盤において採用されているブリッジ認証局モデルにおいて、その証明書の検証処理が利用者の負担になるという課題にいち早く着目し、それを解決する手段として、公開鍵証明書の検証処理をサーバに委託するモデルとして提案している。

証明書検証サーバでは、各種証明書や認証局の公開する証明書の失効情報をローカルにキャッシュし、再利用することにより、証明書検証処理を高速化している。

さらに、電子政府の普及により検証処理性能の向上要求が見込まれるのに対応するため、証明書キャッシュ機能の改善、認証パスキャッシュ機能を追加する提案を行い、現状の電子政府の利用において、十分実用となる処理性能を達成可能なことを示している。

本論文の構成を以下に示す。

第1章では、本論文の序論であり、本研究の背景と目的、位置づけについて述べている。

第2章では、本研究の対象であるブリッジ認証局モデルを採用した公的認証基盤の概要と、その際に課題となる証明書検証処理について述べている、また、諸外国との比較や関連文献を紹介している。

第3章では、本論文で提案している証明書検証サーバの概要と、証明書検証サーバに求められる機能要件、セキュリティ要件、プロトコル要件を示している。

第4章では、第3章で示した各種要件を満足すべく行った証明書検証サーバの開発と、その有効性を検証するために行った性能評価実験とその結果に関して示している。

第5章では、電子政府の推進、浸透に伴って求められる、処理性能の高速化に対応するための証明書検証処理を高速化する手法に関しての提案を行っている。また、実験環境ならびに、実環境を用いた評価実験とその結果を提示し、提案手法の有効性について示している。

最後に第6章では、本論文の結論を述べている。

また、本論文で提案している手法は、すでに、国内の公的認証基盤における標準仕様として公開され、さまざまな電子政府システムで利用されている。さらに、本研究での提案は、特許として出願され、すでに日本を含む11カ国で成立しており、また、日本発明協会 関東地方発明表彰 発明奨励賞も受賞している。

以上の通り、本研究により証明書検証サーバ方式の提案とその高速化手法が示されたことになり、研究の成果は工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は、博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3538 号	氏 名	村上 小枝子
主 論 文 題 目 :			
環境低負荷型バイオベースポリマーの創成に関する研究			
<p>地球規模で様々な環境問題が発生するなかで、原料から廃棄に至る製造プロセス全体の環境負荷を出来る限り小さくする、グリーンケミストリーが提唱されている。ポリマー材料においても、グリーンケミストリーに基づいた技術開発やプロセス設計が求められ、再生可能資源（バイオマス）とバイオプロセスを利用した環境低負荷型ポリマーやリサイクル手法の開発が行われている。本研究では、ポリマー原料をバイオマスから得られるものに求め、分子設計を行うことにより、高機能性を有する環境低負荷型ポリマーを創成することを目的とした。また、得られたポリマーについて、生分解によるバイオリサイクルあるいは酵素触媒によるケミカルリサイクルの可能性を評価するため、生分解性および酵素分解性について検討を行った。</p> <p>第 1 章は序論であり、本論文の背景となるグリーンケミストリーに基づいた環境低負荷型バイオベースポリマーについて紹介した。</p> <p>第 2 章では、生分解性を有する微生物産生ポリ（<math>\gamma</math>-グルタミン酸）（PGA）をジメチルスルホキシド（DMSO）中、水溶性カルボジイミド存在下、種々の糖で架橋し、新規バイオベースヒドロゲルを合成した。合成した PGA ゲルのうち、グルコースで架橋したゲルが、<b>3000 g/g</b> と最も高い吸水率を示した。得られたゲルは、天然の生分解性化合物のみから成ることから、生分解性を有し、環境分野などへの応用が期待される。</p> <p>第 3 章では、水溶媒中でのアミド結合形成反応に着目し、<b>DMSO</b> などの有機溶媒よりも環境低負荷な水溶媒中、<b>L-リジン</b> で PGA を架橋し、生分解性バイオベースヒドロゲルを合成した。縮合剤として <b>4-(4,6-ジメトキシ-1,3,5-トリアジン-2-イル)-4-メチルモルフォリン塩酸塩 (DMT-MM)</b> を使用した場合に、高収率でゲルが生成した。得られた PGA ゲルは、吸水率 <b>300~2100 g/g</b> を有し、また、<b>BOD</b> 法による生分解度は <b>60 %</b> と易分解性であった。</p> <p>第 4 章では、酵素触媒重合により得られたオリゴ（テトラメチレンカーボネート）ジオールをヘキサメチレンジイソシアネート（<b>HDI</b>）で重合し、酵素分解可能な結合部位を有するポリウレタン（<b>PTeCU</b>）を合成した。<b>PTeCU</b> は酵素により分解され、再重合可能な環状オリゴマーが生成した。</p> <p>第 5 章では、加水分解性および酵素分解性の制御を目的として乳酸オリゴマー含有バイオベースポリウレタンを合成した。また、化学修飾可能な水酸基を有するリンゴ酸共重合体を <b>HDI</b> で重合し、リンゴ酸共重合体含有バイオベースポリウレタンを合成した。得られたポリウレタンは、アニソール中で酵素により分解され、再重合可能な環状オリゴマーを生成することを明らかにした。</p> <p>第 6 章では、本研究を総括し、今後の展望について述べた。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3538 号	氏 名	村上 小枝子
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	工学博士	松村 秀一
	副査 慶應義塾大学教授	工学博士	西山 繁
	慶應義塾大学教授	工学博士	戸嶋 一敦
	慶應義塾大学教授	農学博士	須貝 威
<p>工学士 村上小枝子君提出の学位請求論文は「環境低負荷型バイオベースポリマーの創成に関する研究」と題し、6章から構成されている。</p> <p>地球環境問題に対処すべく、原料から廃棄に至る製造プロセス全体の環境負荷を出来る限り小さくする、グリーンケミストリーが提唱されている。ポリマー材料においても、グリーンケミストリーに基づいた技術開発が求められ、再生可能資源（バイオマス）とバイオプロセスを活用した環境低負荷型ポリマーやリサイクル法の開発が行われている。本論文では、ポリマー原料をバイオマスから得られるものに求め、分子設計を行うことにより、高機能を有する環境低負荷型ポリマーを創成することを目的としている。また、得られたポリマーについて、生分解によるバイオリサイクルあるいは酵素触媒によるケミカルリサイクルの可能性を評価するため、生分解性および酵素分解性について検討を行っている。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の背景となるグリーンケミストリーに基づいた環境低負荷型バイオベースポリマー創成について概説し、本研究の目的と位置付けを示している。</p> <p>第2章では、生分解性を有する微生物産生ポリ(γ-グルタミン酸) (PGA) を水溶性カルボジイミド存在下、種々の糖で架橋し、新規バイオベースヒドロゲルを合成している。合成したPGAゲルのうち、グルコースで架橋したゲルが、最も高い吸水率を示している。得られたゲルは、生分解性を有することから、環境分野などへの応用が期待される。</p> <p>第3章では、水溶媒中でのアミド結合形成反応に着目し、環境低負荷な水溶媒中、L-リジンでPGAを架橋し、生分解性バイオベースヒドロゲルを合成している。縮合剤として4-(4,6-ジメトキシ-1,3,5-トリアジン-2-イル)-4-メチルモルホリン塩酸塩を使用した場合に、高収率でゲルが得られている。得られたPGAゲルは、高吸水率を有し、また、BOD法による生分解度は60%以上と易分解性を示している。</p> <p>第4章では、酵素触媒重合により得られたオリゴ(テトラメチレンカーボネート) ジオールをヘキサメチレンジイソシアナート (HDI) と重合し、酵素分解可能な結合部位を有するポリウレタン (PTeCU) を合成している。PTeCUは酵素により分解され、再重合可能な環状オリゴマーに変換されることから、ケミカルリサイクル性を明らかにしている。</p> <p>第5章では、加水分解性および酵素分解性の制御を目的に、乳酸オリゴマー含有バイオベースポリウレタンを合成している。また、化学修飾可能な水酸基を有するリンゴ酸共重合体をHDIと重合させることで、リンゴ酸含有バイオベースポリウレタンを合成している。得られたポリウレタンは、酵素により分解され、再重合可能な環状オリゴマーに分解できることを明らかにし、このことからケミカルリサイクル性を示している。</p> <p>第6章では、本研究を総括し、今後の展望を記している。</p> <p>以上要するに、本研究はグリーンケミストリーの概念に合致する環境低負荷型バイオベースポリマーの創成を目的に、微生物産生ポリグルタミン酸の架橋化、ケミカルリサイクル可能なポリウレタンのグリーンプロセスによる合成および特性を明らかにしている。また、優れた機能を発現するものを見出している。これらの成果は次世代型グリーンポリマーケミストリー創成に道を拓くものであり、有機工業化学上重要である。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	乙 第4476号	氏名	飯田 孝久
主論文題目： 離散変量と連続変量が混在する場合の統計的異常検出法			
<p>本論文では、連続変量と離散変量が混在する異常検出問題において、離散変量の値を与えたとき、連続変量が分散共分散行列が共通の正規分布にしたがうとするロケーションモデルを仮定し、分布の母数が既知の場合と未知の場合について、異常検出法を構成した。誤報率が設定値に一致する、あるいはなるべく近い値になるように棄却限界値を定める方法を与え、誤報率および検出力の性質を明らかにし、手法間の比較を行った。なお、確率が小さい離散変量の水準での異常を確実に検出することは本研究での一つの目標である。</p> <p>分布の母数が既知の場合は、離散変量の値を与えて連続変量のみに基づく検定を用いる条件付法(C法)、離散変量を連続変量と併せて求めたマハラノビス平方距離を用いるマハラノビス距離法(M法)と、全変量を用いた尤度比検定に基づく尤度比法(L法)を構成した。どの方法においても、異常検出統計量は連続変量のみによるマハラノビス平方距離と補正項の和として表現されることから、誤報率が正確に設定値と一致する異常検出法を構成した。誤報率ならびに検出力に関する性質を明らかにした。補正項の性質から、M法とL法では正常状態で確率が小さい離散変量の水準ほど異常と判定しやすくなることがわかった。2値変量の場合についての数値計算を基に手法の比較を行った結果、L法とM法は確率が小さい水準で高い検出力を与える方法であることが確認できた。母数の状況により最適な方法は変化するが、総合的に判断してL法が優れていると結論づけられた。</p> <p>分布の母数が未知の場合は、母数が既知の場合の3手法の異常検出統計量に初期データによる分布の母数の推定量を代入する推定方式と、初期データに判定標本を併せた全データに対する尤度比検定に基づく検定法(T法)を構成した。棄却限界値は、初期データについて期待値をとった期待誤報率が設定値に近くなるよう、連続変量のみに基づくマハラノビス平方距離の分布としてF分布を用いて決定し、4つの手法について、誤報率ならびに検出力の基本的性質を明らかにした。期待誤報率が設定値に一致しないため、検出力の期待誤報率に対するオッズ比を用いて手法の比較を行った。C法は離散変量を積極的に異常検出に用いていないことから、また、M法は期待誤報率が設定値から大きく乖離する可能性があることから、詳細な比較はL法とT法について行った。既知の場合と同様に、母数の状況によりその優劣は変化するが、総合的にみて期待誤報率が安定し広い範囲でオッズ比の高いT法が優れていると結論づけられた。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	乙 第 4476 号	氏 名	飯田 孝久
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 篠崎 信雄
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 櫻井 彰人
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 鈴木 秀男
		慶應義塾大学教授	理学博士 清水 邦夫
<p>工学士、工学修士、飯田 孝久 君提出の学位請求論文は、「離散変量と連続変量が混在する場合の統計的異常検出法」と題し、全6章からなる。</p> <p>異常検出とは、個体についての観測値を基に、その個体が正常状態から乖離しているか否かを判断するものであり、さまざまな分野で生じる重要な問題である。観測変数が複数個存在する場合は多く、品質管理の分野では多変量管理図を、マハラノビス・タグチ（MT）システムでもマハラノビス平方距離を用いて異常検出が行われている。しかし、連続変量だけを用いる場合の議論が大半であり、離散変量が混在する場合には、離散変量を連続変量とみなして、あるいは、名義尺度構造をもつ変量をダミー変数化して、連続変量の場合の方法を適用することが行われている。</p> <p>本論文では、離散変量を与えたときの連続変量の分布が、共通の共分散行列をもつ多変量正規分布にしたがうと仮定するロケーションモデルを用いて、異常検出を統計的仮説検定の問題として議論している。正常群での確率分布の母数が既知の場合と未知の場合に分け、いくつかの異常検出法を構成すること、誤報率の設定値を実現するための棄却限界値の決定法を与えること、検出力を含めて手法を評価し実用に結びつけることを行っている。</p> <p>本論文の構成について以下に述べる。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べ、問題の基本的枠組みとアプローチを示している。第2, 3章で母数が既知の場合について、第4, 5章で未知の場合について議論している。</p> <p>第2章では、離散変量をダミー変数化し全変量を基に求めるマハラノビス平方距離が、連続変量に基づくマハラノビス平方距離と離散変量の確率により定まる定数との和として表現されることを示し、これに基づき誤報率の設定値を正確に実現するマハラノビス距離法を提案している。また、尤度比検定の原理に基づく尤度比法についても同様の表現を与え、離散変量を与えたときの連続変量の条件付分布を用いる条件付法と併せて、誤報率を設定値に一致させられることを示している。</p> <p>第3章では、第2章で与えた3つの方法に対し、離散変量を与えたときの条件付誤報率の挙動の差異について、まず示している。それを反映する形で、3方法の検出力の挙動の差異が生じるが、2値変量の場合の数値計算結果もまじえて比較を行っている。その結果、3方法について一概に優劣をつけることはできないが、正常状態で確率の小さい離散変量の水準の確率が大きくなり連続変量の平均もある程度変化する状況では、尤度比法が最も高い検出力を持つことが確認される。</p> <p>第4章では、初期データとよぶ正常群からの無作為標本を想定し、母数が既知の場合の方法に現れる母数に推定量を代入して構成する3つの方法と、初期データと判定標本に基づく尤度比検定として導かれる検定法を提案している。初期データについて期待値をとった期待誤報率を誤報率の設定値に近い値にするため、連続変量に基づくマハラノビス平方距離の定数倍がF分布に従うことを用いる棄却限界値の決定法を与えている。マハラノビス距離法は期待誤報率が設定値を大きく超えてしまうことがあり、検定法が概して優れていることが示される。</p> <p>第5章では、第4章で与えた4つの方法の検出力について、正常状態で相対的に確率が小さい水準の確率が大きくなるほど、検出力が大きくなることが示唆される。4方法とも期待誤報率が設定値に一致しないため、検出力の期待誤報率に対するオッズ比を基準として比較するとき、検定法が異常状態の広い範囲で安定して優れた異常検出法であることが確認される。</p> <p>第6章では、以上の成果を総括して、本論文の結論を述べている。</p> <p>以上、要するに本論文は、離散変量と連続変量が混在する場合の異常検出法を導出し、統計的仮説検定の立場から手法の評価を行い、実用に結びつける研究であり、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3539 号	氏 名	上田 陽平
<p>主論文題目：</p> <p><b>Stochastic Integral Characterizations of Some Multivariate Infinitely Divisible Distributions and Related Stochastic Processes</b></p> <p>(多次元無限分解可能分布の確率積分による特徴付けとそれに関連する確率過程)</p>			
<p>無限分解可能分布は、無限小条件を満たす二重確率変数列の部分和の極限分布や、加法過程の周辺分布として知られている。このため、<math>\mathbb{R}^d</math>上の無限分解可能分布のクラス<math>I(\mathbb{R}^d)</math>は、確率分布のクラスのうちで最も重要なものの一つである。近年、<math>I(\mathbb{R}^d)</math>のサブクラスの分類が発展してきた。その中でも、自己分解可能分布のクラス<math>L(\mathbb{R}^d)</math>は特に重要であり、様々な特徴付けを持っている。例えば、<math>L(\mathbb{R}^d)</math>は確率積分によって特徴付けられる。すなわち、ある確率積分写像の値域として表される。ここで、確率積分写像とは、ある無限分解可能分布に、それを分布として持つレヴィ過程による確率積分の分布を対応させる写像である。また、自己分解可能分布は、レヴィ過程によってドライブされるランジュバン方程式の解であるオルンシュタイン・ウーレンバック型過程の極限分布でもある。</p> <p>本論文では、次の三つの問題を扱う。一つ目の問題は、<math>L(\mathbb{R}^d)</math>を一般化したクラスを、<math>L(\mathbb{R}^d)</math>の場合と類似の方法で特徴付けることである。ここで、<math>L(\mathbb{R}^d)</math>を一般化したクラスとは、スパン<math>b &gt; 1</math>を持つ半自己分解可能分布のクラス<math>L(b, \mathbb{R}^d)</math>と、<math>\alpha \in \mathbb{R}</math>-自己分解可能分布のクラス<math>L^{(\alpha)}(\mathbb{R}^d)</math>であり、これらの確率積分表現や、これらに関連するオルンシュタイン・ウーレンバック型過程を調べる。また、<math>\alpha</math>-自己分解可能分布については、<math>\alpha \leq -2</math>に対して2次元の場合の具体例も与えた。それは、2次元ガンマ分布である。</p> <p>二つ目の問題は、<math>L^{(\alpha)}(\mathbb{R}^d)</math>の入れ子のサブクラス列に関することである。このサブクラス列は、極限定理および確率積分写像によって定義され、その極限は、安定分布のクラスの畳み込みと弱収束に関する閉包のサブクラスになることが示される。また、応用として、確率積分写像の合成を利用して、別の入れ子のクラス列の極限も求めた。</p> <p>三つ目の問題は、ガンマ分布を幾つかの形の確率積分の分布として表すことである。そのために、ウプシロン変換と呼ばれるレヴィ測度の変換を用いる。さらに、この変換の概念を用いることにより、<math>I(\mathbb{R})</math>のサブクラスの確率積分による特徴付けに関して、新しい方法を発見した。確率積分写像による従来の方法が、被積分関数を固定して、ドライブするレヴィ過程を動かすものであったのに対し、この新しい方法は、ドライブするレヴィ過程を固定して、被積分関数を動かすものである。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3539 号	氏 名	上田 陽平
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 仲田 均
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 清水邦夫
		慶應義塾大学教授	理学博士 田村要造
		慶應義塾大学教授	工学博士 篠崎信雄
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 前島 信

  

学士(理学)、修士(理学) 上田陽平君提出の学位請求論文は「**Stochastic Integral Characterizations of Some Multivariate Infinitely Divisible Distributions and Related Stochastic Processes** (多次元無限分解可能分布の確率積分による特徴付けとそれに関連する確率過程)」と題し、全5章よりなっている。

無限分解可能分布は、無限小条件を満たす二重確率変数列の部分和の極限分布や、加法過程の周辺分布として知られている。このため無限分解可能分布のクラスは、確率分布のクラスのうちで最も重要なものの一つである。近年、無限分解可能分布のクラスのサブクラスの分類問題が、純数学的な関心とファイナンス、物理などへの応用の重要さと相まって、新たにあるいは再認識されて研究が活発になってきている。その中でも、一番早くから研究されてきた自己分解可能分布のクラスは特に重要であり、様々な特徴付けが知られている。例えば、自己分解可能分布のクラスは確率積分によって特徴付けられる。すなわち、ある確率積分写像の値域として表される。ここで、確率積分写像とは、ある無限分解可能分布に、それを分布として持つレヴィ過程による確率積分の分布を対応させる写像である。また、自己分解可能分布は、ノイズがレヴィ過程であるランジュバン方程式の解であるオルンシュタイン・ウーレンベック型過程の極限分布でもあることも知られている。

第1章は第2章以下の議論に必要な事項の解説とすでに知られている結果に充てられ、第2章以下で次の三つの新しい問題を扱っている。

一つ目の問題は、重要なクラスである自己分解可能分布のクラスの一般化として知られている、あるいは新たなクラスについて、自己分解可能分布のクラスの場合と類似の特徴付けを与えることである。第2章では、自己分解可能分布のひとつの一般化である半自己分解可能分布のクラスについて、永年他の研究者が解けなかったレヴィ過程による確率積分表現を証明している。さらにこれらに関連するオルンシュタイン・ウーレンベック型過程も調べている。第3章では、 $\alpha$ -自己分解可能分布のクラスという新しいサブクラスについて、同じように確率積分表現や関連するオルンシュタイン・ウーレンベック型過程を調べている。さらに、具体的な分布がどのクラスに属するかという問題が、自明な例を除いては全て1次元の例しかなかったことに対して、2次元ガンマ分布は、自己分解可能ではないが $\alpha$ -自己分解可能( $\alpha \leq -2$ )であることを示している。

二つ目の問題は、 $\alpha$ -自己分解可能分布のクラスの入れ子のサブクラス列に関する問題であり、第4章で議論されている。このサブクラス列は、極限定理および確率積分写像によって定義され、その極限は、安定分布のクラスの(畳み込みと弱収束に関する)閉包のサブクラスになることが新たに証明されている。またその応用として、確率積分写像の合成を利用して、別の入れ子のクラス列の極限も求められている。

最後の第5章で扱っている三つ目の問題は、一つのガンマ分布を幾つかの異なる形の確率積分の分布として表すことである。そのために、著者はアップシロン変換と呼ばれるレヴィ測度の変換を用いている。さらに、この変換の概念を用いることにより、1次元無限分解可能分布のクラスのサブクラスの確率積分による特徴付けに関して、新しい方法を発見している。すなわち確率積分写像による従来の方法が、被積分関数を固定して積分するレヴィ過程を動かすものであったのに対し、この新しい方法は、積分するレヴィ過程を固定して、被積分関数を動かすものである。

以上本論文の著者は、近年その重要さが増してきた無限分解可能分布のクラスの特徴付け問題とそれに関連する確率過程のいくつかの重要な問題を解き、この分野の発展に大きく貢献すると共に、これらの研究成果によって著者が数学者としてひとり立ちしたことを示した。

よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3542 号	氏 名	新藤 豊
<p>主論文題目：</p> <p style="text-align: center;">蛍光イメージング法を用いた ミトコンドリア関連細胞内マグネシウムイオン動態に関する研究</p>			
<p>マグネシウムイオン(Mg<sup>2+</sup>)は細胞にとって必要不可欠なイオンであり、細胞内での様々な酵素反応やイオンチャネルの透過性、エネルギー生産などに影響を与えることが知られている。また、生体組織内での Mg<sup>2+</sup>の不足は、様々な疾患との関係が報告されている。しかし、細胞内での Mg<sup>2+</sup>濃度変化のメカニズムに関する研究は少なく、またそれがどのように疾患につながるのかはほとんどわかっていない。本論文では神経興奮毒性やパーキンソン病の培養細胞でのモデル実験系における細胞内 Mg<sup>2+</sup>濃度変化とそのメカニズムについて、蛍光イメージング法を用いて観察、解析した。</p> <p>第1章は緒言として、細胞内での Mg<sup>2+</sup>の役割や細胞内 Mg<sup>2+</sup>濃度変化に関するこれまでの研究、疾患と Mg<sup>2+</sup>との関係についての知見についてまとめ、本論文の背景を説明した。</p> <p>第2章では、本論文で用いた蛍光イメージング技術について説明した。</p> <p>第3章では、分散培養したラット海馬神経細胞を用いてグルタミン酸興奮毒性による神経細胞死の初期段階での細胞内 Mg<sup>2+</sup>濃度変化について議論した。高濃度グルタミン酸の添加により海馬神経細胞内では一過的な Mg<sup>2+</sup>濃度上昇が引き起こされた。この濃度上昇は細胞外に Mg<sup>2+</sup>がない状態でも起こること、またミトコンドリアを脱分極させることで予めミトコンドリアから Mg<sup>2+</sup>を放出させておくと観察されなくなることから、ミトコンドリアからの Mg<sup>2+</sup>の放出が原因であることを示した。また、細胞外にカルシウムイオン(Ca<sup>2+</sup>)がない状態や、ミトコンドリア内膜上に存在する Ca<sup>2+</sup> uniporter を阻害した状態ではグルタミン酸による細胞内 Mg<sup>2+</sup>濃度上昇は観察されなかったことから、細胞外から流入した Ca<sup>2+</sup>がミトコンドリアに取り込まれることが引き金となり Mg<sup>2+</sup>放出が引き起こされることを示した。</p> <p>第4章では、新規に開発された Mg<sup>2+</sup>選択的蛍光プローブである KMG-301 の性能と、これを用いたミトコンドリア内での Mg<sup>2+</sup>濃度計測について議論した。KMG-301 はローダミン骨格を基にして作られた蛍光分子であり、生理的な濃度範囲では Mg<sup>2+</sup>以外のイオンや pH の影響は全く受けない。このプローブを細胞に負荷したときに目的どおりミトコンドリア内で機能していることを、蛍光イメージングにより示した。細胞外の Mg<sup>2+</sup>濃度を急激に上昇させると、細胞内に取り込ませた KMG-301 の蛍光強度の上昇が観察されたが、ミトコンドリア内膜上に存在する Mg<sup>2+</sup>チャネルである Mrs2 の発現を RNA 干渉により抑制した細胞では蛍光変化量は有意に抑えられた。従って KMG-301 はミトコンドリア内の Mg<sup>2+</sup>濃度変化を可視化できる色素であると結論付けた。この色素と細胞質中の Mg<sup>2+</sup>濃度変化を可視化する色素である KMG-104 の同時使用により、ミトコンドリア膜電位の消失により誘発されるミトコンドリアからの Mg<sup>2+</sup>放出をミトコンドリア内と細胞質の両側から観察することに成功した。さらに、パーキンソン病の細胞モデル系において、ミトコンドリアから Mg<sup>2+</sup>が放出されることを発見した。</p> <p>第5章は本論文の総括として、細胞内でのミトコンドリアを中心とした Mg<sup>2+</sup>濃度変化について議論し、神経疾患との関連性について考察した。</p>			



## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3542 号	氏 名	新藤 豊
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡 浩太郎
	副査	慶應義塾大学教授	農学博士 井本 正哉
		慶應義塾大学准教授	博士（地球環境科学） 土居 信英
		慶應義塾大学教授	工学博士 鈴木 孝治
<p>学士（工学）、修士（理学）新藤豊君提出の学位請求論文は、「蛍光イメージング法を用いたミトコンドリア関連細胞内マグネシウムイオン動態に関する研究」と題し全5章からなる。</p> <p>マグネシウムイオン(Mg<sup>2+</sup>)は細胞にとって必要不可欠なイオンであり、様々な酵素反応やイオンチャネルの透過性、エネルギー生産などに影響を与えることが知られている。また、生体組織内での Mg<sup>2+</sup>の不足は、様々な疾患との関係が報告されている。しかし、細胞内での Mg<sup>2+</sup>濃度変化のメカニズムに関する研究は少なく、また Mg<sup>2+</sup>と疾患との関係の詳細は明らかでない。本論文では神経興奮毒性やパーキンソン病の培養細胞でのモデル実験系における細胞内 Mg<sup>2+</sup>濃度変化とそのメカニズムについて、蛍光イメージング法を用いて解析している。</p> <p>第1章は緒言であり、細胞内での Mg<sup>2+</sup>の役割や細胞内 Mg<sup>2+</sup>濃度変化に関するこれまでの研究、疾患と Mg<sup>2+</sup>との関係についての知見をまとめ、本論文の背景を説明している。</p> <p>第2章では、本論文で用いた主要な蛍光イメージング技術について説明している。</p> <p>第3章では、分散培養したラット海馬神経細胞を用いてグルタミン酸興奮毒性による神経細胞死の初期段階での細胞内 Mg<sup>2+</sup>濃度変化について議論している。高濃度グルタミン酸の添加により海馬神経細胞内では一過的な Mg<sup>2+</sup>濃度上昇が引き起こされた。この濃度上昇は細胞外に Mg<sup>2+</sup>がない状態でも起こること、またミトコンドリアを脱分極させることで予めミトコンドリアから Mg<sup>2+</sup>を放出させておくと観察されなくなることから、ミトコンドリアからの Mg<sup>2+</sup>の放出が原因であることを示した。また、細胞外にカルシウムイオン(Ca<sup>2+</sup>)がない状態や、ミトコンドリア内膜上に存在する Ca<sup>2+</sup> uniporter を阻害した状態ではグルタミン酸による細胞内 Mg<sup>2+</sup>濃度上昇は観察されなかったことから、細胞外から流入した Ca<sup>2+</sup>がミトコンドリアに取り込まれることが引き金となり Mg<sup>2+</sup>放出が引き起こされることを初めて示した。</p> <p>第4章では、新規に開発された Mg<sup>2+</sup>選択的蛍光プローブである KMG-301 の性能と、これを用いたミトコンドリア内での Mg<sup>2+</sup>濃度計測について議論している。KMG-301 はローダミン骨格を基にして作られた蛍光分子であり、生理的な濃度範囲では Mg<sup>2+</sup>以外のイオンや pH の影響は全く受けない。このプローブを細胞にロードした際に、ミトコンドリア内で機能していることを、蛍光イメージングによりまず調べた。細胞外の Mg<sup>2+</sup>濃度を急激に上昇させると、細胞内に取り込ませた KMG-301 の蛍光強度の上昇が観察されたが、ミトコンドリア内膜上に存在する Mg<sup>2+</sup>チャネルである Mrs2 の発現を RNA 干渉により抑制した細胞では、蛍光変化量は有意に抑えられた。従って KMG-301 はミトコンドリア内の Mg<sup>2+</sup>濃度変化を可視化できる色素であると結論付けた。この色素と細胞質中の Mg<sup>2+</sup>濃度変化を可視化する色素である KMG-104 の同時使用により、ミトコンドリア膜電位の消失により誘発されるミトコンドリアからの Mg<sup>2+</sup>放出をミトコンドリア内と細胞質の両側から観察することに成功した。さらにパーキンソン病を誘発することが知られている 1-methyl-4-phenylpyridinium ion (MPP<sup>+</sup>)を神経細胞に添加することにより、ミトコンドリアから Mg<sup>2+</sup>が放出されることを発見した。</p> <p>第5章は本論文の総括であり、細胞内でのミトコンドリアを中心とした Mg<sup>2+</sup>濃度変化について議論し、神経疾患との関連性について考察した。</p> <p>以上要するに本研究では、新規な蛍光プローブを用いたバイオイメージング技術を用いることにより従来明らかにされていなかった細胞内 Mg<sup>2+</sup>動態および疾病との関係について新規な知見を見出すことに成功しており、細胞生物学、神経科学研究の進展に資するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

# Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.3543	Name	LEI, Zhao
Thesis Title			
A Study of Leakage Power Reduction Mechanisms on Functional Units and TLBs for Embedded Processors			
<p>Power consumption has been widely recognized as a first-class design constraint for embedded processors, due to its impact on operation reliability, system density, and integration costs. While dynamic power has represented the predominant factor in CMOS circuits for many years, the leakage power, which is consumed by each transistor even when no active switching is taking place, is increasingly prominent with technology scale. Now, suppressing the leakage power of embedded processors, especially for battery-driven devices, is a critical challenge facing the embedded system community.</p> <p>Leakage-efficient design requires an in-depth examination of each system component. In this thesis, we explore the leakage reduction mechanisms on functional units, instruction TLB, and data TLB, all of which take up a significant share of the total leakage consumption of embedded processors but have not been well studied due to their high access frequency and utilization.</p> <p>As for functional units, we propose a framework to Power Gating (PG) each of the units at run-time by integrating circuit-level, architecture-level, and system software techniques. At circuit-level, we propose a fine-grained power gating technique, which has nano-second order wakeup latency and can be implemented at arbitrary granularity. At architecture-level, a PG control scheme, which keeps a functional unit active only when being used, has been applied. In addition, BET-aware PG control schemes, which are guided by the system software (compiler and operating system), have also been proposed to achieve maximum leakage reduction effects.</p> <p>As for the instruction TLB (iTLB), we exploit the spatial locality of the page-based iTLB references. By inserting a small size storage component, which keeps the recent address-translation information, between the processor and the iTLB, a majority of address-translation requests can be satisfied with the small component without accessing the iTLB. Then, with integration of the Dual Voltage Supply (DVS) technique, the iTLB can be put into low-leakage mode (with the lower voltage supply) and restored to the active mode only when the iTLB look-up becomes necessary. Based on such a design philosophy, three different leakage control policies have also been proposed to achieve the best leakage reduction efficiency.</p> <p>As for the data TLB (dTLB), we exploit the temporary locality dTLB references. By dividing the</p>			

overall execution time into smaller time slices, we can observe the dTLB referencing in a finer time resolution, and the locality of dTLB references in and between adjacent slices can be utilized to recognize the contributive dTLB entries in each slice. Then, with integration of the DVS technique, those non-contributive entries can be put into low leakage mode dynamically.

The proposed mechanisms are evaluated in terms of leakage power consumption and performance by using real-chip/post-layout evaluation based on 65nm CMOS technology.

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3543 号	氏 名	Lei, Zhao
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 天野 英晴
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬 巖
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 山崎 信行
		慶應義塾大学准教授	博士(理学) 河野 健二
<p>学士(工学)、修士(工学)、Zhao Lei 君の学位請求論文は、「A Study of Leakage Power Reduction Mechanisms on Functional Units and TLBs for Embedded Processors (組み込みプロセッサ演算ユニットと TLB に対する漏れ電流削減手法についての研究)」と題し、7章から成る。</p> <p>近年、プロセス技術の微細化に伴い、半導体チップの漏れ電流は、無視できない割合を占めるに至った。特に、待機時にもエネルギーを消費することから、その削減技術は携帯用の組み込み機器用プロセッサでは重要な課題となっている。漏れ電流は特にメモリ素子でその割合が大きいことから、従来の研究はキャッシュの漏れ電流削減技術がほとんどであった。しかし、キャッシュの漏れ電流がある程度抑え込めるようになると、今度はプロセッサ本体や TLB(Translation Look-aside Buffer)など、キャッシュに次いで漏れ電流を消費する部分についての削減技術の重要性が高まってきた。このような背景のもと、本論文ではプロセッサの演算ユニットと TLB の漏れ電流を削減するためのアーキテクチャレベルの技術を提案している。</p> <p>第 1 章で背景および全体の構成を述べ、第 2 章では漏れ電流の生じる原因とその回路レベルおよびアーキテクチャレベルの削減技術をまとめている。第 3 章では実際の組み込み用プロセッサ R3000 を設計し、漏れ電流を評価した結果、キャッシュに続いて演算ユニットと TLB が大きく、これらを研究の対象にすることを述べている。</p> <p>まず、第 4 章では、演算ユニットの漏れ電流の削減に取り組んでいる。演算ユニットは命令によって動作しない時間帯があることを利用し、命令フェッチユニットに高速の制御機構を設けて細粒度パワーゲーティングを行う手法を提案し、実チップでこの手法を検証している。結果として 80°C においてプロセッサコアの 23% の漏れ電流の削減を実現している。次に第 5 章では命令用 TLB の漏れ電流削減に取り組んでいる。命令用 TLB は局所性が高く、同じエントリのみが続けて利用されることに着目し、RAR(Recent Access Register)と二電源の切り替えを組み合わせる手法を提案した。実際の OS 上でアプリケーションを動作させたトレースによる評価の結果、0.01% の性能低下で、命令用 TLB 全体の 50% の漏れ電流を削減できることを示した。さらに第 6 章ではデータ用 TLB の漏れ電流削減に取り組んでいる。データ用の TLB は命令用 TLB ほど局所性が大きくないため、同じ手法は使えない。これに代わり、TLB のエントリの電圧を部分的に下げる方式を用いることで、0.04% の性能低下でデータ用 TLB 全体の 50% の漏れ電流削減を実現できることを示した。</p> <p>第 7 章には結論と今後の課題をまとめている。</p> <p>以上、本論文は、キャッシュに次いで漏れ電流を消費する演算ユニット、命令用 TLB、データ用 TLB のそれぞれについて、アーキテクチャレベルから漏れ電流を削減する方法を提案し、特に演算ユニットについては実際のチップでその効果を示した点で、その貢献は工学上少なくない。</p> <p>よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.3544	Name	K.M.Mohiuddin
Thesis Title			
<p>Geochemical Partitioning and Assessment of Trace Metal Pollution in Urban Rivers : The Scenario of River Pollution in Developed and Developing Countries</p>			
<p>The study was conducted- i) to determine the spatial distribution, seasonal and temporal variation of different trace metal contents in the river water and sediments, ii) to measure the potential trace metal mobility, iii) to assess the pollution load in water and sediments, iv) to distinguish the probable sources of pollution, and v) to evaluate the effectiveness of existing urban river management and waste disposal systems in different socio-economic condition. Three urban rivers were selected as experimental sites, namely, Tsurumi &amp; Tamagawa river of Japan and Buriganga river of Bangladesh. Total trace metal content in water and sediment samples were analyzed and compared with different standard and reference values. Sequential extraction procedure was employed in sediment samples for the geochemical partitioning of the trace metals. Major elements and mineralogy of sediments were also determined on bulk prior to extraction, which allowed qualitative correlation between the fractionation results obtained and the presence of defined geochemical phases. Water and sediments samples were collected from 20 sites of Tsurumi river in winter and summer 2009. Concentrations of different trace metals like, Zn, Cu, Pb, Cr and Cd in Tsurumi river sediments were three to four folds higher than that of reference values and downstream sediments possess much more trace metals than the upstream sites. Geochemical partitioning results suggest that the potential trace metal mobility in aquatic environment was in the order of: Cd &gt; Zn &gt; Pb &gt; Cu &gt; Co &gt; Mo &gt; Cr &gt; Ni. About 80.2% Zn, 77.9% Mo, 75.3% Co, 63.7% Pb, 60.9% Cu, 55.1% Cr and 39.8% of total Ni in the sediment were presumed to be contributed through anthropogenic activities. Based on Intensity of pollution (<i>I<sub>POLL</sub></i>), Tsurumi river downstream sediments are strongly to extremely contaminated by Zn, Pb and Cd. Pollution load index (<i>PLI</i>) indicates Tsurumi river downstream sites possess higher pollution load than that of upstream sites. Area load index (<i>ALI</i>) value of the Tsurumi river was 7.77 in winter and 7.72 in summer; while values above one indicates progressive deterioration of the sites and estuarine quality. Afterwards, water and sediments samples were collected from 11 sites to the downstream of Tamagawa river in summer 2010 and winter 2011. Downstream sediments of Tamagawa river contains relatively higher concentration of Zn and Cu. <i>ALI</i> values of the downstream of Tamagawa river is 3.7 in summer and 4.1 in winter season; which indicate that the river sediments are in a bit polluted condition. However, the situation of Tamagawa is much better than the downstream of Tsurumi river. On the other hand, water and sediment samples were collected from the 20 sites of Buriganga river during summer and winter 2009. Concentrations of the all the trace metal analyzed in Buriganga river water samples were greatly exceeded the toxicity reference values (<i>TRV</i>). Concentrations of total Cr, Pb, Cu and Ni in sediment samples were mostly higher than that of severe effect level (<i>SEL</i>) values. On average 92% Pb, 88% Zn, 73% Cu, 72% Cr, 68% Co and 63% of total Ni were associated with the first three labile sequential extraction phases. According to Intensity of pollution (<i>I<sub>POLL</sub></i>), the Buriganga sediments in most of the sampling sites are strongly to extremely contaminate by Pb, Cd, Cr, Zn and Cu. <i>ALI</i> value was as high as 21.1 in summer and 24.6 in winter season. Magnitude of heavy metal pollution in the Buriganga river system implies that the condition is very alarming and may severely affect the aquatic ecology of the river. In order to minimize the severe impact on city dwellers and aquatic ecology of the Buriganga river, prompt action on pollution prevention and cleanup operation is highly recommended.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3544 号	氏 名	K. M. Mohiuddin
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 鹿園 直建
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 栄長 泰明
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 泰岡 顕治
		慶應義塾大学専任講師	博士(農学) 奥田 知明

学士(農学)、修士(農学) K. M. Mohiuddin 君提出の論文は“**Geochemical Partitioning and Assessment of Trace Metal Pollution in Urban Rivers : The Scenario of River Pollution in Developed and Developing Countries**”と題している。

都市環境問題の中でも、土壌・水汚染問題は深刻な問題といえる。わが国において、現在の都市河川の水質改善は、かなりなされているといえる。しかしながら、河川堆積物汚染に関する研究は、ほとんど行われていないのが現状である。また、バングラディッシュの都市河川では、河川堆積物のみならず、河川水に関する研究は大変に少ない。

そこで、本研究では、わが国の都市河川である鶴見川、多摩川およびバングラディッシュのブリガンガ川の河川堆積物、河川水を研究対象にして、それらの化学分析(主成分元素、微量成分元素、有機物)、鉍物分析、抽出実験、統計解析(主成分解析等)、様々な汚染指標の推定を行った。得られた主な結果は、以下の通りである。

鶴見川河川堆積物中の重金属元素(**Zn, Cu, Pb, Cr, Cd**)濃度は、参照値(わが国の河川堆積物の平均濃度)に比べて**3~4**倍であり、上流から下流に向かう程、上昇した。抽出実験より推定される重金属元素の移動度は、**Cd > Zn > Pb > Cu > Co > Mo > Cr > Ni**となった。また、抽出実験の結果より求められた全濃度に比して人為的汚染の寄与率は、**Zn が約 80.2%、Mo 77.9%、Co 75.3%、Pb 63.7%、Cu 60.9%、Cr 55.1%、Ni 39.8%**であった。下流の汚染強度(**I<sub>pocc</sub>**)によると **Zn, Pb, Cd** が特に汚染されているといえた。汚染負荷指標(**PLI**)から、下流堆積物の方が上流堆積物よりも汚染負荷が大きいことが明らかになった。

多摩川下流の河川堆積物中の **Zn, Cu** は比較的高濃度で、若干汚染されているといえるが、これらの汚染度は鶴見川下流河川堆積物の汚染よりは低い。

バングラディッシュ・ブリガンガ川の河川水中の全ての重金属元素濃度は、毒性参照値(**TRV**)を大きく超えていた。河川堆積物中の全 **Cr, Pb, Cu, Ni** 濃度は高く、シビア効果レベル(**SEL**)値より高い。**Pb** が平均 **92%、Zn88%、Cu73%、Cr72%、Co68%、Ni63%**が抽出実験のはじめの**3**つのステップで抽出された。このことは、これらの重金属元素が移動されやすい形で堆積物中に多く存在し、これらの移動度が大きいことを示している。**I<sub>pocc</sub>**によると、ブリガンガ堆積物試料の多くが **Pb, Cd, Cr, Zn, Cu** に関し大変強い汚染を受けている。このように、ブリガンガ川水系は、河川水、河川堆積物共に重金属元素の強い汚染をうけ、この汚染は警告レベルであり、水生生物に大きなダメージを与えるであろう。したがって緊急な対策をたてることが望まれる。

以上のわが国とバングラディッシュの都市河川の地球化学的研究は、これまでになされてこなかった系統的で、かつ、初めてこれら河川堆積物中の重金属元素の汚染度を様々な汚染指標をもとに明確に示した研究であり、高く評価できる。今後は、本研究によって示された成果をもとに都市河川堆積物、河川水の重金属汚染対策が進められることが期待される。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

# Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.3545	Name	Maung Sann Maw
Thesis Title			
Resource Allocation and Reduced Complexity in MIMO Wireless Communication System			
<p>Recently, the demands for high speed internet access from the mobile wireless devices have grown very rapidly. Therefore, there is need to satisfy the demands of the capacity improvements in wireless communication systems. Fourth generation (4G) mobile technology promises the full mobility with high speed data rates for next generation mobile users. The main aim of 4G technology is to provide high speed wireless broadband services. Airport lounges, cafés, railway stations, conference arenas, and other such locations are required to have high speed internet services; in those places, 4G can play an important role. 4G is equipped with the proper arrangements at the physical layer to meet all the demands of those various scenarios. Spatial Multiplexing offers high channel capacity and transmission rate for the same bandwidth without additional power requirement by employing multiple antennas at the transmitter and receiver. Therefore, 4G like its predecessor 3G, would use the advanced versions of the Multi-Input Multi-Output (MIMO) antennas. The antennas used for the 3G system were smart enough to take care of many advanced operations at the signal level. This system must continue for 4G as well, and may even be made more sophisticated for 4G, as the number of signal-level decisions would be far greater in the case of 4G compared to 3G. There are many difficulties, however, in providing high speed wireless internet services in these environments, such as multipath fading and the inter-symbol interferences generated by the system itself. Therefore, high data transmission is limited by Inter-Symbol-Interference (ISI). As a result, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) technology is used to handle this problem. OFDM uses the spectrum efficiently by spacing the channels closer together as well as it gives the ability of reducing ISI. Users of multiuser OFDM system observe multipath fading but have independent fading parameters due to their different locations. The probability that a subcarrier in deep fade for one user may also be in deep fade for other users is quite low. Hence, multiuser system creates channel diversity as the number of user increases. Therefore, in multiuser MIMO-OFDM environment, the system needs to allocate efficiently its resources such as bits, antenna and subcarriers adaptively to the users. The resource management in 4G is much better than 3G. Optimization is present in the 3G system, but most of the optimizations are not that adaptive and dynamic. In contrast to that, 4G would have very smart adaptations in the resource management sector. Adaptive algorithms are used to provide optimization everywhere, from the modulation and coding, to the individual scalable channel bandwidth allocation. The combination of above technologies has been researched for the most promising technique for the next generation wireless systems.</p> <p>Chapter 1 introduces the promising technologies of 4G such as OFDM, MIMO, efficient resource allocation in wireless communication system and reduction of complexity in that system, which can be used for the development of next generation wireless communication.</p>			

Chapter 2 presents the resource allocation scheme for Multi-Input Multi-Output Orthogonal Frequency Division Multiple Access (MIMO-OFDMA) broadband mobile wireless communication system for next generation. In the wireless communication systems, the different data throughput requirements for each user with various kinds of services and multimedia applications might be occurred. In this case, this system should provide the service to the users with proportional data rate fairness among users in the system. It is well known that using MIMO and OFDMA together gives rise to greater system capacity. Therefore, we consider the proportional data rate fairness in the MIMO-OFDMA mobile broadband wireless system case to give the higher capacity throughput in the next generation wireless.

In chapter 3, we propose the resource allocation scheme to use the more radio frequency spectrum more efficiently by using same frequency to transmit for different user's data at the same time in the system. In chapter 2, users are separated in frequency domain but not in chapter 3. Different user's data can overlap in the same frequency at the same time. Therefore, we can use scarce spectral resources more efficiently in the MIMO-OFDM wireless communication system environments under the consideration of proportional data rate fairness constraint and QoS requirements among users in the system.

Chapter 4 describes the singular value decomposition (SVD) based reduced complexity antenna selection method for the practical MIMO communication system with linear receivers. In the conventional MIMO communication systems, most of the antenna selection methods considered are suitable only for spatially separated uni-polarized system under Rayleigh fading channel in non-line of sight (NLOS) condition. There have a few antenna selection schemes for the cross-polarized system in LOS condition and Ricean fading channel, and no antenna selection scheme for the MIMO channel with both LOS and NLOS. In the practical MIMO channel case, influence of LOS and NLOS conditions in the channel can vary from time to time according to the channel parameters and user movement in the system. Based on these influences and channel condition, uni-polarized system may outperform a cross-polarized. Thus, we consider this kind of practical MIMO channel environment when developing the antenna selection scheme. The reduced complexity in antenna selection is proposed to give the higher throughput in the practical MIMO channel environment. In the proposed scheme, suitable polarized antennas are selected based on the calculation of SVD of channel matrix and then adaptive bit loading is applied to increase the throughput of the system under the constraint of target bit error rate (BER) and total transmit power of the MIMO system. The proposed system and selection method not only consider reducing the complexity but also the effects of adaptive modulation and total transmit power constraint under the target BER rate in the MIMO system.

Finally, chapter 5 concludes this dissertation and discusses the further study of research works.



## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3545 号	氏 名	Maung Sann Maw
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬 巖
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 山中 直明
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 大槻 知明
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 眞田 幸俊

工学士，修士（工学），Maung Sann Maw 君提出の学位請求論文は，「**Resource Allocation and Reduced Complexity in MIMO Wireless Communication System**（MIMO ワイヤレス通信システムにおけるリソース割り当てと複雑さ低減に関する研究）」と題し，全5章から構成される。

近年，移動通信技術の発展に伴い，マルチメディア情報を様々な通信環境において高速に送受信できるニーズが高まっている．特に，マルチパス伝搬路での高速伝送に適した直交周波数分割多重（OFDM）変調方式，直交周波数分割多元接続方式（OFDMA），および，多入力多出力アンテナを併用した MIMO（Multi Input Multi Output）技術を用いることにより，高スループット，低 SNR，低遅延など，ユーザのトラフィック要求に応じた柔軟な品質制御を図る研究開発が精力的になされている．ブロードバンド移動通信では，大きく変動するチャンネル伝搬状況を的確に推定し，電力，サブキャリア，送受信アンテナ，変調方式，誤り訂正などのリソースを，ユーザ毎に適切に割り当てるのが重要な課題となっている．

本論文は，今後のブロードバンド移動通信技術の発展を担う OFDM，OFDMA，MIMO を用いたシステムにおいて，リソース割り当て技術と MIMO 信号処理の複雑さを軽減する技術に焦点を当て，高性能化や高効率化に対する検討を行い，ユーザごとの品質要求を満足しながら高スループットが達成できる優れたリソース割り当て方式，および，MIMO 演算量の低減法を提案している．

第1章では，これまでの移動通信システムに関する研究の流れと，OFDM，OFDMA，MIMO を用いたシステムにおける，リソース割り当てと MIMO 信号処理に関する研究課題について概説し，本研究の目的について述べている．

第2章では，MIMO-OFDMA システムにおいて，送信電力一定の条件下で，各ユーザの要求データレートに比例するようにサブキャリアと電力割り当てを行いつつ，スループットを最大化できるリソース割り当て方式を提案している．提案方式では，MIMO チャンnel行列の固有値分解を用いてサブキャリアを割り当てた後に，適応的なビットと電力の振り分けを行うことにより，MIMO 信号処理の演算量を低減している．計算機シミュレーションの結果，提案方式は，ユーザのデータレートに比例するようにスループットを最大化するリソース割り当て方式として有効であることを示している．

第3章では，相関のない MIMO チャンネルだけでなく，相関のある MIMO チャンネルにおいてもスループットを最大化できる，チャンネル行列の固有値を考慮した適応的なビットローディング方式を提案している．計算機シミュレーションの結果，提案方式は，チャンネル行列の固有値に従い各送信アンテナに電力を割り当て，空間多重とビットローディングを適応的に組み合わせることにより，MIMO システムにおける電力を増加させることなく，同一周波数帯域において，チャンネル容量と伝送レートを改善できることを明らかにしている．

第4章では，QoS（Quality of Service）ベースの MIMO システムにおいて，変調方式と偏波面を適応的に制御することにより，スループットを最大化する方法を提案している．提案方法では，効率よくチャンネル行列の固有値を求め，その結果を基に使用する偏波を決定し，併せてビット割り当てを行なっている．計算機シミュレーションの結果，提案方式は，ビット誤り率と送信電力が一定の条件下で，スループットを改善できることを示している．

第5章は結論であり，本論文で得られた結果を総括している．

以上，本論文の著者は，次世代 MIMO ワイヤレス通信システムに適したリソース割り当て方式を提案し，その有効性を明らかにしており，工学上，工業上寄与するところが少なくない．よって，本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める．

## 内容の要旨

報告番号	甲 第3546号	氏名	山田 高幸
主論文題目：  薄膜の常温接合による3次元微細加工技術の開発とオーバーレイ誤差の要因解析			
<p>情報機器等の小型化・高性能化・低消費電力化などの要請に伴い、さまざまな微細加工技術が開発されている。このような要請に応えるため、本研究ではnmオーダーの加工精度と3次元形状の自由度を両立する微細加工技術として、薄膜パターン部材を常温接合法によって積み重ねる積層造形法（FORMULA技術）を新たに開発した。さらに本加工技術に起因するオーバーレイ誤差（層間の重ね合わせにおけるズレ）の計測法を開発し、加工装置の誤差要因を特定することを目的とする。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的、従来技術、および本論文の構成について述べた。</p> <p>第2章では独自の微細加工技術であるFORMULA技術の原理を説明するとともに、原理検証機（F-0機）の設計と構成要素および微小部品の作製結果について説明した。</p> <p>第3章では、F-0機製作から得られた知見をフィードバックして微小部品の自動生産を視野に入れた生産対応機（F-1機）の設計・製作について述べ、加工結果について説明した。その結果、多層積層時のオーバーレイ誤差が、積層精度向上に対して主要な課題であることが示された。</p> <p>第4章では、オーバーレイ誤差を効率よく計測することを目的に開発した最小二乗円法について詳しく述べた。この方法は、多層積層された同心円パターンの中心座標の変位を計測するもので、走査型電子顕微鏡による同心円パターンの撮影、および円エッジの抽出、最小二乗法による中心座標の計算からなる。同一画像を5回評価した場合の繰返し精度は、<math>3\sigma</math>（標準偏差の3倍）の範囲で1 pixel以下、距離に換算して28.4 nmであった。</p> <p>第5章では、この計測手法をF-1機による積層結果に適用し、オーバーレイ誤差を評価・解析した結果について説明した。オーバーレイ誤差は、セル内のランダム誤差(34 nm)、セル間のランダム誤差(98 nm)、およびセル間の系統誤差(32 nm)の3種類に分類できることがわかった。セル内のランダム誤差の主要因は、ドナー基板上に形成した構造体の断面パターンのパターンニング誤差(25 nm)と、計測誤差(10 nm)であることを明らかにした。セル間のランダム誤差の主要因は、装置の振動に伴うXYステージの位置決め誤差(74 nm)とZ軸のXY面内ブレ(46 nm)であった。一方、セル間の系統誤差は、ドナー基板座標系とXYステージの座標系のアライメント調整を実施しているにもかかわらず発生しており、その原因は、アライメントマーク位置座標読み取り時のランダム誤差がアライメント係数に伝播しているためと判明した。そこでアライメントマーク位置座標を複数回読み取り、平均値を用いたところ、系統誤差は約1/3(9 nm)に改善された。</p> <p>第6章では、各章の内容を総括し、本研究の成果について述べた。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3546 号	氏 名	山田 高幸
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学教授	工学博士	三井 公之
	副査 慶應義塾大学教授	工学博士	菅 泰雄
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	三木 則尚
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	柿沼 康弘
<p>工学士，工学修士山田高幸君提出の学位請求論文は「薄膜の常温接合による 3 次元微細加工技術の開発とオーバーレイ誤差の要因解析」と題し，6 章から構成されている。</p> <p>情報機器等の小型化・高性能化・低消費電力化などの要請に伴い，さまざまな微細加工技術が開発されている．このような要請に応えるため，本研究では nm オーダーの加工精度と 3 次元形状の自由度を両立する微細加工技術として，薄膜パターン部材を常温接合法によって積み重ねる積層造形法（FORMULA 技術：<u>FOR</u>mation of <math>\mu</math>-structures by <u>LA</u>mination）を新たに開発している．さらに本加工技術に起因するオーバーレイ誤差（層間の重ね合わせにおけるズレ）の計測法を開発し，加工装置の誤差要因を特定することを目的としている．</p> <p>第 1 章では，本研究の背景と目的，従来技術，および本論文の構成について述べている．</p> <p>第 2 章では独自の微細加工技術である FORMULA 技術の原理を説明するとともに，原理検証機（F-0 機）の設計と構成要素および微小部品の作製結果について説明している．</p> <p>第 3 章では，F-0 機製作から得られた知見をフィードバックして微小部品の自動生産を視野に入れた生産対応機（F-1 機）の設計・製作について述べ，加工結果について説明している．その結果，多層積層時のオーバーレイ誤差が，積層精度向上に対して主要な課題であることを示している．</p> <p>第 4 章では，オーバーレイ誤差を効率よく計測することを目的に開発した最小二乗円法について詳しく述べている．この方法は，多層積層された同心円パターンの中心座標の変位を計測するもので，走査型電子顕微鏡による同心円パターンの撮影，および円エッジの抽出，最小二乗法による中心座標の計算からなる．同一画像を 5 回評価した場合の繰返し精度は，<math>3\sigma</math>（標準偏差の 3 倍）の範囲で 1 pixel 以下，距離に換算して 29 nm となっている．</p> <p>第 5 章では，この計測手法を F-1 機による積層結果に適用し，オーバーレイ誤差を評価・解析した結果について説明している．オーバーレイ誤差は，セル内のランダム誤差(34 nm)，セル間のランダム誤差(98 nm)，およびセル間の系統誤差(32 nm) の 3 種類に分類できることを示している．セル内のランダム誤差の主要因は，ドナー基板上に形成した構造体の断面パターンのパターンニング誤差(25 nm)と，計測誤差(10 nm)であることを明らかにしている．また，セル間のランダム誤差の主要因は，装置の振動に伴う XY ステージの位置決め誤差(74 nm)と Z 軸の XY 面内ブレ(46 nm)であることを明らかにしている．一方，セル間の系統誤差は，ドナー基板座標系と XY ステージの座標系のアライメント調整を実施しているにもかかわらず発生している．その原因について調査し，アライメントマーク位置座標読み取り時のランダム誤差がアライメント係数に伝播して発生していることを明らかにしている．この知見をもとにアライメントマーク位置座標を複数回読み取り，平均値を用いる方式に変更したところ，系統誤差が約 1/3 (9 nm) に改善されたことを確認している．</p> <p>第 6 章では，各章の内容を総括し，本研究の成果について述べている．</p> <p>以上要するに，本論文では薄膜の常温接合による 3 次元微細加工技術を開発するとともに，その積層誤差の評価法を開発し，加工装置の誤差要因を特定したものであり，微細加工技術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．</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3547号	氏名	Md. Masudul Kabir
主論文題目： Near-infrared Femtosecond Laser Pulse Amplification in Photorefractive Two-wave Mixing (フォトリフラクティブ2光波混合を用いた近赤外フェムト秒レーザパルス増幅)			
<p>フォトリフラクティブ結晶を用いたフェムト秒レーザパルスの体積ホログラム作成および2光波混合増幅の研究は、ほとんどのフォトリフラクティブ結晶が近赤外波長領域において低い線形吸収値しか示さないために、可視域および紫外域の波長に限定されてきた。波長<b>800-1000 nm</b>帯のフェムト秒レーザは、科学研究等において最も広く利用されている超高速レーザパルスであり、この波長帯でのフォトリフラクティブ結晶を用いた超高速レーザパルスプロセッシングおよび増幅が可能になれば、新しい超高速レーザパルス制御の手段となり得る。そこで、本研究は、この波長帯で利用可能な<b>Fe:LiNbO<sub>3</sub></b>と<b>Rh:BaTiO<sub>3</sub></b>結晶に着目し、フォトリフラクティブ効果による近赤外フェムト秒レーザパルスの増幅特性を実験的に調べることを目的にした。</p> <p>第1章に、本研究の背景と従来の研究を概説した。とくに、フェムト秒レーザパルスを用いた、これまでのフォトリフラクティブ2光波混合の研究経緯を述べ、本研究の狙いを述べた。</p> <p>第2章に、フォトリフラクティブ2光波混合過程の原理を概説し、本研究で用いた<b>Fe:LiNbO<sub>3</sub></b>と<b>Rh:BaTiO<sub>3</sub></b>結晶の光学的特性を述べた。</p> <p>第3章では、<b>Fe:LiNbO<sub>3</sub></b>結晶を用いたフォトリフラクティブ2光波混合実験結果について記述した。まず、本結晶の非線形吸収特性を計測し、波長<b>800 nm</b>においては光強度<b>70 GW/cm<sup>2</sup></b>まで<b>0.11 cm<sup>-1</sup></b>程度の低い線形吸収が支配的であるが、さらに高強度の増幅レーザパルスを用いることで2光子吸収を用いたフォトリフラクティブ効果を利用できることを明らかにした。実験は、連続発振レーザ光、繰り返し周波数<b>76 MHz</b>のモード同期発振器出力パルス、および<b>1 kHz</b>の再生増幅器出力パルスを用い、体積ホログラムの書き込みと回折効率計測を行った。書き込みパルスに周波数チャープを与えることがフェムト秒レーザパルスの2光波混合の高効率化には不可欠であることを明らかにした。書き込み光強度を<b>~100 GW/cm<sup>2</sup></b>まで上げることで、比較的低い繰り返し周波数<b>1 kHz</b>においても、<b>600-1000</b>秒の書き込み時間で<b>13~17%</b>の回折効率を達成した。</p> <p>第4章では、<b>Rh:BaTiO<sub>3</sub></b>結晶を用いたフォトリフラクティブ2光波混合実験結果について記述した。本結晶は、波長<b>800 nm</b>においても比較的高い<b>1.1 cm<sup>-1</sup></b>の線形吸収係数を示すことから、優れた2光波混合増幅特性（利得係数<b>11 cm<sup>-1</sup></b>）が低い励起光強度でも得られることを実験結果から明らかにした。また、2光波混合増幅パルスの位相、振幅波形計測からスペクトル幅<b>20 nm</b>の<b>800 nm</b>レーザパルスを増幅できる広帯域時性と時間位相特性も維持されることも確認した。連続レーザ光の2光波混合特性との比較から、ビームファニングを抑制する上でフェムト秒レーザパルス増幅は利点があることを明らかにした。</p> <p>第5章に結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。</p>			
以上			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3547 号	氏 名	Md. Masudul Kabir
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	工学博士	神成 文彦
副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	津田 裕之
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	齋木 敏治
	慶應義塾大学教授	理学博士	佐々田 博之
	慶應義塾大学専任講師	博士（工学）	田邊 孝純
<p>学士（理学）、修士（理学）Md. Masudul Kabir 君提出の学位請求論文は「Near-infrared Femtosecond Laser Pulse Amplification in Photorefractive Two-wave Mixing（フォトリフラクティブ 2 光波混合を用いた近赤外フェムト秒レーザパルス増幅）」と題し、5 章から構成されている。</p> <p>フォトリフラクティブ効果は、入射した光の空間的強度分布に応じて結晶内に屈折率変化が誘起される現象であり、コヒーレント光増幅、位相型体積ホログラム、位相共役波発生、光演算、光連想記録など、様々な応用が提案されている。しかし、ほとんどのフォトリフラクティブ結晶が近赤外波長領域において低い線形吸収値しか示さないために、可視および紫外域の光応用に限定されてきた。波長 800 nm 近傍の近赤外域フェムト秒レーザパルスは、科学研究等において最も広く利用されており、この波長帯でのフォトリフラクティブ結晶を用いた超高速レーザパルスの光増幅が可能になれば、新しい超高速レーザパルス制御の手段となり得る。そこで、本論文の著者は、Fe:LiNbO<sub>3</sub> と Rh:BaTiO<sub>3</sub> 結晶に着目し、波長 800 nm フェムト秒レーザパルスのフォトリフラクティブ効果による 2 光波混合増幅特性を明らかにした。</p> <p>第 1 章では、本研究の背景と従来の研究を概説している。とくに、可視領域レーザパルスを用いた、これまでのフォトリフラクティブ 2 光波混合の研究経緯をまとめ、本研究の狙いを述べている。</p> <p>第 2 章では、フォトリフラクティブ 2 光波混合過程の原理を概説し、本研究で用いた Fe:LiNbO<sub>3</sub> と Rh:BaTiO<sub>3</sub> 結晶の光学的特性を述べている。</p> <p>第 3 章では、Fe:LiNbO<sub>3</sub> 結晶を用いたフォトリフラクティブ 2 光波混合特性について詳説している。波長 800 nm における本結晶の光吸収特性計測から、光ピーク強度 70 GW/cm<sup>2</sup> 以下では非常に低い線形吸収（吸収係数 0.11 cm<sup>-1</sup>）しか利用できないことを明らかにしている。再生増幅器の高出力フェムト秒レーザパルス（パルス幅 50 fs、書き込み光ピーク強度約 100 GW/cm<sup>2</sup>）を用いることで 2 光子吸収を用いた体積ホログラムの書き込みが可能であることを明らかにし、回折効率 17% を達成している。このとき、回折パルスの位相、振幅波形計測から信号光パルスの振幅および位相特性が維持されることも実証している。フェムト秒レーザパルスによる 2 光波混合特性を向上させるためには、周波数チャープを与えてパルス幅を伸長させ、ホログラム体積を増加させることが非常に有効であることを実験結果から明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、Rh:BaTiO<sub>3</sub> 結晶を用いたフォトリフラクティブ 2 光波混合特性について詳説している。本結晶は、波長 800 nm においても比較的高い線形吸収係数（1.2 cm<sup>-1</sup>）を示し、レーザ発振器レベルの低強度フェムト秒レーザパルスを用いても、高い 2 光波混合増幅特性（増幅利得約 11 cm<sup>-1</sup>）とパルス幅 30 fs のフェムト秒レーザパルスの増幅に十分な広帯域性が得られることを明らかにしている。連続レーザ光の 2 光波混合特性との比較からビームファニングを抑制する上でフェムト秒レーザパルス増幅は利点があり、また、書き込み光ピーク強度 530 MW/cm<sup>2</sup> までの範囲では、電子-正孔励起による競合効果は発現しないことも明らかにしている。</p> <p>第 5 章は、結論であり上記の結果を総括している。</p> <p>以上要するに、本研究は、波長 800 nm のフェムト秒レーザパルスによる実用レベルの広帯域 2 光波混合増幅がフォトリフラクティブ結晶を用いて実現できることをはじめて明らかにしたもので、フェムト秒レーザパルスのコヒーレント光増幅を実現しフェムト秒レーザの新しい応用を広げる点において、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。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	乙 第4479号	氏名	新庄 真太郎
主論文題目： 高機能バイアス回路を用いた無線通信用高線形モノリシック送信 RF 回路に関する研究			
<p>デジタル変調方式を採用する無線通信システムの急速な普及に伴い、無線機で用いられる送信 RF 回路においては、高線形な特性が求められる。高線形な送信 RF 回路を実現するために、例えば外部制御部品を用いた構成などが報告されてきているが、その場合、小形・低コストとの両立が課題となる。そこで本研究では、RF 回路を動作させるためには不可欠なバイアス回路に着目し、バイアス回路に出力電力レベルや環境温度に応じて RF 特性を自己制御する機能を付加させることにより、高線形なモノリシック送信 RF 回路を実現することを目的とした。</p> <p>モノリシック送信 RF 回路は、要求される性能や用途に応じて使用される半導体プロセスが異なり、その半導体プロセスは、主に化合物半導体である GaAs プロセスと Si 系プロセスに大別される。バイアス回路で実現可能な回路技術や求められる機能は、半導体プロセスの種類や特徴によって異なるため、高機能バイアス回路を用いたモノリシック送信 RF 回路の高線形化技術もまた、GaAs プロセスを用いた場合と Si 系プロセスを用いた場合に分けられる。</p> <p>第 1 章では、研究の背景と、背景から必要となる技術的課題、および本論文で提案した技術の位置づけについて述べた。</p> <p>第 2 章では、GaAs プロセスを用いたモノリシック送信 RF 回路の中で、FET や HEMT を用いた高出力増幅器に適用可能なバイアス回路として、環境温度変化時の高線形化を図るために、温度係数可変機能を備えたゲート電圧制御形バイアス回路を提案し、さらにレーダー通信用 GaAs FET 高出力増幅器を試作し、その有効性を明らかにした。</p> <p>第 3 章では、GaAs プロセスを用いたモノリシック送信 RF 回路の中で、正電圧制御が可能な HBT を用いた高出力増幅器に適用可能なバイアス回路として、低アイドル電流動作時の高線形化を図るための CV/CC (Constant Voltage / Constant Current) 並列動作増幅器構成を提案し、さらに W-CDMA 端末用 GaAs HBT 高出力増幅器を試作し、その有効性を明らかにした。</p> <p>第 4 章では、P 形トランジスタが使用可能な Si 系プロセスを用いたモノリシック送信 RF 回路の中で、SiGe HBT を用いたドライバ増幅器に適用可能なバイアス回路として、低アイドル電流動作時の高線形化を図るためのベース電圧自己補償形バイアス回路を提案し、さらに W-CDMA 端末用 SiGe HBT ドライバ増幅器を試作し、その有効性を明らかにした。</p> <p>第 5 章では、Si 系プロセスを用いたモノリシック送信 RF 回路の中で、高速 P 形トランジスタが使用可能な BiCMOS バイアス回路を用いた高効率動作時の高線形性を図るためのひずみ補償回路を提案し、さらに W-CDMA 基地局用高出力増幅器に適用し、その有効性を明らかにした。</p> <p>第 6 章では、Si 系プロセスを用いたモノリシック送信 RF 回路の中で、SiGe BiCMOS を用いたミキサに適用可能なバイアス回路として、ベースバンド信号に対する広帯域動作時の高線形化を図るための自己電流補償形ミキサを提案し、さらにコグニティブ無線端末用 SiGe BiCMOS 直交変調器を試作し、その有効性を明らかにした。</p> <p>第 7 章では本研究で得られた成果の要約と、今後の展望を示した。</p>			

以上

## 論文審査の要旨

報告番号	乙 第 4479 号	氏 名	新庄 真太郎
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
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 石黒 仁揮
<p>学士（理学）、修士（理学）新庄真太郎君提出の学位請求論文は「高機能バイアス回路を用いた無線通信用高線形モノリシック送信RF回路に関する研究」と題し、7章から構成されている。</p> <p>携帯電話や無線LANなどの移動体通信に代表される無線通信システムは急速な普及を遂げており、今後引き続き進化していくために、無線機を構成する回路に求められる要求はますます厳しいものになっている。その要求は主に2つある。1つめは、利用者が小形で安価な無線機（端末）を求めているため、無線機を構成する回路自体も小形・低コストに実現することである。2つめは、誤りの少ないクリアな無線通信を実現するために、回路を高線形に実現することである。そこで本論文では回部制御部品が不要な自己制御型回路において、高線形な特性を実現する方式を研究している。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景および送信RF回路の概要、並びに本研究の目的と意義を示している。</p> <p>第2章はGaAs電界効果トランジスタ高出力増幅器において、環境温度変化時の高線形化のために、FETとダイオードを用いたゲート電圧制御型温度補償バイアス回路を提案している。提案する回路は環境温度に応じてゲート電圧を制御する。実験結果より提案の回路は従来の方式に対して約3倍の温度変化量に対応し、増幅器の利得変化量を0.6dBへと低減する。</p> <p>第3章はGaAsヘテロ接合バイポーラトランジスタ高出力増幅器において、低アイドル電流時の高線形化のために定電圧と定電流の並列動作増幅器構成を提案している。提案する回路では定電圧増幅器と定電流増幅器の特性がそれぞれ補間しあい、低アイドル電流時においても高い線形性を実現する。実験結果より提案方式は同一効率・同一出力電力に対してアイドル電流を9mA低減する。</p> <p>第4章はSiGeヘテロ接合バイポーラトランジスタドライバ増幅器において、低アイドル電流時の高線形性を実現するために、ベース電圧自己補償形バイアス回路を提案している。提案する回路はP型カレントミラー回路によってトランジスタのベース電圧を制御し、増幅度を補償する。実験結果より提案方式は2.4dBの出力線形性改善を達成する。</p> <p>第5章は自己ベースバイアス制御型シリコンBiCMOSリニアライザを提案している。提案する回路は高速p-MOS電界効果トランジスタによるカレントミラー回路と利得調整用ベースバイアス抵抗により、任意の振幅特性を実現する。高出力増幅器と組み合わせた実験結果から、提案方式を用いることにより隣接チャネル漏洩電力特性において8.3dBの特性改善を示す。</p> <p>第6章はギルバートセルミキサに自己電流制御回路を組み合わせた広帯域ミキサを提案している。自己電流制御回路は検波部とバイアス調整部からなり、大信号動作時に帰還電流を増加しミキサ回路の高い線形性を保つ。また帰還回路に高速p-MOS電界効果トランジスタを用いることにより広帯域特性を実現している。実験結果より提案する回路は、0.4～5.8GHzの帯域において2.7%以下の変調歪みを実現する。</p> <p>第7章は本論文の結論であり、各章で得られた知見を総括し本研究の成果を要約している。</p> <p>以上要するに、本研究は高機能バイアス回路を用いた無線通信用高線形モノリシック送信RF回路を提案したものであり、無線通信工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

# Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.3548	Name	Alexandre Suryadi
Thesis Title			
The Phase-Averaged Velocity Measurement and the Estimation of Pressure Force of a Periodically Moving Body			
<p>Motivated to engineer micro-air vehicles, the relationship of the vorticity distribution with force generated by a flapping rigid plate was investigated with stereo particle image velocimetry. Measurements were conducted under the hovering condition with a flapping rigid plate for the wing model and a sinusoidal function as the flapping motion. The full deformation tensor was obtained by measuring the velocity vectors at three measurement planes offset in the out-of-plane direction. The unsteady state of the flow was resolved by phase averaging. Thus, the governing equations were decomposed into the average and fluctuation terms.</p> <p>Vortex structures were identified using the second invariant of the deformation tensor, two-dimensional streamlines, and control volume analysis shows the interaction of the vortex structures with the flapping plate as represented by the force acting on the control volume. There is a phase difference between the generated force and flapping motion for all the measured sections of the plate. Maximum force is generated when the plate is at the start of either upstroke or down stroke, i.e. the flapping motion is at low velocity. On the leading edge, the unsteady term of the force increases with increasing Reynolds number.</p> <p>The pressure field distribution around the flapping plate was visualized from the velocity field by integrating the Poisson equation using two overlapping meshes. For comparison, the torque of the flapping axis was calculated using the pressure estimation and strain gauge measurement. In this study, qualitative agreement of the two methods is shown for the mid-chord section of the plate. The visualization of the pressure field shows that the vortex flow increases the force generation at low flapping velocity by creating a stagnation pressure from the flow induced by the vortices or inter-vortex stream. This mechanism is responsible for the phase difference between the force and the flapping motion. After the initial motion, there are pressure stagnations on the front and rear surface of the plate. Front stagnation is produced by flow stagnation because of the motion of the plate and rear stagnation is generated by the inter-vortex stream.</p>			



## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3548 号	氏 名	Alexandre Suryadi
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	工学博士 植田 利久
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 深潟 康二
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 竹村 研治郎
<p>Alexandre Suryadi（アレクサンドル スリアディ）君提出の学位論文は、「The Phase-Averaged Velocity Measurement and the Estimation of Pressure Force of a Periodically Moving Body（周期運動をする物体周りの速度計測ならびに圧力の推定）」と題し、全 8 章から構成される。</p> <p>本論文は、昆虫の羽ばたき運動を模した周期運動をする薄板により発生する周囲流体のうず運動をステレオ粒子画像流速計（PIV）により計測し、速度データから推定された圧力場に基づき非定常力を定量的に評価する手法を提唱しその有効性について論じたものである。</p> <p>第 1 章は導入部であり、羽ばたき運動が MAV（Micro Air Vehicle）と総称される小型飛翔体の開発において過去に様々な視点から研究課題として取り上げられてきた経緯を紹介している。しかしながらその飛行のメカニズムについて必ずしも十分な理解がなされていないことを指摘し、そこに定量的な理解を深めるための実験手法を提唱することが本研究の目的であると述べている。</p> <p>第 2 章には周期運動をする物体と周囲流体の相互作用に関する支配方程式について述べられている。微分方程式的なアプローチと積分的なアプローチの両面で PIV による計測結果から得られる速度場が有効に活用されること、周期的な変動を有する場の解析手法として位相平均操作が用いられること、測定結果を用いて位相平均運動方程式に基づき考察することが記載されている。</p> <p>第 3 章は PIV 計測で得られる速度場情報から圧力場を推定する方法について、その原理と前提条件について述べた後、運動する平板が任意の姿勢を取った場合に表面圧力分布を求めることを目的として著者が用いた多重格子法アルゴリズムを、理論解の存在する円柱周りのポテンシャル流れに適用し評価を行った結果について論じている。</p> <p>第 4 章には実験方法の詳細が記載されている。測定対象である剛体運動をする平板とその駆動メカニズムならびにタンクの構成、ステレオ PIV 装置の構成と測定原理、ひずみゲージによるトルク計測の原理が述べられ、これらの手法が実験の目的にかなう仕様を有することが確認されている。</p> <p>第 5 章では平板の運動領域全体を囲むように定義された検査体積を採用し、積分方程式に基づく運動量収支の解析を行った結果について述べている。ステレオ PIV の計測結果に含まれる誤差解析ならびに可視化によりうず構造の発達を観察した後に、速度場データに基づいて、運動量輸送方程式に含まれる非定常項、周期変動項、乱流変動項のそれぞれが平板の運動に伴い時間的に増減する様子を定量的に求めた。検査体積のサイズを変化させながら各項の寄与を調べたところ、非定常項の割合が他の 2 項に対し卓越していること、また、平板のごく近傍に存在するうず構造がこの種の周期運動における力の発生において支配的であることを見出した。</p> <p>第 6 章では平板とともに運動する検査体積において、第 3 章で述べた圧力推定手法に基づいて平板に作用する圧力を求めた結果について述べている。</p> <p>第 7 章では周期運動する平板に発生するトルクを第 5・6 章で述べられた速度場計測に基づき間接的に求めた結果と直接計測した結果を比較検討している。その結果、圧力場に基づく推定値は平板の中心線に沿って定義された検査面では妥当な評価ができたものの、端部ではうず構造の 3 次元性によりその精度が低下することに注意が必要であることが示された。第 8 章は結論である。</p> <p>以上より、周期変動する剛体平板が誘起する流れ場をステレオ PIV により計測した結果から、板に作用するトルクを間接的に評価する実験的手法の妥当性が確かめられた。この結果、トルクの直接計測が困難なほど微細な羽ばたき機構においても、速度場の計測を行うことで流体力の定量的な評価が可能となることを示したことは、学術的・工学的な寄与があると言える。</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3549号	氏名	小山田 雄仁
主論文題目： <b>Pre/Post Blur Correction from a Single Photo Shooting</b> (1枚の撮影画像を用いた事前/事後劣化補正)			
<p>近年、プロジェクタを用いた映像表示に関する研究が注目されている。一般的なモニターディスプレイとは異なり、プロジェクタによる映像表示は、スクリーンとして使用する物体の形状によって、任意の形状を持つディスプレイを実現出来るという利点がある。コンピュータの高性能化に加え、プロジェクタやカメラの小型化、低価格化によって、プロジェクタとカメラを組み合わせる事によって実現される映像表示システムは今後ますます増えていくであろう。</p> <p>本論文は、このようなシステムにおける問題点の一つである画像劣化を解消する事を目的とし、対象とする画像劣化の性質を拘束条件として利用した一枚の撮影画像から画像劣化の情報を推定する研究についてまとめたものである。</p> <p>提案手法は、画像の撮影課程で生じるブレによる画像劣化と、表示過程で生じるプロジェクタの焦点ボケの二つの問題を別々に取り扱う。</p> <p>ブレによって劣化画像を補正するためには、画像がどのようにブレたかという情報が必要になる。提案するブレ推定法は、対象とするブレに対する制約条件を利用する事で、一枚のブレ画像からブレの情報を解析的に推定する。前提として、一般的なカメラで撮影された一枚のブレ画像を入力とし、ブレ方は画像全体で一様かつ等速運動をしているものと仮定する。この時、劣化画像のケプストラム上にはブレの概形や部分的な情報が現れる。この性質を利用し、劣化画像のケプストラムから解析的にブレの情報を推定する。提案手法はブレに関する拘束条件を利用しているため、自然画像や文字画像等、様々な種類の画像に対して適用可能である。</p> <p>プロジェクタの焦点ボケを解消するための合焦表示を行うためには、プロジェクタで表示している映像上に生じる焦点ボケの度合いを知る必要がある。スクリーン物体上で表示されている映像をカメラで撮影すると、焦点ボケの度合いはスクリーン物体の位置によって異なるため、画像全体で非一様なボケの度合いを推定しなければならない。プロジェクタの投影を行う時、カメラで撮影した画像に加え、プロジェクタで投影する画像も利用可能であるため、この一組の画像ペアを利用し、マッチングに基づいた焦点ボケ推定を行う。提案手法は従来手法が用いる基準画像の投影を行う必要がないため、オンラインアプリケーションへの利用などが期待出来る。</p> <p>提案手法の有効性を示すために、合成画像、実画像の両方を用いた実験を行い、提案手法が制約として課した条件下において、画像の劣化情報の推定が可能であり、その結果としてブレやボケを解消した表示が可能となる事を示唆した。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3549 号	氏 名	小山田 雄仁
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡田 謙一
		慶應義塾大学教授	理学博士 藤代 一成
		慶應義塾大学教授	工学博士 池原 雅章
<p>学士（工学）、修士（工学）小山田 雄仁君提出の学位請求論文は、「Pre/Post Blur Correction from a Single Photo Shooting (1 枚の撮影画像を用いた事前/事後劣化補正)」と題し、5 章より構成されている。</p> <p>近年、映像プロジェクタを用いて映像表示を行うためのスクリーンとして、一般に広く利用されている固定された平面スクリーンの代わりに、動的に位置や形状が任意に変化する物体をスクリーンとして利用することによって、臨場感のある 3 次元的な映像表示を実現しようとするシステムが注目されている。</p> <p>本論文は、このようなシステムにおける問題点の一つである画像劣化を解消することを目的として、一枚の撮影画像から対象とする画像劣化の性質を拘束条件としながら画像劣化の情報を推定する手法を提案し、実験により提案手法の有効性を検証したものである。</p> <p>第 1 章では、本研究の目的・背景と位置付けが述べられている。</p> <p>第 2 章では、画質劣化を補正するための関連研究についてのサーベイが示され、本論文で行われた研究の関連研究に対する位置付けが明確にされている。</p> <p>第 3 章では、画像の撮影過程で生じるブレによる画像劣化を補正するために、対象とするブレに持つ性質を利用することにより、一枚のブレ画像のみからブレの情報を解析的に推定する新しい手法が提案されている。本手法は、一般的なカメラで撮影された一枚のブレ画像を入力とし、ブレは画像全体で一様かつ等速運動をしているものと仮定することにより、劣化画像のケプストラム上にはブレの概形や部分的な情報が現れるという性質に着目し、劣化画像のケプストラムから解析的にブレの情報を推定するものである。提案手法を用いて多くのブレ画像に対してブレの情報を推定し、それにも基づいてブレ補正を行った実験結果により、提案手法が自然画像や文字画像等、様々な種類の画像に対して適用可能であることが示されている。</p> <p>第 4 章では、画像の表示過程で生じるプロジェクタの焦点ボケを補正するための手法が提案されている。プロジェクタの焦点ボケを解消するための合焦表示を行うためには、プロジェクタで表示している映像上に生じる焦点ボケの度合いを知る必要がある。スクリーン物体上で表示されている映像をカメラで撮影すると、焦点ボケの度合いはスクリーン物体の位置によって異なるため、画像全体で非一様なボケの度合いを推定しなければならない。そこで提案手法では、プロジェクタの投影を行う時、カメラで撮影した画像に加えてプロジェクタで投影する画像も利用可能であることに着目し、この一組の画像ペアを利用した画像マッチングに基づいた焦点ボケ推定を行っている。本手法の有効性を確認するために、プロジェクタとカメラにより構成される実験装置を用いて、従来手法で一般的に利用されている基準画像の投影を行わなくても、オンラインでボケ推定が可能であり、それに基づいて焦点ボケが事前補正された映像を投影することによりスクリーン上ではボケが補正された映像を表示可能であることが実証されている。</p> <p>第 5 章は結論であり、本論文で得られた成果と今後の研究課題についてまとめられている。</p> <p>以上要するに本研究では、画像の撮影過程で生じるカメラのブレによる画像劣化と、画像の表示過程で生じるプロジェクタの焦点ボケによる画像劣化の両方に対して、補正対象の画像のみから劣化要因を推定して劣化補正を行うための新しい手法を提案し、それらの有効性・有用性を実験的に確認したものである。これらの成果は、映像の取得・表示・表現を利用した映像情報システムの画質向上への貢献が期待でき、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>			

# Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.3550	Name	ZHANG, Wensheng
Thesis Title			
Correlation Based Signal Detection Schemes in Cognitive Radio			
<p>The fixed spectrum regulation policy has been considered as the cause leading to the conflict between the growing demand for spectrum and the inefficient frequency utilization. The Cognitive Radio (CR) as an innovative communication technology can hopefully improve the utilization efficiency of wireless spectrum in an intelligent and flexible way. This dissertation investigates the signal detection schemes from two perspectives, single detection and cooperative detection, with the goal of solving several problems in spectrum sensing that is the key issue in CR.</p> <p>Chapter 1 introduces the background of CR and the motivation of the research.</p> <p>In Chapter 2, the author proposes a low-complexity cyclostationarity feature detection scheme for detect and avoid (DAA) of Ultra-Wideband (UWB) system in order to solve the coexistence issues between UWB system and Long Term Evolution-Advanced (LTE-Advanced) system which can be considered as the practical model of CR. The localized Single-carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) signal utilized in the uplink of LTE-Advanced system is detected.</p> <p>In Chapter 3, a dual-stage detection scheme composed of coarse detection stage and refined detection stage has been proposed. The threshold factor for the probability of indefinite detection is first proposed and defined to combine the two stages. The proposed scheme focuses on the integration of two different detection schemes with different complexities in order to reduce total computational complexity. The computer simulation results show that the proposed scheme can make a trade-off between the detection performance and the computational complexity by setting the probability of indefinite detection.</p> <p>In Chapter 4, the author discusses the cooperative signal detection problem from a finite random matrix theoretical (RMT) perspective. Specifically, we employ recently-derived closed-form and exact expressions for the distribution of the standard condition number (SCN) of uncorrelated and semi-correlated random dual central Wishart matrices of finite sizes in the design Hypothesis-Testing algorithms to detect the primary signal.</p> <p>In particular, two algorithms are designed, with basis on the SCN distribution in the absence and in the presence of primary signal, respectively. It is also shown that the proposed finite RMT-based algorithms outperform all similar alternatives currently known in the literature, at a substantially lower complexity. Several new results on the distributions of eigenvalues and SCNs of random Wishart Matrices are also offered.</p> <p>Chapter 5 summarizes the results of each chapter and concludes this dissertation.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3550 号	氏 名	ZHANG, Wensheng
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	博士(工学)	眞田 幸俊
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	笹瀬 巖
	慶應義塾大学教授	博士(工学)	大槻 知明
	慶應義塾大学教授	工学博士	池原 雅章
<p>学士（工学）、修士（工学）ZHANG, Wensheng 君提出の学位請求論文は「<b>Correlation Based Signal Detection Schemes in Cognitive Radio</b>（コグニティブ無線における相関を用いた信号検出方式）」と題し、5章から構成されている。</p> <p>今日の無線通信の重要な課題の一つが通信のブロードバンド化に対する周波数資源の枯渇である。これは周波数帯域の固定的な割り当てに起因している。この課題に対して周波数の有効活用を図るため、周囲の無線信号を検出し柔軟に周波数帯域を利用するコグニティブ無線技術が検討されている。本論文ではコグニティブ無線技術の要となる信号検出方式に対して、単独端末による信号検出方式および複数端末による協調検出方式を研究している。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景およびコグニティブ無線技術の概要、並びに本研究の目的と意義を示している。</p> <p>第2章はウルトラワイドバンド端末における周期定常性を利用した新しい信号検出方式を提案している。周期定常性は信号の時間軸もしくは周波数軸上の周期的な相関を表す統計量である。ウルトラワイドバンドシステムは第4世代携帯電話に割り当てられた周波数を二次利用する際、干渉回避機能を具備することが義務付けられている。周期定常性を利用した信号検出方式は高い検出特性を示すが、同時に複雑な計算を必要とする。そこで第2章では第4世代携帯電話の変調方式を考慮し、周期定常性を利用しつつ計算量を低減した信号検出方式を提案し評価している。計算機シミュレーションの結果、提案する信号検出方式は従来の方式に対して検出特性がやや劣化するが、計算量を1/10から1/50に低減することが示されている。</p> <p>第3章は第2章で提案した信号検出方式の前に、エネルギー検出方式を組み合わせた二段階信号検出方式を提案している。エネルギー検出方式は低計算量で信号検出を行うことができるが、検出特性は周期定常性を利用した方式よりも劣化する。第4世代携帯電話では割り当てられた周波数帯を複数のブロックに分割して利用する。そこで二段階信号検出方式では初段にエネルギー検出方式を用いて、信号が明らかに存在するかもしくは明らかに存在しない周波数ブロックを検出する。そして信号の存在が未確定の周波数ブロックに対してのみ受信信号の周期定常性を計算する。この方式は第2章で提案した方式に対して1/2から1/10の計算量でほぼ同等の信号検出特性を実現する。</p> <p>第4章では複数端末の受信信号間の相関を利用した協調検出方式における閾値設定法を提案している。従来から複数端末における受信信号間の相関行列を利用した信号検出方式は存在した。しかし端末数もしくは信号サンプル数が非常に大きいことを前提としていた。第4章ではこれらの数が十以下の現実的な条件における相関行列の特性、特に固有値の分布を理論的に解析している。そして固有値の条件数を利用した信号検出において、解析結果から適切な閾値を導出している。その結果、同一の許容誤検出確率条件下において信号検出確率を約20%改善している。</p> <p>第5章は本論文の結論であり、各章で得られた知見を総括し本研究の成果を要約している。</p> <p>以上要するに、本研究はコグニティブ無線技術における信号間の相関を利用した信号検出方式を提案したものであり、無線通信工学分野において工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

# Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.3551	Name	SERTTHIN, Chinnapat
Thesis Title			
An Indoor Positioning Architecture Based on Visible Light Communication and Multiband Received Signal Strength Fingerprinting			
<p>In this dissertation, we focus on developing a new indoor positioning architecture that does not require any extra infrastructure and has long life cycle. The study approach focuses on the following technologies; visible light communication (VLC) that uses next generation light bulb as transmitter and multiband received signal strength (MRSS) fingerprinting created from existing wireless infrastructure.</p> <p>Chapter 1 presents an introduction to the localization technology. First, we explain the need of indoor positioning system, including the key performance evaluation index for positioning system. Then, we move on to introduce our proposed architect, which does not require any modification on the core equipments after being implemented. We deploy machine learning algorithms in both subsystems to ensure the system involvement throughout the system.</p> <p>Chapter 2 presents VLC based positioning subsystem architecture. The detailed investigation on characteristics of VLC based positioning subsystem is presented in this chapter. Based on system characteristic, field of view (FOV) limit and sensitivity limit, we proposed a switching estimated receiver position (SwERP) scheme that can improve positioning accuracy more than 80 % over the conventional VLID system.</p> <p>Chapter 3 presents an additional module that help eliminating sensitivity limit requirement to enable SwERP scheme. To be specific, nearest transmitter classification (NTC) method based on optical orthogonal code (OOC) is used instead of relying on the presence of sensitivity limit. Moreover, based on FOV limit we propose a physical layer simulation model as a reference for future simulation purpose.</p> <p>Chapter 4 is the proposal on deploying frequency diversity in received signal strength (RSS) fingerprinting, denoted as multiband received signal strength (MRSS) fingerprinting, which can improve positioning accuracy of the conventional RSS fingerprinting system over 50%. The characteristics and parameters that affect the positioning accuracy are provided in this chapter.</p> <p>Chapter 5 concludes this dissertation. Design and implementation guidelines are suggested based on the performance study of the proposed indoor positioning architecture. The future possible developments based on this proposed architecture are also explained.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3551 号	氏 名	SERTTHIN, Chinnapat
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
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 重野 寛
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 眞田 幸俊
<p><b>Bachelor of Telecommunication Engineering, 修士 (工学), Chinnapat Sertthin 君提出の学位請求論文は、「An Indoor Positioning Architecture Based on Visible Light Communication and Multiband Received Signal Strength Fingerprinting (可視光通信とマルチバンド受信信号強度指紋法に基づく屋内位置推定アーキテクチャ)」と題し、全 5 章から構成されている。</b></p> <p>位置情報は、様々なアプリケーションで必要とされている。位置推定システムとして、GPS がよく知られているが、衛星からの電波が直接届かない屋内では、それを用いる GPS の位置推定精度は大きく劣化してしまう。また、位置推定システムとして、低コストで導入可能なことが求められる。</p> <p>本論文では、屋内の位置推定システムとして、可視光通信及びマルチバンド受信信号強度位置指紋に基づく屋内位置推定アーキテクチャを提案している。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景及び位置推定の原理、信号特性並びに本研究の目的と意義を述べている。</p> <p>第 2 章では、提案する可視光通信を用いた位置推定サブシステムのアーキテクチャについて示している。まず固有の ID を割り当てた白色 LED 照明と、6 軸センサ及び 1 つの PD (Photo-Diode) から成る受信機を用いる提案サブシステムのアーキテクチャを説明している。提案サブシステムの受信機は、6 軸センサを用いることで、1 つの PD で到来光の角度 (AOA: Angle of Arrival) 情報を得ることができるため、構成が簡易である。次に、実験結果を示し、提案法が、今後導入が期待されている白色 LED 照明を利用して高い位置推定精度を達成できることを示している。</p> <p>第 3 章では、第 2 章で説明した可視光通信を用いた位置推定サブシステムの位置推定精度をさらに改善する方法として、光の強度変調に対応した単極性符号である光直交符号 (OOC: Optical Orthogonal Code) および受信機でのオーバーサンプリングに基づき最近傍の送信機 (白色 LED) を識別する方法を示している。そして、計算機シミュレーションにより、提案法が可視光通信を用いた位置推定サブシステムの位置推定精度を改善できることを示している。</p> <p>第 4 章では、マルチバンド受信信号強度位置指紋に基づく屋内位置推定サブシステムアーキテクチャを示している。まず、無線伝搬路特性について、複数の経験則モデルとレイトレーシングモデルを説明している。次に、無線 LAN で使用されている 2.4 GHz 帯と 5 GHz 帯の異なる周波数帯での受信信号強度 (RSS: Received Signal Strength) の相関を実験により示している。その結果、2 つの周波数帯の RSS の違いを明らかにし、異なる周波数帯の RSS を用いることの有効性を示している。そして、その結果に基づき、マルチバンド受信信号強度位置指紋に基づく屋内位置推定サブシステムを提案している。提案サブシステムの実験結果を示し、マルチバンドの RSS を用いる提案サブシステムが高い位置推定精度を達成できることを示している。</p> <p>第 5 章は結論であり、本論文で得られた結果を総括している。</p> <p>以上、本論文の著者は、屋内の位置推定システムとして、可視光通信及びマルチバンド受信信号強度位置指紋に基づく屋内位置推定アーキテクチャを提案し、そ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>			

# Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.3552	Name	ACAR, Cihan
Thesis Title :			
Advanced Motion Control of Dynamically Stabilized Two-wheeled Mobile Systems			
<p>In real life, the living environment is not static but dynamically changes, which makes people adaptive to these variations. In dynamic environment, uncertain perturbations highly exist and collisions are likely to happen. Robots expected to work alongside human are also required to be robust and adaptive against disturbance, collisions, and etc. Dynamically stabilized two-wheeled mobile systems especially dynamically stabilized two-wheeled manipulator and two-wheeled wheelchair robots that provide higher adaptability and flexibility in this kind of environment are the main theme of this thesis.</p> <p>Chapter 1 covers the dynamic stability, redundancy, underactuated systems, and backstepping control methods that are some of the key concepts associated with the dynamically stabilized two-wheeled systems.</p> <p>Chapter 2 explains the basic information about disturbance observer based acceleration control.</p> <p>Chapter 3 describes the key features of dynamically stabilized two-wheeled mobile systems and the related works addressed before.</p> <p>Chapter 4 concentrates on the robust motion control structure for the two-wheeled mobile manipulator. This system has highly nonlinear and complex dynamics due to the underactuated and high degrees of freedom structure. To reduce the complexity, simplified virtual models are utilized. The robust motion control is addressed to deal with model errors and improve the stability. The Center of Gravity (CoG) trajectory generation method is proposed to stabilize the virtual passive joint and control the position of the wheels at the same time.</p> <p>Chapter 5 focuses on the compliant CoG compensation for two-wheeled wheelchair system. In two-wheeled electrical wheelchair system, rider can sit the seat and control the motion this system by leaning his/her body. The CoG position of the upper body is mainly determined by the position of the rider. Thus, the CoG position may not overlap with the wheel axis. In that case, sensor information cannot be used to measure the exact position of the CoG, which affects the stability negatively. As a result, compensation of the unknown CoG position for two-wheeled wheelchair is considered to increase the flexibility and improve the stability.</p> <p>Chapter 6 introduces the multi-task issue for the two-wheeled mobile manipulator system. In this system, it is possible to utilize redundancy to perform the main task with different configurations or additional tasks at the same. Interaction or conflicts among tasks may occur when dealing with multiple objectives at the same time. Task priority strategy is introduced for the two-wheeled mobile manipulator to perform multiple tasks simultaneously through a hierarchical order between the tasks so that lower-priority tasks do not affect the high-priority ones. Thereby, conflicts among tasks can be avoided by assigning an order of priority to the given tasks.</p> <p>Chapter 7 summarizes the thesis and discusses the remarks on future works.</p>			



## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3552 号	氏 名	ACAR, Cihan
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	大西 公平
	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）	斎藤 英雄
<p>学士(工学), 修士(工学)ACAR, Cihan 君提出の学位請求論文は「Advanced Motion Control of Dynamically Stabilized Two-Wheeled Mobile Systems (動的に安定化された2輪移動システムの高度運動制御)」と題し, 7章から構成されている.</p> <p>人の生活空間において環境は動的に変化するものであり, 人々はこの環境変動に適応しながら生活を送っている. 人の生活支援機器としての利用が期待されている移動ロボットシステムにおいても, このような環境変動に対してロバストに適應できることが必要とされている. 本論文ではこうした問題に着目し, 機動性に優れかつ路面状態変化に適應しやすい2輪移動システムとして, 動的に安定化された2輪駆動機構からなる移動マニピュレータおよび2輪駆動機構による電動車椅子の開発を行った. さらに, 環境変動に対してロバストにかつ安定に動作適應可能な制御アルゴリズムの提案を行っている. このような2輪駆動機構による移動システムは, 自動車関連会社でも開発が進められており, 社会的な関心も高くなっている.</p> <p>第1章では, 本論文で着目している2輪移動システムの研究背景について述べ, さらに提案する制御アルゴリズムにおいて重要となる基礎理論について説明を行っている.</p> <p>第2章では, 提案する動的安定化制御においてロバスト性向上のために利用している外乱オブザーバの基礎および外乱オブザーバに基づいた加速度制御の実現法について述べている.</p> <p>第3章では, 本研究で開発を行った2輪駆動機構からなる移動マニピュレータおよび2輪駆動機構による電動車椅子の運動学および動力学モデルを示している.</p> <p>第4章では, 2輪駆動機構からなる移動マニピュレータのロバスト制御手法の提案を行っている. 提案手法では加速度制御およびスライディングモード制御に基づいたバックステップング手法により, 静的に不安定な機構を有するだけでなく複雑な非線形要素も含んだシステムにおける新たなロバスト制御手法を確立している. さらに, 重心軌道指令の生成アルゴリズムを提案し, 任意の重心参照軌道に対して追従可能な制御手法を構築している. 提案手法の有効性はシミュレーションおよび実機実験により確認されている.</p> <p>第5章では, 2輪駆動機構による電動車椅子の制御において, 第4章で提案した制御アルゴリズムに加えてコンプライアンス制御に基づいた重心変動の補償アルゴリズムを提案している. 2輪駆動機構による電動車椅子では車椅子搭乗者の重心変動によって走行状態が不安定化しやすくなるが, 提案アルゴリズムによって人の搭乗状態に関係なく安定した車椅子走行が可能となる. 提案手法の有効性は, 2輪駆動型電動車椅子による実機実験によって確認されている.</p> <p>第6章では, 2輪駆動機構からなる移動マニピュレータにおいて, その冗長性を活かしたマルチタスクアルゴリズムによる制御手法を提案している. 提案手法では, 複数タスクの優先度の制御および非干渉動作を達成するため, 各タスクを優先度ごとに設定された直交座標空間(零空間)に振り分けるアルゴリズムを確立している. 提案手法の有効性は実機実験により確認されている.</p> <p>第7章では各章を総括し, 本論文の結論を述べている.</p> <p>以上要するに, 本論文の著者は, 動的に安定化された2輪移動システムにおいて環境適應性を考慮した運動制御の高性能化をはかるため, システムのロバスト性をより向上するための制御器構成法を提案し, さらに安定性を向上するためのコンプライアンス制御および重心軌道生成アルゴリズムを構築し, 2輪駆動機構からなる移動マニピュレータおよび電動車椅子を用いた実機実験によりその有効性を実証した. これらの研究は, 移動機構を有するロボットシステムの環境適應性および安全性に配慮した産業応用分野において, 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>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第3553号	氏名	田中 秀典
主論文題目： 被写体の姿勢変動によらない顔認識システムに向けた顔画像の時空間解析			
<p>顔認識技術は、コンピュータビジョン分野で古くから研究されており、近年においてはマンションの入退室管理やデジタルカメラへの応用など実用化が進んでいる。しかしながら、これまでの顔認識技術では、被写体がカメラに正対し、被写体の正面顔画像が得られることが前提となっており、被写体の姿勢に依存しない顔認識は未だに困難な問題として研究開発されている。</p> <p>本論文では、被写体の姿勢に制限を与えずに撮影された画像から、時空間解析に基づいて顔認識するための新しい手法を提案し、その有効性を実験により検証する。</p> <p>本論文では、まず、近年多くの場所に設置されている複数台の監視カメラから撮影された複数枚の画像を利用することにより、被写体の姿勢に制限を与えない顔認識手法を提案する。本手法においては、異なる視点のカメラから撮影された複数の被写体の顔画像を、頭部の標準3次元形状に貼り付け、任意姿勢の被写体の顔画像を生成することにより姿勢変動への対処を行う。この際、顔画像生成の元となる被写体の顔画像が少数であると、被写体の様々な姿勢変動に対応し高い精度の識別を行うことが困難になるので、識別した顔画像を追加学習することで情報量をふやす。ただし、得られた顔画像の姿勢が、すでに学習を行った顔画像の姿勢近辺であれば、追加で学習を行わないようにする。</p> <p>続いて本論文では、ロボット中のカメラ等の位置・姿勢を制御可能なカメラを利用することにより被写体の姿勢に制限を与えず、さらに対話（インタラクション）時に得られる動画画像から表情変化の個人性を利用して、顔認識を行う手法を提案する。本手法においては、表情変化による各顔部分の変化過程を特徴量として表現する。</p> <p>前者の多視点画像を利用した顔認識手法は、空間の3次元情報解析に基づくものであり、後者の動画画像を利用した顔認識手法は、画像の時間解析に基づくものである。これらを総称して本論文では時空間画像解析と位置付ける。</p> <p>提案手法の有効性を確認するため行った実験より、環境中に複数カメラが設置されている場合、初期学習時4枚の顔画像と標準3次元形状モデルで生成した画像を用い、追加学習および選択学習を行うことにより、被写体の姿勢変動によらず顔認識が高い精度で行えることを示した。また、インタラクションにより生じた表情変化を、提案手法により各顔部分の変化過程として表現することで、表情変化前後の各顔部分の動きの差として表現するよりも、顔認識が高い精度で行えることを示した。特にhappyの表情において顕著な精度向上が見られ等価エラー率が約4%減少した。</p> <p>これらの結果により、本論文で提案した時空間画像解析手法は被写体の姿勢変動によらない顔認識に有効であることが確認できた。本提案手法によって実現可能となる顔認識システムは、その場・その時に応じた情報提供サービス（例えば、経験の浅い看護師への注意喚起、製造現場作業者の作業フロー学習、買い物レコメンド）の実現へつながっていくと考えられる。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3553 号	氏 名	田中 秀典
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 萩原 将文
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 今井 倫太
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 青木 義満
<p>学士（工学）、修士（工学）田中 秀典君提出の学位請求論文は、「被写体の姿勢変動によらない顔認識システムに向けた顔画像の時空間解析」と題し、4章より構成されている。</p> <p>画像からの顔認識技術は、画像認識分野で古くから研究されているテーマの一つであり、近年はマンションの入退室管理やデジタルカメラへの応用などへの実用化が進んでいる。しかしながら、これまでの顔認識技術は、被写体がカメラに正対し、正面顔画像が得られることが前提となっており、被写体の姿勢に依存しない顔認識は未だに困難な問題として研究開発が盛んに行われている。</p> <p>本論文では、近年多くの場所に設置されている監視カメラを複数台利用することを想定し、被写体の姿勢に制限を与えずに複数の方向から撮影された多視点画像からの顔認識手法を提案している。また、ロボット等に設置された位置や姿勢を制御可能なカメラを利用することにより、被写体の姿勢に制限を与えずに、さらに対話（インタラクション）時に得られる動画像から表情変化の時間的変動に関する個人性を利用して、顔認識を行う手法を提案している。</p> <p>第1章では、本研究の目的・背景と顔画像認識のための関連研究についてのサーベイが示され、本論文で行われた研究の位置付けが明確にされている。</p> <p>第2章では、同一の被写体に対して多視点カメラから撮影された多視点顔画像から顔認識を行うために、頭部標準 3次元形状モデルに多視点画像をレンダリングし、任意姿勢の被写体の顔画像を生成することにより被写体の姿勢変動の影響を受けない手法が提案されている。本手法では、顔画像生成の元となる被写体の顔画像が少数でも被写体の様々な姿勢変動によらない顔画像認識を実現するために、識別済み顔画像を追加学習することにより認識性能を向上させている。提案手法の有効性を確認するため行った実験結果から、初期学習時 4枚の顔画像と標準 3次元形状モデルで生成した多視点画像を利用し、提案手法に基づいて追加学習および選択学習を行うことにより、被写体の姿勢変動によらず顔認識が高い精度で行えることが示されている。</p> <p>第3章では、ロボット等に設置された位置や姿勢を制御可能なカメラを利用した状況を想定し、ロボット等とのインタラクション時に得られる動画像から表情の時間変化の個人性を抽出し、これを利用した顔認識手法が提案されている。本手法では、表情変化による各顔部分の変化過程を特徴量として表現することにより、効果的に表情変化が抽出可能となっている。提案手法の有効性を検証するために行われた実験結果から、インタラクションにより生じた表情変化を各顔部分の変化過程として表現することにより、表情変化前後の各顔部分の動きの差として表現するよりも、顔認識が高い精度で行えることが検証されている。特に <b>happy</b> の表情において顕著な精度向上が見られ等価エラー率が約 4%減少したことが示されている。</p> <p>第4章は結論であり、本論文で得られた成果と今後の研究課題についてまとめられている。</p> <p>以上要するに本研究では、多視点カメラやロボットカメラを利用して被写体の姿勢変動によらない顔画像認識を行うために、多視点画像により得られる空間情報と動画像により得られる時間情報を利用した時空間画像解析に基づく認識手法を提案し、それらの有効性・有用性を実験的に確認したものである。これらの成果は、個人認証が必要とされる安全安心のための監視システムや、個人の嗜好に応じたきめ細かいサービスを提供するためのシステムなど、顔画像認識が必要とされる多くの映像情報システムへの貢献が期待でき、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3554号	氏名	戸井 崇雄
主論文題目： <b>Performance and area optimization methods in compiler for a dynamically reconfigurable processor</b> (動的再構成プロセッサ向けコンパイラにおける性能と面積の最適化)			
<p>本論文は限定された面積の中で最大性能を発揮するための動的再構成プロセッサ (DRP) 向けコンパイラにおける最適化手法を示す。いくつかの最適化手法は、DRP を搭載したプロ向けビデオカメラ、デジタルテレビ送信機、デジタルスチルカメラなどの幅広い製品において実用化されている。DRP のアーキテクチャでは、多数のプロセッシングエレメント (PE) と自由に接続できるプログラマブル配線からデータパスが構成される。「コンテキスト」と呼ぶこのデータパスを、状態遷移コントローラが動的に切り替えて動作することにより、並列化しやすい部分と逐次的な部分の両方を併せ持つ多くのアプリケーションを時空間上で効率的に動かすことができる。このアーキテクチャの長所と短所についてまとめた上で、C 記述からのコンパイルフローについて述べる。マイクロプロセッサ向けのコンパイラとは異なり、このフローでは、動作合成、テクノロジーマッパー、そして配置配線という順番で合成する。特に動作合成は C 記述から高い並列性を持つデータパスと状態遷移マシンを合成する要の部分となる。</p> <p>次に、動作合成における DRP 向けの3つの新しい最適化手法とその実験結果を示す。一番目は、複数の制御ステップをコンテキストにまとめて PE の使用効率を高める。二番目は、DRP が持つ時空間的な効率性を生かす、ループをパイプライン化するモジュロスケジューリングについて述べる。三番目は、指定した動作周波数で動かすためのスケジューリング方法について述べる。特に配線スイッチが遅い DRP の短所を逆に活用する。JPEG ベースの画像復号化処理を例として3つの最適化方法を確認した。まずコンテキストの使用数が半分以下になり、さらに演算器の使用効率は 2.5 倍以上に向上した。またパイプライン化によって、PE 数は 2.2 倍の増加に対して、3.6 倍のスループット上の性能向上を確認した。高い遅延制御性により、動作周波数を短期間に最大化した。</p> <p>最後に、配線混雑を考慮した動作合成から配置配線までの2つの反復合成手法を示す。PE を接続するプログラマブル配線は、複雑なデータパスを構成できる反面、配線の混雑時に遅延が伸びる。そこで一番目は、各コンテキストの配線遅延を動作合成にフィードバックして混雑を分散させる。遅延制約を越えるアプリケーションに適用したところ、クリティカルパス遅延は約 21%短縮した。二番目の手法は、配線の混雑度を考慮して配線遅延を推定して、反復収束までの時間を約 1/3 に短縮する。その結果、遅延短縮効果は平均 17%であり、一番目の手法と比べて 4%の増加で済んだ。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3554 号	氏 名	戸井 崇雄
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 天野 英晴
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 山中 直明
		慶應義塾大学准教授	工学博士 斎藤 博昭
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 高田 眞吾
<p>学士(工学)、修士(工学)、戸井崇雄 君の学位請求論文は、「Performance and area optimization methods in compiler for a dynamically reconfigurable processor (動的再構成プロセッサ向けコンパイラにおける性能と面積の最適化)」と題し、7章から成る。</p> <p>動的再構成プロセッサは、多数の PE(Processing Element)のレイから構成され、その機能と接続、すなわちハードウェアコンテキストを高速に切り換えることができ、低消費電力、低コスト、柔軟性に優れたアクセラレータとして注目されている。しかし、他の方式のアクセラレータに比べてプログラミング環境が十分でない点があり、しばしば製品の失敗の原因になっている。本論文では、プログラミング環境のもっとも重要な要素であるコンパイラに着目し、動的再構成プロセッサ独特の性質を利用した最適化手法を提案し、実際のコンパイラに適用してその効果を評価している。</p> <p>第1章で背景および全体の構成を述べ、第2章では様々な動的再構成プロセッサとそのコンパイラについて調査し、第3章では、本論文の対象に選んだルネサスエレクトロニクス社のDRPのアーキテクチャを紹介している。第4章ではDRP用のコンパイラの全体の流れについて説明し、一般的なコンピュータ用のコンパイラと、FPGA(Field Programmable Gate Array)開発用のCADツールの中間的な性格を持つ点を明らかにしている。</p> <p>第5章および第6章が本論文の主題である。第5章では、コンパイラの早い段階である高位合成時における最適化手法を3つ提案している。(1)複数の実行ステップを一つのハードウェアコンテキストにまとめることでPEの利用率を上げる方法、(2)効率良くパイプライン化を行うモジュロスケジューリング法、(3)動作周波数を制約する長い遅延のパスを減らすようにコンテキストをスケジューリングする手法の3つである。これらを合わせて用いることで、JPEGデコーダの場合、必要なハードウェアコンテキスト数を半分にし、PEの利用率を2.5倍に、性能を3.6倍にすることができた。第6章では、コンパイラの後半の段階である配置配線に着目し、配線後にその混雑度を高位合成にフィードバックする手法を提案した。配線の混雑を考慮して合成し直すことで、最大遅延を21%削減することができた。しかし、この方法は一度配線してその結果を用いて高位合成をし直すことから実行時間が長くなってしまう。そこで、実際には配線は行わず、混雑度を見積もるだけで同様の効果を実現する手法を提案した。この方法により遅延削減効果を損なわず、コンパイルの実行時間を1/3にすることができた。</p> <p>第7章には結論と今後の課題をまとめている。</p> <p>以上、本論文は、動的再構成プロセッサ向けコンパイラの様々な最適化手法を提案し、実際の製品で利用可能な技術に育てている点で、その貢献は工学上少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3555 号	氏 名	田村 維都江
主 論 文 題 目： タングステン酸塩鉱物および硫化鉱物の生成と交代組織に関する実験的研究			
<p>天然においてタングステン酸塩鉱物や鉛鉱物などの鉱石鉱物の交代組織は普遍的に見られ、これは固相-液相反応の結果である。天然における鉱石組織の形成過程において、固相および液相変化は重要な情報であると考えられる。よって、天然に産出する鉱石組織を顕微鏡等により観察し、形態的特徴を詳細に研究することは、その成因を明らかにする第一歩といえる。また、固相-液相反応での固相の変化という過去の現象を明らかにし、その成因を解明するためには、特にそこで行われた化学反応メカニズム(溶解・沈殿・拡散)が解明され、それに基づく組織の形成過程が明らかにされなければならない。</p> <p>鉱石組織の形成機構を解明するための補助的な手段として、熱水溶液における固相の反応実験が挙げられる。この場合、反応に関係するであろう元素を特定することでより単純に、また、反応条件や反応時間を変化させることでより詳細な固相の変化を知る事ができるというメリットがある。</p> <p>熱水性鉱床中の交代組織は、顕微鏡観察に基づいた形態上の特徴から、仮像交代組織、指向性侵入交代組織、核および累帯交代組織等に分類されている(鞠子, 1988)。この分類は、形態に基づくだけでなく、成因も加味されている。これらの成因を明らかにするためには、顕微鏡観察による鉱石鉱物の記載的研究と共に、実験的、理論的研究による裏付けが不可欠であるが、交代作用そのものを実験的に扱った例は多くはない。また、これまでの実験においては、反応時間ごとの組織の観察、溶液組成の測定および反応速度の推定などはなされておらず、組織の成長過程は明らかにされていない。</p> <p>これらのことより、本研究においては、主要な鉱石鉱物であるタングステン鉱物間や鉛鉱物の熱水反応実験を行い、低温条件、すなわち地下浅所においても交代作用が起こる可能性と、経時変化における交代組織の形成メカニズムの解明を行う。</p> <p>灰重石を出発固相とし、マンガン重石および鉄重石が生成される場合、整形試料の外形の経時変化や反射顕微鏡による試料断面観察および電子線マイクロアナライザーによる破断面観察から、これらの交代組織は、外形を変化させず、内部へと進行していく反応といえる。これは、主として仮像交代組織に分類される。一方、マンガン重石や鉄重石を出発固相とした場合は、反応時間と共に外形が大きくなっていくことや試料断面および破断面観察から、反応層は外側へと <b>overgrowth</b> していくことが明らかとなった。タングステン鉱物の交代組織の成長は、モル体積比(交代鉱物 / 被交代鉱物)が 1 より大きい小さいかによって決まる。灰重石を出発固相とした場合、モル体積比は 1 よりも小さいため、反応層には多くの空隙が形成された。この空隙の存在は、交代作用を持続させる要因の一つである。</p> <p>タングステン鉱物間の交代作用においてそれぞれの系において算出された反応速度定数は、灰重石と <math>\text{MnCl}_2</math> 水溶液との反応では <math>10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ mol/Lm}^2\text{s}</math>、マンガン重石と <math>\text{CaCl}_2</math> 水溶液との反応では <math>10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ mol/Lm}^2\text{s}</math>、灰重石と <math>\text{Fe}[\text{NH}_4]_2[\text{SO}_4]_2</math> 水溶液との反応では <math>10^{-7} \sim 10^{-4} \text{ mol/Lm}^2\text{s}</math>、鉄重石と <math>\text{CaCl}_2</math> 水溶液との反応では <math>10^{-8} \sim 10^{-6} \text{ mol/Lm}^2\text{s}</math> であると見積もられた。また、活性化エネルギーは、それぞれ、<b>20-80 kJ/mol</b>、<b>5-30 kJ/mol</b>、<b>3-12 kJ/mol</b>、<b>10-22 kJ/mol</b> と推定された。これらの活性化エネルギーの値と、出発固相の含有量の経時変化等により、灰重石が生成する反応では主に拡散律速であり、マンガン重石を生成する反応では反応律速、鉄重石を生成する反応では初期は反応律速、その後は拡散律速であると考えられる。</p> <p>一方、炭酸塩鉱物である白鉛鉱を出発固相とし、<math>\text{NaHS}</math> および <math>\text{Na}_2\text{S}</math> 水溶液と反応させた場合、反応生成物として主に方鉛鉱と鉛白が検出された。方鉛鉱のモル体積比は約 <b>0.78</b> であるが、鉛白は約 <b>3.1</b> であるために、反応相中の空隙はほとんど見られなかった。方鉛鉱による交代組織は <math>\text{NaHS}</math> 系では仮像交代組織である。そのため、反応層中のイオンの拡散は起こりにくく、拡散律速である。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3555 号	氏 名	田村 維都江
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 鹿園 直建
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 磯部 徹彦
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 藤原 忍
		慶應義塾大学専任講師	博士(工学) 横森 剛

学士（教育学）、修士（教育学）田村維都江君提出の論文は“タングステン酸塩鉱物および硫化鉱物の生成と交代組織に関する実験的研究”と題している。

鉱床に産する鉱石鉱物には、様々な組織がみられている。この組織に関して、光学顕微鏡を用いた多くの研究がこれまでになされてきた。これらの研究においては、様々な組織を記載し、分類され、それぞれの組織について、その成因が定性的に論じられている。しかしながら、これらの鉱石組織の多くは、固相－液相反応の結果により生成したものであり、この固相－液相反応について明らかにしない限り、組織の成因を明らかにすることができない。鉱石組織の形成機構を解明するための手段として、熱水溶液における固相の反応実験が挙げられる。この場合、反応に関係するであろう元素を特定することでより単純に、また、反応条件や反応時間を変化させることでより詳細な固相の変化を知る事ができるというメリットがある。

これらのことより、本研究においては、主要な鉱石鉱物であるタングステン鉱物間や鉛鉱物間の熱水反応実験を行い、低温条件、すなわち地下浅所においても交代作用が起こる可能性と、経時変化における交代組織の形成メカニズムの解明を行った。

実験的研究は、灰重石( $\text{CaWO}_4$ )からマンガン重石( $\text{MnWO}_4$ )、マンガン重石から灰重石、灰重石から鉄重石( $\text{FeWO}_4$ )、鉄重石から灰重石および白鉛鉱( $\text{PbCO}_3$ )から方鉛鉱( $\text{PbS}$ )への交代作用に関してなされた。

灰重石を出発固相とし、マンガン重石および鉄重石が生成される場合、整形試料の外形の経時変化や反射顕微鏡による試料断面観察および電子線マイクロアナライザーによる破断面観察から、これらの交代組織は、外形を変化させず、内部へと進行していく反応といえた。一方、マンガン重石や鉄重石を出発固相とした場合は、反応時間と共に外形が大きくなっていくことや試料断面および破断面観察から、反応層は外側へと **overgrowth** していくことが明らかとなった。タングステン鉱物の交代組織の成長は、モル体積比（交代鉱物 / 被交代鉱物）が 1 より大きいか小さいかによって決まる。灰重石を出発固相とした場合、モル体積比は 1 よりも小さいため、反応層には多くの空隙が形成された。この空隙の存在は、交代作用を持続させる要因の一つである。

タングステン鉱物間の交代作用においてそれぞれの系において算出された反応速度定数は、灰重石と  $\text{MnCl}_2$  水溶液との反応では  $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ mol/Lm}^2\text{s}$ 、マンガン重石と  $\text{CaCl}_2$  水溶液との反応では  $10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ mol/Lm}^2\text{s}$ 、灰重石と  $\text{Fe}[\text{NH}_4]_2[\text{SO}_4]_2$  水溶液との反応では  $10^{-7} \sim 10^{-4} \text{ mol/Lm}^2\text{s}$ 、鉄重石と  $\text{CaCl}_2$  水溶液との反応では  $10^{-8} \sim 10^{-6} \text{ mol/Lm}^2\text{s}$  であると見積もられた。また、活性化エネルギーは、それぞれ、**20-80 kJ/mol**、**5-30 kJ/mol**、**3-12 kJ/mol**、**10-22 kJ/mol** と推定された。これらの活性化エネルギーの値と、出発固相の含有量の経時変化等により、灰重石が生成する反応では主に拡散律速であり、マンガン重石を生成する反応では反応律速、鉄重石を生成する反応では初期は反応律速、その後は拡散律速であると考えられた。

一方、炭酸塩鉱物である白鉛鉱を出発固相とし、 $\text{NaHS}$  および  $\text{Na}_2\text{S}$  水溶液と反応させた場合、反応生成物として主に方鉛鉱と鉛白が検出された。方鉛鉱のモル体積比は約 **0.78** であるが、鉛白は約 **3.1** であるために、反応相中の空隙はほとんど見られなかった。方鉛鉱による交代組織は  $\text{NaHS}$  系では仮像交代組織である。そのため、反応層中のイオンの拡散は起こりにくく、拡散律速であると考えられた。

以上をまとめると、本研究では、鉱石鉱物の交代組織に関して、以下の新しい知見を得たといえる。

- (1) 長期間の鉱物－水溶液反応実験を熱水条件下で行い、天然の鉱床でみられる交代組織を再現することに初めて成功した。
  - (2) 交代組織には、外形を変化させず内方へと進行していく反応と、主として外側へと **overgrowth** していく反応により生成する **2 種類**の組織があることを実験的に示し、これは、モル体積比(交代鉱物/被交代鉱物)によることを明らかにした。
  - (3) 実験的研究をもとに、交代組織の生成メカニズム(拡散、反応)を定量的に初めて論じた。例えば、それぞれの交代反応の反応速度定数と活性化エネルギーを求めている。
- 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 3556 号	氏 名	近藤 信太郎
主論文題目： <b>Initial Boundary Value Problems for Model Equations of Drift Wave Turbulence</b> (ドリフト波乱流のモデル方程式に対する初期境界値問題)			
<p>トカマクは、強磁場によって軸対称プラズマを容器内に閉じ込める装置であり、磁場閉じ込め装置の中では最も有望視されている。一般的に、プラズマ内に荷電分離が生じるとプラズマ内に電場が発生し、正電荷粒子と負電荷粒子はドリフト速度を得る。そして、プラズマ中の密度の不均一性によりドリフト波が生じ、そのドリフト波に起因する乱流が異常輸送を引き起こし、閉じ込め効果の急激な劣化が起こることが知られている。さらに、様々なプラズマ波現象が地球磁気圏において観測されており、そこでも異常輸送が生じていることが報告されている。様々な観点から見てドリフト波乱流の解析は重要なテーマであると考えられる。</p> <p>本論文の目的は、ドリフト波乱流のモデル方程式及びトカマク内の抵抗性ドリフト波乱流を記述している三次元 <b>Hasegawa-Wakatani</b> 方程式とその周辺を数学解析的に研究することにある。<b>Hasegawa-Wakatani</b> 方程式は、一様な強磁場中にプラズマの平衡密度に不均一性があるとき、プラズマ密度の変動と静電ポテンシャルを未知関数とする連立偏微分方程式から構成されている。</p> <p>第一章において、ドリフト波乱流のモデル方程式の物理学的研究の背景についての説明と、これまでの数学面での研究についての紹介をする。</p> <p>第二章において、はじめに抵抗性ドリフト波乱流のモデル方程式に対する初期境界値問題に対し強解が時間大域的に一意に存在することを <b>Sobolev-Slobodetski</b> 空間において証明する。ここでは、領域は円柱状の有界領域で、その円柱の両端で周期的な境界条件を課す。また、外部からは一様な磁場が円柱の軸方向にかけられていて、平衡密度の不均一性が円柱の半径方向に存在している状況下で議論を展開する。この結果を受け、拡散係数によらない <b>a priori</b> 評価を通して、拡散係数のゼロ極限をとることによって、<b>Hasegawa-Wakatani</b> 方程式に対する初期境界値問題の強解が一意に存在することが証明される。</p> <p>第三章において、まず <b>Hasegawa-Wakatani</b> 方程式の解に対し、プラズマ抵抗値に関する一様評価を得る。そして、プラズマ抵抗値がゼロのときのドリフト波乱流のモデル方程式に対する初期境界値問題が一意的な強解をもつことを証明する。最後に、プラズマ抵抗値のゼロ極限をとった時、<b>Hasegawa-Wakatani</b> 方程式の解がプラズマ抵抗値ゼロのドリフト波乱流のモデル方程式の解に強収束することを証明する。</p>			



## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3556 号	氏 名	近藤 信太郎
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 谷 温之
	副査	慶應義塾大学教授	博士(理学) 井口 達雄
		慶應義塾大学准教授	理学博士 石井 一平
		慶應義塾大学教授	工学博士 畑山 明聖
		大阪大学大学院教授	工学博士 松村 昭孝

学士 (理学), 修士 (理学), 近藤信太郎君提出の学位請求論文は「**Initial Boundary Value Problems for Model Equations of Drift Wave Turbulence** (ドリフト波乱流のモデル方程式に対する初期境界値問題)」と題し, 本文 3 章から構成されている.

トカマクは, 強磁場の作用により, 軸対称プラズマをトーラス状容器内に閉じ込める装置である. 現在までに提案された磁場閉じ込め装置の中では最有望視されているが, 依然として実験炉の粋を出していない. 一般に, プラズマ内で電離が生じると, 電場が形成され, 正, 負電荷粒子は, それぞれドリフト速度を得る. そのため, プラズマ内の密度は不均一になり, ドリフト波が生じる. それに伴って発生する乱流が異常輸送を引き起こし, 閉じ込め効果の急激な低下が起こる.

ドリフト波乱流のモデル方程式は, 1 粒子系に対しては Hasegawa-Mima (1977) により, 2 粒子系に対しては Hasegawa-Wakatani (1983) により導かれた. その後 Das 達は magnetic-curvature-driven Rayleigh-Taylor 不安定性の議論を展開する中で, より一般のモデル方程式を導出した. 本論文は, 彼らが導いた非線形偏微分方程式に対する初期境界値問題の時間局所強解の一意存在とそれらの関係を確立したものである.

第 1 章は, 序論であり, ドリフト波乱流のモデル方程式のプラズマ物理学における研究背景と数学上の研究結果の概観が与えられ, 本論文の動機付けがなされている. 本論文の主要テーマは Hasegawa-Wakatani 方程式に関する数学解析であるが, その方程式の主要部が退化しているため, 単なる正則化項ではなく, 物理学上も意味のある Das 達によるモデル方程式の解析から始める準備がなされている.

第 2 章では, 3 次元円柱状領域において, その軸方向に周期境界条件を課した抵抗性ドリフト波乱流のモデル方程式および Hasegawa-Wakatani 方程式の初期境界値問題の一意可解性が考察されている. 抵抗性ドリフト波乱流のモデル方程式に対しては, その時間大域的強解が一意に存在することが証明されている. さらに, エネルギー法を用いて, その解の拡散係数によらないアприオリ評価を得ることに成功し, Hasegawa-Wakatani 方程式の初期境界値問題の一意可解性が証明されている. この結果は, 任意時間までではないが, 方程式固有の時間まで, **Sobolev-Slobodetskii** 空間に属する強解の一意存在を初めて証明したものである.

第 3 章では, 第 2 章の結果を受け, 2 つの結果「プラズマ抵抗係数を零とするドリフト波乱流のモデル方程式に対する初期境界値問題が一意強解の持つこと」, 「Hasegawa-Wakatani 方程式の解に対して, プラズマ抵抗係数に関する一様評価を得ることにより, プラズマ抵抗係数の零極限をとることが可能になり, Hasegawa-Wakatani 方程式の解が, プラズマ抵抗係数を零とするドリフト波乱流のモデル方程式の解に強収束すること」が証明されている. これは, ある意味 Hasegawa-Wakatani 方程式と Hasegawa-Mima 方程式の関係を数学的に確立した結果と言える. 第 2 章と同様, この章でも用いられた証明方法はスタンダードなものであるが, 緻密な計算を必要とし, 著者はそれを見事に克服して, 証明に成功した.

以上, 要するに, 本論文の著者は, 抵抗性ドリフト波乱流のモデル方程式および Hasegawa-Wakatani 方程式に対する初期境界値問題の **Sobolev-Slobodetskii** 空間に属する強解の一意存在証明に初めて成功した. 特に, 一様アприオリ評価に基づいた零極限による証明方法ならびにその結果は理学上益するところが少なくない.

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

# Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.3557	Name	CHU, Bong-Sung
Thesis Title			
<b>Supply Chain Risk Management: Approaches for Functional Business Processes</b>			
<p>A supply chain is a set of individual and cross-functional business processes from upstream to downstream, which can also be thought of as a combined value chain for the whole optimization of the processes. It usually involves R&amp;D, procurement, production, distribution and retail, and offers various opportunities to optimize the combined business processes. For the optimization to be possible, supply chain management(SCM) has a key step for risk control. It is a fact that the supply chain cannot be optimized unless the risk is controllable, so that supply chain risk management(SCRM) is attracting significant attention in the study of business management. However, in recent years, the types of risk have been extremely diversifying due to complicated SCM and rapidly changing business environment, such as the diversity of customer needs, the shortened product life-cycle, globalization, the complexity of a production system, and so forth. Furthermore, such as derivative risks, it is not easy to recognize when and which risks occur. Exactly, the risk defined as generally possible loss or a likelihood of a threat comes from not knowing what the main causes are. For this reason, the SCRM is getting difficult, and also requires more practical responses from the various viewpoints.</p> <p>The objective of this dissertation is to propose a set of approaches for the SCRM focusing on individual and cross-functional processes in a supply chain. We first extract and analyze core risk drivers leading to direct and indirect risks in Chapter 2. The total number of 10,181 articles from 68 international journals during the past four decades has been reviewed for the work. We extracted 133 supply chain risk drivers, and analyzed types of the risk and the associated impacts, as well as the trends. Then in Chapter 3, we developed an economic make-or-buy decision model in multistage production processes, and proposed a solution procedure that specifies an economic making or buying area based on the break-even analysis. In Chapter 4, we examined the optimal replacement time of production equipment under failure uncertainties. We designed flexible supply models using financial options in Chapter 5. In details, we formulated a single-period two-stage decision-making model for analyzing four types of supply contracts. Moreover, by numerical examples, we showed comparative advantages and risks between the contracts. In Chapter 6, we designed a prediction market using a multi-agent system(MAS), and analyzed a price convergence. We also discussed the results related to parameter dependency of various agents. In Chapter 7, we proposed a dynamic cubic neural network(DCNN) with demand momentum for a demand forecasting. In our model, the output scope of the activation function of hidden layer is modified for every period, according to the demand momentum which is defined by demand inertia and price acceleration plays a key role in adjustment of output in iterative learning processes. We finally provided a brief summary of our conclusions in Chapter 8, in addition to discussion for the future of a supply chain.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3557 号	氏 名	CHU, Bong-Sung
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 松川 弘明
	副査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 増田 靖
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 金沢 孝
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 中野 冠

本論文は、“**Supply Chain Risk Management: Approaches for Functional Business Processes** (サプライチェーンリスクマネジメント：機能的なビジネスプロセスのための方法)”と題し、第1章論文の背景から始まり、7章で構成されている。

第2章では、サプライチェーン（以下SC）をSCプロセスと属性の2つの軸に分け、過去40年間に公表されたSCリスクマネジメント関連学術論文10181本をもとにアブストラクトをアーカイブしてテキストマイニングを実施し、133個のリスクドライバーを抽出している。これらのリスクドライバーについてはさらにK-means分析、Generalized rule induction、時系列分析を行い、リスクドライバーのグルーピング、階層化、経年変化分析を実施し、実務におけるサプライチェーンリスク分析の着眼点、およびリスクの原因分析の手掛かりを提供している。

第3章では、既存研究の個別製造プロセスの分析を、全プロセスを含む問題として一般化し、複雑な多段階製造プロセスにも対応できるようにしている。また、既存研究における発見的手法の効率を上げるために、損益分岐点と生産量の関係、および部品の価格間の特徴を用いて新しい解法の指針となる定理を提案し、解析的に証明している。

第4章では、既存の経済性工学モデルを拡張し、故障リスクを考慮した意思決定モデルを提案している。拡張モデルでは設備を購入した時点でその設備を更新する時期を決めるのではなく、設備のメンテナンスが打ち切られる時点で、継続使用期間中の設備故障リスクからの期待損失をVaR (Value at Risk) と確率分布で与え、リスクを考慮した最適な設備更新時期を求める方法を提案している。

第5章では、オプションを用いた販売契約問題を取り上げ、販社の利益を最大にする最適な初期購入量、および行使量を求めている。具体的には確率分布に従う需要のパラメータがさらに確率分布に従う条件のもとで2回の需要予測を行い、その情報を活用した購入量と行使量を求め、オプション価格などパラメータに対して感度分析を行った結果、他のモデルに比べて必ずしも常に優位になるとは限らず、一定に条件のもとでは従来の新聞売り子モデルより悪い結果になることを突き止め、オプションモデルが常に優位ではないことを証明している。

第6章では、予測市場で繰り返し行われる予測証券の売買において、証券の価格が常に収束していくのかに対して疑念を持ち、実験を通じて一定の条件のもとでは収束しないことを明らかにしている。具体的には実験経済学の原理のもとでエージェントを設計し、情報収集能力、個人の性格によりエージェントを分類し、予測に参加する各エージェントタイプの割合によっては証券の価格(予測値)が収束しないことを示している。

第7章では、新製品需要予測手法としてDynamic Cubic Neural Networkを提案している。具体的には、Neural Network(以下NN)を革新者レイヤーおよび模倣者レイヤーの2レイヤーに分け、各レイヤーは入力と出力、そして中間層の3階層から構成される立体的なNNを構築している。革新者レイヤーの中間層から模倣者レイヤーの中間層には重み付き学習係数を設置し、出力層から中間層にフィードバックを入れ、需要のモメンタムという新しい概念を導入してシグモイド関数をReshapeしている。そして、このモデルを用いて数値実験を行い、提案モデルが従来のArtificial Neural Network手法より誤差が小さくなることを示しています。

以上を要するに、本論文はSCにおけるリスクの原因を体系的に分析し、外注意意思決定、設備投資、販売契約、需要予測におけるリスク問題について、最適意思決定を行う時の原理原則を明らかにしたものであり、学術上ならびにサプライチェーンマネジメントの実践上貢献するところが大きい。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

# Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.3558	Name	SOUHILI, Oussama
Thesis Title			
Capacity Enhancements to Wireless MIMO Systems: Channel Feedback, Keyhole Mitigation and Multi-User Support			
<p>Recently, MIMO technology, the use of multiple antennas at the transmitter and the receiver, has emerged as a potential solution to meet the huge demand in wireless bandwidth. However, some theoretical requirements and assumptions have challenged its implementation in practice.</p> <p>In this work, we provide our contributions towards this end by addressing some of these challenges in both single-user (SU-MIMO) and multi-user (MU-MIMO) settings.</p> <p>We start by addressing MIMO challenges pertaining to single-user systems. We consider in chapter 2 the need for a fast channel feedback phase, as MIMO capacity gains are conditional upon the availability of channel estimates at the transmitter. By means of orthogonal projections, we provide such fast feedback at half the signaling of the conventional approach.</p> <p>Subsequently, we consider in chapter 3 the keyhole problem where the propagation environment has a single degree of freedom regardless of the number of transmit antennas. Related literature seems to consider such degeneration hopeless. Contrarily, we show that the use of relay-assisted communications as well as a carefully defined power allocation makes the keyhole effect mitigation feasible.</p> <p>Ultimately, chapter 4 treats the problem of user scheduling in MU-MIMO. We provide an efficient feedback scheme where the number of required feedbacks and the computational burden of exhaustively searching for best users at the transmitter's side are substantially reduced. Afterwards, we provide a Quality of Service (QoS) aware scheduling scheme that allows meeting the demand of delay-constrained users.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3558 号	氏 名	SOUIHLLI, Oussama
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
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 重野 寛
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 眞田 幸俊
<p><b>Bachelor of Engineering, Master of Science, Oussama Souihli</b> 君提出の学位請求論文は、  <b>「Capacity Enhancements to Wireless MIMO Systems: Channel Feedback, Keyhole Mitigation and Multi-User Support (無線 MIMO 方式の容量増加：チャネルフィードバック、キーホール軽減、および マルチユーザサポート)」</b>と題し、全 5 章から構成されている。</p> <p>無線通信は、ユーザデータ量の急激な増加により、大容量化が求められている。限られた周波数帯域を用いて無線通信を大容量化する技術として、送受信機で複数のアンテナを用いて通信する MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) が注目されており、次世代の携帯電話や無線 LAN の必須技術となっている。しかし、MIMO を用いて大容量化を実現するには、送受信機での同一の通信路状態情報の共有や、MIMO に適さない反射・回折が不十分な通信路への対策などいくつかの課題がある。また、それらの課題を克服しつつ、ユーザの優先制御を実現することも MIMO の課題である。</p> <p>本論文では、上記 MIMO を用いる際の課題を克服し、無線通信の大容量化を実現する複数の方式を提案している。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景及び MIMO 技術の説明、並びに本研究の目的と意義を述べている。</p> <p>第 2 章では、通信路状態情報のフィードバック遅延による MIMO 通信路容量の劣化に対し、フィードバック遅延を減らし、かつ通信路容量を改善する方式を提案している。まず、フィードバック遅延を減らす従来方式として、受信機が送信機からの受信信号を増幅してそのまま返信し、それに続いてトレーニング信号を送信するエコー MIMO 方式とその問題点を述べている。そして、エコー MIMO 方式の問題点を解決する方式として、雑音を除いた通信路状態推定値を、トレーニング信号と直交かつ重畳させて返信する方法を提案し、提案法が送信回数を減らすことで遅延を減らし、かつより良い通信路状態推定値をフィードバックすることで、通信路容量を大きくできることを示している。</p> <p>第 3 章では、MIMO 伝送で問題となるキーホール効果について検討している。まず、通信路容量に比例する通信路のランクが 1 になってしまい、MIMO を用いても通信路容量が小さくなるキーホール効果について説明している。そして、この問題に対し、中継局を用いる方式を提案し、キーホール効果を低減するための中継器の設置及び電力割り当て条件を理論的に導出し、その有効性を明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、フィードバック情報量に制約がある MIMO 通信で、複数の異なるサービス要求を持つユーザにサービスを提供するための、通信路状態情報フィードバック法及びユーザ選択法を提案している。提案法は、フィードバック及びユーザ選択をユーザの優先度に基づいて行う。また、優先度の高いユーザの中で選択されたユーザの通信路情報の和を通知することで、少ないフィードバック量でユーザの優先制御を実現する。計算機シミュレーションにより、提案法の有効性を示している。</p> <p>第 5 章は結論であり、本論文で得られた結果を総括している。</p> <p>以上、本論文の著者は、MIMO を用いる際の種々の問題点を克服し、無線通信の大容量化を実現する複数の方式を提案し、そ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 3559 号	氏 名	小菅 祐史
主 論 文 題 目： <b>A Study on Dynamic Detection of Web Application Vulnerabilities</b> (動的解析による Web アプリケーションの脆弱性検出手法に関する研究)			
<p>Web 関連技術の発達により、Web アプリケーションは動的にコンテンツを生成することによってショッピングサイトやソーシャルネットワークサイトなど、高機能なサービスを提供している。その一方、Web アプリケーションは大規模化し、その構造も複雑になり、脆弱性が混入しやすくなっている。WhiteHat Security によると、83%の Web アプリケーションに少なくとも 1 つの脆弱性が存在する。Web アプリケーションに存在する脆弱性を検出する手段として、動的解析技術を用いた脆弱性検出手法が近年多く利用されている。この手法では、動作している Web アプリケーションに対して実際に攻撃を送信し、このとき Web アプリケーションが生成する HTTP レスポンスなどの出力を解析することにより、攻撃が成功したか判断することで脆弱性の有無を判定する。攻撃は無害な HTTP リクエストに悪意ある文字列（攻撃コード）を挿入することによって生成する。動的解析を用いた既存の脆弱性検出手法では、攻撃コードはあらかじめ定義されており、どの Web アプリケーションに対しても同じ攻撃コードを用いて攻撃を生成する。そのため、Web アプリケーションによっては必要な攻撃が不足している場合や無駄な攻撃を多く実行してしまう場合があり、検出精度が低いことが問題となっている。</p> <p>本論文では、Web アプリケーションごとに攻撃コードを自動生成することによって、必要な攻撃のみ実行する手法を提案する。攻撃を成功させるために有効な攻撃コードは、HTTP レスポンスや SQL クエリなどに攻撃コードが現れる箇所の構文によって異なる。そのため、この出力の構文解析を行うことによって攻撃コードを埋め込む箇所の構文を調べ、その構文に合わせて攻撃コードを自動生成する。この仕組みにより、有効な攻撃を生成することができるだけでなく、構文に合わない攻撃コードを使用しないため、無駄な攻撃の実行を抑制することができる。攻撃コードは、本手法で用意した攻撃コード生成規則を参照することによって生成する。攻撃コード生成規則は、対象とする攻撃ごとに用意しており、構文の種類に応じて、有効な攻撃を生成するために使用する文字列の組み合わせ方法を定義している。本提案機構は、SQL インジェクションとクロスサイト・スクリプティング (XSS) に対する脆弱性検出手法を実現している。これらの手法は既存の評価の高い脆弱性検出ツールと検出能力の比較を行うことで、本提案手法の有効性を示した。また、実際に使用されている Web アプリケーションやオープンソースの Web アプリケーションに対して本提案機構を利用することで、これまでに 131 件の脆弱性を検出を行った。</p> <p>また、次々と出現する攻撃に対して脆弱性検出手法を容易に実装することができるように、脆弱性検出用プラグインにより機能拡張が可能な脆弱性検出用フレームワークである Amberate を提案する。Amberate は動的解析を用いた脆弱性検出手法に共通する機能を隠蔽し、各攻撃に対する脆弱性検出手法に依存する処理を独自に実装可能な API (Application Programming Interface) を提供している。Amberate と同じく機能拡張が可能な従来の脆弱性検出ツールに対し、Amberate の XSS に対する脆弱性検出用プラグインと同様の機能を実装したところ、Amberate の方が 500 行少ないコード数 (比較対象のツールの 82%の実装量) でプラグインを実装することができた。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3559 号	氏 名	小菅 祐史
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士(理学) 河野 健二
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 高田 眞吾
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 遠山 元道
		慶應義塾大学教授	工学博士 山口 高平

学士(工学)、修士(工学)、小菅祐史君の学位請求論文は、「A Study on Dynamic Detection of Web Application Vulnerabilities (動的解析による Web アプリケーションの脆弱性検出手法に関する研究)」と題し、7章から成る。

Web 関連技術の発達により、Web アプリケーションは高機能なサービスを提供できるようになった。しかし、Web アプリケーションの構造は複雑になり、脆弱性が混入しやすい。また、新技術の登場に伴い、新たな攻撃手法が次々と誕生している。脆弱性を検出する手段として、動的解析技術を用いた脆弱性検出手法が多く利用されている。この手法では、Web アプリケーションに実際に攻撃を送り、そのとき Web アプリケーションが生成する出力を解析することにより、脆弱性の有無を判定する。既存の脆弱性検出手法では、攻撃のパターンは予め定義されており、どの Web アプリケーションに対しても同じ攻撃を実行する。そのため、Web アプリケーションによっては必要な攻撃が不足し、無駄な攻撃を多く実行してしまうため、検出精度が低いことが問題となっている。このような背景のもと、本論文では動的解析を用いた脆弱性検出手法の精度の向上と、新たな脆弱性検出手法を容易に実現する手法を提案している。

第 1 章で背景および全体の構成を述べ、第 2 章では Web アプリケーションに対する攻撃のうち、本論文に関連する攻撃について述べている。第 3 章では Web アプリケーションを安全化する手法として、脆弱性を埋め込まないための新言語や Web アプリケーションの稼働時における攻撃防御システム、脆弱性検出手法についてまとめている。

第 4 章では、SQL インジェクションに対する脆弱性検出手法に取り組んでいる。この攻撃では、攻撃に埋め込んだ悪意ある文字列が SQL クエリに現れる。攻撃を成功させるには、SQL クエリ内の悪意ある文字列が現れる箇所の構文に合わせて、文字列を生成する必要がある。そのため、提案手法では SQL 文法に基づいて構文に合わせて悪意ある文字列を自動生成する手法を提案している。実験では、既存の脆弱性検出手法を採用したツールと比較を行い、提案手法が少ない攻撃数で多くの脆弱性を検出でき、誤検出が少ないことを示している。次に第 5 章ではクロスサイト・スクリプティングに対する脆弱性検出手法に取り組んでいる。この攻撃では、HTML や JavaScript、CSS などに悪意ある文字列が現れる性質を利用し、これらの文法に合わせて動的に悪意ある文字列を生成する手法を提案している。複数の脆弱性検出ツールと検出能力の比較を行うことで、提案手法の精度が高いことを示している。さらに第 6 章では、新たな脆弱性検出手法を容易に実装することができる機構 **Amberate** を提案している。

**Amberate** は脆弱性検出手法に共通する機能を隠蔽し、各脆弱性検出手法に依存する処理を独自に実装可能な機能を提供している。実験では **Amberate** と同じく機能拡張が可能な既存の脆弱性検出ツールに対し、同一のプラグインを実装した場合のプログラム記述量を比較し、少ないコード数で実装することができたことを示している。

第 7 章には結論と今後の課題をまとめている。

以上、本論文は、悪意ある文字列が現れる箇所の構文に合わせて攻撃を生成することで動的解析を用いた脆弱性検出手法の精度を向上する手法を提案し、さらに同様の手法を他の脆弱性検出にも応用できる機構を提案している。これらの貢献によって、精度の高い脆弱性検出手法を比較的容易に行うことが可能となった。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

2011（平成23）年9月までの新制博士学位授与者数は次のとおり。

学位の種類	課程修了によるもの (課程博士・・・・・・甲)	論文提出によるもの (論文博士・・・・・・乙)	計
工学博士	451	389	840
博士（工学）	1,007	308	1,315
理学博士	26	8	34
博士（理学）	251	47	298
学術博士	1	1	2
博士（学術）	0	1	1
計	1,736	754	2,490

本書に記載した論文審査担当者の所属および職位は2011（平成23）年度春学期のものである。

2011(平成23)年11月30日 発行

発行者 理工学部長 青山 藤詞郎

編集 慶應義塾大学理工学部学生課学事担当

〒223-8522  
神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1