

|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 内容の要旨；論文審査の要旨   |
| Sub Title        |   |
| Author           |   |
| Publisher        | 慶應義塾大学工学部   |
| Publication year | 2011  |
| Jtitle           | 慶應義塾大学工学部研究報告別冊 Vol.72, (2011. ) ,p.1- 102  |
| JaLC DOI         |   |
| Abstract         |   |
| Notes            |   |
| Genre            | Thesis or Dissertation  |
| URL              | <a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50002003-20110002-0001">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50002003-20110002-0001</a> |

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

## 内容の要旨

|   |          |    |      |
|---|----------|----|------|
| 報告番号  | 甲 第3575号 | 氏名 | 三浦 崇 |
| 主論文題目：<br>On the Fitting ideals of the ideal class groups of CM-fields<br>(CM体のイデアル類群の Fitting イデアルについて)  |          |    |      |
| <p>イデアル類群は整数論の様々な問題に関係する重要な研究対象である。本研究ではガロア群の作用も込めたCM体のイデアル類群の様子について研究した。古典的結果としては、部分ゼータ関数の特殊値から定義される Stickelberger 元がイデアル類群を消すという Stickelberger の定理(1890)が有名である。岩澤主予想は円分 <math>Z_p</math>-拡大のイデアル類群の特性多項式と Stickelberger 元の逆極限によって構成される <math>p</math>-進 <math>L</math> 関数が等しいことを主張する深い定理であり、最終的に Mazur と Wiles によって解決された(1984)。Mazur と Wiles は岩澤主予想を解決した論文において岩澤主予想より強い主張として、アーベル体のイデアル類群の Fitting イデアルは何であるか、という問題を提起している。</p> <p>栗原氏はこの問題に対し新しい型の Stickelberger イデアルを定義し、それがイデアル類群の Fitting イデアルに等しいと予想した(2003)。この博士論文ではこの予想を完全に証明した。この結果は、Mazur と Wiles の問題に解答を与えると同時に、Stickelberger の定理や岩澤主予想を含み、さらにそれらの精密化を与えるものである。本研究ではさらに、一般の総実代数体上のアーベル拡大 <math>L/k</math> についても研究を行い、特別な条件のもとで栗原氏の予想を拡張した。すなわち、ガロア群の <math>p</math>-Sylow 部分群が円分体のガロア群の構造に近いという条件と、1の <math>p</math>乗根が <math>L</math> に属さないという条件のもとイデアル類群の Fitting イデアルを決定した。また、これら二つの条件を外す研究も行った。そこでは、ガロア群が <math>p</math> 次巡回拡大の場合や、基礎体 <math>k</math> の類数と単数基準に関するある仮定のもとで、上で述べた条件を取り除くことができた。これらの結果から特別な条件のもとでは Stickelberger 元はイデアル類群の Fitting イデアルに属する(この性質を(SB)とよぶ)ということが分かる。</p> <p>しかしながら、Greither と栗原氏は、一般の総実代数体上のアーベル拡大 <math>L/k</math> においては(SB)が破綻しうることを証明し、その明示的十分条件及び具体的計算例を与えている。一方で Greither は、同変玉河数予想と <math>L</math> に1の <math>p</math>乗根が属さないという仮定のもと、イデアル類群の Pontrjagin 双対の Fitting イデアルに Stickelberger 元が属する(この性質を(DSB)とよぶ)という結果を得ている。このことから(DSB)の方が(SB)より成立しやすい性質であると思われていた。そこで、実際に(DSB)は一般に成立するであろうかという問題に人々の関心が集まっていた。</p> <p>本論文では、このような背景を踏まえ、一般に(DSB)が成り立つかどうかという問題についても研究を行った。そして(DSB)が破綻するような明示的十分条件を与え、また具体的計算例も与えた。この具体的計算例ではガロア作用を明示的に書き下すことで、直接の計算からも(DSB)が不成立であることを確かめた。さらに(SB)と(DSB)が同時に破綻するような明示的十分条件及び具体的計算例も与えた。</p> |          |    |      |

## 論文審査の要旨

|  |            |            |              |
|--|------------|------------|--------------|
| 報告番号   | 甲 第 3575 号 | 氏 名        | 三浦 崇         |
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授   | 博士(理学) 栗原 将人 |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授   | 理学博士 前田 吉昭   |
|  |            | 慶應義塾大学教授   | 博士(理学) 井関 裕靖 |
|  |            | 慶應義塾大学専任講師 | 博士(理学) 坂内 健一 |
| <p>学士(理学)、修士(理学) 三浦崇君提出の学位請求論文は、「On the Fitting ideals of the ideal class groups of CM-fields(CM 体のイデアル類群の Fitting イデアルについて)」と題し、全 5 章からなる。19 世紀に素因数分解の一意性が一般の環では成立しないという認識が得られた後に、イデアル類群はその破綻の程度を表す群として導入され、整数論においてきわめて重要な役割を果たしてきた。また、イデアル類群への Galois 群の作用を知ることもきわめて重要な問題である。20 世紀に入り岩澤理論は、イデアル類群を Galois 加群として見たときの大きさをゼータ関数の言葉で記述することに成功した。すなわち、イデアル類群のような代数的対象とゼータ関数のような解析的对象との間に、岩澤予想(今では定理)という関係が成立することがわかったのである。本学位請求論文において著者は、イデアル類群とゼータ関数に関して、通常の岩澤理論よりも詳しい関係が成立することについて研究している。本論文で一貫して研究されているのは、イデアル類群の Fitting イデアルという代数的対象と、Stickelberger 元および Stickelberger イデアルというゼータ関数から定義される解析的对象との関係である。</p> <p>第 1 章は序論であり、岩澤理論で知られていることと本論文で得られた新しい定理が説明されている。第 2 章でさまざまなイデアルについての準備を行った後、第 3 章では、特筆すべき 2 つの定理が証明されている。一つは、有理数体上の虚アーベル拡大に対して、イデアル類群の Fitting イデアルが Stickelberger イデアルに等しい、ということが無条件で証明されていることである。これは、岩澤予想と古典的 Stickelberger の定理を同時に含む、代数的対象と解析的对象との間の新しい関係式であり、国際的に注目されている定理である。もう一つの定理は、一般の総実代数体を基礎体とするときに、Galois 群が円分体と同様の性質を持つときには、イデアル類群の Fitting イデアルが Stickelberger イデアルに等しい、すなわち上と同じことが成立するという定理である。この定理の証明のためには、Iwasawa-Sinnott の定理を総実代数体に一般化する必要があり、著者はそれに成功している。この 2 つ目の定理は、Brumer 予想という未解決問題にも応用を持ち、上記の条件の下に Brumer 予想が成立することがわかる。特に、<math>p</math> 進 <math>L</math> 関数が自明な零点を持つ場合にも上記の条件の下では Brumer 予想が成立することを証明でき、価値のある論文になっている。第 4 章では <math>2p</math> 次の巡回拡大である種の条件を満たす場合に、イデアル類群の Fitting イデアルと Stickelberger イデアルの間の等号を証明している。</p> <p>一転して第 5 章では、このような等号が一般には成立しないという研究成果について述べている。一般の総実代数体を基礎体にとったときには、Stickelberger 元がイデアル類群の Fitting イデアルに含まれない場合があることは今まで知られていた。しかし、イデアル類群の代わりにイデアル類群の双対を考えると、Stickelberger 元がその Fitting イデアルに入る、という性質は成立しやすいものであると考えられていた。しかしながら、この論文において著者は、この双対版でも一般には成立しないことを具体的実例と共に示している。すなわち、ある具体的な条件の下にこの双対版が成立しないことを証明し、具体的数値例も数多く計算している。この双対版は成立することが予期されていた頃もあったことを考えると、このような双対版についての否定的結果(双対版が成り立たないような具体的な条件や数値例)は注目に値する結果である。</p> <p>以上のように、本論文において著者は、Galois 群の作用をこめたイデアル類群に関して、国際的にも注目されるような数多くの新しい事実を証明し、整数論の発展に大きく寄与する成果を得た。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。</p> |            |            |              |

## 内容の要旨

|  |            |     |      |
|--|------------|-----|------|
| 報告番号   | 甲 第 3582 号 | 氏 名 | 壺井 彬 |
| 主論文題目：<br>企業評価のための環境経営分析方法に関する研究<br>～環境会計と貨幣評価アプローチ～   |            |     |      |
| <p>近年、温室効果ガスのみならず様々な環境負荷物質の排出に対して、その削減のための社会的施策が取られている。それに伴い、企業経営においても環境に関連する活動の重要性が増している。仮に企業の目的は利益を獲得し継続することとしても、企業活動の環境的側面が経済的側面に影響を与え始めているという事実があるためである。</p> <p>本研究は、法に基づき排出量に応じた費用負担等が導入された場合に顕在化するであろう潜在的な費用額を企業ごとに算出し、企業評価への影響を示す。そして、この潜在的費用を企業がマネジメントしている状況を表す説明モデルを提示することで、潜在的費用の変化に関する環境経営状況を分析する方法を提示する。マネジメント状況を表す説明モデルは、環境負荷物質の排出に伴う費用負担等が将来顕在化した場合の影響を予想する上で大きな手掛かりになると考えられ、本研究の成果により、経済的側面から企業評価を行う場合にも、環境的側面への考慮の進展が期待される。</p> <p>本論文の構成は以下のとおりである。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的を述べている。</p> <p>第2章では、環境経営について現在の企業が置かれている状況を、特に経済的観点から詳細に確認している。</p> <p>第3章では、本研究に関連する先行研究を確認し本研究での具体的なアプローチを述べている。</p> <p>第4章では、企業の環境負荷物質の排出量に基づき算出された事業エリア内のLIME・JEPIXの値から、法に基づき排出量に応じた費用負担等が導入された場合に顕在化するであろう潜在的な費用額を企業ごとに算出し、企業評価への影響を利益額を例にとり示している。</p> <p>第5章では、第4章で算出した企業が抱える潜在的な費用に対し、その低減のための活動の寄与を経済的側面から確認している。すなわち、企業が環境負荷物質排出量削減のために費やす環境保全コストと、その効果である潜在的費用の変化との関係を統計的に明らかにしている。</p> <p>第6章では、第5章での結果を踏まえ、潜在的費用の変化に対する環境会計における投資の寄与について、より詳細に分析し、寄与の構造を明らかにしている。</p> <p>第7章では、環境保全コストと効果に関して、環境経営ステージを考慮した投資モデルを作成し、適用可能性を検証している。このモデルを適用可能な企業に関しては、潜在的な費用の時系列変化について説明力の高いモデルが作成可能であることを示している。</p> <p>第8章では、自動車業界を例に、製品使用に伴う環境排出によって発生している社会コストが企業に内部化された場合に顕在化するであろう潜在的費用を企業群単位で確認している。また、企業が環境分野への研究開発費を費やすことで、それら潜在的な費用を削減している状況について、その分析方法を提示している。</p> <p>第9章では、本研究の結論と本研究の結果を示すことの意義、今後の課題について述べている。</p> |            |     |      |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3582 号 | 氏 名       | 壺井 彬         |
|--|------------|-----------|--------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 高橋 正子 |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 篠崎 信雄   |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 博士(工学) 枇々木規雄 |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 博士(商学) 黒川 行治 |
| <p>学士(工学), 修士(工学), 壺井彬君提出の学位請求論文は, 「企業評価のための環境経営分析方法に関する研究～環境会計と貨幣評価アプローチ～」と題し, 本論9章より構成されている。</p> <p>地球環境に対する社会の関心の高まりを反映して, 環境負荷物質の排出に対する規制など削減のための社会的施策が拡大している。それに伴い, 企業経営においても環境に関連する活動の重要性が増しているが, その活動を定量的に評価する仕組みは確立していない。とくに環境負荷物質の排出削減に対するコスト負担の効果を, 企業評価における経済的側面と結びつけて測定評価する仕組みが求められている。</p> <p>本研究は, 経済的側面から企業評価を行う場合に, 企業の環境的側面へのマネジメント状況を考慮するための方法を示すものである。研究は主として2段階で構成されている。第一段階として, 環境負荷物質排出に対する規制等の強化により要求される費用負担を推定することで, 潜在的なリスクを貨幣評価額として明示する仕組みを提示する。第二段階は, この潜在的費用削減のためのマネジメントを経済的に評価する方法を示す。とくに企業の環境保全活動の進捗状況を表す, 『環境経営ステージ』を定義してモデルを創出し, 環境会計情報を用いた環境マネジメント活動の測定評価方法を具体的に示している。</p> <p>各章の内容は次のとおりである。</p> <p>第1章は序論であり, 研究の背景と目的を述べている。</p> <p>第2章は議論の準備であり, 環境経営について現在の企業が置かれている状況を, 特に経済的観点から詳細に検討している。</p> <p>第3章では, 先行研究を概観し, 研究の位置づけと具体的なアプローチを述べている。</p> <p>第4章では, 企業の環境負荷物質の排出量から, 統合評価指標 LIME・JEPIX を用いて, 規制などにより費用負担等が導入された場合に顕在化するであろう潜在的な費用額を算出する方法を提示し, 実際に企業ごとに算出して, 利益額を例に企業評価への影響を示している。</p> <p>第5章, 第6章では, 企業が環境負荷物質排出量削減のために費やす環境保全コストの, 潜在的費用削減への寄与の構造を分析し, 企業の潜在的費用のマネジメント状況を説明する際の環境会計情報の有用性を明らかにしている。</p> <p>第7章では, 企業の現在の環境保全に向けた活動の進捗状況を表す「環境経営ステージ」概念を導入し, 環境保全コストと効果に関して, 環境経営ステージを考慮した投資モデルを提案している。具体的に環境会計情報を用いて企業の「環境経営ステージ」を測定し, 経済合理性に基づいて環境保全活動を行っている企業群の存在を示している。</p> <p>第8章では, 製品使用に伴う環境負荷物質の排出によって発生する社会コストが規制強化により, 企業に内部化された場合に顕在化するであろう潜在的費用を算出し, その削減のために費やされる研究開発費との関係を分析する方法を, 自動車業界を例に提示している。</p> <p>第9章は結論であり, 本研究の成果を総括し, 今後の研究課題について展望している。</p> <p>以上をまとめると, 本研究は, 経済的側面から企業評価を行う場合に, 企業の環境的側面を考慮するための新たな道筋を示したものであり, 企業の環境経営を進展させる一助となるとともに, 環境規制という政策決定上でも有用な情報を与え, 社会システム工学の観点から寄与するところが少なくない。また, これらの成果は, 著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要となる高度な研究能力, および豊かな学識があることを示したものとと言える。</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 3583 号 | 氏 名 | SITI RAHMAH BINTI AID |
| 主論文題目：<br>Formation of Shallow p <sup>+</sup> /n Junction in Silicon using Non-Melt Laser Annealing<br>(非溶融レーザーアニーリングを用いたシリコンにおける浅 p <sup>+</sup> /n 接合の形成)  |            |     |                       |
| <p>デバイスの微細化に伴い、Si MOSFET では短チャネル効果の影響が著しくなっており、この問題を抑制して微細化を進めるためには、トランジスタのソース・ドレインエクステンション領域のpn接合を浅くすることが有効である。pチャネルMOSFETでは、ボロンがドーパントとして用いられているが、イオン注入でのチャネリング現象や過度増速拡散の問題により、浅接合の形成は困難となっている。本研究では、上記の問題を克服するため、Geイオン注入アモルファス化(Ge-PAI)と低エネルギーボロンイオン注入を組み合わせ、極短時間・高温の非溶融レーザーアニーリング(NLA)により、高い電気的活性化を示すp<sup>+</sup>/n接合の形成を試みた。ここでは、レーザーアニーリング中におけるデバイス表面微細パターンの破壊を防ぐため、Si基板を溶融させない非溶融条件のもとで研究を行った。</p> <p>第1章は背景、目的を述べた。第2章は理論および実験方法の詳細について述べた。第3章は一次元熱伝導方程式を用いたレーザーアニーリングにおけるシリコン基板表面温度の計算について述べ、シリコン基板の非溶融・溶融境界のしきいエネルギー値を求めた。</p> <p>第4章はKrF紫外レーザー(λ=248 nm)を用いた非溶融レーザーアニーリングによるp<sup>+</sup>/n接合形成の結果を述べた。ここでは、レーザーアニーリング前後での短時間急速加熱の導入を検討し、アニーリング法の最適化を図った。また、アニーリングにおけるドーパント(B)の拡散、電気的活性化およびアモルファス層再結晶化などについて詳細な評価を行った。</p> <p>第5章はグリーンレーザー(λ=527 nm)を用いた接合形成について述べた。波長の異なるレーザーの比較検討は第6章にまとめた。レーザーアニーリング後のドーパント(B)の拡散挙動に著しい違いが見られた。短波長KrFレーザーでは、極短時間(数百ナノ秒オーダーパルス)アニーリングにおいて、Bの著しい増速拡散がみられた。一方、長波長のグリーンレーザーでは、アニーリング温度がSiの融点に近い1323 Kにおいてわずかな拡散が見られたが、Bの顕著な拡散は見られなかった。また、グリーンレーザーの場合、アモルファスSiの再結晶化速度がKrFレーザーの場合と比べて遅いことがわかった。これらの相違は、主として各レーザーにおけるシリコン基板内の熱分布の違いによることを示した。特に短波長KrFレーザーでは、表面Si層で生じた熱ストレスがイオン注入により発生した点欠陥(格子間シリコン原子)の急速な移動を引き起こすことが考えられる。最後に、この論文全体のまとめと結論を第7に述べた。</p> |            |     |                       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3583 号 | 氏 名       | SITI RAHMAH BINTI AID |
|--|------------|-----------|-----------------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 松本 智             |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 太田 英二            |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 粟野 祐二            |
|  |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 石黒 仁揮          |
| <p>学士(工学) 修士(工学) SITI RAHMAH BINTI AID (シティ ラハマ ビンティ アイド) 君提出の学位論文は、「Formation of Shallow p<sup>+</sup>/n Junction in Silicon using Non-Melt Laser Annealing」と題し、7章からなる。</p> <p>Si MOSFET では、デバイス微細化に伴い短チャネル効果が著しくなり、これを抑制して微細化を進めるためには、トランジスタのソース・ドレイン領域の pn 接合を浅くすることが有効な手段の一つである。p チャネル MOSFET では、ボロン(B)がドーパントとして用いられているが、イオン注入でのチャネリング現象や過渡増速拡散の問題により、浅接合の形成は困難となっている。本研究では、上記の問題を克服するため、Ge イオン注入によるアモルファス化と低エネルギー B イオン注入を組み合わせ、極短時間・高温の非溶融レーザーアニーリングにより、浅くかつ高い電気的活性化を示す p<sup>+</sup>/n 接合の形成を試みたものである。特に、2種類のレーザーの波長( = 248 nm、527 nm) に対する再結晶化過程や B の拡散挙動・電気的活性化などに関して詳細な検討を行っている。</p> <p>第1章は背景および目的を、第2章は理論および実験方法の詳細を述べている。</p> <p>第3章では、一次元熱伝導方程式を用いて、各レーザー波長でのアニーリングにおける Si 基板表面温度の時間依存性を示し、アモルファス Si 層の非溶融・溶融のしきいエネルギー値を求めている。</p> <p>第4章では、KrF 紫外レーザー( =248 nm)を用いたレーザーアニーリングによる p<sup>+</sup>/n 接合形成に関して、アモルファス層再結晶化過程および B の拡散挙動・電気的活性化を詳細に評価している。</p> <p>第5章では、グリーンレーザー( =527 nm)を用いた接合形成について、紫外レーザーの場合と同様にアモルファス層再結晶化過程および B の拡散挙動・電気的活性化を詳細に評価している。</p> <p>第6章では、波長の異なるレーザーによる注入イオンのアニーリング特性を比較検討している。ことに B の拡散挙動において、紫外レーザーでは、数十ナノ秒の極短時間アニーリングにもかかわらず、B の著しい増速拡散が観測されているのに対して、グリーンレーザーでは、このような増速拡散は観測されていないことを明らかにしている。また、グリーンレーザーの場合、アモルファス Si の再結晶化速度が紫外レーザーの場合と比べて遅いことも明らかにしている。そして、これらの相違の主要因がレーザー照射時における Si 基板内の温度分布の違いによることを示している。紫外レーザーでは、表面 Si 層にエネルギーが吸収されて熱歪が生じ、これを緩和するために多量の点欠陥(格子間 Si 原子)が発生し、この格子間 Si 原子が B の異常な増速拡散を引き起こしている」と結論付けている。</p> <p>第7章は結論であり、本研究の成果を要約している。</p> <p>以上要するに、本研究の成果は、微細 MOSFET におけるソース・ドレインの浅接合形成に関し、低エネルギーイオン注入における異なる波長のレーザーアニーリングを詳細に検討することにより、B の拡散挙動と点欠陥との相互関係を明らかにしたものであり、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3584号 | 氏名 | 西村 純 |
| 主論文題目：<br>A Study on Versatile Recognition using Haar-like Features<br>(Haar-like 特徴量を用いた多目的認識に関する研究)   |          |    |      |
| <p>ワイヤレス・センサーネットワークやウェアラブル・コンピューティングによるアプリケーションの実現には、複数のセンサーが組込まれた自律動作可能なセンサー端末によるユーザの行動や周囲の状況(コンテキスト)の認識が必要となる。センシング端末は供給電源などの計算資源が極めて限られるため、搭載された各種センサーから得られる画像・音・加速度等のセンサー信号を低電力に処理することが求められる。従来、各種センサー信号を用いたパターン認識手法は、それぞれの信号専用の処理を基にして開発されてきた。従って、構造的に異なる従来手法を単純に組み合わせることで、消費電力やチップ面積に無駄を生じてしまうことになる。本研究では、画像・音・加速度信号を統一的に扱うことのできる世界初の多目的認識アルゴリズムを提案する。</p> <p>第1章では、コンテキスト認識の重要性と多目的認識アルゴリズムの応用可能性について論ずる。そして、自律的にコンテキスト認識を可能にするセンシング端末の特徴について説明する。センサネットや音・画像・加速度等の各種センサー信号によるパターン認識に関するサーベイ結果と上記論議に基づき、本研究の提案内容を概説する。</p> <p>第2章では、従来画像認識分野で利用されてきた Haar-like 特徴量を音に利用するための手法を説明する。Haar-like 特徴量は、特徴パターン幅やタイプ等の学習パラメータを有するシンプルな差分フィルタである。本章では、音声・非音声識別において、高い識別率を低演算コストで実現できることを確認している。</p> <p>第3章では、3軸加速度信号を用いた行動認識において、分散値や軸間相関値といった従来の特徴抽出の考え方を、Haar-like 特徴量に組込む手法を提案する。C4.5 決定木を用いた実験により、従来の特徴量に比べ、高い認識率を低演算コストで実現できることを確認している。</p> <p>第4章では、効率的な識別器を構成するための複数の手法を説明する。本研究では、カスケード型識別器を基本構成に利用する。カスケード型識別器における前段識別器での尤度を利用して演算コストを低減するための手法として Positive Estimation を提案する。更に、前段識別器で選択された特徴量を再利用して演算量を低減する Redundant Feature Selection を提案する。また、識別器のデータサイズを低減するための手法として、従来の Fixed LUT に対し、学習時に Look-up Table(LUT)の bin 幅を動的に調整可能な Dynamic LUT を提案している。これら提案手法により、音声・非音声識別、男女識別、話者識別、感情認識、環境音認識、行動認識といった各種パターン認識問題において、従来手法と同等以上の認識精度を低演算コストで実現している。</p> <p>第5章は、本研究における提案手法の有する制約について論じ、結論と今後の展望について述べる。</p> |          |    |      |



## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3584 号 | 氏 名       | 西村 純         |
|--|------------|-----------|--------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 博士(工学) 黒田 忠広 |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 博士(工学) 斎藤 英雄 |
|  |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 石黒 仁揮 |
|  |            | 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)西村純君提出の学位請求論文は「A Study on Versatile Recognition using Haar-like Features ( Haar-like 特徴量を用いた多目的認識に関する研究 )」と題し、5章から構成されている。</p> <p>人間社会や自然環境を分析するセンサーネットワークへの関心が高まっている。センサー端末は環境に溶け込むことが重要であり、小さな電池や環境エネルギーで人々の行動や周囲の状況を自律的に認識できることが望ましい。認識のアルゴリズムは、認識の問題やセンサーの種類に応じてこれまで個別に研究されてきたために、個々に構造が異なる。それらを単純に組み合わせても、ハードウェア構成や電力消費に無駄を生じる。そこで本研究では、センサー端末のハードウェア量と電力消費を大幅に低減することを目的に、各種センサー信号に基づく様々な認識問題を統一的に扱うことのできるアルゴリズムを研究している。Haar-like 特徴量は、信号やパターンの特徴を高速に抽出できるフィルタを構成でき、主に画像認識に用いられている。本研究では、Haar-like 特徴量を音や加速度信号を用いた認識問題にも統一的に利用する手法を追究している。</p> <p>第1章は序論であり、センサー信号を用いた認識に関するこれまでの研究と課題を概説し、本研究の目的と意義を示している。</p> <p>第2章では、音や音声による認識に Haar-like 特徴量を用いることを検討している。基底周波数の正弦波を Haar-like 特徴量で表現し、畳み込み演算によってセンサー信号のスペクトラム形状の特徴を抽出している。また、畳み込み演算を間引く工夫をして演算回数を 1/10 に低減し、積分信号を利用して演算量を更に 50%削減している。</p> <p>第3章では、加速度信号による行動認識に Haar-like 特徴量を用いることを検討している。歩行と走行の識別などに信号の分散値が有効であることから、平均値埋込み型 Haar-like 特徴量を提案している。また、3軸の加速度信号から軸間の相関を抽出した2軸間 Haar-like 特徴量を用いて、平坦な道の歩行と階段の昇り降りの識別などに役立てている。</p> <p>第4章では、このように設計した弱識別器を直列接続して高性能な強識別器を構成する手法を検討している。識別器の累積尤度が十分高くなった時点で判定処理を打ち切ることにより、演算量を70%削減している。更に、共通の特徴量を各識別器に許し、前段の識別器の特徴量を後段で再利用することで、演算量を更に10%低減している。また、共通の区間数を特徴量に用いた従来のルックアップテーブルに代えて、特徴量毎に最適な区間数を学習できるようにした動的ルックアップテーブルを提案して、識別器のデータサイズを45%低減している。これらの手法を用いて、音声・非音声識別、男女識別、話者認識、感情認識、環境音認識、行動認識の問題に対して実験評価を行い、従来手法と比べて認識率を落とすことなく演算量を 1/5~1/100 に低減できることを実証している。</p> <p>第5章は本論文の結論である。Haar-like 特徴量を用いて統計学習により統一的に構成された識別器は、音や加速度信号に対する多様な認識問題において、従来よりも少ない演算量で高い認識率を実現できることを結論付けている。</p> <p>以上要するに、本論文の著者は、これまで画像認識に用いてきた Haar-like 特徴量を音と加速度信号による様々な認識問題にも用いることができるアルゴリズムを考案し、認識率を落とすことなく演算量を著しく削減しており、センサー情報工学分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> |            |           |              |

## 内容の要旨

|  |            |     |       |
|--|------------|-----|-------|
| 報告番号   | 甲 第 3585 号 | 氏 名 | 村松 眞由 |
| 主論文題目<br>微視的保存則に基づく Phase-field モデルの構築およびサブグレインからの核生成・核成長に関する静的再結晶シミュレーション   |            |     |       |
| <p>金属の材料特性を向上させるための一手法である冷間圧延では、その最終工程において焼鈍処理が施される。この処理で得られる微細組織によって金属の特性が決定されるため、その過程で起こる静的再結晶現象の数理モデルを構築し、計算力学的にその現象を精密に予測することが期待されている。</p> <p>一方、場の秩序を連続関数で記述する Phase-field モデルは、近年様々な相転移の分野で盛んに研究されており、静的再結晶を数値解析する手法としても有用である。しかしながら通常、その支配方程式は Ginzburg-Landau 形汎関数の変分によってエネルギー原理的に得られるため、いかなる保存則と等価であるかが不明であり、特に KWC 形 Phase-field 方程式における結晶方位方程式の物理学的位置づけは不十分なのが現状である。そこで本研究では、エネルギー原理と等価な保存則に基づいて Phase-field モデルを構築することを試みる。その際、基礎となる保存則は、結晶格子スケールの微視的物理量に基づいて導出する。さらに、再結晶現象はサブグレインが起点となって発現するという考えに基づき、構築した Phase-field モデルを用いてサブグレインからの核生成および核成長を同時に扱える静的再結晶計算手法を提案するとともに、本手法を用いた静的再結晶シミュレーションを実施する。</p> <p>第 1 章は緒言であり、本研究の背景、従来の研究の問題点および本研究の目的について述べる。</p> <p>第 2 章では、従来のエネルギー原理に基づく Phase-field モデルの概要を説明するとともにその導出方法について述べる。また、バルクの自由エネルギーモデルに関しても触れる。</p> <p>第 3 章では、再結晶過程にある材料を結晶格子スケールでモデル化する。本研究では、再結晶相-母相界面において、蓄積転位や熱的ゆらぎの影響で原子が安定位置に移ろうとして結晶格子が回転すると考える。このとき、両端に原子をもつ格子を格子要素としてモデル化し、その運動を現象の素過程とする。また、このような格子要素を離散的に多数含む代表体積要素を設定し、同要素の平均的物理量が連続体の物質点に付随するものとする。さらに、上述の格子要素に関する運動学について述べる。</p> <p>第 4 章では、格子要素に対する単相の保存則を代表体積要素内で加算平均し、代表体積要素を連続体の一物質点に収束させることで、単相に対する質量、運動量、角運動量およびエネルギーに対する保存則を定式化する。このとき、バルクおよび結晶格子の寸法比に基づいてオーダー評価を行い、角運動量方程式を巨視的部分と微視的部分に分離する。さらに、単相に対する保存則を複相(再結晶相と母相)にわたって和をとり、混相における保存則を導出するとともにエントロピー増大則も構築する。一方、再結晶相の体積分率で表現した質量保存則から秩序変数に対する釣合い方程式を導出するとともに角運動量方程式の微視的部分から結晶方位に対する釣合い方程式を得る。このとき、本理論では格子のスピン角運動量を考慮する場合でも応力テンソルの対称性が保たれることを指摘する。</p> <p>第 5 章では、第 4 章で得られたエントロピー増大則に基づいて相転移の非平衡熱力学体系に整合するよう秩序流束および方位流束の構成式を導出する。</p> <p>第 6 章では、第 5 章で導出した構成式を第 4 章で得た釣合い方程式に適用することで、秩序変数および結晶方位に対する基礎方程式を得る。さらに、新相の質量湧き出し項を転位の蓄積エネルギーによる自己触媒反応としてモデル化するとともに、同項と結晶方位の拡散係数を粒界エネルギー変化に同期させることで、秩序変数および結晶方位が連成した Phase-field モデルを構築する。</p> <p>第 7 章では、得られた Phase-field モデルに基づき、臨界核半径および核生成潜伏期間を考慮した核成長解析手法を構築する。その際、従来の核生成理論に基づいて、粒界エネルギーおよび転位の蓄積エネルギーから臨界核半径を導出する。さらに、本手法を用いた数値シミュレーションを実施し、サブグレインからの核生成および核成長を同時に考慮した静的再結晶解析が可能であることを示す。</p> <p>第 8 章は結言であり、本研究によって得られた知見を要約する。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3585 号 | 氏 名       | 村松 眞由       |
|--|------------|-----------|-------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 志澤 一之  |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 今井 宏明  |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 鈴木 哲也  |
|  |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 大村 亮 |
| <p>学士(工学), 修士(工学) 村松眞由君の学位請求論文は「微視的保存則に基づく Phase-field モデルの構築およびサブグレインからの核生成・核成長に関する静的再結晶シミュレーション」と題し, 8章から構成されている。</p> <p>金属材料の冷間圧延では, 最終工程で施される焼鈍処理によって金属の力学的特性が決定されるため, その過程で発生する静的再結晶現象に対する材料モデルの構築およびそれを用いた計算力学的特性予測に期待が寄せられている。一方, 場の秩序を連続関数で記述する Phase-field モデルは, 近年様々な相転移現象に応用されており, 静的再結晶現象を数値解析する手法としても有用である。しかしながら通常, その支配方程式はエネルギー汎関数の変分によって得られるため, いかなる保存則と等価であるかが不明であり, 特に KWC 形 Phase-field 方程式における結晶方位方程式の物理的位置づけは不十分なのが現状である。そこで本研究では, 結晶格子を棒要素とみなし, その運動を素過程とした微視的保存則に基づいて Phase-field モデルを構築することを試みている。また, 得られたモデルを用いてサブグレインからの核生成および核成長を同時に扱える静的再結晶計算手法を提案するとともに, 本手法を用いた静的再結晶シミュレーションを実施している。</p> <p>第 1 章は緒言であり, 本研究の背景, 従来の問題点および本研究の目的について述べている。</p> <p>第 2 章では, 従来のエネルギー原理に基づく Phase-field モデルの概要を説明している。</p> <p>第 3 章では, 両端に原子をもつ一つの棒要素(格子要素)として結晶格子をモデル化し, その挙動を素過程とする相転移の運動学について論じている。</p> <p>第 4 章では, 格子要素に対する保存則を代表体積要素内で加算平均し, 同体積要素を連続体の一物質点に収束させることで, 質量, 運動量, 角運動量, エネルギーに対する保存則およびエントロピー増大則を定式化している。このとき, バルクおよび結晶格子の寸法比に基づいてオーダー評価を行い, 角運動量方程式を巨視的部分と微視的部分に分離している。一方, 再結晶相の体積分率で表現した質量保存則から秩序変数に対する釣合い方程式を導出するとともに角運動量方程式の微視的部分から結晶方位に対する釣合い方程式を得ている。また, 本理論では格子のスピン角運動をバルクの角運動から分離しているため, 応力テンソルの対称性が常に保たれることを指摘している。</p> <p>第 5 章では, 第 4 章で得たエントロピー増大則に基づいて相転移の非平衡熱力学体系に整合するよう秩序流束および方位流束の構成式を導出している。</p> <p>第 6 章では, 前章までに導出した構成式を釣合い方程式系に適用することで, 秩序変数および結晶方位に対する基礎方程式系を得ている。さらに, 新相の質量湧き出し項を転位の蓄積エネルギーを駆動力とする自己触媒反応としてモデル化するとともに, 同項と結晶方位の拡散係数を粒界エネルギー変化に同期させることで, 秩序変数および結晶方位が連成した Phase-field モデルを構築している。</p> <p>第 7 章では, 得られたモデルに基づいて臨界核半径および核生成潜伏期間を考慮した核成長解析手法を構築している。さらに, 本手法を用いた数値シミュレーションを実施し, サブグレインからの核生成および核成長を同時に考慮した静的再結晶解析が可能であることを示している。</p> <p>第 8 章は結言であり, 得られた知見を総括している。</p> <p>以上要するに, 本研究では結晶格子スケールの微視的保存則に基づいて静的再結晶に対する Phase-field 方程式系を導出し, 結晶方位方程式が格子のスピン角運動量方程式と等価であることを見出すとともに, 得られた方程式系を用いてサブグレインからの核生成・核成長シミュレーションを同時に実施可能にしたものであり, 計算材料科学の分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> |            |           |             |

## 内容の要旨

|   |            |     |        |
|---|------------|-----|--------|
| 報告番号  | 甲 第 3599 号 | 氏 名 | 伊藤 亜莉沙 |
| 主論文題目：<br>光増感反応の経カテーテル的心房性不整脈治療への応用に関する研究   |            |     |        |
| <p>本研究の目的は、心房性不整脈に対する新しい非薬物療法として光増感反応を利用した経カテーテル的治療を提案し、治療機構を明らかにする基礎的実験をもとに、本手法に適した光増感反応条件を探索し、大型動物を用いた実験実証を通して理工学的観点からその実現可能性を検討することである。</p> <p>現行の非薬物療法である高周波カテーテルアブレーションでは、熱的な副作用が問題である。そこで本研究では、光線力学的治療 (Photodynamic therapy; PDT) として現在癌治療に臨床応用されている光化学反応における活性酸素の生成反応 (光増感反応) に注目し、その活性酸素による殺細胞機構を心筋組織の電気伝導ブロックの達成に応用することを提案した。本研究では、励起光に対する吸収係数が高く水溶性の光感受性物質であるタラポルフィンナトリウム (Talaporfin sodium) を採用し、その Q 帯励起光源として発振中心波長 663 ~ 670 nm の半導体レーザー光を用いた。in vitro 細胞実験で、タラポルフィンナトリウムの接触時間を 15 min とし、光感受性物質が細胞外に分布している状態で光増感反応を行うと、イオンチャネルおよび細胞膜の酸化障害による即時的な心筋細胞の電気伝導性消失および細胞壊死が得られることがわかった。この細胞外に光感受性物質が分布する状態を心筋組織内で得るため、in vivo 実験では投薬後から照射までのインターバル時間を数十 min 程度とした。豚心壁を対象に in vivo で心外膜側からレーザー光を照射し、短時間インターバルの光増感反応を行ったところ、厚さ 1 ~ 5 mm の心筋組織に対して即時的な電気伝導性消失および慢性組の貫壁性な組織癒着化が得られた。この実験結果から吸収されたフォトン数に対する光増感反応の心筋組織障害閾値を推定すると <math>7.0 \times 10^{17} \sim 1.5 \times 10^{19}</math> photons/cm<sup>3</sup> であり、細胞実験結果から推定した光増感反応の障害閾値 (<math>6.2 \times 10^{19}</math> photons/cm<sup>3</sup>) よりも低かった。光増感反応中の心筋組織表面温度は 48 以下、持続時間は 1 min 以内で熱作用による組織障害閾値以下であることから、得られた電気伝導性消失および組織変性は光増感反応で発生した活性酸素の酸化障害によるものと考えられる。試作したレーザーカテーテルを用いて臨床と同様な運用環境にて in vivo で経カテーテル的に短時間インターバルの光増感反応を行い、総合的な運用評価を行った。タラポルフィンナトリウム 2.5 ~ 7.5 mg/kg を豚に静脈内投与 15 min 後にカテーテル先端から心筋組織に対してレーザー光を接触照射し、一点あたり放射照射量 1 kJ/cm<sup>2</sup> にて光増感反応を行い、電気生理学的検査により電気伝導ブロックを実証した。このように経カテーテル的な運用下において、短時間インターバルの光増感反応により厚さ 1 ~ 4 mm の心筋組織に対して即時的な貫壁性の電気伝導ブロックが得られることがわかった。以上本研究では、細胞実験および動物実験を通してタラポルフィンナトリウムを用いた短時間インターバルの光増感反応を本提案手法に適用することを考案し、経カテーテル的な運用下でこの光増感反応による心筋電気伝導ブロックを実証し、心房性不整脈治療への適用可能性を示した。</p> |            |     |        |

## 論文審査の要旨

|          |            |            |        |      |
|----------|------------|------------|--------|------|
| 報告番号     | 甲 第 3599 号 | 氏 名        | 伊藤 亜莉沙 |      |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授   | 工学博士   | 荒井恒憲 |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授   | 工学博士   | 小原 實 |
|          |            | 慶應義塾大学教授   | 工学博士   | 田中敏幸 |
|          |            | 慶應義塾大学教授   | 博士(工学) | 内山孝憲 |
|          |            | 慶應義塾大学名誉教授 | 医学博士   | 小川 聡 |

学士（理学）、修士（工学）伊藤亜莉沙君提出の学位請求論文は「光増感反応の経カテーテル的心房性不整脈治療への応用に関する研究」と題し、8章より構成されている。

現行の非薬物療法である高周波カテーテルアブレーションでは、熱的な副作用が問題となっている。そこで本研究では、光線力学的治療（Photodynamic therapy; PDT）として現在癌治療に臨床応用されている光化学反応における活性酸素の生成反応（光増感反応）に注目し、その活性酸素による殺細胞機構を心筋組織の電気伝導ブロックの達成に応用することを提案した。

第1章は序論であり、本論文の目的と構成に関して述べている。

第2章は心房性不整脈の発生機序、病態、および現行の根治療法である高周波カテーテルアブレーション治療とその副作用に関して述べている。

第3章は光増感反応による癌治療法として知られる光線力学治療に関して、その発展の歴史、光感受性薬剤の特性、および癌治療の機構に関して述べている。

第4章では第2章と第3章で述べた知見を元に、心房性不整脈で最も多く、安全な治療法の開発が待望されている心房細動を治療するために、光増感反応を用いた活性酸素生成による心筋電気伝導ブロック治療を着想し、この応用に適用するような光増感反応のデザインを提案した。

第5章では、*in vitro*細胞実験系において、心筋細胞に対する殺細胞効果と光増感反応の各パラメータとの関係、心筋細胞内の光感受性物質分布、および共焦点レーザー顕微鏡を用いた細胞内Ca<sup>2+</sup>濃度計測を通して即時的、永続的な電気伝導遮断機構を明らかにした。

第6章では、大型実験動物を用いて、心臓外側より心筋組織に*in vivo*でレーザー照射を行って光増感反応を起こし、熱作用を伴わない即時的・永続的な電気伝導ブロックが得られることを実証した。

第7章では、心腔内からレーザー照射が行える操作性のあるレーザーカテーテルを試作し、大型実験動物に対するカテーテルインターベンション下で、心房粗動のカテーテルアブレーション治療に対応する右心房内のモデルに対して、両側性の完全な電気伝導遮断を実現した。

第8章は結論であり、各章を総括するとともに、本提案手法と現行法である高周波カテーテルアブレーションを比較し、その有効性と今後の展開法を論じている。

以上要するに、本論文は、熱副作用が問題であった現行の高周波アブレーションカテーテルの課題を克服するために、従来癌治療法として用いられていた光増感反応を心筋電気伝導の遮断に応用することを着想し、心筋電気伝導ブロック治療に求められる即時性・永続性を満足することを*in vitro*での機構解明および基礎的な組織レベルの*in vivo*実験より明らかにした。さらに、カテーテルインターベンション模擬治療を*in vivo*大型動物で実現し、提案手法によって両側性の完全な電気伝導遮断が作成できることを実証した。本研究は、循環器医学・医工学の分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

# Thesis Abstract

|  |               |      |                       |
|--|---------------|------|-----------------------|
| Registration Number  | “KOU” No.3600 | Name | Hazelbeck, Gregory J. |
| Thesis Title   |               |      |                       |
| <b>Computer-assisted Japanese Language Learning with<br/>Natural Language Processing Technologies</b>  |               |      |                       |
| <p>Natural language processing (NLP) technologies have many important applications in a wide range of fields and computer-assisted language learning (CALL) is no exception. This thesis proposes new methods of applying NLP technologies in systems that facilitate learning and teaching Japanese as a foreign language.</p> <p>First, a system that assists learners of Japanese with their study of vocabulary is presented. Although there have been many systems developed for studying Japanese vocabulary, few have supported exercises that enable learners to study the usage of a word. This system automatically generates exercises that are based on example sentences, enabling the learner to study not only the meaning and pronunciation of the word, but also the usage. A readability formula that was developed specifically for the system is used to select the example sentences for the exercises. This prevents the system from using a difficult example sentence when the learner is just beginning to study a new word. All example sentences are automatically extracted from the Internet using technologies originally developed for search engines. This is the first system for Japanese vocabulary that uses such technologies to integrate example sentences from the Internet into its exercises. These technologies enable the system to maintain a corpus of example sentences which is constantly being updated. This ensures that learners are exposed to the latest usage examples of the words they are studying. The coverage of this corpus was compared with the coverage of a sample of the Balanced Corpus of Contemporary Written Japanese (BCCWJ). Results showed that while the BCCWJ had better word coverage, this corpus still covered a majority (96.1%) of the target vocabulary words. Evaluations of the readability formula also show that it performs well, especially when sentences contain the system's target set of vocabulary words.</p> <p>The second system presented in this thesis assists Japanese-language teachers with the creation of electronic reading materials which contain glosses. Although there are other systems that generate glossed reading materials automatically for Japanese learners, this is the only system that specifically aids teachers with the labor intensive task of creating these materials. Furthermore, other systems only generate glosses for content words and a few types of function words. This system uses a new hybrid method to identify functional expressions and conjugations, enabling it to generate glosses for content words and many types of function words. Experiments on the performance and coverage of this hybrid method show that it covers more functional expressions and conjugations than previous methods while maintaining good performance. Work on gloss generation for function words in this thesis constitutes the first in-depth investigation in this area as research on previous systems did not address this issue.</p> <p>This thesis shows that applying NLP technologies in CALL can significantly enhance both the learning and teaching experience. These technologies not only provide learners with more comprehensive resources and efficient ways to study, but also give teachers better tools to use for class. Thus, the entire field of CALL stands to benefit greatly from future advances in NLP technologies.</p> |               |      |                       |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |                    |
|----------|------------|-----------|--------------------|
| 報告番号     | 甲 第 3600 号 | 氏 名       | Hazelbeck, Gregory |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学准教授 | 工学博士 斎藤 博昭         |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 天野 英晴         |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 高田 眞吾       |
|          |            | 慶應義塾大学教授  | Ph.D. 小原 京子        |

学士(工学)、修士(工学)ヘーゼルベック・グレゴリー君提出の学位請求論文は「Computer-Assisted Japanese Language Learning with Natural Language Processing Technologies (自然言語処理の技術を利用した日本語学習支援システムの開発)」と題し、全6章からなる。本研究は、自然言語処理の技術を応用し、日本語を学習する外国人ならびに日本語教育者のための新たな支援方法を提示し、それを実用的なシステムとして構築し、その有効性を検証したものである。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、コンピュータを使った言語学習の変遷と自然言語処理がそこで果たしてきた役割を過去の研究史とともに述べている。

第3章では、日本語単語の学習を支援するシステムについて詳述している。このシステムにおいては、従来の多くのシステムがそうであったような単語の読み方にとどまらず、その単語が実際にどのように使われるかの学習も可能にするものとなっている。これを、当該単語が実際に使われている例文をインターネットから取得し、その学習者にふさわしいものを選び、提示することで実現している。例文の難易度は、独自に開発した文の難易度算出式に基づいて行われ、学習者のレベルにあったものが選出されるようになっている。評価実験として、日本語能力試験で要求されている単語の出現率をインターネットから収集した例文コーパスと約一億語からなる現代日本語書き言葉均衡コーパスとで比較したところ、後者が99.4%の単語をカバーしていた一方、分量では劣る前者でも96.1%をカバーしていた。このシステムの最大の功績は、インターネットという拡大し続ける資源から言語教育用の教材を生成する有効な一手法を提示したことにある。

第4章では、第3章で述べた手法をインターネット上で公開したTangoNETというシステムについて述べている。TangoNETは、学習者への次単語の推薦機能、ウェブサイトや文書種類の指定機能など、学習者からの要望を取り入れたものとなっており、すでに2年間ほど安定して運用されている。

第5章では、言語教育者のために教材文書に注釈を付与するシステムについて詳述している。従来のシステムでは、注釈付与は内容語に対して行われていたが、提案システムでは、「何々しななければならない」や「といいながら」といった機能表現と活用形を含めている。このシステムでは、機械学習と定形マッチングのハイブリッド手法が開発された。数百種類もの機能表現を扱える日本語教育者のための注釈付与支援システムは初めてのものである。さらに、システムの使い勝手を良くするためのさまざまな工夫がこらされており、実際に慶應義塾で日本語教育に携わっている教員に使ってもらい、有用との評価を得ている。

第6章では、提案手法およびシステムの新規性と有効性についてまとめるとともに、今後の展望を述べている。

以上、本研究は、自然言語処理技術を積極的に言語学習に取り入れることで、学習者に対しても教育者に対しても新たな言語学習法の可能性が開けることをシステム製作を通じて具体的に示したものとなっており、本研究の成果は工学上寄与するところが少なくない。また、これらの成果は著者が自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力、並びにその基礎となる豊かな学識を有することを示したといえる。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|   |          |    |      |
|---|----------|----|------|
| 報告番号  | 甲 第3061号 | 氏名 | 佐藤 勲 |
| 主論文題目：<br><br>2カメラFG呼吸モニタリングシステムを用いた呼吸運動計測及びその応用  |          |    |      |
| <p>近年、睡眠時無呼吸症候群が広く知られたことから、睡眠中の呼吸障害の診断に関心が寄せられている。従来より病院内においては、ポリソムノグラフなどの接触型の測定装置を用いて、就寝者の呼吸測定が行われてきた。しかしながら、これらの接触型の測定装置では、種々のセンサを直接患者に取り付ける必要があるため、センサの装着の煩わしさから睡眠が妨げられることや、センサが外れて計測が中断する場合があった。そのため、被験者を拘束せずに自然な呼吸を計測することができる非接触の呼吸モニタリング装置の開発が望まれてきた。非接触・無侵襲な呼吸モニタリング手法として、ファイバグレーティング(Fiber Grating)視覚センサ(以下、FG視覚センサ)と呼ばれる光学的三次元視覚センサを用いたものが提案されている。しかしながら、1台のCCDカメラを有するFG視覚センサを用いた測定においては、輝点投影機とCCDカメラの基線長によって測定のダイナミックレンジが決定されるため、呼吸運動と身体外形両方の測定を行うことはできず、呼吸運動による体積変動量を定量的に求めること、及び呼吸運動が発生している部位を特定することが困難であった。そこで本論文では、基線長の異なる2台のCCDカメラを用いた2カメラFG視覚センサを用いることで、呼吸運動による体積変動量を定量的に求めるとともに仮想的に表示された身体上に呼吸運動を表示する方法を提案する。また、部位ごとに同定された体積変動量に基づいたデータ解析によって、呼吸機能障害のスクリーニングを行う手法を提案し、医学的な応用可能性について検討する。</p> <p>第1章では、まず研究背景として、人の健康状態と呼吸の関係について述べる。そして、呼吸運動が起きている箇所を特定し、解析を行うことが医学的に有用であることについて述べ、本研究の目的を明示する。</p> <p>第2章では、先行研究について概説する。現在、一般的に使用されているポリソムノグラフなどの接触型の呼吸測定方法と、国内外における非接触型の呼吸測定方法に関する研究動向について概説する。</p> <p>第3章では、まず、システム概要の説明とFG視覚センサの原理を述べる。また、提案手法の詳細を述べる。提案手法では、2台のCCDカメラで撮影した輝点画像から、各輝点の三次元座標系における変位量を求め、それぞれの情報を対応付けることにより、身体外形と呼吸運動量を同時に算出し、呼吸運動による体積変動量を定量的に導出する。また、算出された身体外形と呼吸運動に基づいて、仮想的に表示された身体上に呼吸運動を表示する。さらに、睡眠時無呼吸症候群や慢性閉塞性肺疾患のスクリーニングを行う方法について述べる。</p> <p>第4章では、本手法の有効性を検証するために、実験を行い考察する。まず、本手法により測定された呼吸運動に基づく体積変動量の定量性を確認するため、従来の呼吸測定装置であるスパイロメータとの比較実験による検証を行い、高い相関性があることを確認する。そして、身体上の部位ごとに導出された体積変動量を解析し、睡眠時無呼吸症候群や慢性閉塞性肺疾患のスクリーニングが可能であることを示す。</p> <p>第5章では、本論文の結論を述べ、今後の課題と展望を示す。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> |          |    |      |



## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3061 号 | 氏 名       | 佐藤 勲         |
|--|------------|-----------|--------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学准教授 | 博士（工学） 青木 義満 |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 池原 雅章   |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 岡田 英史   |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 田中 敏幸   |
| <p>学士（工学）、修士（工学）佐藤勲君提出の学位請求論文は、「2カメラFG呼吸モニタリングシステムを用いた呼吸運動計測及びその応用」と題し、5章から構成されている。</p> <p>近年、睡眠時無呼吸症候群が広く知られたことから、睡眠中の呼吸障害の診断に関心が寄せられている。従来はポリソムノグラフなどの接触型の測定装置を用いて、就寝者の呼吸測定が行われてきた。しかしながら、これら接触型の測定装置では、センサを患者の身体に取り付けるため、睡眠が妨げられたり、センサが外れて計測が中断する等の問題があり、被験者を拘束せずに呼吸計測が可能な非接触の呼吸モニタリング装置の開発が望まれてきた。非接触・無侵襲な呼吸モニタリング手法として、ファイバークレーティング(Fiber Grating:FG)視覚センサと呼ばれる光学的三次元視覚センサを用いたものが提案されている。しかしながら、1台のCCDカメラを有するFG視覚センサを用いた測定においては、輝点投影機とCCDカメラの基線長によって測定のダイナミックレンジが決定されるため、呼吸運動と身体外形両方の測定を行うことはできず、呼吸運動による体積変動量を定量的に求めること、及び呼吸運動が発生している部位を特定することが困難であった。本論文では、基線長の異なる2台のCCDカメラを用いた2カメラFG視覚センサを用いることで、呼吸運動による体積変動量を定量的に求めるとともに、仮想的に表示された身体上に呼吸運動を表示する方法を提案している。また、部位ごとに同定された体積変動量に基づいたデータ解析によって、呼吸機能障害のスクリーニングを行う手法を提案し、医学的な応用可能性について検討している。</p> <p>第1章では、研究背景として、人の健康状態と呼吸の関係について述べている。また、呼吸運動が起きている箇所を特定し、呼吸運動解析を行うことが医学的に有用であることについて述べた上で、本研究の目的を明示している。</p> <p>第2章では、先行研究について概説している。現在、一般的に使用されている接触型の呼吸測定方法と、国内外における非接触型の呼吸測定方法に関する研究動向について述べ、本研究の位置付けを示している。</p> <p>第3章では、システムの概要とFG視覚センサの基本原理を述べ、提案手法の詳細を述べている。提案手法では、2台のCCDカメラで撮影した輝点画像から、各輝点の三次元的な変位量を求め、画像間の輝点情報を対応付けることにより、身体外形と呼吸運動量を同時に算出し、呼吸運動による体積変動量を定量的に計測している。また、算出された身体外形と呼吸運動に基づいて、仮想的に表示された身体上に呼吸運動を表示している。さらに、睡眠時無呼吸症候群や慢性閉塞性肺疾患のスクリーニングを行う方法を提案している。</p> <p>第4章では、提案手法の有効性を検証するための実験を行い、結果を示した上で評価及び考察をしている。まず、提案手法により測定された呼吸運動に基づく体積変動量の定量性を確認するため、従来の呼吸測定装置であるスパイロメータとの比較実験による検証を行い、両者に高い相関性があることを確認している。そして、身体上の部位ごとに導出された体積変動量を解析し、睡眠時無呼吸症候群や慢性閉塞性肺疾患のスクリーニングが可能であることを示している。</p> <p>第5章では、論文全体の結論を述べるとともに、今後の課題と展望を示している。</p> <p>以上要するに、2カメラFG呼吸モニタリングシステムを用い、呼吸運動による体積変動量を定量的に求めるとともに、身体部位ごとに同定された体積変動量に基づいたデータ解析手法によって、呼吸機能障害のスクリーニングが可能となることを理論的、実験的に示したもので、画像工学分野、医用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。</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> |            |           |              |

# 主 論 文 要 旨

|   |            |     |       |
|---|------------|-----|-------|
| 報告番号  | 甲 第 3602 号 | 氏 名 | 大西 幸周 |
| 主 論 文 題 目：<br>Trees and Factors with Bounded Total Excess<br>(超過数を制限した木および因子)   |            |     |       |
| (内容の要旨)<br>グラフ理論において、ハミルトン閉路は最もよく研究されてきた対象のひとつである。グラフがハミルトン閉路を含むための十分条件は数多く知られているが、その中に Chvátal(1973) が提唱したタフネスという概念に関するものがある。グラフ $G - S$ の連結成分数を $\omega(G - S)$ で表すとき、 $\omega(G - S) \geq 2$ を満たす任意の集合 $S \subseteq V(G)$ について、 $t \cdot \omega(G - S) \leq  S $ が成り立つならば、 $G$ は $t$ -tough であると定義する。ハミルトン閉路を含むグラフが 1-tough であることは簡単に示せるが、Chvátal は逆に、任意の $t_0$ -tough グラフがハミルトン閉路を持つといえるある定数 $t_0$ が存在すると予想した。この予想の真偽は未だ示されていない。<br>$k \geq 3$ のとき、グラフが $k$ -tree を含むためのタフネスに関する十分条件は知られている。ここで言う $k$ -tree とは、最大次数が高々 $k$ の全域木のことである。グラフが $k$ -tree を含むことは、ハミルトン性のある意味での緩和である。Win は 1989 年に、 $V(G)$ の任意の部分集合 $S$ について $\omega(G - S) \leq (k - 2) S  + 2$ を満たす連結グラフ $G$ が $k$ -tree を含むことを示した。<br>本論文では、グラフが種々の全域連結部分グラフを含むためのタフネスに基づいた条件について考え、より詳細な構造に関する研究を行う。このために、超過数という概念を導入する。<br>第 2 章では、全域木の超過数について議論する。連結グラフの全域木 $T$ において、頂点 $v$ の $k$ 超過を $\max\{0, \deg_T(v) - k\}$ と定義する。総 $k$ 超過 は全頂点における $k$ 超過の総和である。この章では、先に述べた Win の定理の一般化として、総 $k$ 超過を制限した全域木がグラフに含まれるための十分条件を与える。<br>第 3 章では、再び全域木の超過数について議論する。ここでは特に、 $t$ を固定し $t$ -tough グラフを考える。第 2 章の結果を用いると、任意の整数 $k \geq 3$ について、 $k$ 、 $t$ 及び $ V(G) $ に依存した上界で総 $k$ 超過を制限した全域木を得ることができる。本章ではそれら複数の全域木の関係について議論し、その結果として、すべての $k$ の値に対して総 $k$ 超過 を抑えたある全域木の存在を示す。<br>第 4 章では、全域連結部分グラフを得るためのさらに一般的な問題について議論する。最初に $G$ の全域非連結部分グラフ $F$ と、どの $v \in V(G)$ についても $\omega(v) \geq \deg_F(v)$ であるような整数値関数 $\omega$ が与えられているとする。この章では、 $F$ に辺を加えて作る、総 ' $\omega$ 超過' を定数で抑えた全域連結部分グラフが存在するための十分条件を与える。<br>第 5 章では、全域閉歩道の議論を行う。 $k$ -walk とは全ての頂点を高々 $k$ 回訪れる全域閉歩道である。全域閉歩道の総 $k$ 超過も全域木のそれと同じように定義できる。第 2 章で得られた結果を用いると、 $k \geq 3$ のとき、グラフが総 $k$ 超過を制限した全域閉歩道を含むためのタフネス的条件が直ちに得られる。この章では総 2 超過を制限した全域閉歩道についても結果を与える。 |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号     | 甲 第 3602 号 | 氏 名       | 大西 幸周        |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 理学博士 太田 克弘   |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 理学博士 田村 明久   |
|          |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 萩原 将文   |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(理学) 小田 芳彰 |

学士（環境情報学）、修士（理学）大西幸周君の学位請求論文は、「Trees and Factors with Bounded Total Excess（超過数を制限した木および因子）」と題し、全5章よりなる。

グラフにおいて、すべての頂点をちょうど1度ずつ通る閉路やパスは、ハミルトン閉路、ハミルトンパスと呼ばれ、最も盛んに研究されている対象のひとつである。グラフがハミルトン閉路やハミルトンパスを含むかどうかの判定はNP完全で、理論的にもそれらが存在するための意味のある必要十分条件を見つけるのは非常に困難である。グラフのハミルトン性と密接に関連する不変量として Chvátal(1973)によって導入されたタフネスの概念がある。グラフ  $G$  から頂点集合  $S$  を取り除いてできるグラフ  $G - S$  の連結成分数を  $(G - S)$  で表すとき、すべての切断頂点集合  $S$  に対して  $|S|/(G - S)$  が  $t$  以上となるとき、グラフ  $G$  を  $t$ -tough であるという。ハミルトン閉路を含む任意のグラフは  $1$ -tough であることが容易にわかるが、Chvátal は逆に十分に大きなある定数以上のタフネスをもつグラフはハミルトン閉路を持つだろうと予想した。この予想はグラフのハミルトン性に関する最も大きな未解決問題の一つである。

ハミルトンパスの概念の一般化として、最大次数を制限した全域木の概念がある。Win(1989)は、 $1/(k-2)$ -tough である任意のグラフに最大次数が  $k$  以下の全域木が存在することを示した。本論文は、この結果を出発点として、単に最大次数を制限するのではなく、ある次数からの超過分を考慮した全域木やそれに類する構造について研究を行い、そのような構造が存在するためのタフネスに基づいた十分条件を与えている。

序論である第1章で、以降の議論で必要となる基礎的な概念の定義を与えるとともにも本研究の背景および概要について述べたのち、第2章では全域木の超過数について議論している。連結グラフのある全域木において、次数  $k$  からの超過の全頂点にわたる総和である総  $k$ -超過の概念を導入している。この章では、先に述べた Win の定理の一般化として、総  $k$ -超過を制限した全域木の存在に関して、タフネスに基づいた十分条件を与えている。

第3章では、与えられたタフネスにおいて、どのような全域木が存在しうるかについての結果を与えている。まず第2章の結果を用いて、与えられた  $k$  と  $t$  に対し、 $t$ -tough グラフが含む全域木の総  $k$ -超過を、グラフの頂点数に依存した関数で抑えた結果を導いている。本章ではさらに、各  $k$  について得られる全域木の関係について議論し、結果として、すべての  $k$  の値に対して総  $k$ -超過を抑えたある全域木の存在を示している。

第4章では、連結な全域部分グラフを得るためのさらに一般的な問題について議論している。始めに非連結な全域部分グラフが与えられ、それに辺を加えて得られる全域連結部分グラフについて考える。加えた辺による次数の増分に着目し、それが頂点ごとに予め与えられた増分を超えた値の総和である総超過を抑えられた全域連結部分グラフが存在するための十分条件を与えている。

第5章では、全域閉歩道の超過数について議論している。各頂点を訪れる回数に着目すると、全域閉歩道にも総  $k$ -超過の概念を導入することができる。 $k$  が3以上のときは、全域木の結果を用いて総  $k$ -超過を制限した全域閉歩道が存在するためのタフネスに基づいた十分条件が得られるが、本章では、総  $2$ -超過を制限した全域閉歩道の存在についても結果を与えている。

以上、本研究は、グラフにおける次数制約のついた全域木や連結な全域部分グラフの存在に関して、超過数の概念を導入することにより、既存の結果を拡張する幾つかの重要な定理を示している。とくにタフネスに基づいた十分条件に関する研究は Chvátal 予想とも関連して重要であり、グラフ理論に貢献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 3603 号 | 氏 名 | 福井 隆太 |
| 主 論 文 題 目：<br>疎水性室温イオン液体中における金属電析反応機構に関する研究  |            |     |       |
| <p>本論文では, bis(trifluoromethylsulfonyl)amide (TFSA<sup>-</sup>) をアニオンとする TFSA<sup>-</sup> 系イオン液体が, 広い電位窓, 難燃性, 難揮発性, 疎水性を有することに着目し, 金属電析の電解液に応用することを目的として, TFSA<sup>-</sup> 系イオン液体中での様々な金属の電析反応の解析を行った。金属電析の電解液としては水溶液, あるいは有機電解液が用いられるが, 水溶液は電位窓が狭く電析が可能な金属に限りがあること, また有機電解液は可燃性であることが多く安全性に問題があることから, これらの電解液と比較してイオン液体が電析用電解液として有望であると考えられる。イオン液体中での金属電析に関する報告例は多いが, 基礎的な検討例は少なく, 特に電気二重層の構造や金属イオン種の配位環境の反応との関連について検討したものは非常に少ない。</p> <p>第 1 章では, 本研究の背景および目的について述べ, 全体の構成について説明した。</p> <p>第 2 章では, TFSA<sup>-</sup> 系イオン液体中でのコバルトの電析について, 添加剤を加えた際の電析反応への影響について検討した。添加剤が電極表面に吸着することで電気二重層の構造が変化し, 電析の過電圧が変化すること, また配位環境の変化によっても過電圧が影響を受けることを明らかにした。</p> <p>第 3 章では, カチオンの異なる 4 種類のイオン液体を用いてコバルトの電析について検討した。異なるカチオンを用いた場合に電気二重層を構成するイオン種が変化し, それによって電析反応の電位が大きく変化することを明らかにした。</p> <p>第 4 章では, TFSA<sup>-</sup> 系イオン液体中での銀の電析における電位の影響について検討した。電析時の印加電位に依存して電気二重層を構成するイオン種が変化し, 表面形態や電析初期の核生成・成長過程がその影響を受けることを明らかにした。</p> <p>第 5 章では, イオン液体中での電析による金属ナノ粒子の作製について検討した。イオン液体中では, 分散安定剤などの添加剤を用いることなく銀およびコバルトのナノ粒子が電析により作製可能であることを示し, また銀ナノ粒子のサイズや生成量が使用するイオン液体により変化することを明らかにした。</p> <p>第 6 章では, これまでにイオン液体中での検討例がほとんどなかった鉛の電析反応について検討した。鉛の電析が可能であること, また電析反応の式量電位, 反応種の拡散係数などを明らかにした。</p> <p>第 7 章では, これまでにイオン液体中での報告例がないネオジムの電析について, TFSA<sup>-</sup> 系イオン液体を用いて検討した。ネオジムの基礎的な酸化還元挙動, ならびに Nd<sup>3+</sup> を電気化学的に還元することで, 元素としてネオジムを含む析出物が得られることを示した。</p> <p>第 8 章では, 本研究の内容を総括するとともに, 今後の課題と展望について示した。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3603 号 | 氏 名        | 福井 隆太        |
|--|------------|------------|--------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学准教授  | 博士（工学） 片山 靖  |
|  | 副査         | 慶應義塾大学専任講師 | 博士（農学） 奥田 知明 |
|  |            | 慶應義塾大学教授   | 工学博士 今井 宏明   |
|  |            | 慶應義塾大学教授   | 博士（工学） 栄長 泰明 |
| <p>学士（工学）・修士（工学）福井隆太君の学位請求論文は「疎水性室温イオン液体中における金属電析反応機構に関する研究」と題し、8章から構成される。</p> <p>難燃性、難揮発性、疎水性など様々な特徴をもつ bis(trifluoromethylsulfonyl)amide (TFSA<sup>-</sup>)をアニオンとするイオン液体を、金属電析の電解液に応用することを目的として、このイオン液体中におけるコバルト、銀、鉛などの金属の電析反応の解析を行っている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景と目的をまとめ、本論文の構成について述べている。</p> <p>第2章では、TFSA<sup>-</sup>系イオン液体中におけるコバルトの析出反応に対する添加剤の影響について検討している。コバルトイオンに対する配位能が高い添加剤では、コバルトイオンの配位環境が変化することで析出反応が促進されることを見出している。また、コバルトイオンに対する配位能が低い添加剤では、電極および析出物表面への添加剤の吸着が析出形態や反応速度に影響を与えることを明らかにしている。</p> <p>第3章では、カチオンが異なる TFSA<sup>-</sup>系イオン液体中におけるコバルトの析出反応について検討している。コバルトの定常的な析出電位が、イオン液体のカチオンの種類に依存することを見出し、電気二重層を構成するカチオンの構造と反応速度との相関について考察している。</p> <p>第4章では、いくつかのイオン液体中において銀の析出形態に対する析出電位の影響について検討している。TFSA<sup>-</sup>系イオン液体中において、銀・銀イオンの平衡電位付近では、拡散律速下において粒状の析出物が得られるが、平衡電位よりも析出電位を大幅に負にすると、同様に拡散律速下であるにもかかわらず、樹枝状の析出物が得られることを見出している。電析初期過程の核発生・成長の解析から、負の電位域では、電極表面のカチオンによる被覆率が高くなり、銀の核成長が核発生よりも相対的に速くなることによってこのような析出形態の変化が起こったと推論している。</p> <p>第5章では、TFSA<sup>-</sup>系イオン液体中における金属ナノ粒子の生成について検討している。銀およびコバルトの電析において、析出電位を負にするとそれらの金属は電極表面に電着せず、イオン液体中にナノ粒子として分散することを見出している。負の電位域では電極表面が嵩高いイオン液体のカチオンによって覆われ、還元された金属原子の電極表面への吸着が阻害され、ナノ粒子としてイオン液体中に分散すると推論している。</p> <p>第6章では、TFSA<sup>-</sup>系イオン液体中における鉛の電析について検討している。鉛は、銀やスズと同様に電析の反応速度が速く、平衡電位付近では粒状の析出物が得られることを見出している。また、より負の電位で析出させることによって表面形態が変化することを確認し、第4章で銀析出に対して検討したモデルが、鉛析出にも適用できることを明らかにしている。</p> <p>第7章では、TFSA<sup>-</sup>系イオン液体中におけるネオジムイオンの電気化学的還元反応について検討している。三価のネオジムイオンが少なくとも二段階の過程を経て還元されること、定電位陰極還元によって電極表面上にネオジウムを含む析出物が得られることを見出している。</p> <p>第8章では、以上の結果を総括して、本論文の成果をまとめている。</p> <p>以上、要するに本論文は、イオン液体中における金属の析出反応について数多くの新たな知見を見出しており、イオン液体の工学的応用に対して寄与するところが大きい。</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3604号 | 氏名 | 清水 浩平 |
| 主論文題目：<br>言葉の印象の自動推定に関する研究  |          |    |       |
| <p>本論文では、言葉の印象をコンピュータで自動推定する研究について述べる。言葉の印象とは、例えば「花」は「美しい」、「花が枯れる」と「寂しい」のように、人が事物から汲み取れる多彩なイメージを表す。こうした印象をコンピュータが理解できれば、それは、感情に踏み込んだ対話システムや、感性・感覚的な言葉に基づくテキスト、または画像検索の実現に繋がると期待される。とくに近年は、人とのやり取りを前提としたロボットブームの到来や、コンピュータの大衆化に伴い、この分野への需要は高まりつつある。</p> <p>印象理解に関する従来からの研究では、「良い」か「悪い」かの2値的な感情値を対象とするものが多かった。しかし、近年では、より多彩な言語理解を実現したいという理念から、「冷たさ」「美しさ」といった知覚・感覚に基づく印象理解も求められるようになった。そこで本論文では、感情だけでなく、知覚・感覚も含めた印象に着目し、これを自動で推定するシステムの提案を行う。本論文は4章より構成される。</p> <p>1章では、言語研究に関する歴史的な背景について述べ、本研究の位置付けと狙いについて示す。</p> <p>2章では、形容詞と名詞を対象とする印象推定システムについて述べる。提案システムは、1.共起頻度の測定,2.電気回路モデルによる印象の数量化,という2つのフェーズから成る。1.では「明るく美しい」「美しい花」といった特殊な形態による単語の共起頻度をWeb検索エンジンから取得する。2.では、1.で得られた共起頻度に基づく電気回路モデルを構成する。この電気回路上での電圧を測定することで、各単語の印象を数値的に得ることが可能である。実験では、システムの出力と人手による印象判断との比較を行った。その結果、平均で+0.7以上の相関が得られた。</p> <p>3章では、名詞と動詞の組合せに対する印象の自動推定システムについて述べる。ここで扱う印象は、「太陽が輝く」と「眩しい」、「ゴミが減る」と「綺麗」のように、動詞自体が固有に印象を発現する場合や、先行する名詞に依存して印象を変化させるものなど、動詞の多彩な作用に焦点をあてている。この視点による印象を推定するため、提案法では1.形容詞空間,2.名詞印象,3.動詞印象という3種の言語統計値を導入する。このうち、1.は「明るい」「暗い」といった対極関係にある形容詞を、2.では「太陽」は「明るい」といった、名詞の普遍的な性質を、3.では動詞が名詞と組合さった際に生じる印象を扱う。上記の統計値は、大規模コーパスから計11種類の特殊な形態の共起頻度を測定することで獲得される。実験では、提案システムの出力を5段階で評価した。結果として、全出力の約65%について4以上の評価値が得られた。</p> <p>4章は結論であり、本論文で得られた成果と今後の課題についてまとめる。</p> |          |    |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3604 号 | 氏 名       | 清水 浩平      |
|--|------------|-----------|------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 萩原 将文 |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 岡田 謙一 |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 山口 高平 |
|  |            | 慶應義塾大学准教授 | 工学博士 斎藤 博昭 |
| <p>学士（工学）修士（工学）清水浩平君提出の学位請求論文は、「言葉の印象の自動推定に関する研究」と題し、4章より構成されている。</p> <p>Web や自然言語処理の発展に伴い、文章や言葉の有する深い意味を推定する技術が重要になっている。本論文は、言葉の印象をコンピュータで自動的に推定する研究について述べたものである。言葉の印象とは、例えば「花」は「美しい」、「花が枯れる」と「寂しい」のように、人が事物から汲み取れる多彩なイメージを表す。こうした印象をシステムが理解できれば、感情に踏み込んだ対話システムやロボット、感性・感覚的な言葉に基づくテキストや画像をはじめとするマルチメディア検索など、多くのアプリケーションの実現に大きく貢献する。本論文では感情のみでなく、知覚・感覚も含めた言葉の印象に着目し、これを自動推定するシステムの提案を行っている。</p> <p>各章の内容は次の通りである。</p> <p>第1章では、言語に関する研究を概観し、本研究の位置付けについて説明している。</p> <p>第2章では、形容詞と名詞を対象とする印象推定システムについて述べている。本システムは共起頻度の測定と、電気回路モデルによる印象の数量化という2つのフェーズからなる。共起頻度の測定では、「明るく美しい」、「美しい花」といった特殊な形態による単語の共起頻度を Web 検索エンジンから取得する。次の電気回路モデルによる印象の数量化では、得られた共起頻度に基づく電気回路モデルを構成する。この電気回路上での電圧を測定することで、各単語の印象を数値的に得ることが可能となっている。実験では、システムの出力と人手による印象判断との比較を行い、平均で+0.7以上の相関が得られている。</p> <p>第3章では、名詞と動詞の組合せに対する印象の自動推定システムについて述べている。ここで扱う印象は、「太陽が輝く」と「眩しい」、「ゴミが減る」と「綺麗」のように、動詞自体が固有に印象を発現する場合や、先行する名詞に依存して印象を変化させるものなど、動詞の多彩な作用に焦点をあてたものである。この視点による印象を推定するため、形容詞空間、名詞印象、動詞印象という3種の言語統計値を導入している。ここで形容詞空間とは、「明るい」、「暗い」といった対極関係にあるような形容詞を、名詞印象は「太陽」は「明るい」といった、名詞の普遍的な性質を、動詞印象は動詞が名詞と組合された際に生じる印象を扱うものである。上記の言語統計値は、大規模コーパスから計11種類の特殊な形態の共起頻度を測定することで獲得されている。実験では提案システムの出力を5段階で評価し、全出力の約65%について4.0以上の評価値が得られている。</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課題についてまとめている。</p> <p>以上要するに本研究は、言葉の印象をコンピュータで自動推定するための新しい独創的なアルゴリズムを提案し、その有効性を確認したものである。したがって本研究の成果は、工学上、工業上寄与するところが少なくない。また、これらの成果は、著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要となる高度な研究能力、および豊かな学識があることを示したものと見える。</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 3605 号 | 氏 名 | 永島 壮 |
| 主論文題目：<br>Control of surface wettability and topography of diamond-like carbon films<br>for biomedical applications<br>(医療応用を目指したダイヤモンドライクカーボン膜表面の濡れ性および形状制御)   |            |     |      |
| <p>血管治療用インプラント材料には、優れた抗血栓性と内皮化促進機能が要求される。近年、非晶質炭素材料であるダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜がインプラント材料として注目され、血液浸漬実験や実際の動物への埋込試験から、抗血栓性や内膜肥厚抑制効果が報告されている。これらの研究は、膜の表面特性を利用したものであり、濡れ性や表面粗さ・形状等と密接に関係する。本研究では、DLC 膜の「濡れ性」および「表面 3 次元形状」に着目し、「膜表面の親水化が抗血栓性に及ぼす影響」ならびに「マイクロ～サブミクロンオーダーの表面パターンングが内皮化に及ぼす影響」をまとめている。</p> <p>第 1 章では、血管治療の現状と課題を、ステントや人工血管を例に挙げてまとめている。第 2 章では、酸素プラズマ処理による親水化 DLC 膜の作製および同表面の血小板付着・活性化抑制効果について調べている。簡便な酸素プラズマ処理により DLC 膜表面は親水化し、静的環境下でのヒト濃厚血小板液への浸漬実験では、従来の DLC に比べて血小板被覆率を約 1/10 にまで抑制できることを明らかにした。第 3 章では、Ar イオンビームを利用したポリマー基材表面の 3 次元パターンング技術を開発し、細胞培養基質として利用されているポリジメチルシロキサン (PDMS) 表面に、マイクロ～サブミクロンオーダーのランダムなヘリンボーン形状を作製した。第 4 章では、第 3 章で得られた結果を応用し、パターンング DLC 膜の作製技術を開発している。まず、平板 PDMS 表面およびストライプ形状にプレパターンングした PDMS 表面を Ar プラズマ照射し、前者ではランダムなヘリンボーン状の、後者ではストライプ形状に対し垂直に配向した規則的な波状のパターンングを作製した。そして、同 PDMS 上に DLC 膜を被覆することにより、パターンング DLC 膜を作製した。第 5 章では、第 4 章で作製した波状パターンングを有した DLC 膜の血管内皮細胞適合性ならびに細胞培養足場材としての有用性の評価結果を述べている。同 DLC 膜上で、72 時間、ヒト臍帯静脈内皮細胞 (HUVECs) を培養した結果、HUVECs は増殖し、作製した膜の非細胞毒性を明らかにした。また、HUVECs の接着挙動を詳細に観察した結果、内皮細胞の機能制御に関わる糸状仮足が、作製した波状パターンングの突起部分に選択的に接着していることを見出した。第 6 章では、DLC 膜とポリマーを融合した新規インプラント用材料の開発の現状ならびにその課題を述べている。第 7 章では、本研究成果の総括を今後の展望と共にまとめている。</p> |            |     |      |



## 論文審査の要旨

|        |            |                  |       |
|--------|------------|------------------|-------|
| 報告番号   | 甲 第 3605 号 | 氏 名              | 永島 壮  |
| 論文審査担当 | 主査         | 慶應義塾大学教授 工学博士    | 鈴木 哲也 |
|        | 副査         | 慶應義塾大学教授 工学博士    | 小茂鳥 潤 |
|        |            | 慶應義塾大学准教授 Ph.D.  | 堀田 篤  |
|        |            | 慶應義塾大学准教授 博士(工学) | 大村 亮  |

修士(工学)永島壮君提出の学位請求論文は「Control of surface wettability and topography of diamond-like carbon films for biomedical applications (医療応用を目指したダイヤモンドライクカーボン膜表面の濡れ性および形状制御)」と題し、全7章より構成されている。

血管治療用インプラント材料には、優れた抗血栓性と内皮化促進機能が要求される。近年、非晶質炭素材料であるダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜がインプラント材料として注目され、血液浸漬実験や実際の動物への埋込試験から、抗血栓性や内膜肥厚抑制効果が報告されている。これらの研究は、膜の表面特性を利用したものであり、濡れ性や表面粗さ・形状等と密接に関係する。本研究では、DLC膜の「濡れ性」および「表面3次元形状」に着目し、「膜表面の親水化が抗血栓性に及ぼす影響」ならびに「マイクロ～サブミクロンオーダーの表面パターンングが内皮化に及ぼす影響」をまとめている。

第1章では、血管治療の現状と課題を、ステントや人工血管を例に挙げてまとめている。第2章では、酸素プラズマ処理による親水化DLC膜の作製および同表面の血小板付着・活性化抑制効果について調べている。簡便な酸素プラズマ処理によりDLC膜表面は親水化し、静的環境下でのヒト濃厚血小板液への浸漬実験では、従来のDLCに比べて血小板被覆率を約1/10にまで抑制できることを明らかにした。第3章では、Arイオンビームを利用したポリマー基材表面の3次元パターンング技術を開発し、細胞培養基質として利用されているポリジメチルシロキサン(PDMS)表面に、マイクロ～サブミクロンオーダーのランダムなヘリンボーン形状を作製した。第4章では、第3章で得られた結果を応用し、パターンングDLC膜の作製技術を開発している。まず、平板PDMS表面およびストライプ形状にプレパターンングしたPDMS表面をArプラズマ照射し、前者ではランダムなヘリンボーン状の、後者ではストライプ形状に対し垂直に配向した規則的な波状のパターンングを作製した。そして、同PDMS上にDLC膜を被覆することにより、パターンングDLC膜を作製した。第5章では、第4章で作製した波状パターンングを有したDLC膜の血管内皮細胞適合性ならびに細胞培養足場材としての有用性の評価結果を述べている。同DLC膜上で、72時間、ヒト臍帯静脈内皮細胞(HUVECs)を培養した結果、HUVECsは増殖し、作製した膜の非細胞毒性を明らかにした。また、HUVECsの接着挙動を詳細に観察した結果、内皮細胞の機能制御に関わる糸状仮足が、作製した波状パターンングの突起部分に選択的に接着していることを見出した。第6章では、DLC膜とポリマーを融合した新規インプラント用材料の開発の現状ならびにその課題を述べている。第7章では、本研究成果の総括を今後の展望と共にまとめている。

以上、要するに、著者はDLC膜の「抗血栓性」や「内皮化」の概念を表面性状の観点から整理し、実際に表面処理の効果を調べるために、自ら作製した表面処理DLC膜を用いて培養実験を実施し、得られた結果をまとめている。これより、今日まで未検討または未解明であった、1)DLC膜の抗血栓性に及ぼす酸素プラズマ処理の効果、2)DLC膜を利用したパターンング材料の作製法、3)DLC膜のパターンングと内皮細胞接着の関係に新たな知見を得た。本論文の結果は工学上寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位の資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|  |          |    |       |
|--|----------|----|-------|
| 報告番号   | 甲 第3637号 | 氏名 | 宮西 智也 |
| 主論文題目：<br><br>斜方向入射励起金微粒子アレー増強局在近接場光によるナノホールパターンニング  |          |    |       |
| <p>ナノ加工の表面積拡大が出来れば、プラズモン光学素子、構造色、細胞成長ガイド、LEDの光取出し率向上、親水性・疎水性付与、表面増強ラマン散乱による生体物質検知等の様々な新分野が開拓できる。特に100～800nmの周期を持つナノ構造表面は新規表面光学デバイスへの応用が期待されている。ナノ構造作製の従来技術は真空紫外光や電子ビームを使うため、空気中でのプロセスが不可能である。近赤外光でナノ構造が作製できれば、機能デバイス作製環境の制約がなくなり、工業応用上のインパクトは非常に大きなものとなる。</p> <p>近赤外光をナノスケールへ集光する方法として、回折限界を超えた近接場光の利用がある。これまでポリスチレンやシリカ球を使用した2次元アレーの微細ナノホールパターンニングが実施され、サブミクロンスケールのパターンニングに成功している。さらなる微細周期のパターンニングのために金微粒子周囲のプラズモン近接場光を用いる研究も行なわれた。しかし、従来広く実施されてきた垂直入射励起では、隣接する金粒子間においてプラズモン結合が生じるため、加工基板に局在する光強度が減少する技術的課題があった。そこで、本論文の著者は、新しく斜方向入射励起を適用すれば、隣接粒子間のプラズモン結合を抑制し、基板との相互作用を維持できることを明らかにした。本研究は、ナノホールパターンニングを実現するため、金微粒子球アレーを斜方向励起し、その増強近接場光の特性を研究したものである。本論文は5章からなる。</p> <p>第1章は序論で、ナノ構造の応用展望と、その作製方法の現状について解説している。近接場光によるナノホールパターンニングの研究動向を述べた後、本研究の目的と意義を述べている。</p> <p>第2章では、近接場光の特性を散乱理論から説明している。次に、電磁界分布や電荷密度分布を求めるために、古典的Maxwellの方程式を有限差分時間領域法(FDTD法)で解くことについて述べている。</p> <p>第3章では、金微粒子アレーによるナノパターンニングにおいて最適な光入射方法について述べている。金微粒子を配置したSi基板に対して800nm励起光をp偏光で斜入射させると、隣接金粒子間のプラズモン結合が低下し、粒子間隔を粒子直径以上に離して配置すると、一様ナノホールパターンニングが出来ることを示した。</p> <p>第4章では、斜入射励起Si微粒子アレーによるナノパターンニングのための局在近接場光発生特性について述べている。Siは光波長領域で高い屈折率を持つため、接触状態配置のSi微粒子アレーによるパターンニングが達成できることを明らかにした。s偏光の斜入射で、金微粒子アレー系に相当する増強近接場光強度が得られた。</p> <p>第5章は、本研究の結論である。本研究により得られた成果を総括し、今後の展望について述べている。</p> |          |    |       |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |              |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 報告番号     | 甲 第 3637 号 | 氏 名       | 宮西 智也        |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 小原 實    |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 荒井 恒憲   |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 博士（工学） 津田 裕之 |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 博士（工学） 斎木 敏治 |
|          | 副査         | 慶應義塾大学准教授 | 博士（工学） 木下 岳司 |

学士（工学） 修士（工学） 宮西智也君提出の学位請求論文は「斜方向入射励起金微粒子アレー増強局在近接場光によるナノホールパターンニング」と題し、5章から構成されている。

ナノ構造表面は、プラズモン光学素子、構造色、LEDの光取出し率向上、親水性・疎水性付与、表面増強ラマン散乱による微量物質の同定等で利用できる。特に100～800nmの周期を持つナノ構造表面は新規表面光学デバイスへの応用が期待されている。近赤外フェムト秒レーザ（ $\lambda=800$ nm）による非熱的ドライプロセスでナノ構造が作製できれば、機能デバイス作製環境の制約がなくなり、「ものづくり」へのインパクトは非常に大きい。

近赤外光をナノスケール集光する方法として、回折限界を超えた増強近接場光の利用がある。微細周期のパターンニングのために金微粒子近傍のプラズモン近接場光が用いられてきたが、従来の垂直入射励起では、隣接する金微粒子間でプラズモン結合が生じるため、加工基板への集光強度が減少する技術的課題があった。そこで、本論文の著者は、新しく斜方向入射励起を適用して、隣接粒子間のプラズモン結合を抑制し、基板との強い相互作用を維持できることを明らかにした。本研究は、大面積・一様ナノホールパターンニングを実現するため、金微粒子球アレーを斜方向励起した系の増強近接場光の特性を研究したものである。

第1章は序論である。近接場光によるナノホールパターンニングの研究動向を述べた後、本研究の目的と意義を述べている。

第2章では、散乱理論から近接場光の特性を詳述している。次に、古典的Maxwellの方程式を3次元有限差分時間領域(FDTD)法で解き、近接場分布やPoyntingベクトル分布を求める計算手法について述べている。

第3章と第4章では、本研究の成果について述べている。

第3章では、金微粒子アレーによるナノパターンニングにおいて最適な光入射方法について述べている。200nm直径の金微粒子を配置したSi基板に対して800nmのレーザをp偏光で斜入射させると、隣接金微粒子間のプラズモン結合が低下し、ある間隔で配置すると一様なナノホールパターンニングが出来ることを示した。

第4章では、斜入射励起Si微粒子アレー系のナノパターンニングのための局在近接場光発生特性について述べている。Siは光波長領域で高屈折率を持つため、接触配置のSi微粒子アレー系による一様パターンニングが達成できることを明らかにした。s偏光の斜入射励起で、金微粒子系に相当する増強近接場光強度が得られた。

第5章は、本研究の結論である。本研究により得られた成果を総括し、将来展望について述べている。

以上要するに、本論文の著者は斜方向入射励起を適用して大面積・一様ナノホールパターンニングを近接場光で実現する技術基盤を開発したもので、レーザナノプロセッシングの分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|  |            |     |       |
|--|------------|-----|-------|
| 報告番号   | 甲 第 3638 号 | 氏 名 | 田中 悠人 |
| 主論文題目：<br><br>ミー散乱近接場光の空間・増強度制御によるフェムト秒レーザナノパターンニング  |            |     |       |
| <p>現在、光学、電子光学、医学、生物物理学、機械工学の分野で、簡単で高いスループットのナノプロセッシング技術が希求されている。最近、増強局在近接場光をナノアブレーションプロセッシングに用いる研究が端緒についている。近接場光の発生の基礎物理は光の散乱理論に基づくもので、その起源は 1800 年代後半に遡る。本研究は、フェムト秒レーザを用いたナノアブレーション過程において、1908 年に Gustav Mie が発表したミー散乱理論に基づいて散乱近接場光の空間・増強度制御を行うことで、近接場ナノアブレーションパターンニングのプロセスパラメータの基礎を明らかにすることを目的としている。本論文の著者は前記の目的を達成するために、励起レーザの新しいパラメータを最適化する手法、および高強度近接場光を発生する新しい散乱媒質を適用する手法を提案した。パラメータ最適化に関しては、“ナノ金属レンズ”として金属微小球を用いるプロセッシング技術において、加工基板材料の光学特性を考慮した励起レーザの波長最適化手法を提案した。一方、新しい散乱媒質に関しては、光波領域で高屈折率の誘電体微小球を用いるプロセッシング技術を提案した。更に、新しい散乱構造体としてナノホールテンプレートを使用することで、ナノ構造の新規プロセッシング技術を提案した。</p> <p>本論文は 6 章で構成されている。</p> <p>第 1 章は序論である。近接場光を利用した様々な応用研究および近接場光ナノプロセッシングの研究の動向について述べる。最後に、本研究の目的を述べる。</p> <p>第 2 章では、ミー散乱理論に基づく近接場光の発生原理とフェムト秒レーザによるアブレーションプロセッシングの原理について説明する。</p> <p>第 3 章では、金属微小球を用いた近接場光ナノホールプロセッシングにおいて、加工基板材料の屈折率を考慮した最適な波長選択による近接場光増強効果の解析結果について述べる。そして、基板表面上に金属微小球を配置した系と、高屈折率誘電体微小球を配置した系の近接場光増強特性の比較検討結果について述べる。</p> <p>第 4 章では、高屈折率の誘電体微小球を用いた系のナノホールパターンニングの結果について述べる。同じ直径の誘電体球の中で最大光増強度および最小径に近い集光径が得られる共鳴ミー散乱誘電体球を選択した。金属球の単一微小球および二次元配列微小球アレーを用いるナノホールパターンニングにおける技術的課題の解決する新規手法として、高屈折率誘電体球を使用する方法は有用であることを実証した。</p> <p>第 5 章では、近接場光を発生させる新しい散乱構造体としてナノホールテンプレートを用いて、金属のナノ突起およびナノ粒子構造を作製する技術について述べる。著者が提案した技術によって励起レーザ波長の回折限界以下の直径および周期のナノ突起アレーが大面積に一括作製できた。</p> <p>第 6 章は、本研究の結論であり、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望について述べる。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3638 号   | 氏 名    | 田中 悠人 |
|---|--------------|--------|-------|
| 論文審査担当者：  | 主査 慶應義塾大学教授  | 工学博士   | 小原 實  |
|   | 副査 慶應義塾大学教授  | 工学博士   | 荒井 恒憲 |
|   | 副査 慶應義塾大学教授  | 博士（工学） | 津田 裕之 |
|   | 副査 慶應義塾大学教授  | 博士（工学） | 斎木 敏治 |
|   | 副査 慶應義塾大学准教授 | 博士（工学） | 木下 岳司 |
| <p>学士（工学） 修士（工学）田中悠人君提出の学位請求論文は「ミー散乱近接場光の空間・増強度制御によるフェムト秒レーザナノパターニング」と題し、6章から構成されている。</p> <p>現在、電子光学（Electro-optics）、ナノ医学、生物物理学、機械工学等の分野で、簡単で高いスループットのナノプロセッシング技術が希求されている。増強近接場光によるナノアブレーションプロセッシングは簡単な光プロセッシング技術として注目されているが、当該技術のプロセスパラメータの領域は狭い。そこで、本研究はミー散乱理論に基づいて散乱近接場光の空間・増強度制御を行い、近接場ナノアブレーションパターニングのプロセスパラメータの拡大を目指した。本論文の著者は、励起レーザ波長の新しい最適化手法、および高強度近接場光を発生する新規散乱媒質の適用を提案した。励起レーザパラメータの最適化に関しては、「ナノ金属レンズ」として金属微小球を用いるナノプロセッシングにおいて加工基板材料の光学特性を考慮した最適化手法を提案した。一方、新しい散乱媒質に関しては、光波長領域で高屈折率微小球を用いるプロセッシング技術を提案した。更に、新しい散乱構造体としてナノホールテンプレートを使用することにより、ナノ突起およびナノ粒子構造を作製する新技術を提案した。</p> <p>第1章は序論である。近接場光の応用研究の動向および近接場光ナノ加工の特長について述べている。誘電体微小球および金属微小球を用いた近接場ナノパターニングの研究を「励起光パラメータを変化させる手法」および「近接場光を発生させる散乱体を変化させる手法」の観点から述べている。</p> <p>第2章では、ミー散乱理論に基づく近接場光の発生原理とフェムト秒レーザによるアブレーションプロセッシングの原理について説明している。ミー散乱理論によって様々な材料の微小球で発生する近接場光の増強度および強度分布を励振モードによって数値解析することが出来た。</p> <p>第3章では、金属球と高屈折率誘電体球による加工基板表面での増強近接場光の解析結果を述べている。金属微小球について、加工基板材料の屈折率を考慮した最適な励起波長の選択手法について述べている。さらに、金属微小球と高屈折率微小球での近接場光増強特性の比較検討結果について述べている。</p> <p>第4章では、高屈折率誘電体微小球を用いた系のナノホールパターニングの結果について述べている。金属の単一微小球および2次元配列微小球アレーを用いるナノホールパターニングにおける技術的課題を解決する新規手法として、高屈折率誘電体球を使用することは有用であることを実証した。2次元微小球アレーでは、単一微小球のミー散乱共鳴条件の屈折率では高い光増強度分布が得られず、2次元配列時に最適な屈折率の微小球アレーを用いることで高密度ナノホールアレー加工が実現できることが分かった。</p> <p>第5章では、近接場光を発生させる新しい散乱構造体としてナノホールテンプレートを用いて、金属のナノ突起およびナノ粒子構造を作製した結果について述べている。近接場光を用いた加熱によって伝搬光を用いた加熱に比べて小径で高密度なナノ突起アレーが大面積に一括作製できた。</p> <p>第6章は、本研究の結論である。本研究の成果を総括し、今後の展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本論文はミー散乱理論に基づいて散乱近接場光の空間・増強度制御を行い、近接場ナノアブレーションパターニングの新しいプロセス領域を開拓したもので、レーザナノプロセッシングの分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> |              |        |       |

## 内容の要旨

|   |            |     |      |
|---|------------|-----|------|
| 報告番号  | 甲 第 3639 号 | 氏 名 | 守 裕也 |
| 主論文題目：<br>Numerical Analysis of Drag Reduction in Channel Flow by<br>Traveling Wave-Like Blowing and Suction<br>(平行平板間流れにおける進行波状吹出し・吸込みによる抵抗低減の数値解析)  |            |     |      |
| <p>三次元的な渦運動により、壁面摩擦抵抗が層流に比べ著しく増加する乱流に対する制御は、科学および工学的な観点から重要な課題である。本論文では典型的な流れ場の一つである平行平板間乱流における壁面摩擦抵抗低減の制御効果の調査を行った。この流れ場での摩擦抵抗の乱流寄与分は、レイノルズせん断応力の重み付き積分で表されるため(Fukagata et al., 2002)、壁面からの制御により壁面近傍のレイノルズせん断応力を低減できれば、摩擦抵抗低減が達成されることが知られている。この知見を踏まえ Min et al. (2006)は、壁面進行波状吹出し・吸込み制御を提案した。この制御は、センサを用いずにフィードバック制御と同程度の摩擦抵抗低減を得ることができる。現実には吹出し・吸込みを進行波状に実現する制御デバイスは機構が複雑になるため難しいが、この低減メカニズムを応用した制御戦略による制御デバイス実現の可能性は高い。そこで本論文では、この進行波状吹出し・吸込み制御によるより詳細な摩擦抵抗低減メカニズムの解明と高レイノルズ数における制御効果の調査を目的とした数値解析を行った。</p> <p>まず、層流下の摩擦抵抗低減効果について、線形解析を用いた調査によって、その低減メカニズムを位相関係の観点から明らかにした。壁面近傍の領域では、流体の粘性と進行波状制御により主流方向速度攪乱と壁垂直方向攪乱の間で非直交性が生じることでレイノルズせん断応力が誘起され、結果的に摩擦抵抗の増減に寄与していることが分かった。また壁面進行波の位相速度、波長、動粘性係数により、制御が影響を及ぼす厚さはスケーリングされ、これは静止流体中の壁面振動問題であるストークス問題との相似性を持つことも明らかにした。</p> <p>次に、低いレイノルズ数の乱流における制御効果およびその摩擦抵抗低減メカニズムについて直接数値シミュレーションを用いて調査した。上流方向進行波で摩擦抵抗低減が得られ、一方、下流方向進行波では摩擦抵抗が増加した。摩擦抵抗の乱流寄与分の原因であるレイノルズせん断応力に対し三成分分解を施した結果、周期成分による摩擦抵抗への寄与は線形解析で得られたメカニズムを用いて説明できることが分かった。吹出し・吸込み制御との比較の為に、壁面垂直方向外力を用いた進行波による制御効果についても調査を行い、この制御では位相速度がゼロの場合に最大の摩擦抵抗低減が得られることが分かった。また、乱流エネルギー輸送を考察する際に必要な、レイノルズ応力輸送方程式についてのエネルギー保存型有限差分法と整合した離散化方法についても示した。</p> <p>最後に、より高いレイノルズ数の乱流下での制御効果を調査するために、コヒーレント構造モデル(Kobayashi, 2005)を適用したラージ・エディ・シミュレーションを実施した。このモデルにより得られた結果は、低レイノルズ数乱流では直接数値シミュレーションで得られた摩擦抵抗値や統計量と、制御流、非制御流ともに比較的良好一致した。そして、進行波状吹出し・吸込みによる制御効果のレイノルズ数依存性は比較的弱いことが分かった。</p> |            |     |      |

## 論文審査の要旨

|          |          |            |                     |
|----------|----------|------------|---------------------|
| 報告番号     | 甲 3639 号 | 氏 名        | 守 裕 也               |
| 論文審査担当者： | 主査       | 慶應義塾大学准教授  | 博士(工学), TeknD 深淵 康二 |
|          | 副査       | 慶應義塾大学教授   | Dr.-Ing. 小尾 晋之介     |
|          |          | 慶應義塾大学教授   | 博士(工学) 泰岡 顕治        |
|          |          | 慶應義塾大学専任講師 | 博士(工学) 横森 剛         |

学士(工学)、修士(工学) 守裕也君提出の学位請求論文は「Numerical Analysis of Drag Reduction in Channel Flow by Traveling Wave-Like Blowing and Suction (平行平板間流れにおける進行波状吹出し・吸込みによる抵抗低減の数値解析)」と題し、本論5章により構成されている。

壁面に沿う乱流、いわゆる壁乱流中では三次元的な渦運動により壁面摩擦抵抗が層流に比べて著しく増加する。このため壁面摩擦抵抗の低減を目的とした壁乱流の制御は理学的および工学的な観点から重要な課題である。壁乱流の代表例である平行平板間乱流においては、壁面摩擦抵抗は層流抵抗とレイノルズせん断応力の重み付き積分で表される乱流寄与分の和となるため、壁面近傍のレイノルズせん断応力を低減させるような制御入力を加えることで摩擦抵抗を低減させられることが知られている。この知見を踏まえた壁面進行波状吹出し・吸込み制御は、センサを用いずにフィードバック制御と同程度の摩擦抵抗低減を得ることができる。現実には吹出し・吸込みを進行波状に発生させる制御デバイスは機構が複雑になるため直接実現することは難しいが、例えば壁面変形など、吹出し・吸込みと同様の効果を発生させる制御デバイスの実現可能性は高い。

本論文は、この平行平板間乱流における進行波状吹出し・吸込み制御による壁面摩擦抵抗低減の制御効果について論じたものである。この制御下での詳細な摩擦抵抗低減メカニズムの解明と、層流、低レイノルズ数および比較的高いレイノルズ数の乱流における制御効果の調査を目的とした一連の数値解析を行っている。各章の内容は以下のとおりである。

第1章は序論であり、研究の背景、動機、関連研究、研究目的を述べている。

第2章では、層流下での制御効果に関して線形解析を用いた調査を行っている。詳細な位相解析の結果から、摩擦抵抗低減のメカニズムを述べている。また、各種パラメータへの制御効果の依存性を調査し、統一的なメカニズムの説明を与えている。

第3章では、低レイノルズ数乱流での制御効果について直接数値シミュレーションを用いた調査結果を述べている。吹出し・吸込み制御に加え、壁垂直方向外力制御についても調査し、二つの制御効果の比較についても述べている。また、レイノルズせん断応力を周期的な成分とランダムな成分に分解して考察することにより、乱流下での主な摩擦抵抗低減機構も第2章で示した層流下での機構と同様に説明できることを示している。さらに、エネルギー保存型の有限差分法に整合したレイノルズ応力輸送方程式の離散化についても示している。

第4章では、比較的高いレイノルズ数乱流での制御効果について、コヒーレント構造モデルを適用した Large eddy simulation を用いた調査について述べている。進行波状吹出し・吸込み制御による摩擦抵抗低減率のレイノルズ数依存性について調査し、本制御を比較的高いレイノルズ数の乱流に対して適用した場合にも低レイノルズ数の場合に比して劣らない効果を持つことを示している。

第5章は結論であり、本研究の結果の総括と今後の展望を述べている。

以上をまとめると、本論文で扱っている進行波状吹出し・吸込み制御はセンサを用いない簡単な制御手法であるにもかかわらず、比較的広範囲のレイノルズ数で摩擦抵抗低減効果を有し、その主な機構も統一的に説明できることを示している。これらの成果は今後乱流摩擦抵抗低減デバイスの実用化に向けて大変重要となる基礎的知見となっている。また、これらの成果は、著者が研究者として自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力および豊かな学識を有することを証したものである。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

| 報告番号   | 甲 第3640号 | 氏名 | 大谷 鷹士 |
|--|----------|----|-------|
| 主論文題目：<br>抗生物質インセドニンの全合成研究   |          |    |       |
| <p>インセドニン(1)は、放線菌から単離・構造決定された新規 24 員環抗生物質である。1 は、アポトーシス抑制タンパクである Bcl-xL を既存の阻害剤とは異なるメカニズムで阻害することが報告されており、創薬シーズとしてのみならず、新たなプローブ分子としても期待されている。一方、1 はポリエン骨格を有する不飽和度の高いアグリコン部に、高度にデオキシ化された二つのアミノ糖がβ結合により配糖化した特異な構造的特徴を有しており、合成化学的にも興味深い化合物である。本論文では、特異な構造および顕著な生理活性を有する 1 の全合成研究について記述した。</p> <p>序論では、1 の興味深い構造や生理活性について言及すると共に、1 の構造的な特徴であるポリエン骨格とデオキシオリゴ糖鎖の合成法について、過去に報告された天然物合成を例に概説し、本研究の目的と位置づけを示した。</p> <p>本論第 1 章では、1 の構造的な特徴から考えられる合成上の課題と、それを踏まえて立案した合成戦略について記述した。</p> <p>第 2 章では、1 の C1-C13 位に相当するペンタエンセグメント 2 の合成について記述した。すなわち、1 の C10 と C11 位に相当する二連続不斉中心を、Sharpless 不斉エポキシ化反応を鍵反応として構築し、Wittig 型オレフィン化反応による増炭、および光学分割剤 CPF を用いた光学分割を経て 2 の合成を達成した。さらに、Evans アルドール反応を鍵反応とする改良合成経路を検討し、2 のより効果的な合成を達成した。</p> <p>第 3 章では、1 の C14-C23 位に相当するテトラエンセグメント 3 の合成について記述した。すなわち、1 の C23 位に相当する不斉中心を、L-リンゴ酸の不斉炭素を利用して構築し、さらに、C14-C18 位に相当するアルデヒドと C19-C23 位に相当するホスホニウム塩との Wittig 反応を鍵反応とする収束型の合成経路によって 3 の合成を達成した。</p> <p>第 4 章では、1 のアグリコンであるインセドナム(4)の全合成について記述した。すなわち、2 と 3 を Stille カップリング反応によって連結し、縮合剤 DMT-MM を用いたマクロラクタム化を行うことで、4 の初の全合成を達成した。さらに、別ルートとして、閉環メタセシスを鍵反応とする 4 の全合成についても検討し、Grela 触媒を用いた閉環メタセシスによりこれを達成した。</p> <p>第 5 章では、1 の二糖鎖セグメントの合成と、モデルアグリコンを用いたグリコシル化反応について記述した。すなわち、二糖鎖セグメントは、遠隔基関与を利用したβ-立体選択的グリコシル化反応を鍵反応として合成した。さらに、脱離基として、トリクロロアセトイミデート基および<math>\alpha</math>-ヘキシニルベンゾエート基を有する二糖鎖セグメント 5 および 6 を調製し、モデルアグリコンとのグリコシル化反応を検討した結果、6 がモデルアグリコンと速やかに反応し、良好な収率かつ高い立体選択性で、望むβ-配糖体が得られることを見出した。</p> <p>第 6 章では、本研究を総括し、今後の展望について記述した。</p> |          |    |       |



## 論文審査の要旨

| 報告番号     | 甲 第 3640 号 | 氏 名      | 大谷 鷹士      |
|----------|------------|----------|------------|
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授 | 工学博士 戸嶋 一敦 |
|          | 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 中田 雅也 |
|          |            | 慶應義塾大学教授 | 理学博士 千田 憲孝 |

学士(工学)、修士(工学)大谷鷹士君の学位請求論文は、「抗生物質インセドニンの全合成研究」と題して、序論、本論(1～5章)及び総括(6章)より構成されている。インセドニンは、アポトーシス抑制タンパクである Bcl-xL を既存の阻害剤とは異なるメカニズムで阻害する新規 24 員環抗生物質である。このためインセドニンは、新たな創薬シーズとしてのみならず、細胞機能解明のための分子プローブとして注目されている。また、インセドニンは、ポリエン骨格を有する不飽和度の高いアグリコン(非糖部分)に、高度にデオキシ化されたアミノ糖から構成される二糖鎖が配糖化した、特異な構造を有する。本論文では、このような顕著な生理活性と特異な構造を有する抗生物質インセドニンの全合成研究について述べている。

序論では、インセドニンの特徴的な構造や生理活性について概説するとともに、インセドニンの構造的特徴であるポリエン化合物とデオキシオリゴ糖鎖の合成について、これまでの合成例について概説し、本研究の目的と位置づけを述べている。

本論第1章では、インセドニンの構造的特徴及び化学的安定性を考慮した合成上の課題と、これらを踏まえて立案された合成戦略について記述している。

第2章では、インセドニンの C1-C13 位に相当するペンタエン構造を有するセグメントの合成について述べている。すなわち、インセドニンの C10 と C11 位に相当する二連続不斉中心を、Sharpless 不斉エポキシ化反応を鍵反応として構築し、Wittig 型オレフィン化反応による増炭、及び光学分割剤を用いた光学分割を経て、インセドニンの C1-C13 位に相当するセグメントの合成を達成している。さらに、Evans アルドール反応を鍵反応とする別の合成経路を検討し、同セグメントのより効果的な合成を達成している。

第3章では、インセドニンの C14-C23 位に相当するテトラエン構造を有するセグメントの合成について述べている。すなわち、インセドニンの C23 位に相当する不斉中心を、L-リンゴ酸の不斉炭素を利用して構築後、さらに、C14-C18 位に相当するアルデヒドと C19-C23 位に相当するホスホニウム塩との Wittig 反応を鍵反応とする収束型の合成経路によって、インセドニンの C14-C23 位に相当するセグメントの合成を達成している。

第4章では、インセドニンのアグリコンであるインセドナムの合成について述べている。すなわち、上記の第2章及び3章で合成したセグメントを、Stille カップリング反応による連結後、マクロラクタム化を経て、インセドナムの合成を達成している。さらに、別経路での合成として、閉環メタセシスを鍵反応とするインセドナムの合成について検討し、Grela 触媒を用いた閉環メタセシスを鍵反応としてインセドナムの合成を達成している。

第5章では、インセドニンの二糖鎖セグメントの合成及びモデルアグリコンとのグリコシル化反応について述べている。すなわち、二糖鎖セグメントは、糖4位の遠隔基関与を利用したβ-立体選択的グリコシル化反応を鍵反応として合成し、さらに、二糖鎖セグメントは、モデルアグリコンとのグリコシル化反応において、糖2位の隣接基関与を利用することで、グリコシル化反応がβ-立体選択的に進行し、相当する配糖体が得られることを見出している。

第6章では、本研究を総括し、今後の展望について記述している。

以上のように、本論文の著者は、抗生物質インセドニンの全合成研究において、新たに開発した高立体選択的な反応を含む高効率な反応を駆使して、これまでに合成研究例のない、複雑な高次構造と顕著な生理活性を有する抗生物質のアグリコン(非糖部分)及び糖鎖部分の効果的な合成に成功した。これらは、生理活性物質の合成ならびにその関連分野の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|  |            |     |       |
|--|------------|-----|-------|
| 報告番号   | 甲 第 3641 号 | 氏 名 | 松岡 直樹 |
| 主 論 文 題 目 :  |            |     |       |
| アキシアル配位により自己集積する遷移金属錯体の電子構造と磁気特性   |            |     |       |
| <p>分子磁性体では不対電子を有する分子が磁性の基本単位となるので、分子の配列様式が固体磁気特性に大きく影響する。このため、分子磁性体の構築には、分子の自己集積とスピンの整列をとともに促す超分子素構造の設計が重要である。不対電子を有する遷移金属錯体のスピン密度は金属イオン上の軌道に局在するため、分子間の磁氣的相互作用は弱く、金属イオンが単一種の場合には一般に反強磁性的である。本論文では、酸素原子や窒素原子が遷移金属イオンに多重結合したユニットを含む四角錐 5 配位型錯体に着目し、それらのユニットが他分子にアキシアル配位した自己集積体において強磁性的相互作用が発現するメカニズムを議論した。</p> <p>第一章では、分子磁性体の設計手法と計算化学的な解析手法について記述した。</p> <p>第二章では、4 座シッフ塩基を配位子とするオキソバナジウム (IV) 錯体のスピン整列メカニズムを解析した。アキシアル配位により自己集積した系のスピン密度を算出し、アキシアル酸素上に大きな負のスピン密度が存在することを見出した。また、一次元クラスターのエネルギー計算から磁氣的相互作用の分子間距離依存性を求め、実測値と同様の傾向を再現した。強磁性的相互作用の発現には <math>V=O</math> 結合の形成に寄与する <math>3d_{yz}</math> 軌道と <math>3d_{zx}</math> 軌道へのスピン分極が重要な役割を担っていることを明らかにした。</p> <p>第三章では、2 座シッフ塩基オキソバナジウム (IV) 錯体を合成し、結晶構造と磁気特性を測定した。5 配位の単核構造をとるものについて磁氣的相互作用は認められなかったが、結晶中で 6 配位の多量体構造をとるものについては強磁性的相互作用を観測した。2 座シッフ塩基オキソバナジウム (IV) 錯体においても、スピン分極の大きな <math>V=O</math> 部位同士の接近によって分子間に磁氣的相互作用が発現することを明らかにした。</p> <p>第四章では、オキソバナジウム (IV) 錯体よりも大きな磁氣的相互作用を示すニトリドクロム (V) 錯体のスピン整列メカニズムを解析した。アキシアル窒素原子にはオキソバナジウム (IV) 錯体のアキシアル酸素原子よりも大きな負のスピン密度が存在することを突き止め、アキシアル原子の電子状態が固体磁気特性に大きく影響することを明らかにした。</p> <p>第五章では、ニトロニルニトロキシドラジカルがアキシアル配位した銅 (II) 錯体のモデル計算を行った。安定有機ラジカルがアキシアル配位子となる場合においても、磁気特性は幾何配置によって大きく変化した。DFT 計算の結果から、ニトロニルニトロキシドラジカルがアキシアル配位した銅 (II) 錯体の強磁性的相互作用には、銅 (II) イオンへのスピン分極が大きく寄与していると結論づけた。</p> <p>以上、本研究では、酸素原子や窒素原子が遷移金属イオンに多重結合したユニットを含む四角錐 5 配位型錯体の電子構造と磁気特性を詳細に解析し、これらのユニットが分子磁性体を構築する上で有用な超分子素構造となりうることを見出した。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |              |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 報告番号     | 甲 第 3641 号 | 氏 名       | 松岡 直樹        |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学 教授 | 工学博士 吉岡 直樹   |
|          | 副査         | 慶應義塾大学 教授 | 工学博士 藪下 聡    |
|          |            | 慶應義塾大学 教授 | 博士(理学) 近藤 寛  |
|          |            | 慶應義塾大学 教授 | 博士(工学) 宋長 泰明 |

学士(工学) 修士(工学) 松岡直樹君 提出の学位請求論文は「アキシャル配位により自己集積する遷移金属錯体の電子構造と磁気特性」と題し、本論5章より構成されている。

近年、分子を磁性の基本単位とする分子磁性体の研究が注目されている。分子磁性体では、開殻分子が磁性の基本単位となるので、分子の配列様式が固体磁気特性に大きく影響する。このため、分子磁性体の構築には、分子の自己集積とスピン整列をともに促す超分子素構造の探索が重要である。本論文では、酸素原子や窒素原子が遷移金属イオンに多重結合したユニットを含む四角錐 5 配位型錯体に着目し、これらのユニットが他分子にアキシャル配位した自己集積体において分子間に強磁性的相互作用が発現するメカニズムを議論している。

第1章では、総論として、遷移金属イオンをスピン源とする分子磁性体の設計手法と計算化学的な解析手法についてまとめている。

第2章では、4座シッフ塩基を配位子とするオキソバナジウム(IV)錯体のスピン整列メカニズムを解析している。スピン密度分布の解析結果から、バナジウム  $3d_{xy}$  軌道上の正のスピン密度以外にアキシャル酸素上に大きな負のスピン密度が存在することを見出している。また、一次元クラスターのエネルギー計算から磁氣的相互作用の種類と大きさの分子間距離依存性を評価し、実測値と同様の傾向を再現することに成功している。これより、分子間で強磁性的な相互作用の発現には  $V=O$  結合の形成に寄与する  $3d_{yz}$  軌道と  $3d_{zx}$  軌道へのスピン分極が重要な役割を担っていることを明らかにしている。

第3章では、2座シッフ塩基オキソバナジウム(IV)錯体を合成し、結晶構造解析と磁気測定から構造-磁性相関を議論している。4座シッフ塩基錯体と同様に結晶中でアキシャル配位により自己集積する錯体において強磁性的な分子間相互作用を観測している。計算化学的手法を用いて2座シッフ塩基オキソバナジウム(IV)錯体においても、スピン分極の大きな  $V=O$  部位同士の接近によって分子間に磁氣的相互作用が発現することを明らかにしている。

第4章では、オキソバナジウム(IV)錯体よりも強い磁氣的相互作用を示すニトリドクロム(V)錯体のスピン整列メカニズムを解析した。アキシャル窒素原子にはオキソバナジウム(IV)錯体のアキシャル酸素原子よりも大きな負のスピン密度が存在することを突き止め、アキシャル原子上の負のスピン密度の大きさが固体磁気特性に大きく影響することを明らかにしている。

第5章では、ニトロニルニトロキシドラジカルがアキシャル配位した銅(II)錯体のモデル計算を行っている。解析結果より、ニトロキシド酸素原子がアキシャル配位した銅(II)錯体の強磁性的相互作用には、銅(II)イオンへのスピン分極が大きく寄与していると結論づけている。

以上、本研究では、酸素原子や窒素原子が遷移金属イオンに多重結合したユニットを含む四角錐 5 配位型錯体の電子構造と磁気特性を詳細に解析し、これらのユニットが分子の自己集積とスピン整列を共に促す超分子素構造であることを明らかにしている。これらの成果は、錯体化学のみならず、分子磁性体をはじめとする機能材料化学分野の進展に貢献し、学術上、寄与するところが少なくない。

よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|   |            |     |       |
|---|------------|-----|-------|
| 報告番号  | 甲 第 3642 号 | 氏 名 | 小林 大貴 |
| 主 論 文 題 目：<br>細胞遊走阻害剤 UTKO1 を用いた細胞遊走の化学遺伝学的解析   |            |     |       |
| <p>細胞が能動的に運動する現象である「細胞遊走」は主に細胞骨格が Rho ファミリータンパク質により制御されて生じるが、未だ細胞遊走に必要な細胞骨格再編成、接着、小胞輸送を時空間的に調節している制御メカニズムの全容を解明するには至っていない。これまで当研究室では微生物培養液より moverastin を発見し、これがファルネシルトランスフェラーゼ (FTase) を直接阻害することで細胞遊走を抑制することを報告してきた。興味深いことに moverastin 誘導体として合成された UTKO1 は moverastin よりも強く遊走を阻害したが FTase を阻害しなかった。そこで UTKO1 をプローブとし、その作用機序を解明することで細胞遊走の制御メカニズムに迫ることを本研究の目的とした。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の礎となる化学遺伝学の方法論を論じた。</p> <p>第 2 章では UTKO1 の活性を評価し、その作用を解析した。上皮増殖因子 (EGF) がヒト扁平上皮がん A431 細胞に誘導する細胞遊走において Rho ファミリータンパク質 Rac1 が EGF 刺激後 2 分後と 12 時間後に 2 回活性化することを発見し、UTKO1 が 2 相目の活性化だけを抑制することを見出した。そこで 2 相目の Rac1 活性化メカニズムを解明するために UTKO1 の標的タンパク質同定を試みた結果、結合タンパク質のひとつに 14-3-3<math>\zeta</math> を見出した。UTKO1 は 14-3-3<math>\zeta</math> と <i>in vitro</i> で確かに結合すること、14-3-3<math>\zeta</math> の発現抑制は EGF 刺激による 1 相目の Rac1 活性化には影響を与えず、2 相目の Rac1 活性化を顕著に抑制し、UTKO1 と同じ表現型を示したことから 14-3-3<math>\zeta</math> が UTKO1 の標的タンパク質であると結論づけた。</p> <p>第 3 章では 14-3-3<math>\zeta</math> がどのように 2 相目の Rac1 活性化を制御するのかを解析した。14-3-3<math>\zeta</math> は様々なタンパク質と結合しその機能を調節する。そこで 14-3-3<math>\zeta</math> は Rac1 活性化を直接触媒する RacGEF と結合し、その機能を調節することで 2 相目の Rac1 活性化を制御していると仮説を立てた。いくつかの GEF の中で Tiam1 が 14-3-3<math>\zeta</math> と結合することを見出し、実際に Tiam1 が 2 相目の Rac1 活性化を制御することを示した。さらに UTKO1 は 14-3-3<math>\zeta</math> と Tiam1 の結合を <i>in vitro</i> および培養細胞内で抑制した。以上より、EGF 刺激による細胞遊走の過程で起こる 2 相目の Rac1 活性化は 14-3-3<math>\zeta</math> が Tiam1 と結合し、その機能を調節することで制御されることを、UTKO1 を用いて解明した。</p> <p>第 4 章では化学遺伝学研究の展開に必要な標的タンパク質の新しい同定方法の開発を目的に情報科学を取り入れ、<i>in silico</i> による化合物-タンパク質相互作用の予測を利用する方法論を提示した。</p> <p>第 5 章では以上の研究を総括し、今後の展望を記した。</p> <p>本研究の成果は細胞の運動メカニズムの新たな知見をもたらし、また化学遺伝学における標的タンパク質同定の新しい戦略を示したと考えられる。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3642 号 | 氏 名       | 小林 大貴            |
|--|------------|-----------|------------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 農学博士 井本 正哉       |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 岡 浩太郎       |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 理学博士 榊原 康文       |
|  |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士（地球環境科学） 土居 信英 |
| <p>学士（理学） 修士（理学）小林大貴君提出の学位請求論文は、「Chemical Genetic Studies of a Tumor Cell Migration Inhibitor、 UTKO1（細胞遊走阻害剤 UTKO1 を用いた細胞遊走の化学遺伝学的解析）」と題し、全五章から成っている。</p> <p>細胞が能動的に運動する現象である「細胞遊走」は主に細胞骨格が Rho ファミリータンパク質により制御されて生じるが、未だ細胞遊走に必要な細胞骨格再編成、接着、小胞輸送を時空間的に調節している制御メカニズムの全容を解明するには至っていない。これまで小林君の所属研究室では微生物培養液より moverastin を発見し、これがファルネシルトランスフェラーゼ（FTase）を直接阻害することで細胞遊走を抑制することを報告してきた。興味深いことに moverastin 誘導体として合成された UTKO1 は moverastin よりも強く遊走を阻害したが FTase を阻害しなかった。そこで小林君は UTKO1 をプローブとし、その作用機序を解明することで細胞遊走の制御メカニズムに迫った。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の礎となる化学遺伝学の方法論を論じており、その長所がまとめられている。</p> <p>第 2 章では UTKO1 の活性を評価し、その作用を解析した。上皮増殖因子（EGF）がヒト扁平上皮がん A431 細胞に誘導する細胞遊走において Rho ファミリータンパク質 Rac1 が EGF 刺激後 2 分後と 12 時間後に 2 回活性化することを発見し、UTKO1 が 2 相目の活性化だけを抑制することを見出した。そこで 2 相目の Rac1 活性化メカニズムを解明するために UTKO1 の標的タンパク質同定を試みた結果、結合タンパク質のひとつに 14-3-3<math>\zeta</math> を見出した。UTKO1 は 14-3-3<math>\zeta</math> と <i>in vitro</i> で確かに結合すること、14-3-3<math>\zeta</math> の発現抑制は EGF 刺激による 1 相目の Rac1 活性化には影響を与えず、2 相目の Rac1 活性化を顕著に抑制し、UTKO1 と同じ表現型を示したことから 14-3-3<math>\zeta</math> が UTKO1 の標的タンパク質であると結論づけている。</p> <p>第 3 章では 14-3-3<math>\zeta</math> がどのように 2 相目の Rac1 活性化を制御するのかを解析した。14-3-3<math>\zeta</math> は様々なタンパク質と結合しその機能を調節する。そこで 14-3-3<math>\zeta</math> は Rac1 活性化を直接接触媒する RacGEF と結合し、その機能を調節することで 2 相目の Rac1 活性化を制御していると仮説を立てた。いくつかの GEF の中で Tiam1 が 14-3-3<math>\zeta</math> と結合することを見出し、実際に Tiam1 が 2 相目の Rac1 活性化を制御することを示した。さらに UTKO1 は 14-3-3<math>\zeta</math> と Tiam1 の結合を <i>in vitro</i> および培養細胞内で抑制した。以上より、EGF 刺激による細胞遊走の過程で起こる 2 相目の Rac1 活性化は 14-3-3<math>\zeta</math> が Tiam1 と結合し、その機能を調節することで制御されることを、UTKO1 を用いて解明した。</p> <p>第 4 章では化学遺伝学研究の展開に必要な標的タンパク質の新しい同定方法の開発を目的に情報科学を取り入れ、<i>in silico</i> による化合物-タンパク質相互作用の予測を利用する方法論を提示している。</p> <p>第 5 章では以上の研究を総括し、今後の展望を記した。</p> <p>本論文の成果は化学遺伝学の利点を生かして、細胞運動の時間的制御メカニズムに関して新たな知見をもたらしたこと、また化学遺伝学における標的タンパク質同定の新しい戦略を示したことである。これらは今後の化学生物学研究に貢献するところが多い。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。</p> |            |           |                  |

## 内容の要旨

|   |            |     |       |
|---|------------|-----|-------|
| 報告番号  | 甲 第 3643 号 | 氏 名 | 粕谷 淳一 |
| 主論文題目：<br><i>In vitro</i> construction of liver sinusoid-like tissues<br>by spatio-temporal control of hepatic stellate cells<br>(肝星細胞の時空間的制御による肝類洞様組織の再構築)   |            |     |       |
| <p>将来的な肝臓病治療に向けて組織工学に基づいた機能的な肝臓組織の再生が試みられている。その最大の課題は、類洞の再構築である。類洞は肝細胞、星細胞、血管内皮細胞が形成する機能的な複合体であり、高次の肝機能を担保している。そのため、生体外で機能的な肝臓組織を再生するためには類洞の再構築が不可欠である。しかし、未だ類洞の再構築方法は確立されていない。一方、これまでに星細胞が生体内の類洞形成において重要な役割を果たすことが明らかになってきた。そこで本研究では、肝前駆細胞の一種である小型肝細胞と、星細胞および血管内皮細胞を用いて類洞構造を生体外で再構築し、再構築課程における星細胞の関与を明らかにすることを目的とした。</p> <p>第1章に、本研究の背景と目的を記載した。<br/>第2章では、基礎事項および従来の研究を概説した。<br/>第3章には、実験方法を記載した。<br/>第4章では、類洞の再構築の第一段階として星細胞による仲介構造の再構築を試みた。類洞では、星細胞が肝細胞の層状構造と血管内皮細胞の血管構造の間を仲介している。この星細胞による仲介構造は、3者が生理学的な複合体として機能するために必須である。成熟ラットから分離した小型肝細胞と星細胞をポリエチレンテレフタート多孔性薄膜上で培養すると、小型肝細胞は層状のコロニーを形成し、星細胞は微小孔内に分布した。その後、血管内皮細胞を薄膜の反対側に接着させることで、星細胞による仲介構造を再構築した。ここで、星細胞の挙動を微小孔の孔径によって空間的に制御することが、仲介構造の再構築に必須であることが分かった。さらに、仲介構造における星細胞は血管内皮細胞の形態形成において肝細胞と内皮細胞間のコミュニケーションを仲介した。すなわち、星細胞の挙動を空間的に制御し、星細胞による仲介構造を形成することで3者の生理学的な複合体を再構築できることが分かった。</p> <p>第5章では、血管内皮細胞による血管構造の構築を試みた。生体外での血管構造の形成には、星細胞と血管内皮細胞の接触が大きく影響することが知られているが、3者の共培養下におけるその役割は不明である。そのため、上記の共培養において星細胞と血管内皮細胞の接触が血管形態形成に与える影響を検討した。その結果、星細胞と血管内皮細胞の接触は血管形態形成を抑制することが分かった。そこで、まず血管形態形成を誘導し、その後星細胞との接触を形成させると、血管内皮細胞は毛細血管様ネットワークを形成できることが分かった。すなわち、3者の共培養において血管構造を形成させるためには、星細胞の挙動の空間的な制御に加え、時間的な制御が不可欠であることを明らかにした。</p> <p>第6章では、星細胞による裏打ち構造を再構築した。類洞では星細胞が細胞突起を伸ばして血管構造を裏打ちしている。この星細胞による裏打ち構造を再構築するためには、より活発な薄膜を介した異種細胞間相互作用が必要である。そこで、従来の多孔性薄膜より薄く、空隙率の高い生分解性ポリ乳酸-ポリグリコール酸共重合体 (PLGA) 多孔性薄膜を作製し、この薄膜を用いることによって星細胞による裏打ち構造を形成することができるか検討した。その結果、適切な形状の薄膜を用いることによって、星細胞は毛細血管様ネットワークを裏打ちし、生体内の類洞に類似した組織を形成できることが明らかになった。さらに、この類洞様組織内の小型肝細胞は、肝細胞分化マーカーの mRNA を発現しており、肝細胞機能の指標となるアルブミン分泌量も高いレベルを維持していた。これらの結果は、PLGA 多孔性薄膜が異種細胞間相互作用を促進させ、機能的な肝類洞様組織の再構築に有効な細胞足場であることを示している。</p> <p>最後に、第7章では各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。さらに本研究の今後の展望を述べた。</p> |            |     |       |



## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3643 号 | 氏 名        | 粕谷 淳一        |
|---|------------|------------|--------------|
| 論文審査担当者：  | 主査         | 慶應義塾大学教授   | 工学博士 谷下 一夫   |
|   | 副査         | 慶應義塾大学准教授  | Ph.D. 堀田 篤   |
|   |            | 慶應義塾大学専任講師 | 博士(工学) 宮田 昌悟 |
|   |            | 慶應義塾大学専任講師 | 博士(工学) 須藤 亮  |
| <p>学士(工学), 修士(工学)粕谷淳一君提出の学位請求論文は, 「<i>In vitro</i> construction of liver sinusoid-like tissues by spatio-temporal control of hepatic stellate cells (肝星細胞の時空間的制御による肝類洞様組織の再構築)」と題し, 7章から構成されている.</p> <p>肝臓組織再生における最大の課題は, 類洞の再構築である. 類洞は肝細胞, 星細胞, 血管内皮細胞が形成する機能的な複合体であり, 高次の肝機能を担保している. そのため, 生体外で機能的な肝臓組織を再生するためには類洞の再構築が不可欠である. しかし, 未だ類洞の再構築方法は確立されていない. 一方, これまでに星細胞が生体内の類洞形成において重要な役割を果たすことが明らかになってきた. そこで本研究では, 肝前駆細胞の一種である小型肝細胞と, 星細胞および血管内皮細胞を用いて類洞構造を生体外で再構築し, 再構築過程における星細胞の関与を明らかにすることを目的としている.</p> <p>第1章に, 本研究の背景と目的を記載している.</p> <p>第2章では, 基礎事項および従来の研究を概説している.</p> <p>第3章には, 実験方法を記載している.</p> <p>第4章では, 類洞の再構築の第一段階として星細胞による仲介構造の再構築を試みている. 類洞では, 星細胞が肝細胞の層状構造と血管内皮細胞の血管構造の間を仲介している. この星細胞による仲介構造は, 3者が生理学的な複合体として機能するために必須である. 成熟ラットから分離した小型肝細胞と星細胞を多孔性薄膜上で培養し, さらに血管内皮細胞を加える事により, 星細胞による仲介構造が再構築されている. ここで, 星細胞の挙動を微小孔の孔径によって空間的に制御することが, 仲介構造の再構築に必須であることが分かった. すなわち, 星細胞の挙動を空間的に制御し, 星細胞による仲介構造を形成することで3者の生理学的な複合体を再構築できることが分かった.</p> <p>第5章では, 血管内皮細胞による血管構造の構築を試みている. 生体外での血管構造の形成には, 星細胞と血管内皮細胞の接触が大きく影響することが知られているが, 3者の共培養下におけるその役割は不明である. そこで星細胞と血管内皮細胞の接触が血管形態形成に与える影響を検討した. その結果, 星細胞と血管内皮細胞の接触は血管形態形成を抑制することが分かった. そこで, まず血管形態形成を誘導し, その後星細胞との接触を形成させると, 血管内皮細胞は毛細血管様ネットワークを形成できることが分かった. すなわち, 3者の共培養において血管構造を形成させるためには, 星細胞の挙動の空間的な制御に加え, 時間的な制御が不可欠であることを明らかにしている.</p> <p>第6章では, 星細胞による裏打ち構造を再構築した. 類洞では星細胞が細胞突起を伸ばして血管構造を裏打ちしている. この星細胞による裏打ち構造を再構築するために, 従来の多孔性薄膜より薄く, 空隙率の高い生分解性ポリ乳酸 ポリグリコール酸共重合体 (PLGA) 多孔性薄膜を用いた. その結果, 適切な形状の薄膜を用いることによって, 星細胞は毛細血管様ネットワークを裏打ちし, 生体内の類洞に類似した組織を形成できることが明らかになった. さらに, この類洞様組織内の小型肝細胞は, 肝細胞分化マーカーの mRNA を発現しており, 肝細胞機能の指標となるアルブミン分泌量も高いレベルを維持していた. これらの結果は, PLGA 多孔性薄膜が異種細胞間相互作用を促進させ, 機能的な肝類洞様組織の再構築に有効な細胞足場であることを示している.</p> <p>第7章では各章で得られた内容をまとめ, 本研究の成果を要約し, 本研究の今後の展望を述べている.</p> <p>以上要するに, 本論文は肝類洞様構造を再構築させるために, 星細胞の関与が重要で, 肝細胞と血管内皮細胞の再構築過程において星細胞が仲介構造を形成する機構を示したもので, 再生医工学分野において, 工業上・工学上寄与するところが少なくない,</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 3644 号 | 氏 名 | 世木 寛之 |
| 主 論 文 題 目：<br>放送品質を実現するための波形接続型音声合成システムの構築  |            |     |       |
| <p>音声合成を放送で利用するには、肉声と同等の自然性を持つ合成音が必須である。従来の音声合成技術は、放送品質の音声を合成できていないが、従来技術の1つである波形接続型音声合成方式は、一般に大規模な音声データベースを利用するため、合成時に必要となる音声がデータベースに含まれている可能性が高く、音声データを信号処理で補正する必要が少なくなり、結果としてその他の方式よりも自然性の高い合成音を得られる。したがって、放送品質を満たす合成音を実現するためには、データベースに合成時に必要となる音声がすべて含まれていればよい。データベースは、発声者が指定された録音文を読み上げて、その音声を録音することで構築される。合成時に必要となる音声をすべて収録できる録音文を用意する必要があるが、任意文の合成時に必要となる音声は数限りなく存在する。したがって、録音文も膨大になり、現実的な収録時間では録音できない。</p> <p>そこで本研究では、特定の番組のための音声合成システムを構築する。用途を限定することで、音声合成時に必要な音声を限定でき、その結果、録音文を収録可能な量に抑えることができる。具体的には、NHK ラジオ第2で放送されている「株式市況」と「気象通報」という2つの番組に特化した音声合成システムを構築する。</p> <p>株式市況音声合成システムでは、1億未満の数値を音声合成するために必要な合成基本単位を1つ以上含む録音文を決定するために、逐次貪欲アルゴリズムを利用する。逐次貪欲アルゴリズムの利用により、従来広く利用されてきた貪欲アルゴリズムに比べて、録音文の数は殆ど増加せずに、計算時間を1.7%に削減することができる。したがって、1億もの大量の数値からなる合成対象テキストに対しても、現実的な計算処理時間で4486個の録音文を得ることができた。次に、決定された録音文を読み上げて音声データベースを構築し、“クラスタリングされた前後の値を考慮した桁”を探索単位として合成音を作成する手法を提案する。提案法で合成した音声の自然性を主観評価実験により評価した結果、肉声とほぼ同等の合成音を得ることができた。さらに、本研究の成果と話速変換を用いた自動放送システムを開発し、2010年3月から実際にNHK ラジオ第2放送で運用を開始することで、本手法の有効性を明らかにした。</p> <p>気象通報音声合成システムでは、気象通報の合成対象テキストが複数のテンプレートで記述できる特徴を持つことを利用して、録音文の数ができる限り少なく、かつ出来上がりの合成音が自然になる録音文決定手法を提案する。提案法と、テンプレートからランダムに録音文を生成した手法とを比較したところ、同じカバレッジを得るために必要な文数が数%以下まで削減できた。次に、決定された録音文を読み上げることにより収録された音声から、統合テンプレートを用いて合成音を作成する手法を提案する。提案法で合成した音声の自然性を主観評価実験により評価した結果、肉声とほぼ同等の合成音を得ることができた。また、本研究の成果を用いて、気象庁ホームページの気象通報データから音声合成を行い、気象通報の20分の番組を放送することのできる気象通報自動放送システムを試作することで、本手法の実用化の可能性を示した。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号     | 甲 第 3644 号 | 氏 名                 | 世木 寛之        |
|----------|------------|---------------------|--------------|
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授            | 博士（工学） 齋藤 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            | 工学博士 萩原 将文   |
|          |            | 慶應義塾大学准教授           | 工学博士 齋藤 博昭   |
|          |            | 愛知工科大学教授・慶應義塾大学名誉教授 | 工学博士 小沢 慎治   |

  

学士（工学） 修士（工学）世木 寛之君提出の学位請求論文は、「放送品質を実現するための波形接続型音声合成システムの構築」と題し、4章より構成されている。

放送番組制作の効率化や省力化のために、音声合成技術は20年程前から利用の試みが始まっている。しかし、従来の音声合成手法では、本来放送で要求される、肉声と同等の自然性が達成できていないため、広く利用されるには至っていなかった。

本論文は、放送品質を実現することのできる波形接続型音声合成システムを提案し、実験や放送への実利用を通して、提案システムの有効性を検証したものである。

第1章では、放送における音声合成の歴史と、音声合成のための様々な方式が紹介され、放送品質を満たす声質の実現には波形接続方式が適しているものの、合成のためにアナウンサーが読み上げる必要のある録音文の数が膨大になり、実現が困難であることが指摘されている。これに対して、本論文では、放送する番組を限定することによって、アナウンサーが読む必要のある録音文の数を減らし、波形接続方式による音声合成を実現するというアイデアが示されている。

第2章では、番組を「株式市況」に限定した音声合成システムについて述べられている。本システムでは、株式の価格を1億円未満と想定し、1億未満の数値のテキストを合成するために必要な合成基本単位音声全てを含む録音文を決定する。この際、逐次貪欲アルゴリズムを利用することにより、従来用いられてきた貪欲アルゴリズムに比べて計算時間が1.7%に削減できるので、1億未満の数値という膨大な発話音声の合成に必要な録音文の決定を、現実的な計算処理時間内で実現可能であることを実証している。次に、決定された4486個の録音文を用いて音声データベースを構築し、“クラスタリングされた前後の値を考慮した桁”を探索単位として合成音を作成する方法を提案し、肉声とほぼ同等の合成音を得ることができることを示している。さらに、本研究の成果と話速変換を用いた自動放送システムを開発し、2010年3月から実際にNHKラジオ第2放送で運用した事例について述べ、本システムが放送品質を達成したことを示している。

第3章では、番組を「気象通報」に限定した音声合成システムについて述べられている。気象通報では、合成するテキストが複数のテンプレートテキストで記述できる特徴を持つことを利用して、録音文の数ができる限り少なく、かつ出来上がりの合成音が自然になる録音文の決定を行う手法を提案している。そして、提案手法が、テンプレートからランダムに録音文を生成した手法と比較して、同じカバレッジを得るために必要な文数が数%以下まで削減できることを実験により実証している。次に、決定した録音文を読み上げて収録した音声から、統合テンプレートを用いて合成音を作成することにより、肉声とほぼ同等の合成音を得ることができることを主観評価実験により示している。また、本研究の成果を用いて、気象庁のホームページの気象通報データから音声合成を行い、気象通報の20分の番組を放送可能な気象通報自動放送試作システムが述べられている。

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。

以上要するに本研究では、アナウンサーの発話音声に波形接続型音声合成方式を適用することにより、放送品質を満足する自然性を有した音声合成システムを構築するための方法を提案し、合成に必要な録音文の決定手法の有効性や、合成した音声の自然性を実験的に実証し、さらに構築した音声合成システムを放送へ実際に利用することにより、提案手法の有効性を検証したものである。これらの成果は、音声合成技術の放送利用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。

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3645号 | 氏名 | 伊熊 雄一郎 |
| 主論文題目：<br>適応的光ネットワークに向けたアレイ導波路回折格子を有する光機能回路の研究  |          |    |        |
| <p>近年、クラウドコンピューティングや動画配信サービスの普及などにより、通信トラフィックは急激に増大している。この需要に対応するために光ネットワークの高速化・大容量化が強く望まれる。また、次世代光ネットワークノードでは、故障発生対応や混雑回避などの状況にダイナミックに対応するため、光領域での波長パス切り替え機能や、それに伴う可変光分散補償機能が必要である。これらの要請に応えるために、今後は光回路のさらなる高密度化と高機能化が求められる。</p> <p>第1章では光ネットワークの現状と技術開発動向を述べる。また、平面光波回路 (PLC: Planar Lightwave Circuit) 技術、分散補償技術、波長選択スイッチによるルーティングについて概要を述べる。また、本研究の目的が、PLC 型分光素子であるアレイ導波路回折格子 (AWG: Arrayed-Waveguide Grating) の小型化、および、AWG の応用素子としての可変光分散補償器 (TODC: Tunable Optical Dispersion Compensator)と波長選択スイッチ(WSS: Wavelength Selective Switch)の実現であることを述べる。</p> <p>第2章では、本論文を通じてキーデバイスとなる AWG について、その基礎理論、計算機による透過スペクトルの計算方法、ならびに実際上避けられない製造誤差による性能劣化の傾向について述べる。</p> <p>第3章では、樹脂埋め込み構造を持つループミラーと、これを用いて従来型 AWG を小型化した螺旋型 AWG の提案について述べる。試作した螺旋型 AWG は同仕様の従来型と比較し、約 1/2 に小型化され、挿入損失は 10.9 dB、隣接チャンネル間クロストーク-8.2 dB であった。</p> <p>第4章では、AWG と樹脂レンズを用いた TODC について述べる。2種類の樹脂を用いることにより、分散補償範囲とその中心値を独立に制御することが可能になる。分解能の異なる AWG を用いた3種類の TODC の試作を行い、それぞれの 125 ps/nm, 363 ps/nm, 1420 ps/nm の分散可変幅を確認した。また、43Gbit/s 伝送実験によって良好な分散補償性能を確認した。</p> <p>第5章では、AWG 型 TODC の高度化について述べる。第一に、従来型回路では必要不可欠であったサーキュレータを不要とする回路構成の提案と実証について述べる。第二に、シリコン導波路と導波路型位相変調器を用いた AWG 型 TODC の検討と設計について述べる。</p> <p>第6章では、AWG を用いた新規の WSS について述べる。新たに提案した、1×2 スイッチと波長カプラを接続したスイッチアレイによって波長選択機能を実現される。選択する波長チャンネルの帯域が固定であるグリッド固定型 WSS、および、帯域を可変できるグリッドレス WSS について、数値シミュレーションによる解析と設計を行った。また、異なる AWG 間の波長特性整合が不要になるループバック構成を利用した構成も設計した。</p> <p>第7章は結論で本論文の成果をまとめ、今後の課題や将来の展望を述べる。</p> |          |    |        |

## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3645 号 | 氏 名    | 伊熊 雄一郎 |
|---|------------|--------|--------|
| 論文審査担当者：  |            |        |        |
| 主査  | 慶應義塾大学教授   | 博士（工学） | 津田 裕之  |
| 副査  | 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   | 神成 文彦  |
| 副査  | 慶應義塾大学准教授  | 博士（工学） | 石樽 崇明  |
| 副査  | 慶應義塾大学専任講師 | 博士（工学） | 田邊 孝純  |
| <p>学士（工学） 修士（工学）伊熊雄一郎君提出の学位請求論文は「適応的光ネットワークに向けたアレイ導波路回折格子を有する光機能回路の研究」と題し、7章から構成されている。</p> <p>近年、クラウドコンピューティングや動画配信サービスの普及などにより、通信トラフィックは急激に増大している。この需要に対応するために、次世代光ネットワークノードでは、低電力に大容量データのスイッチングを行うため、光領域での切り替え機能とそれに伴う可変分散補償機能が必要である。これらの要請に応えるために、光回路の高密度化と高機能化が求められている。</p> <p>第1章では、光ネットワークの現状と技術開発動向を述べている。また、平面光回路 (PLC: Planar Lightwave Circuit) 技術、分散補償技術、波長選択スイッチ(WSS: Wavelength Selective Switch)によるルーティングについて概要を述べている。本研究の目的が、アレイ導波路回折格子(AWG: Arrayed-Waveguide Grating) の小型化、および、AWG を用いた可変光分散補償器 (TODC: Tunable Optical Dispersion Compensator)と WSS の実現であることを述べている。</p> <p>第2章では、AWGの動作原理、設計方法、分光特性の計算方法、および、製造誤差による性能劣化について述べている。</p> <p>第3章では、石英導波路において、樹脂埋め込み構造を持つループミラーと、これを用いて従来型 AWG を小型化した螺旋型 AWG について述べている。螺旋型 AWG を試作して評価したところ、同仕様の従来型 AWG と比較して寸法が約 1/2 に縮小され、挿入損失は 10.9 dB、隣接チャンネル間クロストークは -8.2 dB と良好な特性を示した。</p> <p>第4章では、AWG とスラブ導波路中に形成された樹脂レンズを用いた TODC について述べている。2種類の樹脂を用いることにより、分散補償範囲と分散値の中心値を独立に制御することを可能としている。分解能の異なる AWG を用いた3種類の AWG 型 TODC の試作を行い、それぞれ、最大 125 ps/nm、363 ps/nm、1420 ps/nm の可変分散量を確認した。また、43 Gbit/s の光信号を用いた伝送実験を実施し、符号誤り率を評価することによって、良好な分散補償性能を確認した。</p> <p>第5章では、AWG 型 TODC の高度化について述べている。AWG を多段に接続し、分散補償量が多いときの透過帯域の狭帯域化を低減する構成を提案している。また、従来の反射型 TODC では必要不可欠であったサーキュレータを不要とする回路構成を提案している。これらの構成を取り入れた TODC を試作して、前記狭帯域化の低減を実証している。さらに、シリコン導波路と導波路型位相変調器を用いた、平坦な透過特性を維持して分散を制御可能な AWG 型 TODC の提案と設計について述べている。</p> <p>第6章では、AWG を用いた WSS を提案している。新たに提案した、1×2 スイッチと波長カプラを接続したスイッチアレイによって波長選択機能を実現されている。選択する波長チャンネルの帯域が固定であるグリッド固定型 WSS、帯域を可変できるグリッドレス WSS について、数値シミュレーションによる解析と設計を行っている。また、異なる AWG 間の波長特性整合が不要になるループバック構成を利用した WSS も提案している。</p> <p>第7章では、本論文の成果をまとめ、今後の課題や将来の展望を述べている。</p> <p>以上要するに、本論文の著者は AWG の小型化、AWG を用いた TODC と WSS を実現している。これらのデバイスは、次世代の超大容量光ネットワークの構築に、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 3646 号 | 氏 名 | 三輪 俊晴 |
| 主論文題目：<br><br>構成要素モジュール化手法に基づく製品開発プロセスの設計法に関する研究   |            |     |       |
| <p>本論文では、大規模化・複雑化が進みかつ不確実性を伴う製品の開発期間の短縮を目的として、製品開発の初期段階における効率的な製品開発マネジメントを可能とする製品開発プロセスの体系的・系統的な設計法が提案されている。QFD（Quality Function Deployment）やDSM（Design Structure Matrix）などの個々の設計手法では、製品の開発戦略から開発計画の立案まで、製品開発プロセスをシームレスで支援することができない。この問題に対して、QFD で取り扱う製品機能から製品構成要素への顧客価値の流れと、DSM で取り扱う構成要素間の相互関係を同時に取り扱うことにより、製品の開発戦略および製品開発の立案・評価を可能にする手法が述べられている。同手法は、製品の構成要素間の複雑な相互関係に起因した設計の修正・やり直しが製品開発の遅延の開発リスクになっていることに着目し、構成要素間の相互関係の不確実性を考慮した製品開発計画の立案を支援する。開発遅延につながる開発リスクを定量化した構成要素間の関係と顧客価値の両面を考慮する製品価値フロー分析を用いて製品の構成要素のモジュール化を行い、モジュール化した構成要素グループの相互関係に基づき製品開発戦略および製品開発計画の立案・評価が行われている。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的、および論文の構成が述べられている。</p> <p>第2章では、大規模化・複雑化する製品開発に対して、製品開発の初期段階における計画立案、技術開発、設計、試作、量産化に渡る一連のプロセスの効率的なマネジメントを可能とする体系的な製品開発プロセスの設計法が提案されている。</p> <p>第3章では、製品開発プロセス設計において重要となる製品機能と構成要素間の関係のモデリング手法が述べられている。新規の技術開発を伴う最先端の製品開発の初期段階では、製品機能と構成要素間の関係が必ずしも明らかでなく、製品機能と構成要素間の関係の誤った認識は、製品開発の遅延の原因となる。このため、ラフ集合を用いて定性的かつ文章で表現される少量の知識情報から、製品機能と構成要素間の関係をモデル化する手法が開発され、その有効性が確認されている。</p> <p>第4章では、複雑化した構成要素間の相互関係に起因した構成要素間の設計の修正・やり直しが製品開発の遅延の開発リスクとなっていることに着目し、エンジニアリング的な相互関係や構成要素間で取り扱う価値を同時に評価可能な製品価値フロー分析を用いて構成要素のモジュール化を行う手法が述べられている。事例を用いた検証実験にて、製品構成要素のモジュール化手法により、構成要素間のフィードバック関係の開発リスクを低減できることが示されている。</p> <p>第5章では、製品構成要素モジュール化手法を用いた製品開発プロセスの設計法の評価について述べられている。構成要素モジュール化手法を用いて開発空間を分割し、技術提携（アライアンス）やアウトソーシングを選択することにより、構成要素間の複雑な相互作用をもつ開発空間での最適解探索が効率化されている。リソグラフィシステムと切削加工システムの開発を対象に、本設計法の有効性が確認されている。</p> <p>第6章では、本論文の結論が述べられている。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

|          |             |        |        |
|----------|-------------|--------|--------|
| 報告番号     | 甲 第 3646 号  | 氏 名    | 三輪 俊晴  |
| 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    | 博士（工学） | 松岡 由幸  |
|          | 慶應義塾大学准教授   | 博士（工学） | 三木 則尚  |

学士（工学）、修士（工学）三輪俊晴君提出の学位請求論文は、「構成要素モジュール化手法に基づく製品開発プロセスの設計法に関する研究」と題し、6章から構成されている。

本論文では、大規模化・複雑化が進みかつ不確実性を伴う製品の開発期間の短縮を目的として、製品開発の初期段階における効率的な製品開発マネジメントを可能とする製品開発プロセスの体系的・系統的な設計法が提案されている。QFD( Quality Function Deployment )や DSM( Design Structure Matrix )などの個々の設計手法では、製品の開発戦略から開発計画の立案まで、製品開発プロセスをシームレスで支援することができない。この問題に対して、QFD で取り扱う製品機能から製品構成要素への顧客価値の流れと、DSM で取り扱う構成要素間の相互関係を同時に取り扱うことにより、製品の開発戦略および製品開発の立案・評価を可能にする手法が述べられている。同手法は、製品の構成要素間の複雑な相互関係に起因した設計の修正・やり直しが製品開発の遅延の開発リスクになっていることに着目し、構成要素間の相互関係の不確実性を考慮した製品開発計画の立案を支援する。開発遅延につながる開発リスクを定量化した構成要素間の関係と顧客価値の両面を考慮する製品価値フロー分析を用いて製品の構成要素のモジュール化を行い、モジュール化した構成要素グループの相互関係に基づき製品開発戦略および製品開発計画の立案・評価が行われている。

第1章では、本研究の背景と目的、および論文の構成が述べられている。

第2章では、大規模化・複雑化する製品開発に対して、製品開発の初期段階における計画立案、技術開発、設計、試作、量産化に渡る一連のプロセスの効率的なマネジメントを可能とする体系的な製品開発プロセスの設計法が提案されている。

第3章では、製品開発プロセス設計において重要となる製品機能と構成要素間の関係のモデリング手法が述べられている。新規の技術開発を伴う最先端の製品開発の初期段階では、製品機能と構成要素間の関係が必ずしも明らかでなく、製品機能と構成要素間の関係の誤った認識は、製品開発の遅延の原因となる。このため、ラフ集合を用いて定性的かつ文章で表現される少量の知識情報から、製品機能と構成要素間の関係をモデル化する手法が開発され、その有効性が確認されている。

第4章では、複雑化した構成要素間の相互関係に起因した構成要素間の設計の修正・やり直しが製品開発の遅延の開発リスクとなっていることに着目し、エンジニアリング的な相互関係や構成要素間で取り扱う価値を同時に評価可能な製品価値フロー分析を用いて構成要素のモジュール化を行う手法が述べられている。事例を用いた検証実験にて、製品構成要素のモジュール化手法により、構成要素間のフィードバック関係の開発リスクを低減できることが示されている。

第5章では、製品構成要素モジュール化手法を用いた製品開発プロセスの設計法の評価について述べられている。構成要素モジュール化手法を用いて開発空間を分割し、技術提携(アライアンス)やアウトソーシングを選択することにより、構成要素間の複雑な相互作用をもつ開発空間での最適解探索が効率化されている。リソグラフィシステムと切削加工システムの開発を対象に、本設計法の有効性が確認されている。

第6章では、本論文の結論が述べられている。

以上、要するに、本論文では、製品の構成要素のモジュール化に基づく製品開発プロセスの体系的・系統的な設計法が提案され、大規模・複雑な製品の開発期間の短縮を可能としており、製品開発分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は、博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|   |            |     |        |
|---|------------|-----|--------|
| 報告番号  | 甲 第 3647 号 | 氏 名 | 笹澤 有紀子 |
| 主論文題目：<br>Functional Analysis of Small Molecules Regulating Apoptosis and Autophagy<br>(アポトーシスとオートファジーを制御する小分子化合物の細胞応答解析)   |            |     |        |
| <p>近年様々な生命現象を理解するにあたり、化学遺伝学的手法を用いた解析が注目を浴びている。化学遺伝学的手法とは、ある表現型を特異的に生み出す低分子化合物を探索し、その標的分子と作用機構を明らかにする手法である。本研究では、アポトーシスとオートファジーの二つの生命現象に着目し、小分子化合物を用いてその作用機構を明らかにした。</p> <p>(1) <u>V-ATPase 阻害剤の Bcl-xL 過剰発現細胞細胞へのアポトーシス誘導機構の解析</u><br/>アポトーシス抑制タンパク質 Bcl-xL は多くのヒト腫瘍で過剰発現が確認され、Bcl-xL の機能を阻害する物質は抗がん剤治療薬への応用が期待される。当研究室では Bcl-xL 機能阻害剤のスクリーニングが行われ、V-ATPase 阻害剤にその活性が見いだされた。<br/>そこで、本論では V-ATPase 阻害剤 bafilomycin A1 と抗がん剤 taxol との併用で Bcl-xL を過剰発現したヒト小細胞肺癌 Ms-1/Bcl-xL に誘導される細胞死誘導機構を解析した。その結果、bafilomycin A1 は Bcl-xL のミトコンドリア保護機能を抑制し taxol との併用でミトコンドリア膜電位を低下させた。さらに、bafilomycin A1 は Caspase 非依存的に細胞死を誘導する AIF と EndoG の核移行を促進することで taxol との併用で Bcl-xL 過剰発現細胞に Caspase 非依存的経路の細胞死を誘導することが示唆された。</p> <p>(2) <u>xanthohumol のオートファジー制御機構解析</u><br/>オートファジーは大規模なタンパク質の分解経路であり、癌や神経変性疾患の発症に深く関与している。その制御メカニズムをより深く理解するためにオートファジー制御化合物の探索を行った。その結果 Hop 由来成分である xanthohumol にオートファジー制御活性を見いだした。そこでアフィニティービーズを用いて細胞抽出液から xanthohumol の標的タンパク質を探索した結果、valosin-containing protein (VCP) が標的タンパク質であることが分かった。VCP は AAA-ATPase の一つであり、オートファゴソームの成熟に必須であることが報告されている。xanthohumol は VCP リコンビナントタンパク質と結合し、N 末端ドメインを欠損した VCP タンパク質には結合しなかったことから、xanthohumol は VCP の N 末端ドメインに結合することが明らかとなった。以上の結果から、xanthohumol は VCP に結合しその機能を抑制し、オートファゴソームの成熟を阻害することが示唆された。</p> |            |     |        |

## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3647 号 | 氏 名       | 笹澤 有紀子       |
|---|------------|-----------|--------------|
| 論文審査担当者：  | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 農学博士 井本 正哉   |
|   | 副査         | 慶應義塾大学教授  | Ph.D. 梅澤 一夫  |
|   |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 岡 浩太郎   |
|   |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(理学) 宮本 憲二 |
| <p>学士(理学)、修士(理学)笹澤有紀子君提出の学位請求論文は、「Functional Analysis of Small Molecules Regulating Apoptosis and Autophagy(アポトーシスとオートファジーを制御する小分子化合物の細胞応答解析)」と題し、4章から成っている。</p> <p>近年様々な生命現象を理解するにあたり、小分子化合物を用いたケミカルバイオロジー研究が注目を浴びている。著者は、個体の恒常性維持に必須であるアポトーシスとオートファジーの二つの細胞応答に着目し、小分子化合物を用いてその作用機構を明らかにした。</p> <p>第一章は、序論でありアポトーシスとオートファジーを制御する因子とその制御機構について、従来研究をまとめている。さらに昨今のケミカルバイオロジー研究について、その中核となるケミカルジェネティクスを概説している。</p> <p>第二章では V-ATPase 阻害剤 bafilomycin A1 が Bcl-xL 過剰発現細胞に誘導するアポトーシス誘導機構について述べている。bafilomycin A1 は Bcl-xL のミトコンドリア保護機能を抑制し taxol との併用でミトコンドリア膜電位を低下させることを示した。さらに、bafilomycin A1 は Caspase 非依存的に細胞死を誘導する AIF と EndoG の核移行を促進することで taxol との併用で Bcl-xL 過剰発現細胞に Caspase 非依存的経路の細胞死を誘導することを明らかにした。以上の結果から V-ATPase 阻害剤の抗がん剤への展開の可能性を示唆した。</p> <p>第三章ではオートファジー制御物質の探索、取得した化合物の標的タンパク質同定および作用機構について述べている。癌や神経変性疾患の発症に深く関与しているオートファジーの制御メカニズムをより深く理解するためにオートファジー制御化合物の探索を行った。その結果 hop 由来化合物である xanthohumol にオートファジー制御活性を見いだした。次にアフィニティービーズを用いた解析により、xanthohumol の標的タンパク質を AAA-ATPase である valosin-containing protein (VCP) と同定した。さらに、xanthohumol は VCP リコンビナントタンパク質と結合すること、N 末端ドメインを欠損した VCP タンパク質には結合しないことを示し、xanthohumol は VCP の N 末端ドメインに結合することを明らかにした。以上の結果から、xanthohumol は VCP に結合しその機能を抑制し、オートファゴソームの成熟を阻害することを示した。さらにこれまでに報告のある VCP 阻害剤は ATPase ドメインをターゲットとしていたことから、xanthohumol は新たなタイプの VCP 阻害剤であることを明らかにした。</p> <p>第四章では最後に本研究で得られた結果からアポトーシスとオートファジーについてケミカルジェネティクス研究の展望を議論し総括としている。</p> <p>本論文ではアポトーシス誘導経路の解析、オートファジー制御物質の取得、標的タンパク質の同定、新規作用点の同定にまで至る自己完結型研究が達成されており、本研究成果はアポトーシスとオートファジー研究の発展に貢献するものである。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> |            |           |              |



## 内容の要旨

|  |            |     |       |
|--|------------|-----|-------|
| 報告番号   | 甲 第 3648 号 | 氏 名 | 大久保 章 |
| <p>主 論 文 題 目：</p> <p style="text-align: center;">広帯域中赤外光源によるサブドップラー分解能分子分光と<br/>光周波数コムを用いた高精度周波数測定</p>   |            |     |       |
| <p>分光学は、原子や分子の電子振動回転準位構造を解明し、物理学、化学、天文学などの発展に寄与してきた。特に、中赤外領域には分子の基本振動バンドに属する強い吸収線が多数存在し、これらのスペクトルの高分解能分光測定は、物理定数の時間変化や対称性の破れなど分子に現れる量子力学的効果の検証や、中赤外領域の周波数標準の提供、それによる分子種同定、微量ガス検出の精度向上など、基礎科学から応用分野に至るまでその波及効果は大きい。しかし、中赤外領域にはサブドップラー分解能（相対分解能 <math>10^6</math> 以上）の分光に適した狭線幅、高強度、広同調範囲をもつ光源は少なく、限られた波長領域の測定が報告されているだけだった。</p> <p>本研究では、差周波発生と光共振器を用いて、波長 <math>3.4 \mu\text{m}</math> (<math>88 \text{ THz}</math>) 帯で同調範囲が <math>4.3 \text{ THz}</math> (<math>140 \text{ cm}^{-1}</math>)、スペクトル線幅が <math>50 \text{ kHz}</math> 以下の中赤外コヒーレント光源を有する分光計を開発した。光共振器は吸収セルとしても使われ、分子と相互作用する光電場が増強され、実効吸収長も伸びる。このため、多くの吸収線を初めてサブドップラー分解能で測定した。また、国際原子時にリンクした光周波数コムを使って吸収線の絶対周波数を <math>2.2 \times 10^{-11}</math> の相対不確かさで測定した。</p> <p>本論文の第 1 章では、中赤外領域の分子分光と光の絶対周波数測定について概説した。</p> <p>第 2 章では、本研究で使われる、飽和吸収分光法、光共振器、周波数変調法と Pound-Drever-Hall 法、光周波数のオフセットロック、光周波数コムによる周波数計測について基本的な理論を述べた。</p> <p>第 3 章では、本研究で用いた差周波中赤外光源と光共振器吸収セルについて説明し、開発した分光計の構成と光周波数コムの詳細について述べた。</p> <p>第 4 章では、開発した分光計を用いたヨウ化メチル分子 <math>\nu_1</math> バンドのサブドップラー分解能分光について述べた。観測されたスペクトルの分解能は <math>250 \text{ kHz}</math> と狭く、多くの超微細分裂を分離した。スペクトルを、<math>\nu_1=1</math> 状態と <math>(\nu_2, \nu_6^1)=(1, 2^2)</math> 状態間のコリオリ相互作用を考慮して解析し、両振動励起状態の電気四重極相互作用定数をそれぞれ <math>-1937.06(3) \text{ MHz}</math>、<math>-1951.24(12) \text{ MHz}</math>、コリオリ結合定数を <math>257.6(10) \text{ MHz}</math> と決定した。決定した <math>\nu_1=1</math> 状態の電気四重極相互作用定数の不確かさは線幅 <math>1 \text{ kHz}</math> 以下の He-Ne レーザーを使った先行研究と同程度、コリオリ結合定数は従来の分子定数の不確かさを 1 桁改善した。また、<math>(\nu_2, \nu_6^1)=(1, 2^2)</math> 状態の電気四重極相互作用定数を決定したのは本研究が初めてである。</p> <p>第 5 章では、光周波数コムを使ったメタン分子 <math>\nu_3</math> バンドの絶対周波数測定について述べた。これまでドップラー分解能の測定しかなかった 44 本の遷移を含む 56 本の遷移の測定を行い、<math>2 \text{ kHz}</math> の不確かさで遷移周波数を決定した。これは、先行研究の精度を 3 桁上まわる。P(7) <math>F_2^{(2)}</math> 遷移の測定値 <math>88\,376\,181\,600.3(2.1) \text{ kHz}</math> は CIPM 勧告値と不確かさの範囲で一致しており、測定の信頼性が実証された。</p> <p>第 6 章では、光周波数コムに安定化した中赤外光源の開発について述べた。光源周波数は約 <math>1 \text{ kHz}</math> の精度で制御され、今後さらなる高精度高感度の分光測定につながる。</p> <p>第 7 章を結論とし、本研究の総括および今後の展望を述べた。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3648 号 | 氏 名       | 大久保 章       |
|---|------------|-----------|-------------|
| 論文審査担当者：  | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 理学博士 佐々田 博之 |
|   | 副査         | 慶應義塾大学准教授 | 博士（理学）岡 朋治  |
|   |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士（理学）福嶋 健二 |
|   |            | 慶應義塾大学教授  | 理学博士 中嶋 敦   |
|   |            | 東京理科大学教授  | 理学博士 盛永 篤郎  |
| <p>学士（理学）、修士（理学）大久保章君提出の学位論文は「広帯域中赤外光源によるサブドップラー分解能分子分光と光周波数コムを用いた高精度周波数測定」と題して全7章から構成されている。</p> <p>分光学は、原子や分子の電子振動回転準位構造を解明し、物理学、化学、天文学などの発展に寄与してきた。特に、中赤外領域には分子の基本振動バンドに属する強い吸収線が多数存在し、これらのスペクトルの高分解能精密測定は、基礎科学から応用分野に至るまでその波及効果は大きい。しかし、中赤外領域にはサブドップラー分解能（相対分解能 <math>10^6</math> 以上）分光に適した狭線幅、高強度、広同調範囲をもつ光源は少なく、限られた波長領域の測定が報告されているだけだった。</p> <p>本研究では、差周波発生と光共振器を用いて、波長 <math>3.4 \mu\text{m}</math> (<math>88 \text{ THz}</math>) 帯で同調範囲が <math>4.3 \text{ THz}</math> (<math>140 \text{ cm}^{-1}</math>)、スペクトル線幅が <math>50 \text{ kHz}</math> 以下の中赤外コヒーレント光源を開発した。また、光共振器は吸収セルとしても使われ、分子と相互作用する光電場が増強され、実効吸収長も伸びる。このため、この光源と光共振器を備えた分光計は高分解能と高感度を併せ持ち、多くの吸収線を初めてサブドップラー分解能で記録した。また、国際原子時にリンクした光周波数コムを使って吸収線の絶対周波数を <math>2.2 \times 10^{-11}</math> の相対不確かさで測定した。</p> <p>第1章では、中赤外領域の分子分光とその意義、光の絶対周波数測定について概説した。</p> <p>第2章では、本研究で使われる、飽和吸収分光法、光共振器、周波数変調法と Pound-Drever-Hall 法、光周波数のオフセットロック、光周波数コムによる周波数計測の理論を述べた。</p> <p>第3章では、本研究で用いた差周波中赤外光源と光共振器吸収セルについて説明し、開発した分光計の構成と光周波数コムの詳細について述べた。</p> <p>第4章では、開発した分光計を用いたヨウ化メチル分子 <math>\nu_1</math> バンドのサブドップラー分解能分光について述べた。観測されたスペクトルの分解能は <math>250 \text{ kHz}</math> と狭く、多くの超微細構成成分を分離して観測した。スペクトルを、<math>\nu_1 = 1</math> 状態と <math>(\nu_2, \nu_6^1) = (1, 2^2)</math> 状態間のコリオリ相互作用を考慮して解析し、両振動励起状態の電気四重極相互作用定数とコリオリ相互作用定数を高い精度で決定した。</p> <p>第5章では、光周波数コムを使ったメタン分子 <math>\nu_3</math> バンドの絶対周波数測定について述べた。これまでドップラー分解能の測定しかなかった 44 本の遷移を含む 56 本の遷移の測定を行い、<math>2 \text{ kHz}</math> の不確かさで遷移周波数を決定した。これは、先行研究の精度を 3 桁上まわる。P(7) <math>\text{F}_2^{(2)}</math> 遷移の測定値は CIPM 勧告値と不確かさの範囲で一致しており、測定の信頼性が実証された。</p> <p>第6章では、光周波数コムに安定化した中赤外光源の開発について述べた。光源周波数は約 <math>1 \text{ kHz}</math> の精度で制御され、今後さらなる高精度高感度分光測定につながる。</p> <p>第7章を結論とし、本研究の総括および今後の展望を述べた。</p> <p>以上のように、本研究は従来のはるかに凌ぐ中赤外分光計を開発し、その性能を実証している。これらの成果は、広く高分解能分光学、分子科学、度量衡学に画期的な貢献をし、学術上寄与するところが少なくない。</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> |            |           |             |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3649 号 | 氏 名      | 福井 有香        |
|--|------------|----------|--------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授 | 博士(工学) 藤本 啓二 |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授 | 工学博士 松村 秀一   |
|  |            | 慶應義塾大学教授 | 工学博士 佐藤 智典   |
|  |            | 慶應義塾大学教授 | 博士(工学) 磯部 徹彦 |
| <p>学士(工学) 修士(工学) 福井有香君提出の学位請求論文は、「バイオシステムにおける物質創製をモチーフとしたポリマーナノ粒子の創製と機能性材料への応用」と題し、5章から構成されている。</p> <p>生物の動的なシステムでは、ナノサイズの限定された場において、精密な反応および物質創製の制御が行われている。本論文では、このような生物のナノテクノロジーをマテリアル創製のモチーフとして、高分子特有の物性、反応性、および機能性を組み込んだ反応システムをデザインし、ナノカプセル、ナノ粒子、ナノフィルムおよびナノハイブリッドといったポリマーナノマテリアルの創製と機能性材料の開発へ向けて基礎的検討を行っている。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の着眼点である、生体のナノ環境における動的なシステム、物質創製、および高分子効果について、生体膜やバイオミネラリゼーションを例にして述べている。</p> <p>第2章では、生体膜とバイオポリマーの相互作用におけるダイナミクスに倣い、生体膜由来のナノカプセルであるリポソーム表面に多糖やDNAなどのバイオポリマーを交互積層化することによるカプセルウォールの構築とナノカプセル(リポナノカプセル)の創製について記述している。このリポナノカプセルの薬物送達キャリアに向けた機能化を行うため、様々な分子量や電荷を有する化合物の封入と放出挙動の制御を行っている。ナノカプセル形成に伴う脂質膜の流動性の低下によって放出は抑えられ、リポナノカプセルに高い物質保持能を付与することに成功している。また、DNAのカプセルウォールではDNAの融解挙動を利用することにより、物質の放出を促進させることに成功している。</p> <p>第3章では、バイオミネラリゼーションにおけるバイオポリマーの機能に着目し、リポナノカプセル表面へのリン酸カルシウム(CaP)の析出による有機無機ハイブリッドリポナノカプセルの作製について記述している。第2章にて作製したリポナノカプセルの放出性に着目し、カプセルウォールを介したイオンの相互拡散を利用したCaPの新しい表面析出技術の開発を行っている。反応場となるカプセルウォールの高分子膜の種類や反応条件(pH、温度など)によって、CaP層の結晶構造、結晶性、厚みなどの結晶形態を制御できることを見出している。また、ナノハイブリッドカプセルを薬物および遺伝子の送達キャリアに応用するための検討を行っている。この際、CaPの溶解性を利用した物質放出能の付与およびCaPの界面特性を利用することにより骨モデルであるハイドロキシアパタイトへのターゲティング能の付与に成功している。</p> <p>第4章では、バイオミネラリゼーションにおけるナノ環境場と有機高分子の機能に触発され、油相中にナノサイズの水滴を分散させたW/O(water-in-oil)型ミニエマルジョンをナノリアクターとして、ポリマーの合成と炭酸カルシウムの生成によるナノハイブリッド粒子の創製を行っている。ナノサイズの限定された場である水滴内での重合および結晶生成・成長を操作することにより、ナノ粒子内部の無機物の結晶構造や形態、またそれに伴うナノハイブリッド粒子の形状の制御に成功している。さらに、コーティング剤などへの応用を目指し、得られたナノハイブリッド粒子を基板に積層化させることによって有機無機ナノハイブリッドフィルムの作製に成功している。</p> <p>第5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、本研究では、バイオシステムにおける物質創製をモチーフとして、脂質膜表面へのポリマーの積層化によるナノカプセルの作製とミニエマルジョン内でのポリマーおよび無機物質の合成によるナノハイブリッド粒子とナノハイブリッドフィルムの作製を行い、ポリマーナノマテリアル創製における重要な技術を確立している。これらの成果は今後の高分子化学研究に新しい道を拓くものである。</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> |            |          |              |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3649 号 | 氏 名      | 福井 有香        |
|--|------------|----------|--------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授 | 博士(工学) 藤本 啓二 |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授 | 工学博士 松村 秀一   |
|  |            | 慶應義塾大学教授 | 工学博士 佐藤 智典   |
|  |            | 慶應義塾大学教授 | 博士(工学) 磯部 徹彦 |
| <p>学士(工学) 修士(工学) 福井有香君提出の学位請求論文は、「バイオシステムにおける物質創製をモチーフとしたポリマーナノ粒子の創製と機能性材料への応用」と題し、5章から構成されている。</p> <p>生物の動的なシステムでは、ナノサイズの限定された場において、精密な反応および物質創製の制御が行われている。本論文では、このような生物のナノテクノロジーをマテリアル創製のモチーフとして、高分子特有の物性、反応性、および機能性を組み込んだ反応システムをデザインし、ナノカプセル、ナノ粒子、ナノフィルムおよびナノハイブリッドといったポリマーナノマテリアルの創製と機能性材料の開発へ向けて基礎的検討を行っている。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の着眼点である、生体のナノ環境における動的なシステム、物質創製、および高分子効果について、生体膜やバイオミネラリゼーションを例にして述べている。</p> <p>第2章では、生体膜とバイオポリマーの相互作用におけるダイナミクスに倣い、生体膜由来のナノカプセルであるリボソーム表面に多糖やDNAなどのバイオポリマーを交互積層化することによるカプセルウォールの構築とナノカプセル(リポナノカプセル)の創製について記述している。このリポナノカプセルの薬物送達キャリアに向けた機能化を行うため、様々な分子量や電荷を有する化合物の封入と放出挙動の制御を行っている。ナノカプセル形成に伴う脂質膜の流動性の低下によって放出は抑えられ、リポナノカプセルに高い物質保持能を付与することに成功している。また、DNAのカプセルウォールではDNAの融解挙動を利用することにより、物質の放出を促進させることに成功している。</p> <p>第3章では、バイオミネラリゼーションにおけるバイオポリマーの機能に着目し、リポナノカプセル表面へのリン酸カルシウム(CaP)の析出による有機無機ハイブリッドリポナノカプセルの作製について記述している。第2章にて作製したリポナノカプセルの放出性に着目し、カプセルウォールを介したイオンの相互拡散を利用したCaPの新しい表面析出技術の開発を行っている。反応場となるカプセルウォールの高分子膜の種類や反応条件(pH、温度など)によって、CaP層の結晶構造、結晶性、厚みなどの結晶形態を制御できることを見出している。また、ナノハイブリッドカプセルを薬物および遺伝子の送達キャリアに応用するための検討を行っている。この際、CaPの溶解性を利用した物質放出能の付与およびCaPの界面特性を利用することにより骨モデルであるハイドロキシアパタイトへのターゲティング能の付与に成功している。</p> <p>第4章では、バイオミネラリゼーションにおけるナノ環境場と有機高分子の機能に触発され、油相中にナノサイズの水滴を分散させたW/O(water-in-oil)型ミニエマルジョンをナノリアクターとして、ポリマーの合成と炭酸カルシウムの生成によるナノハイブリッド粒子の創製を行っている。ナノサイズの限定された場である水滴内での重合および結晶生成・成長を操作することにより、ナノ粒子内部の無機物の結晶構造や形態、またそれに伴うナノハイブリッド粒子の形状の制御に成功している。さらに、コーティング剤などへの応用を目指し、得られたナノハイブリッド粒子を基板に積層化させることによって有機無機ナノハイブリッドフィルムの作製に成功している。</p> <p>第5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、本研究では、バイオシステムにおける物質創製をモチーフとして、脂質膜表面へのポリマーの積層化によるナノカプセルの作製とミニエマルジョン内でのポリマーおよび無機物質の合成によるナノハイブリッド粒子とナノハイブリッドフィルムの作製を行い、ポリマーナノマテリアル創製における重要な技術を確立している。これらの成果は今後の高分子化学研究に新しい道を拓くものである。</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 3650 号 | 氏 名 | 西村 晴輝 |
| 主論文題目：<br>Path Diversity Schemes in OFDM Transmitter and Receiver<br>(OFDM 送受信機におけるパスダイバーシチに関する研究)  |            |     |       |
| <p>現在，Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) 変調方式は無線 LAN や WiMAX など高速なワイヤレスブロードバンド通信の技術として用いられている．無線通信においては，マルチパスフェージングが受信信号を復調する際に発生するエラーの要因となっている．フェージングの影響を緩和するために，複数の伝送路を設定して通信の高品質化を実現するダイバーシチ技術がある．Fractional Sampling (FS) は 1 本のアンテナでダイバーシチを得ることができる方式として提案されている．FS は，シンボル間隔よりも短い周期でサンプリングし，マルチパスを分解してパスダイバーシチを達成する．FS において，サンプリングレートを高くしても，特性改善は限られる．これは隣接サンプル間の相関に起因する．またチャンネルの状態によっては，低いサンプリングレートでも十分に復調処理が行えるにも関わらず高いサンプリングレートで受信処理を行う場合があり，電力を無駄に消費してしまう．本論文では，受信端末の小型化・バッテリー長寿命化とパスダイバーシチを達成するためのデジタル信号処理法を検討する．</p> <p>第 1 章は序論であり，本研究の背景および OFDM 送受信機構成とその問題点の概要，並びに本研究の目的と意義を示している．</p> <p>第 2 章は受信機におけるパスダイバーシチについて検討する．はじめに，チャンネルの状態に応じて復調処理を行うサンプリングレートを決定し，小型端末の低消費電力を保ちながら FS による通信品質の向上を図る．エラーが起こりやすいサブキャリアにおける受信レベルを最大化することで，サンプル点選択ダイバーシチを達成することができる．次に，FS 方式の更なる低消費電力化を目指す．そのためには，同一のサンプリングレートでも通信品質を向上させなければならない．本方式はプリアンブル信号を高いレートでオーバーサンプリングし，チャンネルの周波数応答からデータ信号の復調に用いるサンプル点を選択する．また，サンプル点間の相関特性を考慮に入れたサンプル点選択をすることにより，消費電力の改善と従来の FS 方式よりもさらに高いダイバーシチ効果の改善を実現する．</p> <p>第 3 章では送信パスダイバーシチについて検討する．FS では受信信号を高いレートでオーバーサンプリングする必要があり，そのため消費電力が増加する．本章では，OFDM システムにおけるプリコーディング送信パスダイバーシチを提案する．この方式はボーレート以下の遅延に対応したチャンネルのインパルス応答を利用し，送信信号のプリコーディングを行う．受信信号をボーレートでサンプリングしてもダイバーシチを達成する．また，時変動チャンネル下におけるプリコーディング送信パスダイバーシチ方式について検討する．提案方式は受信信号の平均二乗誤差を最小化するようにプリコーディング行列を設計し，ICI 抑制及びパスダイバーシチを達成する．</p> <p>第 4 章では結論として各章で得られた内容をまとめ，本研究の成果を要約している．</p> <p style="text-align: right;">以上</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3650 号 |   |        | 氏 名               | 西村 晴輝 |
|---|------------|---|--------|-------------------|-------|
| 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             |       |
|   |            | 慶應義塾大学准教授                               | 博士(工学) | 石黒 仁揮             |       |
|   |            | Professor, London South Bank University | Ph.D.  | Ghavami, Mohammad |       |
| <p>学士(工学), 修士(工学)西村晴輝君提出の学位請求論文は「Path Diversity Schemes in OFDM Transmitter and Receiver (OFDM 送受信機におけるパスダイバーシチに関する研究)」と題し、4章から構成されている。</p> <p>現在、Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) 変調方式は無線 LAN や WiMAX などワイヤレスブロードバンド通信の変復調技術として用いられている。無線通信においては、マルチパスフェージングが復調誤りの大きな要因となっている。フェージングの影響を緩和するために、複数の伝送路を設定して通信の高品質化を実現する技術がダイバーシチである。Fractional Sampling (FS) は1受信アンテナでダイバーシチシステムを構成することができる方式として提案されている。FS は、シンボル間隔よりも短い周期でサンプリングし、マルチパスを分解してパスダイバーシチを実現する。しかし FS においてサンプリングレートを高くしても、隣接サンプル間の相関によりダイバーシチ利得は限られる。そこで本論文では、受信端末の小型化・低消費電力化とダイバーシチ利得のトレードオフを制御するための信号処理法を検討する。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景および OFDM 送受信機構成とその問題点の概要、並びに本研究の目的と意義を示している。</p> <p>第2章は FS 受信機におけるサンプリングレート選択法について提案している。提案方式はチャネルの状態に応じて受信信号のサンプリングレートを決定し、端末の消費電力を低く保ちながら FS による通信品質の向上を図る。受信信号レベルが最小のサブキャリアにおいて復調誤りを最小化するようにサンプル点を選択する。計算機シミュレーションの結果、提案するサンプリングレート決定法は復調処理の計算量を約 2/3 に低減することを示している。次に、低消費電力化と特性改善を両立させるために、FS におけるサンプル点選択法を提案している。提案方式は受信パケットのプリアンブル信号を高いレートでオーバーサンプリングし、チャネルの周波数応答からデータ信号の復調に用いるサンプル点を選択する。また、サンプル点間の相関特性を考慮に入れたサンプル点選択をすることにより、計算量の改善と従来の FS 方式よりもさらに高いダイバーシチ効果を実現する。計算機シミュレーションの結果、提案するサンプル点選択法は更なる 10% の計算量削減を実現しかつ誤り率特性を約 2dB 改善している。</p> <p>第3章では送信パスダイバーシチについて検討する。FS では受信信号を高いレートでオーバーサンプリングする必要があり、そのため受信機側の消費電力が増加する。そこで OFDM システムにおけるプリコーディング送信パスダイバーシチを提案する。この方式はボーレート以下の遅延に対応したチャネルのインパルス応答を利用し、送信信号のプリコーディングを行う。提案方式では受信信号の平均二乗誤差を最小化するようにプリコーディング行列を設計する。そして受信信号をボーレートでサンプリングしてもダイバーシチを達成することができる。また、時変動チャネル下におけるプリコーディング送信パスダイバーシチ方式の特性を評価する。計算機シミュレーションの結果、提案方式は受信側の計算量を約 50% 削減することができる。</p> <p>第4章では結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約している。</p> <p>以上要するに、本研究は OFDM 通信システムにおけるパスダイバーシチ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> |            |   |        |                   |       |

## 内容の要旨

|   |            |     |       |
|---|------------|-----|-------|
| 報告番号  | 甲 第 3651 号 | 氏 名 | 富田 準二 |
| 主 論 文 題 目：<br>膨大な文書を対象とした情報集約データベースに関する研究   |            |     |       |
| <p>Web や検索エンジンの進歩によって誰でもが簡単に、所望のページを取得できるようになってきている。しかしながら、例えば、会社や製品の評判や競合他社の動向などは、単一の文書としてまとめて記述されてはいないため、複数の文書を集め、その内容をまとめる作業（情報集約）を行わなければならない。現状、このような情報集約を行うための汎用的な枠組みは確立されていないため、情報集約サービスを実現するためには、個別のアプリケーションプログラムを最初から開発する必要がある。</p> <p>本研究では、情報集約タスクを実行するための汎用的な枠組みとして、情報集約データベース（IADB: Information Aggregation DataBase）を提案する。IADB では、集約の対象となる情報の断片を、対象物とそれに付随する属性の集合（情報要素タプル）で表現する。例えば、評判情報であれば、「製品 A の画面は美しい」という情報の断片を、〈製品 A, 画面, 美しい, 好評〉（〈対象物, 評価属性, 評価表現, 評価極性〉）という情報要素タプルで表現する。IADB は、このような情報要素タプルからなる仮想的な情報要素リレーションを大規模な文書集合から自動的に生成し、そこへの検索と集計を行うことで、様々な情報集約タスクを実行できるようにする。本研究では、特に、IADB を構築するうえでの技術課題として、(a)文書から対象物を抽出するための辞書の自動構築手法、(b)事前に抽出した情報要素の属性と、対象物を表す入力キーワードとを用いた情報要素リレーションの動的生成手法、(c)情報集約に特化した独自の問合せ言語、のそれぞれについて検討し、設計・実現する。</p> <p>IADB を評判情報の集約を行う実サービスに適用し、情報要素リレーションへの簡易な問合せによって、様々な有用な情報集約結果を取得できることを示す。また、各技術課題に対して提案手法は、(a)に関しては、特に多義語の語義の網羅的な収集に有効であること、(b)に関しては、入力キーワードが未知語であったとしても、実時間で情報要素リレーションを生成できること、(c)に関しては、表記ゆれなどに対応しながら階層的な内訳をもつ集約結果を簡易な記述で取得できることを示す。更に、IADB が、他の情報集約タスクにも適用できる汎用的な枠組みであることを述べる。このように、IADB を用いることで、新商品の評判のような今まですぐには取得できなかった情報を多面的かつ即座に提供するオンラインサービスを、少ないコストで実現できる。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |              |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 報告番号     | 甲 第 3651 号 | 氏 名       | 富田 準二        |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 山本 喜一   |
|          | 副査         | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 遠山 元道 |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 工学博士 斎藤 博昭   |
|          |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 山口 高平   |

  

学士(工学), 修士(工学) 富田準二君提出の学位請求論文は, “膨大な文書を対象とした情報集約データベースに関する研究” と題し, 8章から構成されている。

現在では, Web や検索エンジンの進歩によって, 誰でもが簡単に所望のページを取得できるようになっている。しかしながら, ある会社の製品の評判や競合他社の動向などは Web 上にも単一の文書としてまとめて記述されているわけではない。このような情報を得ようとするときには, 複数の文書を集め, その内容をまとめる情報集約と呼ぶ作業を行わなければならない。現在, この情報集約を行うための汎用的な枠組みが確立されていないため, 必要に応じて個別のアプリケーションを最初から開発する必要がある。

本論文は, この状況に対して情報集約タスクを実行するための汎用的な枠組みとして, 情報集約データベース (IADB: Information Aggregation Data Base) を提案し, これを実現するための技術的課題である, 文書から対象物を抽出するための辞書の自動構築, 事前に抽出した情報要素の属性と対象物を表す入力キーワードを用いた情報要素リレーションの動的生成, 情報集約に特化した独自の問合せ言語, という三つの問題を解決するシステムを設計, 実現している。

第1章は序論であり, 本研究の背景及び目的を述べている。

第2章は, 関連研究のサーベイであり, セマンティック Web までを含めた広い分野との関連から, 本研究の位置付けを行っている。

第3章で, 情報集約モデルを定義し, それに基づく情報集約データベースを提案している。

第4章は, 固有表現辞書の自動構築について論じ, 本論文で提案した表記出現特徴量法による辞書構築を実験し評価している。

第5章は, 情報要素リレーションの動的な生成手法について提案し, 実現したシステムでの実験を行い, 応答時間の評価を行っている。

第6章は, 本論文で提案した情報集約言語について論じ, SQL の拡張仕様などとの比較を行って, 本提案の優位性を述べている。

第7章では, 上述の三つの技術課題を解決して実現した情報集約データベースを, 実用システムとしての評判分析システムに適用してその結果を複数の側面から評価している。

第8章は, 総括であり, 本論文で述べた技術課題をまとめると共に, 今後の展望を述べている。

以上要するに, 本論文は, Web 上の多量な文書から必要な情報を集約して, 有用な情報をオンラインで得られるという枠組みを提供するものであり, 現実の応用によってその有用性が既に示されていて, 工学上・工業上寄与するところが少なくない。また, 以上の成果は, 著者が研究者としての高い能力及び深い学識を有することを示したものと見える。

よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。



## 内容の要旨

|   |            |     |       |
|---|------------|-----|-------|
| 報告番号  | 甲 第 3652 号 | 氏 名 | 正林 康宏 |
| 主論文題目：  |            |     |       |
| クローズドセル構造を有する高柔軟性脳血管ステントの血管順応性に関する研究  |            |     |       |
| <p>脳血管ステントには、頭蓋骨の屈曲した血管形状に順応させるため、長軸方向及び半径方向の力学的柔軟性が求められる。これらの力学的特性を考慮してこれまでオープンセル構造のステントが使用されてきた。しかしながら、この構造では屈曲状態において血管壁の損傷や血流の障害が懸念される。一方、従来使用されてきたクローズドセル構造のステントではこれらの問題が解決されるものの、臨床においてステントが屈曲時に座屈を発生し湾曲した血管に適合出来ない。従って脳血管治療にはクローズドセル構造を有し力学的柔軟性の高いステントが求められるが、この構造についてその力学的特性を詳細に調べた研究例はほとんどない。そこで本研究では、クローズドセル構造のステントに着目し、力学的特性や血管壁への影響などこのステントの血管順応性について調べ評価することで脳血管治療に有効なステント構造を提案することを目的とした。</p> <p>第1章に、本研究の背景を概説した。</p> <p>第2章ではステントに関する基礎事項や従来研究について概説した。</p> <p>第3章に、本研究で使用したステントの剛性測定装置や構造モデルの構築などこれらの方法について詳細な説明を述べた。</p> <p>第4章に、クローズドセルステントの表面構造とこれが及ぼす力学的特性について述べた。ピタゴラスの平面充填の定理よりステント表面を構成するセルの幾何形状を変化させ、ステントの長軸方向及び半径方向の剛性を調べた。ステントの曲げ剛性測定からステント表面を構成するセルの幾何学形状が円周方向に長くなると長軸方向及び半径方向の剛性が低くなることを明らかにした。さらに、このセル形状を有するクローズドセルステントでは臨床で使用されているオープンセルステントに近い値の曲げ剛性を示すことを見出した。</p> <p>第5章では、第4章の結果より得られたステント構造を使用して有限要素解析により表面構造の異なるステントを血管内に留置し、その際に血管内部に発生する応力を評価した。解析結果よりステント表面のストラット形状が円周方向に長くなると、ステント表面のストラット間隔が狭くなり表面積が増加し、血管壁に生じる半径方向や円周方向の応力値が低くなった。さらにステント留置により発生した半径方向応力はオープンセルステントに近い値であることが示された。</p> <p>第6章では、第4章及び第5章より得られた高柔軟性クローズドセルステントを有限要素解析によりヒトの脳動脈瘤実形状血管モデルに留置し血管壁の応力を解析した。この結果よりステントの配置により、血管壁内部の応力分布は変化するものの、血管壁への力学的負荷は臨床で使用されているオープンセルステントと比較すると同等の応力値であることを示した。</p> <p>第7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> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3652 号  | 氏 名      | 正林 康宏 |
|---|-------------|----------|-------|
| 論文審査担当者：  | 主査 慶應義塾大学教授 | 工学博士     | 谷下 一夫 |
|   | 副査 慶應義塾大学教授 | 工学博士     | 鈴木 哲也 |
|   | 慶應義塾大学専任講師  | 博士(工学)   | 須藤 亮  |
|   | 慶應義塾大学専任講師  | 博士(情報科学) | 大家 哲朗 |
| <p>学士(工学) 修士(工学)正林康宏君提出の学位請求論文は、「クローズドセル構造を有する高柔軟性脳血管ステントの血管順応性に関する研究」と題し、7章から構成されている。</p> <p>脳血管ステントには、頭蓋内の屈曲した血管形状に順応させるため、長軸方向及び半径方向の力学的柔軟性が求められる。これらの力学的特性を考慮してこれまでオープンセル構造のステントが使用されてきた。しかしながら、この構造では屈曲状態において血管壁の損傷や血流の阻害が懸念される。一方、従来使用されてきたクローズドセル構造のステントではこれらの問題が解決されるものの、臨床においてステントが屈曲時に座屈を発生し湾曲した血管に適合出来ない。従って脳血管治療にはクローズドセル構造を有し力学的柔軟性の高いステントが求められるが、この構造についてその力学的特性を詳細に調べた研究例はほとんどない。そこで本研究では、クローズドセル構造のステントに着目し、力学的特性や血管壁への影響などこのステントの血管順応性について調べ評価することで脳血管治療に有効なステント構造を提案することを目的としている。</p> <p>第1章に、本研究の背景を概説している。</p> <p>第2章ではステントに関する基礎事項や従来研究について概説している。</p> <p>第3章に、本研究で使用したステントの剛性測定装置や構造モデルの構築などこれらの方法について詳細な説明を述べている。</p> <p>第4章に、クローズドセルステントの表面構造とこれが及ぼす力学的特性について述べている。ピタゴラスの平面充填の定理よりステント表面を構成するセルの幾何形状を変化させ、ステントの長軸方向及び半径方向の剛性を調べている。ステントの曲げ剛性測定からステント表面を構成するセルの幾何学形状が円周方向に長くなると長軸方向及び半径方向の剛性が低くなることを明らかにしている。さらに、このセル形状を有するクローズドセルステントでは臨床で使用されているオープンセルステントに近い値の曲げ剛性を示すことを見出している。</p> <p>第5章では、第4章の結果より得られたステント構造を使用して有限要素解析により表面構造の異なるステントを血管内に留置し、その際に血管内部に発生する応力を評価している。解析結果よりステント表面のストラット形状が円周方向に長くなると、ステント表面のストラット間隔が狭くなり表面積が増加し、血管壁に生じる半径方向や円周方向の応力値が低くなった。さらにステント留置により発生した半径方向応力はオープンセルステントに近い値であることが示されている。</p> <p>第6章では、第4章及び第5章より得られた高柔軟性クローズドセルステントを有限要素解析によりヒトの脳動脈瘤実形状血管モデルに留置し血管壁の応力を解析している。この結果よりステントの配置により、血管壁内部の応力分布は変化するものの、血管壁への力学的負荷は臨床で使用されているオープンセルステントと比較すると同等の応力値であることを示している。</p> <p>第7章に、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約している。</p> <p>以上要するに、本論文は脳動脈瘤治療適用のためにクローズド構造による高柔軟性ステントの力学的特性のみならず、ステントが血管壁に与える力学的負荷を詳細に解析して、血管順応性を示したもので、医用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。</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 3653 号 | 氏 名 | 山本 浩太 |
| 主論文題目：<br>ストレス応答を制御する化合物に関する研究  |            |     |       |
| <p>細胞はDNA 損傷や、低酸素、低栄養といった様々なストレスにさらされているが、恒常性を維持するためにストレス応答システムを備え持っている。このストレス応答システムの破綻は、種々の疾患の原因になっている。例えば正しい立体構造を獲得できなかったタンパク質が小胞体内に蓄積すると小胞体ストレスが誘導されるが、小胞体ストレス応答の破綻が固形癌内部の細胞で観察される。またミトコンドリアの異変は酸化ストレスを引き起こし、細胞機能の障害、癌等を引き起こすことが知られている。よってストレス応答システムを理解することは、細胞恒常性維持のメカニズム、そして疾患発症メカニズムの解明にもつながると期待される。そこで本研究では、小胞体ストレスと酸化ストレスを制御する三種の化合物が誘導する細胞応答について解析した。</p> <p>1) キノトリエリキシンによる小胞体ストレス抑制メカニズムの解析<br/>当研究室でキノトリエリキシンが XBP1 活性化阻害剤として発見されたが、その阻害機構は不明であった。本研究では、キノトリエリキシンがタンパク質合成を阻害することを見出した。さらにキノトリエリキシンはタンパク質合成を阻害する濃度域で XBP1 活性化および小胞体ストレス応答を抑制し、既存のタンパク質合成阻害剤も同様の活性を示した。小胞体ストレスは不良タンパク質の蓄積によって起こるため、キノトリエリキシンはタンパク質合成を阻害することで不良タンパク質の蓄積を抑制し、XBP1 活性化並びに小胞体ストレス応答を阻害していることを示唆した。</p> <p>2) イノスタマイシンによる TRAIL 感受性増強機構の解析<br/>TRAIL はがん細胞選択的に細胞死を誘導するが、TRAIL に対し耐性を持つ癌細胞の存在が問題となっている。当研究室において、小胞体ストレスを誘導するイノスタマイシンと TRAIL を共処理することで顕著にアポトーシスが誘導されることが見いだされたので、その作用機序を解析した。TRAIL のレセプターDR5 をロックダウンすると、このアポトーシスが抑制された。また、イノスタマイシンは細胞表面に発現する DR5 の量を増加させた。したがって、イノスタマイシンが細胞表面の DR5 量の発現上昇を引き起こし、それによって TRAIL 誘導性アポトーシスを増強することを示唆した。</p> <p>3) ナピラジオマイシン A1 によるミトコンドリア呼吸鎖阻害活性の発見<br/>ヒト扁平上皮がん A431 細胞に EGF 刺激すると、突起上の形成物フィロポディアが観察される。ナピラジオマイシン A1 は、解糖系阻害剤 2-deoxy-D-glucose と共処理することで、フィロポディア形成を顕著に抑制した。さらに、この共処理により細胞内 ATP 量が減少したことから、ナピラジオマイシン A1 はミトコンドリア呼吸鎖を阻害して酸化ストレスを誘導することが示唆された。さらに、単離ミトコンドリアを用いてナピラジオマイシン A1 の作用機構の解析を行ったところ、ミトコンドリア呼吸鎖複合体 I および II を阻害することを見いだした。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3653 号 | 氏 名        | 山本 浩太            |
|--|------------|------------|------------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授   | 農学博士 井本 正哉       |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授   | 工学博士 佐藤 智典       |
|  |            | 慶應義塾大学准教授  | 博士(地球環境科学) 土居 信英 |
|  |            | 慶應義塾大学専任講師 | 博士(工学) 清水 史郎     |
| <p>学士(理学) 修士(理学) 山本浩太君提出の学位請求論文は、「微生物由来小分子化合物を用いたがん細胞内部環境ストレス応答機構の解析」と題し、4章から成っている。</p> <p>がん細胞内部は低酸素・低栄養という強いストレスにさらされていることが知られており、がん悪性化とストレス応答に密接な関連が示されている。著者は、ストレス応答に関わる微生物由来小分子化合物キノトリエリキシン、イノスタマイシン、ナピラジオマイシン A1 が細胞応答にどのような影響を与えるか解析した。</p> <p>序論では、昨今注目されているケミカルバイオロジー研究について概説し、またストレス応答と関わりの深い分子 XBP1 や TRAIL、細胞内小器官ミトコンドリアについて、従来研究をまとめている。</p> <p>第一章では、キノトリエリキシンが小胞体ストレスに与える影響について述べている。キノトリエリキシンは著者が所属する研究室で、XBP1 mRNA スプライシングの阻害剤として見いだされた化合物である。著者はキノトリエリキシンがタンパク質合成を阻害することを見いだした。また、既存のタンパク質合成阻害剤シクロヘキシミドやアニソマイシンも XBP1 mRNA スプライシングを阻害した。さらにキノトリエリキシンが小胞体ストレス応答全体を抑制したことから、小胞体ストレスを抑制していることを示唆した。</p> <p>第二章ではイノスタマイシンによる TRAIL 誘導性アポトーシス増強機構について述べている。TRAIL はがん選択的にアポトーシスを誘導することから、抗がん剤として期待されている。イノスタマイシンと TRAIL を共処理することでアポトーシスが顕著に誘導されることを見いだした。さらにイノスタマイシンが転写を介さないタンパク質レベルでの発現制御により、細胞膜表面上の DR5 の発現量を増加させることを見いだした。よってイノスタマイシンが、これまで多く報告されている DR5 の転写を活性化させる化合物とは異なったメカニズムで TRAIL 感受性を増強することを示唆した。</p> <p>第三章ではナピラジオマイシン A1 について述べている。<i>in vitro</i>での検証により、ナピラジオマイシン A1 がミトコンドリア呼吸鎖複合体 I および II を阻害することを見いだした。その結果、低栄養ストレス状態の細胞選択的に細胞死を誘導することを示唆した。</p> <p>第四章では最後に本研究で用いた化合物の生物活性の意義を議論することで総括としている。</p> <p>本論文では、用いた三種類の化合物がストレス応答に与える影響を明らかとしている。また、それぞれの化合物のこれまで報告されていなかった生物活性を明らかにしており、ケミカルバイオロジー研究の発展に貢献するものである。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> |            |            |                  |

## 内容の要旨

|  |            |     |       |
|--|------------|-----|-------|
| 報告番号   | 甲 第 3654 号 | 氏 名 | 吉井 涼輔 |
| 主 論 文 題 目：<br>メゾスコピックリングに埋め込まれた量子ドットにおける近藤効果の理論研究  |            |     |       |
| <p>近藤効果は局在スピンとフェルミの海との相互作用によって多体のスピン 1 重項状態が形成され、電気伝導に大きな影響を及ぼす現象であり、金属中の希薄磁性不純物において長い間研究されてきた。クーロンブロッケードによって量子ドット中にスピンが局在しているとき、局在スピンとリードとのトンネル結合によって同様の近藤効果が生じる。この系ではトンネル結合や量子ドットの準位などのパラメータを調節することができるので、従来の磁性不純物系に比べて系統的な研究が可能である。多体の一重項状態は局在スピンの周りに有限の大きさで広がり、近藤遮蔽雲と呼ばれる。現在に至るまでその観測はなされていない。</p> <p>本論文ではメゾスコピックリングに埋め込まれた量子ドットにおける近藤効果について考察する。この系では近藤状態に対する 1 電子の干渉効果の影響を調べることが出来る。我々はこの系に対して、近藤温度の評価を行い、多体の共鳴状態が 1 体の干渉効果によって受ける影響について考察した。この干渉効果による影響はリングのサイズが近藤遮蔽雲に比べて大きい場合、消失することが期待される。我々は量子ドットの繰り込まれた準位と近藤温度のリングサイズ依存性を解析し、リングサイズと特徴的なスケールとの大小による磁束依存性の変化を調べた。</p> <p>第 1 章では、量子ドットにおける近藤効果の説明と量子ドットを埋め込んだ微小リング系における先行研究について説明し、本研究の目的を述べた。</p> <p>第 2 章では、リングサイズの小さい極限のモデルに対して近藤効果の解析を行った。我々は量子ドットに結合するモードだけを取り出し、1 本のリードが量子ドットに結合した系に帰着させる方法を開発した。帰着したモデルは近藤温度の解析に適している。この方法は量子ドット複合系一般に用いることが出来る。帰着したモデルに対してスケーリングの方法を用いた。スケーリングによって電荷揺らぎが量子ドットのエネルギー準位に繰り込まれ、スピン揺らぎを考慮することにより近藤温度が得られる。量子ドットの繰り込まれた準位と近藤温度と電気伝導度の解析的表式を求めた。結果として、繰り込まれた準位、近藤温度の解析的表式から両者が共に強く磁束に依存することを示した。これによって、1 体の干渉効果が近藤状態に対して強く影響を与えることが分かった。</p> <p>第 3 章では、リングサイズが有限のモデルに対して第 2 章で用いた手法を拡張し、量子ドットの繰り込まれた準位、近藤温度、電気伝導度の解析的表式を求めた。結果として電荷揺らぎの遮蔽長、近藤遮蔽雲の 2 つのスケールが現れた。電荷揺らぎの遮蔽長がリングサイズよりも大きいときには量子ドットの繰り込まれた準位の磁束依存性は消え、近藤遮蔽雲の大きさがリングサイズよりも小さいときには近藤温度の磁束依存性は消えることが分かった。</p> <p>第 4 章では、量子ドットにおける非弾性過程について議論した。微小リングに量子ドットを埋め込んだ場合、量子ドットにおいて非弾性過程が生じたとき、1 体の干渉効果の破壊が生じることが期待される。電気伝導度を弾性部分と非弾性部分に分離し、(i)近藤温度に比べて十分低い温度と(ii)近藤温度に比べて十分高い温度について解析的に評価した。結果として、(i)においては非弾性過程は温度の 2 乗に比例して増加することが分かった。また、(ii)では電気伝導度の対数補正が 2 次摂動の範囲では弾性過程のみに起因することを示した。</p> <p>第 5 章では結論を述べた。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

|          |            |            |              |
|----------|------------|------------|--------------|
| 報告番号     | 甲 第 3654 号 | 氏 名        | 吉井 涼輔        |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授   | 理学博士 江藤 幹雄   |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授   | Ph.D. 伊藤 公平  |
|          |            | 慶應義塾大学教授   | 博士(理学) 大橋 洋士 |
|          |            | 慶應義塾大学准教授  | 博士(理学) 吉岡 興一 |
|          |            | 東京大学大学院准教授 | 博士(理学) 加藤 岳生 |

学士（理学）修士（理学）吉井涼輔君の学位請求論文は「メソスコピックリングに埋め込まれた量子ドットにおける近藤効果の理論研究」と題し、全5章より構成されている。

近藤効果は局在スピンのフェルミの海との相互作用によって多体のスピン-重項状態が形成され、電気伝導に大きな影響を及ぼす現象である。金属中の希薄磁性不純物に対して長い間研究されてきた、物性物理学における重要な問題である。半導体微細加工によって作製される量子ドットでは、クーロンブロックードによってスピンの局在するとき、磁性不純物系と同様の近藤効果が観測される。量子ドットをメソスコピックリングに埋め込んだ系では、多体の近藤効果と一体の干渉効果が共存し、近藤遮蔽雲と呼ばれる多体の波動関数の情報がアハラノフ・ボーム効果を介して伝導特性に現れる。本研究では、この系の近藤効果をスケーリング解析の手法によって調べ、近藤効果の強さを特徴づける物理量である近藤温度、および電気伝導度の解析式の導出に初めて成功している。

第1章は序論である。研究の背景、近藤効果、メソスコピックリングに埋め込まれた量子ドット系の先行研究について説明し、本研究の目的を述べている。

第2章では、リングサイズの小さい極限のモデルに対して近藤効果のスケーリング解析をおこなっている。まず、本論文の著者が開発した、量子ドット複合系を「量子ドットが1本のリードに結合した系」に帰着させる一般的方法を説明している。帰着したモデルにスケーリング法を適用することで、電荷揺らぎによる量子ドット中のエネルギー準位の繰り込み効果、および近藤温度の解析的表式を求めている。得られた結果は近藤温度がリングを貫く磁束に強く依存することを示す。さらに電気伝導度の解析式を磁束の関数として導出している。

第3章では、リングサイズが有限のモデルを調べ、量子ドット中のエネルギー準位の繰り込み、近藤温度、および電気伝導度の解析的表式を求めている。この系では電荷揺らぎの遮蔽長、近藤遮蔽雲の大きさの2つの長さスケールがあることを指摘している。リングサイズが近藤遮蔽雲よりも小さい場合、近藤温度は磁束に大きく依存する。その依存性は、リングサイズと電荷揺らぎの遮蔽長の大小関係によって定性的に変化する。一方、リングサイズが近藤遮蔽雲よりも十分大きい場合、近藤温度は磁束によって変わらない。これは、近藤遮蔽雲の情報が物理量に現れることを解析的に示した初めての研究成果である。

第4章では、量子ドットの近藤効果における非弾性過程について議論している。メソスコピックリングに埋め込まれた量子ドットでは、非弾性過程によって一体の干渉効果が破壊されることが期待される。有限温度の電気伝導度において、弾性過程の寄与と非弾性過程の寄与を分離して計算する手法を開発している。低温では非弾性過程による電気伝導度は温度の2乗に比例して増加すること、高温では非弾性過程の寄与は非常に小さいことを導いている。

第5章は結論であり、本研究の成果が総括されている。

本研究は、メソスコピックリングに埋め込まれた量子ドットにおける近藤効果をスケーリング解析の手法で研究し、近藤温度と電気伝導度の解析的表式の導出に初めて成功した。近藤遮蔽雲と呼ばれる多体の波動関数の情報が物理量に現れることを具体的に示し、実験家に貴重な示唆を与えた。本研究の物性物理学、およびメソスコピック物理学への貢献は非常に高く評価される。よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。

## 論文審査の要旨

|          |            |           |                        |
|----------|------------|-----------|------------------------|
| 報告番号     | 甲 第 3655 号 | 氏 名       | Sueiro Gabriel Marcelo |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 理学博士 太田 克弘             |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 博士(理学) 井関 裕靖           |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(理学) 小田 芳彰           |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 工学博士 斎藤 博昭             |

スエイロ・ガブリエル・マルセロ君の学位請求論文は、「Forbidden Induced Subgraphs Implying Properties in Graphs (グラフの性質を導く禁止誘導部分グラフ)」と題し、全7章よりなる。

4頂点3辺からなり次数3の頂点を持つグラフをクローと呼ぶ。クローを誘導部分グラフとして禁止したクローフリーグラフは、与えられたグラフに対しその辺の間の隣接関係を表す線グラフの概念の一般化として盛んに研究されている。Las Vergnas (1975)と Sumner (1976)は、頂点数が偶数である連結クローフリーグラフは完全マッチングを持つことを示した。この結果を端緒として、クローフリーグラフは多くの注目を集め、とくにグラフのハミルトン性との関係が多く議論されている。Matthews - Sumner 予想 (1984) は、任意の4連結クローフリーグラフはハミルトン閉路を持つであろう、という主張で、非常に多くの研究者に関心を持たれている。また関連して、クローに加えてどのような誘導部分グラフを禁止すればハミルトン閉路を持つようになるか、という研究も盛んに行われている。より一般的には、与えられたグラフの性質Pに対して、どのような誘導部分グラフを禁止すると性質Pを持つようになるか、という問題となる。既存の研究においては、ハミルトン閉路やマッチングに関する性質について、高々3個の禁止誘導部分グラフでその性質を導くものについての研究がなされているのみで、完全な特徴づけがなされているものはなかった。本論文では、この性質Pとして「クローフリーである」「完全マッチングを持つ」「一定以上のタフネスを持つ」などを考え、頂点数が十分大きいグラフが必然的に性質Pを導くような禁止誘導部分グラフの集合を完全に特徴付けることに成功している。

第1章は序論で、研究の背景と本論文で扱う問題について概説したのち、第2章では、以後の議論で必要となるグラフ理論の用語、概念について定義を与えている。

第3章ではクローフリーグラフに着目する。クローフリーグラフは定義通りクローが禁止されたグラフであるが、他のいくつかのグラフを禁止することによって、間接的にクローを禁止することになることがある。本章では、頂点数が十分に大きいグラフにおいて、間接的クローフリーグラフとなる禁止誘導部分グラフ集合の完全決定となる特徴付けを与えている。また第4章では、第3章の結果をスターフリーグラフに拡張し、同様の結果を得ている。

第5章では、完全マッチングを含むという性質に着目する。既存の研究では、高々3個の禁止誘導部分グラフでこの性質を導くものについては特徴付けがなされていた。これを大幅に進展させ、すべての自然数kに対して、高々k個の禁止誘導部分グラフにより完全マッチングの存在を導くものを決定し、また個数を制限しない禁止誘導部分グラフ集合についても決定した。第6章では、頂点数が奇数のグラフに着目し、ある1頂点だけを被覆しないマッチング(準完全マッチング)を含むという性質について議論している。

第7章では、グラフから頂点集合を取り除いたときにできる連結成分数と取り除いた頂点数の比によって定義されるタフネスに着目する。タフネスは、グラフのハミルトン性に関連して導入された不変量である。本章では、各正数tに対し、グラフのタフネスがt以上になることを導くような禁止誘導部分グラフ集合の特徴付けを完全な形で与えている。

以上本論文では、グラフの性質として、クローフリーであること、完全マッチングをもつこと、一定以上のタフネスをもつことなどに着目し、それらの性質を導くような禁止誘導部分グラフ集合の完全な特徴付けを行っている。これらの結果は、これまでの禁止部分グラフの研究を大幅に進展させるものであり、注目すべき成果である。またこれは、著者が研究者としての能力およびその基礎となる豊かな学識を十分に兼ね備えていることを示したものと見える。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

# Thesis Abstract

|  |               |      |                        |
|--|---------------|------|------------------------|
| Registration Number  | “KOU” No.3655 | Name | Sueiro Gabriel Marcelo |
| <b>Thesis Title</b><br><p style="text-align: center; margin: 0;"><b>Forbidden Induced Subgraphs Implying Properties in Graphs</b></p>  |               |      |                        |
| <p>Let <math>G</math> be a connected graph. For another connected graph <math>H</math>, we say that <math>G</math> is <math>H</math>-free if <math>G</math> does not contain <math>H</math> as an induced subgraph. For a family <math>F</math> of connected graphs, we say that <math>G</math> is <math>F</math>-free if <math>G</math> is <math>H</math>-free for every graph <math>H</math> in <math>F</math>. In this case we say that <math>F</math> is forbidden in <math>G</math>.</p> <p>Given a property <math>P</math> on graphs, we can ask the following question. What are the families of connected graphs <math>F</math> such that for every large enough <math>F</math>-free graph <math>G</math>, <math>G</math> satisfies <math>P</math>. This problem has been studied before for several properties in particular. For example, hamiltonian graphs, traceable graphs, graphs containing a 2-factor, pancyclic graphs, hamilton-connected graphs, cycle extendable graphs, graphs containing a perfect matching. Giving a full characterization of all families of forbidden subgraphs sometimes might be difficult. For example, in the cases of hamiltonian graphs and traceable graphs, only the families consisting of one, two or three graphs are known. Even though in general it might be a difficult problem, in this thesis we give a full characterization for several classes of graphs. In this thesis we analyze the problem for the following five classes of graphs: claw-free graphs, star-free graphs, graphs having a perfect matching, graphs having a near perfect matching, <math>t</math>-tough graphs.</p> <p>For claw-free graphs, we give a complete characterization of all the families of connected graphs <math>F</math> such that every large enough <math>F</math>-free graph is claw-free. We also generalize this result to star-free graphs. Concretely, given a positive integer <math>t</math>, we show all the families of connected graphs <math>F</math> such that every large enough <math>F</math>-free graph is <math>K_{1,t}</math>-free.</p> <p>For graphs with perfect matchings, all the forbidden families of graphs consisting of at most 3 graphs were showed in previous works. For graphs with near perfect matchings, all the forbidden families containing only triangle-free graphs were showed in previous works.</p> <p>For both classes, we complete the characterization by showing all the families of connected graphs <math>F</math> such that every large enough <math>F</math>-free graph of even (odd) order has a perfect matching (near perfect matching).</p> <p>Finally, for <math>t</math>-tough graphs, given a real number <math>t</math>, we show all the families of connected graphs <math>F</math> such that every large enough <math>F</math>-free graph is <math>t</math>-tough.</p> <p>Additionally, for claw-free graphs and graphs with a perfect matching, we show the families that one gets when adding the condition <math> F  \leq k</math> for each positive integer <math>k</math>.</p> |               |      |                        |



## 内容の要旨

|   |            |     |       |
|---|------------|-----|-------|
| 報告番号  | 甲 第 3656 号 | 氏 名 | 岩 田 聡 |
| 主 論 文 題 目：<br>ウェブアプリケーションにおける性能異常の検出と原因究明に関する研究   |            |     |       |
| <p>近年、オンラインバンキングや証券取引など大きな責任を伴うサービスがウェブアプリケーションで提供されるようになってきた。しかし、システム障害が度々報告されているように、その信頼性は十分とはいえず、対策が求められている。システム障害の一つとして近年特に注目を集めているのが応答時間の増大やスループットの低下などの性能異常である。現在ウェブアプリケーションは非常に複雑になっており、性能異常の発生を事前に防ぐのは非現実的である。</p> <p>本研究では、発生した性能異常から早期に復旧し、被害を最小限に抑えることを目的とする。そのためには異常発生をいち早く検出し、さらに原因究明に有益な情報を管理者へ提供する手法が必要になる。この異常検出、原因究明支援手法には、精度だけでなく導入する際のシステムへの変更を最小限に抑えることも要求される。なぜなら、近年システムの大規模化、複雑化が進み、システムに変更を加えるには専門的な知識と技術を要するためである。これまでは検出、原因究明の精度が導入の容易さかのどちらか一方を重視した手法が提案されてきており、2 点を共に満たす手法はなかった。精度を重視した手法の例としてはコンポーネントごとに処理時間を監視する手法がある。ウェブアプリケーションはさまざまなソフトウェアコンポーネントを組み合わせて構成されており、即座に異常を絞り込むことは復旧にかかる時間の大きな短縮につながる。しかしその一方でコンポーネントごとに処理時間を監視する機構を導入するために、システムへの大きな変更を要する。</p> <p>そこで、本研究では検出と原因究明の精度が高いだけでなく、対象システムへの導入が容易な手法を提案する。具体的には、処理時間の監視単位をリクエストの種類ごとにやや粗くすることで導入を容易にする。一般的なウェブサーバではリクエストごとに URL と処理時間を記録する機能が備わっており、対象システムへ変更を加えることなく、本手法を実現可能である。実際に Apache ウェブサーバでもこの機能を備えている。</p> <p>一方で、比較的粗い監視情報から精度高く検出を行うために、管理図という既存の統計手法を応用する。ウェブアプリケーションの処理時間は一定ではなく、正常時でも揺らぎが生じる。この揺らぎと異常な変化の見極めを管理図の応用によって行う。管理図は過去のデータと現在のデータを統計的に比較し、分布が異なると判断した場合に警告を発する。過去のデータとして正常時のリクエスト処理時間を与え、運用時の処理時間と比較することで早期に性能異常を検出する。また、リクエストは種類ごとに異なるコンポーネントを用いて処理が行われるため、異常が発生しているリクエストの種類に注目することで、原因の絞込みを行うことができる。</p> <p>さらに、本研究では複数の性能異常が同時に発生した場合にも対応する。異常を同時に複数検出した場合、それらが同じ原因により発生したものであるかを判定することが求められる。同じ原因によるものだと判断できれば、そのリクエストの種類が共通して利用しているコンポーネントが原因である可能性が高い。逆に異なる原因によるものだと判断できれば、個々のリクエストの種類が個別に利用しているコンポーネントが原因の可能性が高い。</p> <p>提案手法では、処理時間の変化傾向に着目することで、性能異常の原因が同じか異なるかを自動的に判定する。まず処理時間の分布の変化傾向を棒グラフの形式で抽出し性能異常のシグネチャとする。そして、シグネチャ同士を比較し類似度を計算する。最後に、この類似度を基に階層的クラスタリングの群平均法を用いてクラスタリングを行う。その後クラスタリング結果を参考にしながら管理者が原因究明を行う。リクエストの種類が同じクラスタに分類されれば、それらに発生している性能異常は同じ原因である可能性が高く、異なるクラスタに分類されれば、それらに発生している性能異常の原因は異なる可能性が高い。</p> <p>提案手法を、オークションサイトを模したベンチマークウェブアプリケーション RUBiS に適用したところ、性能異常の早期検出と原因究明支援を行うことができた。クライアントの増加に伴い発生した性能異常を処理時間が約 100 ミリ秒増大した段階で検出できた。さらに、提案手法により得られた情報を利用して、異常の原因の絞込みをサーバ単位や、Java のクラス、メソッド単位で行うことができた。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |              |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 報告番号     | 甲 第 3656 号 | 氏 名       | 岩田 聡         |
| 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         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 山本 喜一   |
|          |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 天野 英晴   |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 高田 眞吾 |

学士(工学), 修士(工学) 岩田聡君提出の学位請求論文は, “ ウェブアプリケーションにおける性能異常の検出と原因究明に関する研究 ” と題し, 全 6 章から構成されている。

近年, オンラインバンキングや証券取引など, 高い信頼性の求められるサービスがウェブアプリケーションによって提供されるようになってきた。それにもかかわらず, 性能異常が発生しユーザの処理に異常に時間がかかるという事態がしばしば発生し, サービスの安定した提供を妨げている。そこで, 性能異常が発生した際にシステムを復旧するための手段が求められている。そのためには性能異常を早期に検出し, 原因究明を支援する手法が必要である。これまで提案されてきた手法は, 検出と原因究明能力の高さか導入の容易さかどちらか一方だけを重視した手法である。そこで, 本論文では先に述べた 2 点の要件をともに満たす手法を提案している。処理時間を監視する粒度をリクエストの種類ごとに定め, 監視粒度をやや粗くすることで導入の容易さを達成している。その一方で, 収集したデータを統計的に解析することで, 粗い粒度での監視によって得た不明瞭なデータから精度高く検出と原因究明を行うことに成功している。

第 1 章は本論文の序論である。まず, ウェブアプリケーションの信頼性向上が求められている背景やそれに伴って性能異常の検出, 原因究明手法が必要になっていることを述べている。その後, 既存手法の問題点と本論文の提案手法について述べている。

第 2 章では調査した関連研究と本論文の関係を述べている。まず, 既存の手法が検出と原因究明能力の高さか導入の容易さかどちらか一方だけを重視した手法であることを説明している。また, 対象がわずかに異なる手法についても調査し, ウェブアプリケーションの性能異常へはそれらの手法では対処できないことを指摘している。

第 3 章では提案手法の要素技術である “ 性能異常検出手法 ” を提案している。本論文で提案する性能異常検出手法はリクエストの種類ごとに管理図を用いて処理時間を監視する。ウェブアプリケーションの処理時間は資源競合などにより正常時でも揺らぐことが知られている。そこで, 管理図を用いて異常の兆候と正常時の揺らぎを見極め, 早期に異常を検出することが必要になる。

第 4 章ではもう一つの要素技術である “ 性能異常分類手法 ” を提案している。性能異常は同時に複数発生する可能性がある。その場合, 発生している異常の原因が同じか異なるかを判定することが, 原因究明にとって有益な情報となる。原因が同じであれば, 性能異常が発生しているリクエストの種類同士で共用している部分が原因だと分かる。逆に原因が異なるのであれば, リクエストの種類同士で共用していない部分が原因だと分かる。原因が同じ場合に処理時間が同様に変化することを利用し, 各リクエストの種類における処理時間の分布の変化傾向に着目して分類を行う。

第 5 章ではケーススタディにより提案手法の有用性を示している。オークションサイトを模したウェブアプリケーションで実験を行ったところ, 発生した性能異常を早期に検出し, さらに原因ごとに分類することができた。全てのケースを通じての検出時の処理時間の増大は, 最大で 100 ミリ秒程度であった。分類結果を利用し共用コンポーネントを探索したところ, マシン単位やメソッド単位などで原因を絞り込むことができた。

第 6 章では本論文をまとめ, 今後の研究展望について述べている。

以上, 本論文はウェブアプリケーションにおける性能異常の検出と原因究明を行う手法を提案している。検出と原因究明の能力が高いだけでなく導入の容易さも達成することで, 実システムへの適用の可能性を高め, ウェブアプリケーションの信頼性向上へ貢献している。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。

## Thesis Abstract

|  |               |      |                    |
|--|---------------|------|--------------------|
| Registration Number  | “KOU” No.3657 | Name | Wilkinson, James.M |
| <b>Thesis Title</b><br>The Establishment and Application of the Relationship between Effective Porosity and Specific Capacity of Sediments, using Data from Well Drilling Records  |               |      |                    |
| <p>                     This research was conducted 1) to determine if a relationship exists between specific capacity and effective porosity, and 2) to establish a direct relationship between specific capacity and effective porosity, and 3) to calibrate and test the relationship between specific capacity and effective porosity with a variation of sedimentary and rock environments, and 4) to confirm the reliability of this direct relationship between specific capacity and effective porosity. Conceptually the relationship between specific capacity and effective porosity existed. A thorough review of academic literature indicated that a direct relationship between specific capacity and effective porosity does not exist, although effective porosity has been studied and is one of many parameters that determine the flow of groundwater. However, effective porosity can not be measured from field studies. When a well is drilled, a drillers log is recorded with the construction details, usually including the depth of the well, screened sections, and water levels under static and pumping conditions, etc. From these data, we can easily calculate the specific capacity. Data obtained from direct measurement and simulated pump tests with a variety of sediment sizes in a laboratory were used to define the initial relationship between specific capacity and effective porosity. The equation that describes that relationship was further modified to determine the best solution for the laboratory test data. The equation developed in the laboratory experiments were subsequently applied to a field well database of 609 selected wells which penetrate a range of a variety of sediments and rocks. Through an iterative process, the relationship developed in the laboratory was applied successfully to field data.                 </p> <p>                     The final resultant equation that describes the relationship between specific capacity and effective porosity was successfully determined and calibrated using field data and revised for application to the selected wells which met the criteria to be used for this research. Individual values of effective porosity were calculated for each well using only the calculated specific capacity. The equation accurately produced effective porosity results that reflect conditions in the groundwater system of 9 layers of aquifers and aquitards of various lithologic descriptions ranging from unconsolidated sediments to volcanic rocks. The result is that this relationship to calculate effective porosity directly from specific capacity was confirmed and can be applied without knowing any details of the well construction or lithology. This is a major breakthrough in understanding the direct relationship between specific capacity and effective porosity and is shows that effective porosity can be easily calculated and used to determine aquifer characteristics. The result shows a significant advance over traditional methods of determining effective porosity from field data, making parameter estimation for groundwater flow models and simulations much simpler.                 </p> |               |      |                    |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |                     |
|----------|------------|-----------|---------------------|
| 報告番号     | 甲 第 3657 号 | 氏 名       | Wilkinson, James M. |
| 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  | 工学博士 植田 利久          |
|          |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 菱田 公一          |
|          |            | 産業技術総合研究所 | 理学博士 丸井 敦尚          |

学士(理学)、修士(理学)James M. Wilkinson 君提出の論文は、”The Establishment and Application of the Relationship between Effective Porosity and Specific Capacity of Sediments, using Data from Well Drilling Records (さく井記録データを用いた堆積物の有効間隙率と比湧出量との関係の確立と応用)”と題し、全 6 章より構成されている。

現在、水資源問題が世界的に大きな問題となっており、特に水資源量の把握・確保が重要な課題である。水資源の中でも地下水は多量に揚水、利用されており、地下水位低下、地下水量涸渇が懸念されている。有効間隙率は、この地下水量を支配するもっとも重要なパラメーターであるが、地下の帯水層の有効間隙率の正確な推定は大変難しい。そこで Wilkinson 君は、実験的・理論的研究をもとに有効間隙率と比湧出量の関係式を求め、それより有効間隙率の推定する新しい方法を確立した。

以下では、論文各章の研究内容・成果・意義について述べる。

第 1 章では、フィールドのボーリングデータより有効間隙率を求めることの困難さを示し、本研究では、これまでの方法より簡便なフィールドデータをもとに有効間隙率を求めることのできる有効間隙率と比湧出量の関係について述べている。

第 2 章では、過去 20 年以上の地下水に関する研究をレビューし、比湧出量から有効間隙率を導いた研究がこれまでに行われていないことを示している。そして、これまでは、透水係数と有効間隙率の関係についての研究がなされているが、これらの研究では推定値の誤差が大きく、有効間隙率の推定へ適用がむずかしい等の問題点があることを指摘している。

第 3 章では、堆積物試料(中粒砂、粗粒砂、細粒礫、中粒礫、粗粒礫)を用いた包括的で独自の室内実験の方法について述べている。各試料を用いた実験より、流量、水位低下データを求め、これらのデータとこれまでの研究より求められている有効間隙率と透水係数の関係式等より有効間隙率と比湧出量の関係式を求めている。

第 4 章では、第 3 章で求められた式をアメリカ合衆国オレゴン州ポートランド地域でアメリカ合衆国地質調査所が行ってきた地下水プロジェクトで得られた数多くのデータ(井戸数 610、その中でデータを精選)に適用し、そのフィールドで得られた地下水位低下、揚水量データより求まる比湧出量と有効間隙率とのもっともよい関係式を導いている。

第 5 章では、第 1 章～第 4 章で示した研究内容のまとめと結論が述べられている。

第 6 章では、本研究で求められた関係式の他分野(石油等)への応用可能性について述べている。

James M. Wilkinson 君の研究のオリジナルな点は、有効間隙率と比湧出量との関係式を実験データを基に初めて導き、その関係式をフィールドに適用し、フィールドで応用できる関係式を初めて導いた点にある。今後は、オレゴン州の地下水のみならず、世界中の帯水層の有効間隙率の推定、地下水賦存量の推定、地下水流動系の把握へと応用していく予定であり、研究のさらなる発展が期待される。

以上の堆積物試料を用いた揚水試験に関する実験的研究、得られたデータの解析(それより求められた有効間隙率と比湧出量との関係式の導入)、その式のフィールドデータへの適用、フィールド適用可能な関係式を求めた本研究は、今後の地下水流動系、地下水汚染、地下水賦存量等に関する地下水学の発展に大きく寄与すると考えられる。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|   |            |     |       |
|---|------------|-----|-------|
| 報告番号  | 甲 第 3658 号 | 氏 名 | 花岡 美幸 |
| 主論文題目：<br>ネットワーク侵入検知・防御システムの実装法に関する研究   |            |     |       |
| <p>ネットワークを介したりリモート攻撃を検出・防止する手段の一つとして、ネットワーク侵入検知・防御システム（NIDS/NIPS: Network Intrusion Detection/Prevention Systems）が広く利用されている。リモート攻撃とは、脆弱性のあるサーバに対して、インターネットを通じて攻撃メッセージを送り、被害を発生させる攻撃である。NIDS/NIPS はサーバに送信されてくるメッセージを検査することによって攻撃を検知して、管理者に対して警告を発し、サーバを攻撃から防御する。</p> <p>リモート攻撃が巧妙になりインターネット上のトラフィックが増大するなど、NIDS を取り巻く環境の変化により、次の3つの課題が出てきている。第一に、攻撃検知の精度向上が求められている。攻撃が高度化・巧妙化したことにより、従来の単純なシグネチャ・マッチングでは検知できない攻撃が増えているためである。第二に、NIDS の性能向上が求められている。インターネット・トラフィックの増大や検知手法の高度化に伴い、NIDS の負荷が増加しているためである。第三に、NIDS の障害発生時にも継続して攻撃検知が可能となる、耐障害性である。汎用 PC を元にした構成が多い NIDS が、ハードウェア故障などにより NIDS に障害が起こった場合にも、継続して攻撃検知が行える必要がある。</p> <p>本論文では、NIDS/NIPS の実装技術として、検知精度・性能向上・耐障害性向上を解決する手法を提案する。まず、検知精度向上のために、レイヤ7 コンテキストを考慮した攻撃検知を行えるようにする。近年、単純なバイトパターンのマッチングでなく、メッセージの順番やフォーマットなどのレイヤ7 コンテキストを考慮することにより検知精度を高める NIDS が提案されている。レイヤ7 コンテキストを考慮した攻撃検知を行うためには、ネットワーク上を流れる個別のパケットを、メッセージに再構成する TCP 再構成機構が必要となる。レイヤ7 NIDS/NIPS のための TCP 再構成機構は次の4つの要件を満たさなければならない。すなわち、1) 攻撃メッセージが攻撃対象アプリケーションに届くことがない完全な防御、2) 性能低下が少ないこと、3) NIDS/NIPS の設置に伴って、サーバやクライアントのアプリケーションに変更や再設定が必要ないアプリケーション透過性、4) 監視する通信の振る舞いを乱さない、すなわち TCP フローや輻辳抑制制御に与える影響が少ないトランスポート透過性、の4つである。本論文では、これらを全て満たす TCP 再構成機構として、Store-Through 方式を提案する。Store-Through 方式では、個別のパケットからメッセージに再構築する際、順番が入れ替わったパケットは、止めずにコピーをとって転送することで、トランスポート透過性を保持する。また、攻撃だと判断された時点で、後から到着したパケットを破棄することで、攻撃の成功を妨げ、完全な防御を達成する。また、IP レベルで実装することで性能とアプリケーション透過性を達成する。プロトタイプを Linux 2.4.30 上に実装し、実験によって Store-Through 方式によるオーバーヘッドは 3.8% 以下であることを示した。また、実際のネットワークを用いた実験により、トランスポート透過性を保持できていることを示した。</p> <p>次に、組織ネットワーク内に複数の場所に置かれた NIDS 同士を協調させることで、性能向上と耐障害性向上を行う手法を提案する。大学や企業など多くの組織では、組織内ネットワークとインターネットの境界のみでなく、内側のネットワークの様々な階層に複数の NIDS を設置している場合が多い。本論文で提案する NIDS 協調システム Brownie では、これらの組織ネットワーク内に置かれた NIDS 間でルール設定を交換し合い、定期的に負荷情報をやりとりすることで、NIDS 同士のルール設定を連携させる。そして、性能を向上するため、過負荷になった NIDS の負荷を減少させ、NIDS 間の冗長なルール設定を削除するようにルールを再設定する。また、耐障害性を向上するため、NIDS の障害時には、障害が起こった NIDS で有効にしていたルールを別の NIDS で有効にして攻撃検知を代替する。Brownie のプロトタイプを実装し、実験によって、ルールを再設定することで、web サーバベンチマークのスループットが 10% 以上向上することを示した。また、NIDS を意図的に停止させ障害を起こした実験では、100 秒程度で別の NIDS でルールが有効になり攻撃が検知されるようになった。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3658 号 | 氏 名       | 花岡 美幸        |
|---|------------|-----------|--------------|
| 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         | 慶應義塾大学教授  | 博士(工学) 寺岡 文男 |
|   |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 西 宏章  |
|   |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 重野 寛  |
| <p>学士(工学)、修士(工学) 花岡美幸君提出の学位請求論文は、「ネットワーク侵入検知・防御システムの実装法に関する研究」と題し、全 5 章から構成されている。</p> <p>近年、ネットワークを介したリモート攻撃を検出・防止する手段の一つとして、ネットワーク侵入検知・防御システム (NIDS/NIPS: Network Intrusion Detection/Prevention Systems) が普及している。NIDS の歴史は比較的長いものの、リモート攻撃が巧妙になりインターネット上のトラフィックが増大するなど NIDS を取り巻く環境が大きく変化してきた。そのため、NIDS の検知精度向上、性能向上、耐障害性向上が求められてきている。本論文では、これらの要求を満たすために、2 つの手法を提案している。まず、レイヤ 7 NIDS/NIPS のための TCP ストリーム再構成機構の実装方式 Store-through を提案し、性能を低下させずに検知精度の向上を可能としている。次に、組織ネットワーク内の複数箇所に設置された NIDS 同士を協調させるシステム Brownie を提案し、性能と耐障害性を向上させている。</p> <p>第 1 章は本論文の序論である。まず、NIDS を取り巻く環境の変化から、検知精度・性能・耐障害性の 3 つの課題を導き出している。その後、これらを解決する 2 つの提案手法の概要を述べている。</p> <p>第 2 章では、調査した関連研究及び既存手法と、本論文の提案手法の関係を、1 章で述べた 3 つの課題で分類し述べている。検知精度を目的とした手法においては、検知精度を向上するためには TCP ストリーム再構成機構が必須であることを説明すると共に、既存の TCP ストリーム再構成機構では不十分であることを指摘している。また、性能向上や耐障害性向上の既存手法についても、本論文との違いを示している。</p> <p>第 3 章では、レイヤ 7 NIDS のための TCP ストリーム再構成機構の実現手法である Store-through 方式を提案している。Store-through 方式は、TCP ストリーム再構成機構の要件である、完全な防御・性能・アプリケーション透過性・トランスポート透過性の 4 つを全て満たす方式である。順番通りでないパケットを受け取ったときは複製を作ってすぐに転送することでトランスポート透過性を、攻撃を検知したときにそのとき来ていたパケットを破棄することで完全な防御を、IP レベルで実装することで性能とアプリケーション透過性を満たしている。そして、実験によって、提案手法による性能低下が 3.8% 以下であること、トランスポート透過性が保持されていることを示した。</p> <p>第 4 章では、組織内ネットワークに設置された NIDS 同士を協調させるシステム Brownie を提案し、これを用いることで性能向上や耐障害性向上ができることを示している。Brownie では、組織内 NIDS 間でルール設定を交換し合い連携させる。そして、過負荷になった NIDS の負荷を減少させ、NIDS 間の冗長なルール設定を削除するようにルールを再設定することで、性能を向上する。NIDS の障害時には、障害が起こった NIDS で有効にしていたルールを、別の NIDS で有効にして攻撃検知を代替することで、耐障害性を向上する。また、性能向上と耐障害性向上のトレードオフについても議論している。実験では、web サーバベンチマークのスループットが 10% 以上向上することを示した。また、NIDS を意図的に停止させ障害を起こした実験では、100 秒程度と手動に比べて短い時間で別の NIDS でルールが有効になり、攻撃が検知されるようになることを示した。</p> <p>第 5 章では本論文をまとめ、今後の研究展望について述べている。</p> <p>以上、本論文は NIDS の近年の課題である、検知精度・性能・耐障害性の 3 つを解決する手法を提案し、NIDS の有用性の向上に貢献している。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。</p> |            |           |              |

## 内容の要旨

|   |            |     |       |
|---|------------|-----|-------|
| 報告番号  | 甲 第 3659 号 | 氏 名 | 石川 豊史 |
| <p>主 論 文 題 目 :</p> <p style="text-align: center;">Photoluminescence studies of isoelectronic beryllium-pairs and carbon-oxygen spin triplet centers in silicon<br/>(シリコン中のベリリウム対および炭素-酸素スピン三重項等電子中心のフォトルミネッセンスによる研究)</p>  |            |     |       |
| <p>シリコンは間接遷移型半導体であることから、電子-ホール対の再結合における発光効率が <math>10^{-4}</math> <math>10^{-5}</math> と低く、高効率な発光源としての活用が困難である。そこでエルビウムなどの希土類不純物をシリコンに添加し内殻遷移を利用することや、ナノ粒子化による量子効果を利用した発光効率の向上などが摸索されてきたが、本研究では、シリコン中において、価電子数がシリコン結晶と等しい等電子中心からの発光に着目する。ここで等電子中心からの発光エネルギー線幅が鋭い場合には、欠陥内に存在する原子核スピンによる分裂が観測できることが期待される。また、等電子発光中心の量子効率は低温において 100% に到達するため、発光により放出される光子状態が欠陥の励起子状態や原子核スピンとエンタングルしている状態を量子情報処理に活用できる可能性がある。そこで本論文では、シリコン格子中で 2 個のベリリウム原子が対となるベリリウム対欠陥と、炭素と酸素が対となる炭素-酸素欠陥に着目し、それらに束縛された励起子発光特性を低温 (<math>T &lt; 20\text{K}</math>) フォトルミネッセンス (PL) 測定により調べることから、これら等電子中心の微細構造とそこからの発光機構を明らかにする。</p> <p>本論文の第一章は導入で、半導体発光素子の量子情報処理応用を中心とした背景を述べる。第二章では PL の原理と構築した PL 実験系の構成、第三章では半導体中の等電子発光中心の概要を記述する。第四章ではベリリウム対の PL 測定と解析を述べる。ここでは束縛励起子の発光波長ピークが外部からの磁場印加による分裂することが示され、その分裂数が <math>\langle 100 \rangle</math> 方向の磁場印加で最も少なくなることから、ベリリウム対の 2 個の原子が <math>\langle 111 \rangle</math> 方向に揃っていることを示す。また磁場による分裂状態の詳細な解析によりベリリウム対がアクセプタ的等電子中心であることを示す。第五章では炭素-酸素対欠陥の PL 測定と解析を述べる。ここでは 790 meV に位置するゼロフォノン発光ピーク (C-line) より 2.64 meV 低いエネルギーに新しい発光 (<math>C_T</math>-line) が存在することを見出す。さらに <math>C_T</math>-line に関する局在振動モード、<math>C_T</math>-line と C-line との発光強度比に関する温度依存性、母体シリコン結晶同位体組成比に起因する発光ピーク位置の変化、外部磁場印加中でのゼーマン分裂などの観測と解析を統括することから、<math>C_T</math>-line が炭素-酸素欠陥に束縛された励起子のスピン三重項状態に基づく発光ピークであることを明らかにする。第六章ではまとめと展望を述べる。</p> <p>半導体中の不純物欠陥を量子情報処理に利用する場合には、その不純物欠陥のエネルギー準位・磁気特性・発光特性を正確に把握し、そのうえで不純物欠陥の量子状態の操作と放出される光子状態の活用方法を見出す必要がある。本研究で得られた知見は、シリコン中の等電子発光中心を量子情報処理に応用するという新しい方向性に重要な指針を与えるものと期待される。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

|          |            |                                   |        |                  |
|----------|------------|-----------------------------------|--------|------------------|
| 報告番号     | 甲 第 3659 号 | 氏 名                               | 石川 豊史  |                  |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授                          | Ph. D. | 伊藤 公平            |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授                          | 工学博士   | 太田 英二            |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授                          | 理学博士   | 江藤 幹雄            |
|          | 副査         | 慶應義塾大学准教授                         | 博士(理学) | 早瀬 潤子            |
|          | 副査         | St. Petersburg Polytechnical 大学教授 | Sc. D. | Vlasenko, Leonid |

学士(理学), 修士(工学)石川豊史君の学位請求論文は「Photoluminescence studies of isoelectronic beryllium-pairs and carbon-oxygen spin triplet centers in silicon( シリコン中のベリリウム対および炭素-酸素スピン三重項等電子中心のフォトルミネッセンスによる研究)」と題し、全六章より構成される。

シリコンは間接遷移型半導体であることから高効率な発光源としての活用が困難である。しかし、等電子発光中心の量子効率低温において100%に到達するため、発光により放出される光子状態が、発光源である欠陥のスピンとエンタングルしている状態が生成できれば、量子情報処理に活用できる。そこで本論文において申請者は、シリコン格子中で2個のベリリウム原子がペアとなるベリリウム対欠陥と、炭素と酸素がペアとなる炭素-酸素欠陥に着目し、これら等電子中心の微細構造と発光機構をフォトルミネッセンス(PL)測定により明らかにした。

第一章は導入で、半導体発光素子の量子情報処理応用を中心とした背景が紹介される。

第二章ではPLの原理と構築したPL実験系の構成が示される。

第三章では半導体中の等電子発光中心の概要が記述される。

第四章ではベリリウム対のPL測定と解析が述べられる。ここでは束縛励起子の発光波長ピークが外部からの磁場印加により分裂することが示され、その分裂数が<100>方向の磁場印加で最も少なくなることから、ベリリウム対の2個の原子が<111>方向に揃っていることが明らかにされる。また磁場による分裂状態の詳細な解析により、ベリリウム対がアクセプタ的等電子中心であることが示される。

第五章では炭素-酸素対欠陥のPL測定と解析が記述される。ここでは、790 meVに位置するゼロフォノン発光ピーク(C-line)に対し、それより2.64 meV低いエネルギーに新しい発光(C<sub>T</sub>-line)が存在することが見出される。さらにC<sub>T</sub>-lineに関する局在振動モード、C<sub>T</sub>-lineとC-lineとの発光強度比に関する温度依存性、母体シリコン結晶同位体組成比に起因する発光ピーク位置の変化、外部磁場印加中でのゼーマン分裂などの観測と解析を統括することから、C<sub>T</sub>-lineが炭素-酸素欠陥に束縛された励起子のスピン三重項状態に基づく発光ピークであることが明らかにされる。

第六章ではまとめと展望が述べられる。

半導体中の不純物欠陥を量子情報処理に利用する場合には、その不純物欠陥のエネルギー準位・磁気特性・発光特性を正確に把握し、そのうえで不純物欠陥の量子状態の操作と放出される光子状態の活用方法を見出す必要がある。よって本研究で得られた知見は、シリコン中の等電子発光中心を量子情報処理に応用するという新しい方向性に重要な指針を与えるものと期待される。

よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。



## 内容の要旨

|   |          |    |       |
|---|----------|----|-------|
| 報告番号  | 甲 第3660号 | 氏名 | 山之内 亘 |
| 主論文題目：<br>Bilateral Force Feedback Control for Extension of Motion Area<br>(動作範囲拡張のためのバイラテラル力覚フィードバック制御)  |          |    |       |
| <p>マルチメディア信号処理技術が発展した現在，視覚情報および聴覚情報の保存や再現，伝送，共有を行うことが可能となっている。視覚情報および聴覚情報については，大変多くの研究開発が行われているものの，触覚・力覚情報の研究は十分になされているとは言い難い状況である。触覚・力覚情報は双方向性を有する感覚情報であるため，その抽出・再現にはバイラテラル制御システムが必要となる。これまでに研究されてきたバイラテラル制御システムに用いられるマスタ・スレーブシステムの多くは，マスタシステムとスレーブシステムが同様の機械的構造を有し，かつ据え置き型のハプティックデバイスで構成されている。しかしながら，人間の動作を遠隔地で発現させるような空間拡張をバイラテラル制御により実現しようとする，異構造かつ異なる動作範囲を持つマスタ・スレーブシステムの新しい制御方法論が必要になる。そこで本論文では，バイラテラル制御の空間拡張を目的とし，異構造かつ異なる動作範囲を有するシステム間での触覚・力覚情報の再現手法を示す。</p> <p>第1章において，本研究の背景と目的，および論文の構成を述べる。</p> <p>第2章では，触覚・力覚情報の抽出・再現の基礎となるバイラテラル制御システムについて述べる。本論文では，異なる動作範囲を有するマスタ・スレーブシステム間でのバイラテラル制御の新しい構成手法を提案している。提案手法は，マスタ・スレーブシステム間で伝達する情報に対して，次元変換のスケールリングを導入することで，動作範囲の拡張を可能にしている。</p> <p>第3章では，動作の空間拡張のための力覚フィードバックシステムの応用例として，ジョイスティック型マスタシステムとモバイルロボット型スレーブシステムへの適用手法を示す。提案手法はバイラテラル制御における同時性制御に一階微分要素のスケールリングを導入することで，操作者が入力したジョイスティックの角度とモバイルロボットの速度といった異なる次元間での同期が取れ，動作範囲の空間拡張が実現される。同時性制御は，作用反作用再現制御と非干渉化されているため，モバイルロボットからの力覚フィードバックも同時に達成される。</p> <p>第4章では，モバイルロボットの操作システムとしてステアバイワイヤシステムを用いた場合の実現手法を示す。アクセルペダルとハンドルはモバイルロボットの加速とステアリング操作のために使用されるため，同時性制御に二階微分要素のスケールリングを導入することでその実現を可能にしている。また，さらに高次の微積分のスケールリングについても拡張が可能であることを示している。</p> <p>第5章では，上記の微積分のスケールリングを3台以上のハプティックシステムによって構成されるマルチラテラル制御システムに拡張する。提案する多次元スケールリングを活用することで，フレキシブルな制御構成が可能になる。</p> <p>最後に第6章において本論文の結論を述べる。</p> |          |    |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3660 号 | 氏 名       | 山之内 亘        |
|---|------------|-----------|--------------|
| 論文審査担当者：  | 主査         | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 桂 誠一郎 |
|   | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 大西 公平   |
|   |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 藪野 浩司   |
|   |            | 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) 山之内亘君提出の学位請求論文は「Bilateral Force Feedback Control for Extension of Motion Area」(動作範囲拡張のためのバイラテラル力覚フィードバック制御)と題し、6章から構成されている。</p> <p>人間の身体性のさらなる拡張を目的として、動作を遠隔地において発現し、遠隔地からの感覚情報をフィードバックさせるための技術について多くの研究が行われてきている。中でも人間の力覚や触覚情報を双方向に伝送・再現させるためのバイラテラル制御が臨場感ある実現にあたって重要な要素となっている。しかしながら従来研究の多くは据え置き型のマスタ・スレーブデバイスの使用を前提としているために、動作スケージングの導入によりある程度の動作範囲の延伸が可能になっているものの、無限大に拡張するまでには至っていない。本論文はこの点を解決し、ヒューマンインタフェースに新しい機能を導入させるためのバイラテラル力覚フィードバック制御の設計手法を示したものである。</p> <p>第1章は序論であって、従来の研究をまとめるとともに、双方向性を有する感覚情報の伝送・再現にはバイラテラル制御が必要であることを示している。</p> <p>第2章では動作範囲を無限に拡張するために、マスタとスレーブ間で異なる単位や次元の情報を伝送するバイラテラル制御の一般的枠組みについて提案している。バイラテラル制御はマスタとスレーブ間で双対性を有するパラメータを制御することで、エネルギーの伝送を透明性の観点で評価を行っているが、提案手法ではこの透明性の概念を拡張し、規格化インピーダンスにより評価を行っている。また異なる単位間での和差演算を行うための単位法についても導入を行っている。</p> <p>第3章ではスレーブに移動ロボットを使用し、据え置き型のジョイスティックで操作を行うインタフェースの実現法について述べている。本提案ではマスタ・スレーブ間の同期制御に次元の単位変換を導入し、位置情報と速度情報を無次元化して同期させることで、動作範囲の拡張を可能にしている。</p> <p>第4章では電気自動車への実装を見据え、提案手法をステアバイワイヤシステムに応用した際の設計手法について示している。また、同期制御の次元差をより高次に拡張した場合における一般化手法についても示している。</p> <p>第5章では提案手法のバイラテラル制御を拡張し、3台以上のシステム間に適用してフレキシブルなヒューマンインタフェースを構築するためのマルチラテラル制御の設計方法論を示している。</p> <p>第6章は各章で得られた成果をまとめ、論文全体の結論を述べている。</p> <p>以上要するに、本論文はバイラテラル制御においてマスタ・スレーブ間でやり取りする情報の単位や次元を変化させることで、人間の動作を無限大の動作範囲において再現することが可能になることを理論的かつ実験的に示したもので、ハプティクス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。</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.3661 | Name | Akthar, Mohammad Waseem |
| <b>Thesis Title</b><br>Electron paramagnetic resonance of photoexcited triplet states of oxygen-vacancy centers in silicon   |               |      |                         |
| <p>                     This research was conducted 1) to determine if a relationship exists between specific capacity and effective porosity, and 2) to establish a direct relationship between specific capacity and effective porosity, and 3) to calibrate and test the relationship between specific capacity and effective porosity with a variation of sedimentary and rock environments, and 4) to confirm the reliability of this direct relationship between specific capacity and effective porosity. Conceptually the relationship between specific capacity and effective porosity existed. A thorough review of academic literature indicated that a direct relationship between specific capacity and effective porosity does not exist, although effective porosity has been studied and is one of many parameters that determine the flow of groundwater. However, effective porosity can not be measured from field studies. When a well is drilled, a drillers log is recorded with the construction details, usually including the depth of the well, screened sections, and water levels under static and pumping conditions, etc. From these data, we can easily calculate the specific capacity. Data obtained from direct measurement and simulated pump tests with a variety of sediment sizes in a laboratory were used to define the initial relationship between specific capacity and effective porosity. The equation that describes that relationship was further modified to determine the best solution for the laboratory test data. The equation developed in the laboratory experiments were subsequently applied to a field well database of 609 selected wells which penetrate a range of a variety of sediments and rocks. Through an iterative process, the relationship developed in the laboratory was applied successfully to field data.                 </p> <p>                     The final resultant equation that describes the relationship between specific capacity and effective porosity was successfully determined and calibrated using field data and revised for application to the selected wells which met the criteria to be used for this research. Individual values of effective porosity were calculated for each well using only the calculated specific capacity. The equation accurately produced effective porosity results that reflect conditions in the groundwater system of 9 layers of aquifers and aquitards of various lithologic descriptions ranging from unconsolidated sediments to volcanic rocks. The result is that this relationship to calculate effective porosity directly from specific capacity was confirmed and can be applied without knowing any details of the well construction or lithology. This is a major breakthrough in understanding the direct relationship between specific capacity and effective porosity and is shows that effective porosity can be easily calculated and used to determine aquifer characteristics. The result shows a significant advance over traditional methods of determining effective porosity from field data, making parameter estimation for groundwater flow models and simulations much simpler.                 </p> |               |      |                         |

## 論文審査の要旨

|          |            |                                   |                        |                  |
|----------|------------|-----------------------------------|------------------------|------------------|
| 報告番号     | 甲 第 3661 号 | 氏 名                               | Akhtar Mohammad Waseem |                  |
| 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            |
|          |            | 慶應義塾大学准教授                         | 博士（理学）                 | 早瀬 潤子            |
|          |            | 慶應義塾大学専任講師                        | 博士（工学）                 | 神原 陽一            |
|          |            | St. Petersburg Polytechnical 大学教授 | Sc. D.                 | Vlasenko, Leonid |

Bachelor of Science (Physics), Master of Science (Physics) Akhtar 君の学位請求論文は「Electron paramagnetic resonance of photoexcited triplet states of oxygen-vacancy centers in silicon( シリコン中の酸素-空孔欠陥における光励起三重項状態の磁気共鳴に関する研究)」と題し、全六章より構成されている。

固体量子コンピュータの実現は、物性物理分野における長期目標の1つである。特に超伝導または半導体を用いた量子コンピュータの開発が進む現在、半導体シリコンを用いた構成が注目を集めている。ここではシリコン中の不純物や量子ドットに束縛された電子スピン、不純物の核スピン、そして安定同位体である  $^{29}\text{Si}$  核スピン等を量子ビットとして利用することが検討され、異なる量子ビット間で量子情報を自由自在に移動する技術の確立が摸索されている。そこで本論文において申請者は、シリコン中の酸素-空孔欠陥に着目し、光照射により生成される電子スピン三重項状態の詳細を電子磁気共鳴により解明し、その知見に基づき、酸素-空孔欠陥の電子スピン三重項状態と  $^{29}\text{Si}$  核スピンの間で量子情報を自在に交換する実験手法を確立する。

第一章は導入で、半導体中の様々なスピン状態とその応用が概観される。

第二章では、本論文の主要実験技術である電子磁気共鳴の詳細が紹介される。

第三章では、シリコン中の酸素-空孔欠陥の電子スピン三重項状態（以下、SL1 とよぶ）とリン不純物に束縛された電子スピンの相互作用の詳細が解明される。ここでは電子磁気共鳴を試料の電気伝導度の変化として捉える手法が駆使され、SL1 とリンの電子スピンのゼーマン分裂が等しくなる特定の印加磁場においては、両スピンの間でフリップフロップが誘起されることが示される。

第四章では、光励起により生成されたスピン三重項 SL1 欠陥が、スピン一重項状態に緩和するダイナミクスが時間領域測定により明らかにされ、さらには SL1 と最近接にある  $^{29}\text{Si}$  核スピンの相互作用の詳細が明らかにされる。特にダイナミクス測定においては、光照射後の 1.5 ミリ秒で電子スピン分極率が 100% に達する事が示される。これは量子情報処理で必要とされる初期化に相当する。

第五章では初期化された SL1 の電子スピン量子情報を最近接の  $^{29}\text{Si}$  核スピンに移し、つづいて  $^{29}\text{Si}$  核スピンの量子情報を核磁気共鳴により操作し、最後に  $^{29}\text{Si}$  核スピンの量子情報を SL1 電子スピンに戻すことに成功した実験が示される。これは、シリコン中で  $^{29}\text{Si}$  核スピンを量子ビットとして利用した初めての実験例である。

半導体に基づく量子コンピュータを実現するためには、異なる量子ビット間で量子情報を移動する物理プロセスを見出すことが不可欠である。よって本研究で得られた量子情報の移動に関する知見は、半導体量子コンピュータ開発に重要な指針を与えるものと期待される。

よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|  |            |     |       |
|--|------------|-----|-------|
| 報告番号   | 甲 第 3662 号 | 氏 名 | 高橋 和義 |
| 主 論 文 題 目：<br>Improvements and Applications of the Isotropic Periodic Sum Method for<br>Molecular Simulations<br>(分子シミュレーションにおける等方的周期和法の改良と応用)   |            |     |       |
| <p>分子動力学 (MD) シミュレーションはナノスケールのうちに起こる現象を時間発展的に追うことで物質のミクロなダイナミクスを詳細に記述する手法である。近年、計算機性能の飛躍的な向上により、生体膜や高分子などに代表される大規模かつ複雑な系における MD シミュレーションに期待が集まっている。MD シミュレーションにおいて最も計算コストが高く、計算機性能が要求される箇所は分子間相互作用、特にクーロン力に代表される長距離相互作用の計算である。そのため、計算コストを低減するべく数多くの手法がこれまでに考案されてきた。</p> <p>現在の計算機は MD シミュレーションにおいて十万個以上の分子数を扱うことに成功しているが、1 モルのオーダーの分子数を必要とする現実系を再現するには程遠い計算能力であるといえる。そこで現実系の近似として周期境界条件がよく用いられている。周期境界条件下での長距離相互作用計算として、Cutoff 法と Lattice sum 法の 2 つが挙げられる。Cutoff 法はある一定以上の距離 (カットオフ距離という) からの相互作用をすべて考慮しない、あるいは近似的に考慮する手法である。しかし長距離相互作用の遮断はシミュレーション結果に深刻な影響を与えることが知られている。Lattice sum 法は周期的な系に配置された物質分子同士の相互作用を厳密に計算する手法であり、Cutoff 法に比べ精度が高いため広く用いられている。しかし Lattice sum 法は計算コストの高さと、厳密に周期和をとることによる Symmetry effect が問題点として指摘されている。</p> <p>Cutoff 法と Lattice sum 法の両者にそれぞれある問題点を解決する手法として、等方的周期和 (Isotropic periodic sum: IPS) 法が開発された。その名称が示すとおり、Cutoff 法のような等方性と Lattice sum 法のような周期性を兼ね備えた場を仮定することで近似的に長距離効果を取り入れる手法である。IPSn 法と IPSp 法の 2 タイプの IPS 法が開発され、IPS 法を用いた MD シミュレーションがいくつか行われてきたが、IPS 法の物理的描像、利点と欠点を明らかにするには不十分であった。</p> <p>本研究では、IPS 法の持つ特性を明らかにするために、Lennard-Jones 流体、水バルク、水気液界面系の 3 つの基礎的な MD シミュレーションを行った。その結果、Lennard-Jones 流体は IPS 法を用いることで非常によく再現されること、水バルク系においては IPSn 法が深刻な影響をもたらすことが示された。水気液界面系では IPSn 法が IPSp 法よりもはるかに短いカットオフ距離で十分な精度をもつことが明らかになったが、そのカットオフ距離は少なくともシミュレーション系の最大の格子の長さの半分を必要とすることがわかった。</p> <p>長いカットオフ距離を用いることによる IPS 法の計算コストの増大を解決するために、IPS/Tree 法が本研究を通して新規に開発された。IPS/Tree 法は大規模系における高速な長距離相互作用計算の可能性をもち、かつ十分な計算精度を与える手法であることが示された。</p> <p>IPSn 法および IPSp 法に存在するそれぞれの欠点を解決するために、基本概念レベルでの改良を施した新規手法 (LIPS 法) がこの研究を通して開発された。LIPS 法は水バルクにおいて IPSp よりも高い精度をもち、かつ水気液界面系において IPSn 法よりも高い精度をもつことが示された。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |                    |
|----------|------------|-----------|--------------------|
| 報告番号     | 甲 第 3662 号 | 氏 名       | 高橋 和義              |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 博士(工学) 泰岡 顕治       |
|          | 副査         | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学)・TeknD 深湯 康二 |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 荻原 直道       |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(理学)・医学博士 藤谷 洋平  |

学士(工学) 修士(工学)高橋和義君提出の学位請求論文は「Improvements and Applications of the Isotropic Periodic Sum Method for Molecular Simulations (分子シミュレーションにおける等方的周期和法の改良と応用)」と題し、9章から構成されている。

近年、計算機性能の飛躍的な向上により、生体膜や高分子などに代表される大規模かつ複雑な系における分子動力学(MD)シミュレーションに期待が集まっている。MDシミュレーションにおいて最も計算コストが高い部分は長距離相互作用の計算である。計算コストを低減する周期境界条件下における長距離相互作用計算として、Cutoff法とLattice sum法の2つが挙げられる。Cutoff法はある一定以上の距離(カットオフ距離)からの相互作用をすべて考慮しない手法であるが、シミュレーション結果に深刻な影響を与えることが知られている。一方、Ewald法に代表されるLattice sum法は周期的な系に配置された物質分子同士の相互作用を厳密に計算する手法であるが、計算コストの高さと、Symmetry effectが問題点として指摘されている。そこで、両者にそれぞれある問題点を解決する手法として、等方的周期和(Isotropic periodic sum: IPS)法が開発された。IPS法は、Cutoff法のような等方性とLattice sum法のような周期性を兼ね備えた場を仮定することで近似的に長距離効果を取り入れる手法であるが、物理的描像、利点と欠点を明らかにするには不十分であった。

本論文では、IPS法の持つ特性を明らかにするために、Lennard-Jones流体、水バルク、水気液界面系の3つの基礎的で重要な系においてMDシミュレーションを行っている。

第1章では本論文の背景および目的、構成を、第2章では古典分子動力学シミュレーションの基礎理論を説明している。第3章では、IPS法について説明している。第4章から第8章に結果を示している。第4章では、Lennard-Jones液体にIPS法を用いた計算を行っている。エネルギー、動径分布関数等の熱力学性質、拡散係数等の輸送性質を計算し、3.0以上のカットオフ距離を用いた場合には、IPS法を用いないでカットオフをしない系の結果を良く再現することを示している。

第5章では、水バルク系についてクーロン力にIPS法を用いた計算を行っている。エネルギー、動径分布関数等の熱力学性質、拡散係数等の輸送性質を計算し、2.2 nm以上のカットオフ距離を用いた場合には、Ewald法を用いて計算した系の結果を良く再現することを示している。オリジナルなIPS法であるIPSn法では、カットオフ近傍で動径分布関数の結果がEwald法の結果と大きく異なることが示されている。改良された方法であるIPSp法では、カットオフ近傍で動径分布関数のおかしな振る舞いは観察されないことが示されている。

第6章では、水気液界面系にIPS法を用いた計算を行っている。IPSn法がIPSp法よりもはるかに短いカットオフ距離で十分な精度をもつことが明らかになったが、そのカットオフ距離は少なくともシミュレーション系の最大の格子の長さの半分を必要とすることが示されている。

第7章では、長いカットオフ距離を用いることによるIPS法の計算コストの増大を解決するために、IPS/Tree法を開発している。IPS/Tree法は大規模系における高速な長距離相互作用計算の可能性をもち、かつ十分な計算精度を与える手法であることが示されている。

第8章では、ここまでで明らかになったIPSn法およびIPSp法に存在するそれぞれの欠点を解決するために、基本概念レベルでの改良を施した新規手法(LIPS法)を開発している。LIPS法は水バルクにおいてIPSpよりも高い精度をもち、かつ水気液界面系においてIPSn法よりも高い精度をもつことが示されている。最後に第9章で研究全体に関する結論を述べている。

以上要するに、本論文の著者は、分子シミュレーションの計算で重要な部分を占めている長距離相互作用の計算法であるIPS法の妥当性の検証と新規手法の開発を行った。その成果は、長距離相互作用計算に重要な役割を果たすのみでなく、分子シミュレーションを用いた研究の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認めらる。

## 内容の要旨

|  |            |     |      |
|--|------------|-----|------|
| 報告番号   | 甲 第 3663 号 | 氏 名 | 間淵 聡 |
| 主論文題目：<br>粒子を用いた火炎の対話的なビジュアルシミュレーション   |            |     |      |
| <p>近年の対話的コンピュータグラフィックス (CG) は, GPU (Graphics Processing Unit) の進歩と共通処理のミドルウェア化によって, 急速な普及を遂げている. この技術は, 従来のゲームグラフィックスのみならず, 映画制作や都市設計など, 様々な分野へ適用が広がられている.</p> <p>対話的 CG において, 物理シミュレーションは特に重要な位置を占める. 現在, 固体や弾性体などの多くの物理シミュレーションは対話的な速度で実行可能となっているが, 気体状の現象の物理シミュレーションは未だ十分な研究が行われていない. 本論文では, 手作業での表現が特に難しい, 火炎の対話的なビジュアルシミュレーション法を提案した. このビジュアルシミュレーション法では, 物理的妥当性を考慮しながらも, 視覚的妥当性を優先した. そのため, 物理シミュレーション法だけでなく, 画像を高精度にするためのレンダリング法も開発した. また, 本論文では, 一貫して粒子を用いた. これにより, 格子を用いた場合と違い, ユーザに空間制限を課す必要がなくなり, しかも対話性を向上させることができた.</p> <p>具体的には 物理シミュレーション法として 広く用いられている粒子法である SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) を拡張した, 火炎シミュレーション法を提案した. また, 高精度なレンダリング法として ボリュームレンダリング法の 1 つである粒子ベースボリュームレンダリングを, 火炎のビジュアルシミュレーション向けに簡易化した, 火炎レンダリング法を提示した. さらに, GPU を用いることによって, これらの物理シミュレーション法とレンダリング法をともに高速化した.</p> <p>本論文での成果により, 空間制限のない, 対話的な速度で動く, 火炎のビジュアルシミュレーションが可能となり, ユーザが自在に火炎を扱えるようになった.</p> |            |     |      |

## 論文審査の要旨

| 報告番号     | 甲 第 3663 号 | 氏 名          | 間淵 聡         |
|----------|------------|--------------|--------------|
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授     | 理学博士 藤代 一成   |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授     | 工学博士 山本 喜一   |
|          |            | 慶應義塾大学准教授    | 博士(工学) 今井 倫太 |
|          |            | 慶應義塾大学教授     | 博士(工学) 高野 直樹 |
|          |            | 東北公益文科大学特任教授 | 工学博士 大野 義夫   |

学士(工学), 修士(工学) 間淵 聡君が提出した学位請求論文は“粒子を用いた火炎の対話的なビジュアルシミュレーション”と題し, 全8章から構成されている。

本研究は, GPU (Graphics Processing Unit)の進歩と共通処理のミドルウェア化によって, 近年急速に普及しつつある対話的コンピュータグラフィックス (CG)の学術的重要性に着目し, 固体や弾性体と異なり, 未だ十分な研究が行われていない気体状の現象, とりわけ手作業での表現が困難な火炎のビジュアルシミュレーションに対し, 物理的妥当性を尊重しながらも視覚的妥当性を追求する新たな手法を提案したものである。

第1章は序論であり, 従来のゲームグラフィックスのみならず, 映画制作や都市設計など, 様々な分野へと適用が広がられている対話的CGについて, 実用と技術の両面から俯瞰し, 本研究の目的と寄与内容を明確に述べている。

第2章は, 火炎のビジュアルシミュレーションを構成するシミュレーション法とレンダリング法に関する関連研究を紹介している。前者では格子法と粒子法, 後者ではレイマーチング, ビルボード, 粒子ベースポリウムレンダリングをそれぞれ採り上げ, 手法間の利害得失を比較し, 本研究で基盤とするアプローチを選択している。

第3章では, 流体の物理シミュレーション法として, 広く用いられてきた粒子法であるSPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法に, 浮力項と簡易な化学反応モデルを導入することにより, 基本となる火炎シミュレーション手法を提案している。

一方第4章では, 専ら科学技術データ可視化に利用されてきた粒子ベースポリウムレンダリングを火炎のビジュアルシミュレーション向けに簡易化し, さらにアルファテクスチャの援用により, 第3章で提示した火炎シミュレーション法に見合う高精度かつ高効率な火炎レンダリング法を提案している。

続く第5章および第6章では, 第3章および第4章の手法を, GPUを利用してそれぞれ高速化し, 総合的に, 現在の標準的な計算環境下でも, 数万粒子を用いた対話的かつ写実的な火炎シミュレーションが実行可能であることを実証している。

第7章では, 以上提案した4手法に関して, 現実の火炎や高精度なシミュレーション法との定性的比較に加え, 放送業界・CGプロダクションからの評価結果を交え, その効用と課題について具体的に検討している。

第8章は本論文の結論であり, 提案手法の有効性についてまとめるとともに, 今後の関連技術に関する独自の展望を述べている。

以上要するに, 本論文では, 一貫して粒子系の表現に基礎をおくことによって, 空間制限なく, 対話的な速度で動作する火炎のビジュアルシミュレーションを可能にした。その成果により, 利用者は火炎を含む映像を自在に演出できるようになり, 対話的CG分野に対して寄与するところが少なくない。また, これらの成果は, 著者が今後研究者として自立して研究活動を展開するために必要となる高度な研究能力および豊かな学識を備えていることを示したものと見える。

よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。



## 内容の要旨

|   |            |     |      |
|---|------------|-----|------|
| 報告番号  | 甲 第 3664 号 | 氏 名 | 齊藤 毅 |
| 主論文題目：<br>NF-κB 阻害剤 DHMEQ の作用機序解明に向けた化学的アプローチ   |            |     |      |
| <p>NF-κB シグナル伝達経路は免疫反応において中心的な役割を果たす一方で、その過剰な活性化は免疫過剰やガンの亢進を招く。そのため、過剰に活性化した NF-κB を阻害する化合物は炎症性疾患やガンの化学療法に有用な薬剤となるのみならず、病理解明のための重要なプローブとなることが期待される。そのような背景のもと、2000 年以降、数多くの小分子 NF-κB シグナル伝達経路阻害剤が次々と見出され、中でも天然由来のシクロエポキシドン、パンエポキシドン、天然物をモデルに開発されたデヒドロキシメチルエポキシキノマイシン(DHMEQ)などに代表されるエポキシキノール骨格を有する NF-κB 阻害剤は、強力な NF-κB シグナル伝達経路阻害活性を示すことから関連分野の多くの研究者の注目を集めている。これらエポキシキノイド化合物は構造的に類似しているにも拘わらず、その作用機序は大きく異なる。特に、DHMEQ はシクロエポキシドンやパンエポキシドンと比較し、低毒性かつ特異な作用機序で NF-κB シグナル伝達経路を阻害し、近年 NF-κB が関与する様々な病態モデル動物実験でも奏効を示していることから、その詳細な作用機序解明が望まれている。本論文では、DHMEQ の作用機序を化学的な見知から解明すべく、下記の 1 ~ 3 のアプローチを試みたものである。</p> <p>1．海洋生物由来エポキシキノイド型天然物パラシテノンの合成と生物活性評価<br/>DHMEQ の構造活性相関を調べるために、DHMEQ と同様のエポキシキノール骨格を有するパラシテノンの合成を行った。また、パラシテノンの NF-κB シグナル伝達経路阻害活性を調べることで、NF-κB シグナル伝達経路阻害のために必須な構造がエポキシキノール骨格であることを見出し、DHMEQ 上のサリチル酸残基は NF-κB と直接作用するために必要なガイド構造である可能性を見出した。</p> <p>2．DHMEQ のアミノエポキシキノール骨格を有する誘導体の合成と生物活性評価<br/>N-置換アミノエポキシキノールを合成し、DHMEQ のサリチルアミドの構造が活性に与える影響を調べた。サリチルアミド構造の役割は非常に厳密であり、アミド結合をウレタン結合に変化させると全く阻害活性を示さなくなり、一方で同様のアミド構造を有し、芳香環を取り去った誘導体では、NF-κB シグナル伝達経路とは異なる抗炎症活性を示した。この結果は、サリチルアミド構造が、活性部位の認識に深く関与し、また、その構造がタンパク側と相互作用することで活性が発現することを支持する結果であった。</p> <p>3．DHMEQ の作用機序解明に向けたビオチン化 DHMEQ の合成と評価<br/>DHMEQ はこれまで生物実験からその作用機序が提唱されてきているが、直接的に標的タンパク質を明らかにできていない。そこで細胞から直接 DHMEQ 結合タンパク質を同定するためにビオチン化した DHMEQ を分子設計し、合成を行った。合成したビオチン化 DHMEQ は、細胞膜透過性を示し、また DHMEQ と同様の作用を示した。また、結合実験により、標的タンパク質が p65 であることを明らかにした。</p> |            |     |      |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |              |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 報告番号     | 甲 第 3664 号 | 氏 名       | 斉藤 毅         |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 西山 繁    |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授  | Ph.D. 梅澤 一夫  |
|          |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 戸嶋 一敦   |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(理学) 末永 聖武 |

学士（理学），修士（理学）斉藤毅君提出の論文は，「NF- $\kappa$ B 阻害剤 DHMEQ の作用機序解明に向けた化学的アプローチ」と題し，序論，本論 3 章，結論，および実験編から構成されている．

医療技術の日進月歩の発展に伴い，生体系に対する様々な作用機序を有する化学療法剤が多数開発されている．NF- $\kappa$ B は免疫反応において中心的な役割を果たす一方で，その過剰な活性化は免疫過剰あるいはガンの亢進を招くことが知られている．したがって，過剰に活性化した NF- $\kappa$ B の阻害剤は炎症性疾患やガンの化学療法に有用な薬剤となることが期待されている．そのような背景の下，数多くの小分子 NF- $\kappa$ B シグナル伝達経路阻害剤が見出される中で，天然物を基盤とした，エポキシキノールとサリチル酸部分から構成されるデヒドロキシメチルエポキシキノマイシン(DHMEQ)は，強力な NF- $\kappa$ B シグナル伝達経路阻害活性を示すことから関連分野の多くの研究者の注目を集めてきた．関連するエポキシキノイド化合物が多数存在する中で，DHMEQ は低毒性かつ特異な作用機序で NF- $\kappa$ B シグナル伝達経路を阻害し，さらに NF- $\kappa$ B が関与する様々な病態モデル動物実験でも奏効を示していることから，その詳細な作用機序解明が望まれている．そのような状況において，本論文は NF- $\kappa$ B シグナル伝達経路を標的とした阻害物質の開発研究に対してケミカルバイオロジーの方法によりアプローチしたものである．内容を以下に概略する．

序論においては，上記の NF- $\kappa$ B シグナル伝達経路とその阻害剤に関する背景と本論文の概要を述べている．

本論 1 章では，海洋生物由来エポキシキノイド型天然物パラシテノンの合成と生物活性評価を行っている．すなわち，DHMEQ の構造と活性の相関性を調べるために，DHMEQ と同様のエポキシキノール部分を有するパラシテノンの合成を行った．また，パラシテノンの NF- $\kappa$ B シグナル伝達経路阻害活性を詳細に調べることで，同阻害に必須な構造がエポキシキノール部分であることを明らかにし，サリチル酸部分は NF- $\kappa$ B とより強く作用するために必要とされる可能性を見出した．

本論 2 章では，DHMEQ のアミノエポキシキノール部分に関する誘導体の合成と生物活性評価を行っている．N-置換アミノエポキシキノールを合成することにより DHMEQ のサリチルアミドの構造が活性に与える影響を調べた結果，サリチルアミドの役割は特化されており，アミド結合をウレタン結合に置換すると全く活性を示さなくなるが，一方芳香環を除去したアミド構造では，NF- $\kappa$ B シグナル伝達経路とは異なる抗炎症活性を示した．したがって，DHMEQ のサリチルアミド部分は活性部位の認識に深く関与し，かつタンパク質側と相互作用することで活性が発現することが支持された．

本論 3 章では，DHMEQ の作用機序解明に向けたビオチン化 DHMEQ の合成と評価を行っている．DHMEQ は現在までにその作用機序が提唱されてきているが，生体内局在などは明らかにできていない．そこで，ビオチン化 DHMEQ の合成を行った．合成品は，DHMEQ と同様の細胞膜透過性等を示すとともに，標的タンパク質が p65 であることを示唆している．

上記の研究を結論として総括した後，実験編において目的達成に至る実験内容を詳細に述べている．

以上，著者の研究はケミカルバイオロジー的なアプローチにより，NF- $\kappa$ B シグナル伝達経路およびその周辺の機序解明に大きく貢献したものであり，評価することができる．

よって，本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める．

# Thesis Abstract

|   |               |      |            |
|---|---------------|------|------------|
| Registration Number   | “KOU” No.3665 | Name | Ding, Ning |
| Thesis Title  |               |      |            |
| Blind Source Separation and Direction Estimation for Stereophonic Mixtures of Multiple Speech Signals Based on Time-Frequency Sparseness  |               |      |            |
| <p>With the development of modern technologies, human-machine interfaces have become increasingly important. Among the various applications of human-machine interfaces like video conference, hands-free system, robot audition and so on, speech information is very useful. The questions such as "Where is the speech source?" and "Can the desired speech be obtained from many simultaneous speeches?" are often encountered. The former is known as the direction-of-arrival (DOA) problem, while the latter is known as the blind source separation problem, for which a sensor array technique is essential.</p> <p>In this dissertation several approaches to source separation and DOA estimation using a pair of microphones are described. The methods are performed in the time-frequency domain and can even be applied to an underdetermined case where there are fewer microphones than the number of simultaneously uttered speech sources. In addition, the proposed separation algorithm solves the blind source separation problem, namely without using prior knowledge of source localization, active time, and mixing process. This thesis is organized as follows.</p> <p>Chapter 1 introduces the background and the purpose of this thesis.</p> <p>Chapter 2 summarizes the foundation of speech signal processing by microphone array, especially the issues of the blind source separation and the DOA estimation. Some conventional methods and recent contributions are reviewed.</p> <p>In Chapter 3, a time-frequency domain masking method for separating stereophonic audio mixtures is described. The novel approach is based on the frame-wise analysis of the phase difference versus frequency data plot and the harmonic structure in lower frequency band. The separation system comprises two main steps. First, the phase difference-frequency data distribution is investigated by the principal component analysis in a single time frame, and single source active frames are selected for DOA estimation. In the second step, the harmonic structure observed in the spectrograms of initially separated individual sources is associated with the frequency components of the mixture signals. The proposed method attains higher separation performance than conventional methods.</p> <p>Chapter 4 describes two main contributions for DOA estimation of multiple sources. One is a novel selection method of reliable cells, and the other is a kernel density estimator approach with a novel bandwidth determination. The latter is derived by a statistical model between the phase difference error at a time-frequency cell and the estimated direction. The experimental results show that the proposed method outperforms other conventional methods in terms of both accuracy and robustness.</p> <p>Chapter 5 summarizes the results obtained in individual chapters and concludes this study.</p> |               |      |            |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |              |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 報告番号     | 甲 第 3665 号 | 氏 名       | Ding, Ning   |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 浜田 望    |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 池原 雅章   |
|          |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 岡田 英史   |
|          |            | 慶應義塾大学教授  | 博士(工学) 田中 敏幸 |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 満倉 靖恵 |

学士(工学), 修士(工学) DING, Ning 君提出の学位請求論文は「Blind Source Separation and Direction Estimation for Stereophonic Mixtures of Multiple Speech Signals Based on Time-Frequency Sparseness (時間-周波数スパース性に基づく複数音声信号のステレオ混合におけるブラインド音源分離と到来方向推定)」と題し、5章から構成されている。

近年、デジタル信号処理技術の発展に伴って、音声を利用したヒューマンマシンインタフェースシステムが注目されている。音声によるハンズフリーインタフェースを備えた情報機器や聴覚機能を有するロボットなどはその代表例である。このような音声インタフェースの設計における課題はそのシステムのおかれた環境で高品質の音声を入力することである。そのために、音源分離と音声到来方向推定に関する研究が進められている。

本研究は、複数の同時発話された混合音声信号から個々の音声を事前情報無しに抽出するブラインド音源分離システムと、センサー数を超える複数音源にも対応した話者方向推定システムをマイクロホン対によって実現する手法に関するものである。特に音声信号の時間-周波数分解におけるスパース性、すなわち音声を持つ主要な時間-周波数成分が音声同士で重なることが極めて少ないという性質を利用したものである。

第1章は緒論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章は本研究に関わる従来研究として音声を対象としたアレー信号処理手法、時間-周波数分解と音源の方向情報に基づく音源分離手法、ならびに音源方向推定の手法をまとめている。

第3章では、マイクロホン対による観測信号の短時間フーリエ変換領域において時間フレームごとの位相差周波数対のデータを有効に利用することで音源分離を行う手法を提案している。特に、提案法は、まとまった時間区間の遅延データをクラスタリング手法によって分離する従来法と異なり、時間フレーム毎の位相差データを主成分分析によって発話音源数の違いとして識別し、分離性能の向上を図ったものである。また、方向推定精度が低下する低周波数領域において音声がある調波構造を利用する方法も提案している。これら提案法の有効性は実環境における実験と従来法の比較によって明らかにしている。

第4章では、まず観測信号対の時間-周波数分解によって求められた各要素における推定位相差の信頼度を間接的に推測できる新たな指標を提案し、引き続き位相差推定誤差と到来方向推定誤差間の伝搬モデルを確立している。後者のモデルにより複数音源の方向推定問題を確率密度関数の推定として捉え、これにカーネル密度推定法を適用する新たな方式を提案している。特に、カーネル関数のバンド幅決定に際し、提案した伝搬モデルの結果を反映したことは著者の優れた創意点である。提案法は、これら信頼度にもとづく位相差データの選択とカーネル密度推定法の融合により、従来法よりも推定精度とノイズに対するロバスト性の両面で優れていることを実験によって確認している。

第5章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめている。

以上要するに、本研究は時間-周波数領域におけるスパース性を利用した音源分離、および音源方向推定に関するいくつかの手法を提案し、実環境での実験によってこれらの手法の有効性を明らかにしており、ヒューマンマシンインタフェース工学分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|   |            |     |                        |
|---|------------|-----|------------------------|
| 報告番号  | 甲 第 3666 号 | 氏 名 | NORHARYATI BINTI HARUM |
| 主論文題目：<br>Analysis of Performance Degradation due to Channel Estimation Error in<br>Pre-Rake TDD/CDMA   |            |     |                        |
| <p>本論文は、プレコーディングを用いた Time-Division Duplex Code-Division Multiple-Access (TDD-CDMA)の特性解析及びピーク対平均電力比 (PAPR) 特性改善の研究に関するものである。プレコーディングを用いると、ダウンリンクにおいて端末で行われる干渉除去を、送信局である基地局に移すことができる。そのため、端末を低コストかつ低消費電力で実現できる。TDD では、プレコーディングで用いるチャネル情報を、チャネル可逆性に基づき得られる。従来のプレコーディングに関する検討は、完全なチャネル情報に基づき行われている。しかし、TDD を用いた場合も、チャネル変動の速さや雑音の影響により、完全なチャネル情報を得ることはできず、その影響により特性劣化が懸念される。また、CDMA は PAPR 特性が優れているため、ダイナミックレンジの狭い高効率の増幅器を使うことができる。しかし、プレコーディングを用いた場合、変動の激しいチャネル情報を用いて送信信号を生成するため、CDMA でも PAPR 特性が劣化してしまう可能性がある。</p> <p>そこで、本論文では、プレコーディングとして、Pre-Rake と Joint Transmission の 2 つの技術に注目した。まず Pre-Rake を用いた TDD-CDMA について、不完全なチャネル推定の影響を理論的に解析し明らかにした。また、Joint Transmission を用いた TDD-CDMA について、PAPR 特性が劣化することを明らかにし、その改善法を提案した。</p> <p>本論文は 4 章で構成される。</p> <p>1 章は序論であり、本研究の背景と目的、無線通信システムの概説および TDD-CDMA の概説を述べ、本研究の位置づけを述べている。</p> <p>2 章では、Pre-Rake を用いた TDD-CDMA について、不完全なチャネル情報の影響を理論的に解析している。受信機処理である Rake 方式の特性と比較し、不完全なチャネル情報の影響は、Rake 方式に比べ Pre-Rake 方式において大きいことを明らかにしている。</p> <p>3 章では、まず、Joint Transmission を用いた TDD-CDMA の PAPR 特性を評価し、Joint Transmission により、PAPR 特性が劣化することを明らかにしている。その結果に基づき、Joint Transmission に適した PAPR 低減法として、通信路のパスのうち支配的なパスを選択し、選択したパスの情報に基づきプレコーディングを行う手法を提案している。また、提案法とクリッピング技術を併用することにより、さらに PAPR 特性を改善する手法を提案し、その有効性を明らかにしている。</p> <p>最後に 4 章で本論文の総括を行い、解析の意義、提案法の有効性を示している。</p> |            |     |                        |

## 論文審査の要旨

|          |            |           |                        |
|----------|------------|-----------|------------------------|
| 報告番号     | 甲 第 3666 号 | 氏 名       | NORHARYATI BINTI HARUM |
| 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           |

学士(工学),修士(工学),NORHARYATI BINTI HARUM 君提出の学位請求論文は,「Impact of Channel Estimation Error and PAPR Reduction for Precoding Techniques in TDD-CDMA (プレコーディングを用いた TDD-CDMA におけるチャンネル推定誤差の影響およびピーク対平均電力比の低減)」と題し,全 4 章から構成されている。

プレコーディング技術を用いると,ダウンリンクにおいて端末で行われる干渉除去を,送信局である基地局に移すことができる。そのため,端末を低コストかつ低消費電力で実現できる。TDD (Time Division Duplex)では,プレコーディングで用いるチャンネル情報を,チャンネル可逆性に基づき上りリンクから得られる。従来のプレコーディングに関する検討は,完全なチャンネル情報に基づき行われている。しかし,TDD を用いた場合も,チャンネル変動の速さや雑音の影響により,完全なチャンネル情報を得ることはできず,その影響による特性劣化が懸念される。また,CDMA (Code Division Multiple Access) はピーク対平均電力比 ( PAPR : Peak to Average Power Ratio ) 特性が優れているため,ダイナミックレンジの狭い高効率の増幅器を使うことができる。しかし,プレコーディングを用いた場合,振幅変動の大きなチャンネル情報を用いて送信信号を生成するため,CDMA でも PAPR 特性が劣化してしまう可能性がある。

本論文では,プレコーディングを用いた TDD -CDMA におけるチャンネル推定誤差の影響を解析し,また,PAPR の低減法を提案している。プレコーディングとして,Pre Rake と Joint Transmission の 2 つの技術に注目し,まず Pre Rake を用いた TDD -CDMA について,不完全なチャンネル推定の影響を理論的に解析し明らかにしている。また,Joint Transmission を用いた TDD -CDMA について,PAPR 特性が劣化することを明らかにし,その改善法を提案している。

第 1 章は序論であり,本研究の背景及び TDD -CDMA の説明,並びに本研究の目的と意義を述べている。

第 2 章では,Pre Rake を用いた TDD -CDMA について,不完全なチャンネル情報の影響を理論的に解析している。Pre Rake 方式と,受信機処理である Rake 方式の誤り率特性と比較し,不完全なチャンネル情報の影響は,Rake 方式に比べ Pre Rake 方式において大きいことを明らかにしている。

第 3 章では,まず,Joint Transmission を用いた TDD -CDMA の PAPR 特性を評価し,Joint Transmission により,PAPR 特性が劣化することを明らかにしている。その結果に基づき,Joint Transmission に適した PAPR 低減法として,通信路のパスのうち支配的なパスを選択し,選択したパスの情報に基づきプレコーディングを行う手法と,あらかじめ決めた数のパスを選択し,選択したパスの情報に基づきプレコーディングを行う手法を提案している。また,提案法とクリッピング技術を併用することにより,さらに PAPR 特性を改善する手法を提案し,その有効性を明らかにしている。

第 4 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,プレコーディングを用いた TDD -CDMA におけるチャンネル推定誤差の影響の解析および PAPR の低減法を提案し,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 3667 号 | 氏 名 | 河村 踊子 |
| 主論文題目：<br>Experimental Study of Defect Behaviors in Germanium<br>(ゲルマニウム中の欠陥挙動に関する実験的研究)  |            |     |       |
| <p>半導体集積回路の性能は、シリコン(Si) MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect-transistor)の微細化により向上されてきた。しかし、MOSFET のゲート長が 100 nm 以下に到達するとデバイス特性のばらつきやリーク電流増大などの様々な問題が顕著化し、微細化のみに頼るデバイスの性能向上は物理的限界に近づいている。そこで、キャリア移動度がSiの3倍以上と高く、既存のSi集積回路との融合も容易な半導体ゲルマニウム(Ge)が、新しいMOSFETのチャネル材料として注目を集めている。本研究では、現在のSi MOSFET集積回路の特性を上回るGe MOSFET集積回路の実現に向けて、Ge MOSFETの作製過程の理解の基盤を成すGe点欠陥およびGe表面の挙動解明を目的とした実験に取り組んだ。</p> <p>第一章では背景を述べ、第二章では、ソース・ドレイン領域形成のための砒素(As)不純物イオン注入の母体Geへの影響を定量化する。固体ソース分子線エピタキシーを用いて安定同位体 <math>^{70}\text{Ge}</math> と天然同位体組成を有するGeを原子層単位で交互に積層した同位体超格子を作製し、その表面からAsをイオン注入した。注入されたAsイオンと衝突した母体Ge原子は移動し、その結果、Ge超格子の周期性が乱れて一部は非晶質化した。この母体Ge原子の深さ方向の平均移動距離を、二次イオン質量分析(SIMS)による<math>^{74}\text{Ge}</math>の深さ方向濃度分布の測定から決定した。さらに、試料断面の透過型電子顕微鏡観測により非晶質化した領域を特定することから、Ge原子が 0.75 nm 以上動いた場合に非晶質化が誘発されることを明らかにした。この臨界値 0.75 nm は、注入ドーズ量に依存しない普遍性を有することも分かった。第三章では、二軸性圧縮歪を有するGe中において、Ge自己拡散係数が上昇することを示す。Ge同位体超格子を緩和 <math>\text{Si}_{0.2}\text{Ge}_{0.8}</math> 層で挟み込むことにより、二軸性圧縮歪を有するGe同位体超格子を作製した。この試料を、様々な温度と時間で熱処理することにより、圧縮歪Ge中のGe原子を自己拡散させた。拡散後の <math>^{74}\text{Ge}</math>の深さ方向濃度分布をSIMSにより観測することから、圧縮歪Ge中の自己拡散係数を決定した。二軸性圧縮歪によりGe自己拡散は増速され、その増速度は、自己拡散を担う空孔欠陥周囲の局所体積変化を考慮した理論的モデルと定量的に一致することを示した。第四章では、Geナノワイヤからの近赤外フォトルミネッセンス(PL)特性を示し、ナノ構造で顕在化する電子構造に対する表面の影響を議論する。化学気相蒸着を用いてSi基板上に直径 40 nm のGeナノワイヤを垂直方向に成長し、Geナノワイヤからの近赤外波長領域のPLを初めて観測することに成功した。近赤外PL波長の試料温度・レーザー強度依存性を調べることから、その発光が直接再接合に起因することを明らかにした。また、Geと自然酸化膜界面の準位を介した非発光再結合の寿命を見積もることから、それらの準位によるキャリアの捕獲が間接再接合による発光を抑制したという仮説を導く。第五章では本研究のまとめを述べる。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

|          |            |               |                       |
|----------|------------|---------------|-----------------------|
| 報告番号     | 甲 第 3667 号 | 氏 名           | 河村 踊子                 |
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授      | Ph. D. 伊藤 公平          |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授      | 工学博士 太田 英二            |
|          | 副査         | 慶應義塾大学准教授     | 博士(理学)・医学博士 藤谷 洋平     |
|          | 副査         | 慶應義塾大学特任教授    | 理学博士 植松 真司            |
|          | 副査         | Stanford 大学教授 | Sc. D. McIntyre, Paul |

学士(工学),修士(工学)河村踊子君の学位請求論文は「Experimental Study of Defect Behaviors in Germanium (ゲルマニウム中の欠陥挙動に関する実験的研究)」と題し,全五章より構成される。

半導体集積回路の性能向上は,シリコン(Si)トランジスタの微細化により得られてきた。しかし,Si トランジスタのゲート長が 100 nm 以下に到達した現在,デバイス特性のばらつきやリーク電流増大などの様々な問題が顕在化し,微細化のみに頼る性能向上は限界に近づいてきている。そこで,キャリア移動度が Si の 3 倍以上と高く,既存の Si 集積回路との融合も容易な半導体ゲルマニウム(Ge)が,新しいトランジスタ材料として注目を集めている。本論文において申請者は,Ge トランジスタ設計および製造過程設計の基盤を成す Ge 点欠陥および表面欠陥の挙動解明を目的とした実験に取り組んだ。

第一章では背景が記述され,第二章では,ソース・ドレイン領域形成のための砒素(As)不純物イオン注入の影響が定量化される。安定同位体  $^{70}\text{Ge}$  と天然同位体組成を有する Ge が交互に積層された同位体超格子の表面に As がイオン注入されると,Ge 超格子の周期性が乱れ,一部は非晶質化する。この母体 Ge 原子の深さ方向の平均移動距離が,  $^{74}\text{Ge}$  の深さ方向の濃度分布から決定される。さらに,透過型電子顕微鏡により非晶質化した領域が特定され,Ge 原子が 0.75 nm 以上動いた場合に非晶質化が誘発されることが明らかにされる。この臨界値 0.75 nm は,注入ドーズ量に依存しない普遍性を有することが示される。

第三章では,二軸性圧縮歪を有する Ge 中において,Ge 自己拡散係数が上昇することが示される。Ge 同位体超格子を緩和  $\text{Si}_{0.2}\text{Ge}_{0.8}$  層で挟み込むことにより二軸性圧縮歪を有する Ge 同位体超格子が準備される。この試料を,様々な温度と時間で熱処理することから,圧縮歪 Ge 中の自己拡散係数が決定される。この歪により Ge 自己拡散は増速され,その増速度は,自己拡散を担う空孔欠陥周囲の局所体積変化を考慮した理論モデルと定量的に一致することが示される。

第四章では,Ge ナノワイヤからの近赤外フォトルミネッセンス(PL)特性が示され,電子構造に対する表面の影響が議論される。化学気相蒸着を用いて Si 基板上に直径 40 nm の Ge ナノワイヤが成長され,そこからの近赤外波長領域の PL が観測される。発光波長の試料温度・レーザー強度依存性から,その発光が直接遷移に起因することが示される一方,間接再結合による発光が観測されない理由が,Ge と自然酸化膜界面の準位によるキャリアの捕獲である可能性がモデルにより示される。

第五章では本研究のまとめが述べられる。

本研究で得られた Ge 中の点欠陥や表面の影響に関する理解は,Ge 集積回路の素子構造・製造工程の設計精度向上に不可欠なものであり,既存の Si 集積回路の特性を上回る Ge 集積回路の実現に向けて貢献することが期待される。

よって,本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。



# Thesis Abstract

|  |               |      |                 |
|--|---------------|------|-----------------|
| Registration Number  | “KOU” No.3668 | Name | Hsu, Hsiang-Han |
| Title  |               |      |                 |
| Polymer Optical Waveguide Link Design for High-Speed and High-Density On-Board Interconnects   |               |      |                 |
| <p>The increasing requirement of calculation power provided by high performance computers (HPCs) leads a trend in board level data communication from electrical to optical interconnections. Currently, much attention is focused on chip-to-chip data exchange realized with polymer parallel optical waveguides (PPOWs) integrated on printed circuit boards. The purpose of this research is to model the behavior of lightwave in PPOWs for the application of on-board optical interconnection. Particularly, the advantage of graded-index (GI) core PPOWs over the step-index (SI) core counterpart for high-speed and high-density wiring is quantitatively discussed by simulating the optical properties of PPOWs.</p> <p>Chapter 1 is the introduction for short range optical interconnection and motivation of this research.</p> <p>In Chapter 2, the author addresses the optical characteristics of waveguides with ray optics. Compared to various theoretical approaches based on wave optics to analyze optical waveguides, ray optics is less general and approximated. However, for this research, ray optics not only gives us more clear physical picture but is comprehensive, since PPOWs support large number of propagating modes (multimode waveguide). In this chapter, the ray trajectories in SI and GI media are described first. Next, the launching condition generated by Monte-Carlo method and imperfections in core area are discussed in order to make the model more practical.</p> <p>In Chapter 3, the author starts from the scalar wave equation to describe the plane wave propagation inside optical waveguides. Then, the finite difference beam propagation method (FD-BPM) is applied to waveguide analysis, in order to simulate the optical loss caused by air gap at waveguides connections. In addition, the optical loss and inter-channel crosstalk caused by biased launching conditions and light scattering are simulated using the FD-BPM. All of the features can be realized by the equations mentioned in this chapter, so that the self-developed computer programs based on wave optics contribute to involve the desired considerations with higher degree of freedom.</p> <p>In the first two sections of Chapter 4, two types of GI waveguides are experimentally fabricated using the preform method. Then, the fabricated waveguides are characterized, and the measured optical properties are compared with those simulated using the ray tracing method. Furthermore, the theoretical model is extended from each optical device to the total optical link. The behavior of lightwave inside a typical link model is simulated totally using the FD-BPM. All of the calculation results in this chapter show more or less coincidence with the observed phenomena.</p> <p>In Chapter 5, the author summarizes the prospects and concerns of proposed methods, and discuss about the future plans for successors. Through this research, the author develops numerical ways which are started from fundamental equations, and then the author shows the flexibility of the simulation models for the application of short range optical interconnection utilizing PPOWs. The development of these numerical ways can not only apply to the high speed optical interconnection, but for the next generation silicon photonics applications.</p> |               |      |                 |

## 論文審査の要旨

| 報告番号  | 甲 第 3668 号 | 氏 名        | Hsu, Hsiang-Han |
|---|------------|------------|-----------------|
| 論文審査担当者：  | 主査         | 慶應義塾大学准教授  | 博士(工学) 石樽 崇明    |
|   | 副査         | 慶應義塾大学教授   | 博士(工学) 津田 裕之    |
|   |            | 慶應義塾大学教授   | 理学博士 佐々田 博之     |
|   |            | 慶應義塾大学専任講師 | 工学博士 二瓶 栄輔      |
| <p>学士(理学),修士(理学)徐祥瀚君提出の学位請求論文は、「Polymer Optical Waveguide Link Design for High-Speed and High-Density On-Board Interconnects (高速・高密度オンボードインターコネクトへ向けたポリマー光導波路リンク設計)」と題し、5章から構成されている。</p> <p>コンピュータの演算処理速度の更なる向上ならびに消費電力の低減を目指し、極めて短距離のデータ伝送にまで光通信技術を導入する、光インターコネクト技術への関心が高まっている。特にチップ間インターコネクトには、多モードポリマー並列光導波路をプリント基板に埋め込んだ光配線板の実現が期待されている。これまで研究されてきたポリマー並列光導波路の多くは、コア部の屈折率が均一な段階屈折率(Step-Index: SI)型構造であったために、今後のオンボード光インターコネクトの要求仕様を満たすためには、導波路の特性面で様々な問題が懸念されている。そのため、光導波路リンク全体としての特性解析を行うことで、各素子を最適設計することが必要となってきた。本研究では、光線追跡法、ならびにビーム伝搬法(Beam Propagation Method: BPM)を用いて多モード光導波路リンクの特性を理論的に解析し、より高速・高密度インターコネクトを実現する光導波路構造(コア径、開口数、屈折率分布)を、定量的に明らかにしている。</p> <p>第1章は序論であり、光インターコネクト技術に関するこれまでの研究と課題を概説し、本研究の目的と意義を示している。</p> <p>第2章では、光線追跡法を用いた導波路内の光波伝搬の解析方法について概説し、SI型及び屈折率分布(Graded-Index: GI)型の多モード光導波路中を伝搬する光線の軌跡の計算結果を示している。また、多モード光導波路の特性解析において極めて重要となる、信号光の励振条件の考え方、並びに導波路構造のゆらぎがもたらす特性劣化の見積もりに関して、モンテカルロ法を用いた解析手法を導入することで対応できることを示している。</p> <p>第3章では、波動光学に基づく差分(Finite Difference: FD)-BPM法を用いた導波路特性解析手法について述べている。具体的には、光源-導波路、導波路-検出器間に空隙が存在する場合の結合損失、異なる励振条件や導波路内の光散乱により生じる挿入損失を算出する手法を示している。</p> <p>第4章では、プリフォーム法を用いてGI型ポリマー並列光導波路を実際に試作し、その伝搬損失、結合損失、チャネル間クロストークなどの特性評価を行なっている。さらに、得られた実験結果と、第3章で示した光線追跡法による計算結果とを比較し、本研究で用いた理論解析手法の妥当性について考察を行なっている。一方、導波路及び他の光学素子を接続して得られる、光導波路リンク全体の特性に関するシミュレーションには、より高精度に計算を行うことのできるFD-BPM法を導入している。その結果、光導波路リンクのパワーバジェットを低減できる光導波路構造(コア径、開口数、屈折率分布)を定量的に導き出している。</p> <p>第5章は本論文の結論である。本研究を通して、本論文の著者は、様々な構造の多モード光導波路中の光波伝搬挙動、及び光導波路リンク全体としての特性を数値解析する手法を確立しており、実際に光配線板をオンボードインターコネクトへ応用する上で、本解析手法が極めて有効なツールとなると結論づけている。</p> <p>以上要するに、本論文の著者は、煩雑であるがためにこれまで深く検討が進められてこなかった多モード光導波路リンクの特性を解析し、最適リンク設計を行う手法を確立しており、光通信工学の分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> |            |            |                 |

## 内容の要旨

|  |            |     |      |
|--|------------|-----|------|
| 報告番号   | 甲 第 3669 号 | 氏 名 | 大槻 明 |
| 主 論 文 題 目 :  |            |     |      |
| 知識の構造化俯瞰表現による発想支援システムに関する研究  |            |     |      |
| <p>本研究では、発想の元となる知識が膨大な場合に、その中から課題解決に関係する重要な知識を結び付けて表現することが十分には行えていなかったために、発想の元となる知識が膨大化すればするほど発想支援の効果が薄れていくという、従来の代表的な“収束的思考支援ツール”が抱える問題に対し、実際のプロジェクトにおける発想（課題解決のアイデアを発想すること）という条件下のもとで解決するツールを実装し、評価実験を通してその有効性を示した。</p> <p>具体的には、発想の元となる知識に、属性情報や叙述を付与し、さらには、関係性を表す情報を付与することにより、知識間の関係性を明らかにしたうえで知識を構造的に整理して俯瞰表現する構造化俯瞰図を提案した。評価実験の結果、課題解決に係るアイデアを発想する時に、構造化俯瞰図によって、分散する膨大な知識から発想に関係する重要な知識を関係付けて分析することにより、代表的な“収束的思考支援ツール”の一つである「KJエディタ」よりも多くのアイデアを導出できたという優位性を確認することができた。</p> <p>本研究では、さらに構造化俯瞰図を発展させることを試みた。具体的には、オントロジー工学の記法を参考に記述したアルゴリズムにより、対象となる知識の構造を分析することで目的語ツリーを構築した。そして、目的語ツリーを構造化俯瞰図に適用することによって、発想時に視点を変化させて分析することや、発想における「気づき」を促すような新たな視点を構造化俯瞰図に付与することが可能となった。本研究では、この目的語ツリーを備える構造化俯瞰図のことを Hio（<u>High-angle Ontology</u>）と呼ぶ。</p> <p>Hio につて、実際のプロジェクトにおける課題を 4 つ準備し、それぞれの課題に対する解決案とその元情報を準備して評価実験を行った。その結果、目的語ツリーを備えない構造化俯瞰図だけでは得られなかった新たな知識を Hio で得られたという発想支援的な効果が確認できた。さらに、この評価実験では、課題に対する専門知識を有する者との比較も行っているが、その結果、Hio を使用した被験者は専門知識を有する者に近い数のアイデアを導出できていた。つまり、Hio を用いることによって、実際のプロジェクトにおいて課題解決を行う場合に、そのプロジェクト内に専門知識を有する者がいない場面においても、専門知識有する者が導出するアイデア数に近いアイデアを導き出すことが可能であることを確認できた。</p> |            |     |      |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3669 号 | 氏 名        | 大 槻 明  |       |
|--|------------|------------|--------|-------|
| 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   | 萩原 将文 |
|  |            | 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) | 遠山 元道 |
| <p>学士（経営情報学）、修士（国際情報通信学）大槻明君提出の博士学位請求論文は、「知識の構造化俯瞰表現による発想支援システムに関する研究」と題し、7章より構成されている。</p> <p>従来の代表的な収束的思考支援システムは、発想の基となる知識が膨大になると、その中から発想に係る重要な知識を結び付けて表現することが十分には行えなかった。したがって、発想の基となる知識が膨大化すればするほど発想支援の効果が薄れていくという問題を抱えていた。この問題に対し、本論文では、実際のプロジェクトにおける発想という条件のもとで解決する発想支援システムを実装し、評価実験を通してその有効性を示した。</p> <p>各章の内容は次の通りである。</p> <p>第1章では、本研究の背景や意義について述べている。</p> <p>第2章では、発想支援システムの基礎技法である発想技法について紹介したあと、本研究の対象である収束的思考支援システムについて紹介している。</p> <p>第3章では、発想支援システム COSUT(Concept Support Tool)及び HIO (High-angle Ontology) について提案している。COSUT は、俯瞰図を構成する知識に対して属性情報を付与することにより知識の表現範囲を広げ、さらに属性情報を含めた知識同士を関係付けることにより、膨大な知識の中から、関係する重要な知識を構造的に表現することが可能となった。HIO は COSUT を発展させたもので、オントロジー工学の手法を参考にして記述したオブジェクトツリーを COSUT に適用することによって、発想に係る気づきを促すような視点変化や新たな視点を COSUT に付与することが可能となった。</p> <p>第4章では、原岡の心理学実験手法を参考に、KJ エディタと比較することにより COSUT の有用性について評価している。その結果、COSUT の方が課題解決に有効なアイデアをより多く導出するとともに、KJ エディタでまとめた仮説に追加すべき点を見いだすことができた。</p> <p>第5章では、実際のプロジェクトにおける課題をいくつか用意し、それぞれの課題に対する解決案とその基情報を準備し、オブジェクトツリーを適用しない COSUT とオブジェクトツリーを適用した HIO について、基情報から解決案への到達度を比較した。その結果、HIO を使用した被験者の方が、全ての課題において解決案への到達度が高く、課題に関する専門知識を有する被験者に近い到達度を実現できた。さらに、COSUT を使用した被験者に同じ課題で HIO を使って同様の実験をした結果、COSUT では得られなかった新たな知識が得られた。</p> <p>第6章では、第4章、第5章の実験結果を基に、COSUT 及び HIO の有用性について考察し、第7章では、本論文の結論を述べている。</p> <p>以上要するに本研究は、俯瞰図を構成する知識に対して属性情報を付与することにより知識の表現範囲を広げ、さらに属性情報を含めた知識同士を関係付けることにより、膨大な知識の中から、関係する重要な知識を構造的に表現すること、知識の構造化俯瞰表現に発想に係る気づきを促すような視点変化を与える手法を提案し、その有効性を確認している。したがって本研究の成果は、工学上、工業上寄与するところが少なくない。</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3670号 | 氏名 | 竹入 雅敏 |
| 主論文題目：<br>分子デザインされた NF- $\kappa$ B 阻害剤の新規作用機構  |          |    |       |
| <p>NF-<math>\kappa</math>B は免疫応答や組織形成の制御にとって重要である一方、過剰な活性化は炎症性疾患や癌の原因となる。NF-<math>\kappa</math>B は p65、RelB、c-Rel、p50、p52 からなる Rel family タンパク質の homo-または heterodimer によって構成される。NF-<math>\kappa</math>B 活性化経路には、p65/p50 を主たる構成因子とし、即時的免疫応答や炎症を活性化する canonical 経路と、RelB/p52 を主たる構成因子とし、B 細胞成熟や自己免疫疾患、一部の癌に關与する noncanonical 経路がある。本論文では、分子デザインされた 2 つの NF-<math>\kappa</math>B 阻害剤(-)-DHMEQ と DTCM-glutarimide の新しい作用機構について記述している。</p> <p>序論では、NF-<math>\kappa</math>B 活性化経路と炎症、癌への寄与、および本論文で用いた NF-<math>\kappa</math>B 阻害剤の知見をまとめ、本研究の意義を示した。</p> <p>第 1 章では、NF-<math>\kappa</math>B 阻害剤(-)-DHMEQ の noncanonical NF-<math>\kappa</math>B 活性化経路に対する抑制効果を調べ、標的分子の特定を行った。その結果、(-)-DHMEQ は RelB の 144Cys に共有結合し、DNA 結合および活性化を阻害することを見出した。</p> <p>第 2 章では、(-)-DHMEQ による成人 T 細胞白血病(ATL)細胞で活性化している noncanonical NF-<math>\kappa</math>B の阻害機構を調べた。その結果、(-)-DHMEQ が noncanonical NF-<math>\kappa</math>B の DNA 結合と核局在を顕著に阻害することが分かった。さらに、(-)-DHMEQ が noncanonical NF-<math>\kappa</math>B のタンパク質レベルでの不安定化を誘導していることが分かった。次に、RelB の mutant タンパク質を培養細胞に導入し、(-)-DHMEQ の機構解析と noncanonical NF-<math>\kappa</math>B 活性化の抑制機構解析を行った。その結果、(-)-DHMEQ 処理、または mutant タンパク質発現によって noncanonical NF-<math>\kappa</math>B の DNA 結合能を欠損させると、核局在が抑制されること、および、タンパク質レベルでの不安定化が誘導されることが分かった。さらに、核へ移行できない noncanonical NF-<math>\kappa</math>B mutant もタンパク質レベルで不安定になった。この結果から、DNA 結合能が noncanonical NF-<math>\kappa</math>B の細胞内局在を制御し、安定性に大きく寄与していることが分かった。また、DNA に結合出来ない RelB の構造は importin-<math>\alpha</math>にも結合しにくくなっている知見も得られた。</p> <p>第 3 章では、NF-<math>\kappa</math>B 阻害剤 9-methylstreptimidone 類似体の構造活性相関および、NF-<math>\kappa</math>B 活性化に与える効果の検討を行った。その結果、9-methylstreptimidone の活性には不飽和疎水性部位の構造が重要であることが分かり、また、新たな抗癌剤シード候補化合物も得られた。さらに、9-methylstreptimidone 誘導体、DTCM-glutarimide が細胞毒素 lipopolysaccharide (LPS)短時間刺激で活性化する NF-<math>\kappa</math>B には影響を与えないのに対し、LPS 長時間刺激によって活性化する RelB を含んだ NF-<math>\kappa</math>B の活性化を抑制することが分かった。この結果から、LPS による iNOS の発現には、LPS 長時間刺激によって活性化する NF-<math>\kappa</math>B が大きく寄与していることが示唆された。</p> <p>本研究によって解明された、分子デザインされた NF-<math>\kappa</math>B 阻害剤の新規阻害機構と NF-<math>\kappa</math>B の制御機構は、今後の自己免疫疾患や癌治療の発展に大きく貢献するものであると考えられる。</p> |          |    |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号     | 甲 第 3670 号 | 氏 名       | 竹入 雅敏        |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学教授  | Ph. D. 梅澤 一夫 |
|          | 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   |
|          |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(理学) 末永 聖武 |
|          |            | 慶應義塾大学教授  | 博士(医学) 安井 正人 |

学士(工学)、修士(理学)竹入雅敏君の学位請求論文は「分子デザインされた NF- $\kappa$ B 阻害剤の新規作用機構」と題して、序論および本論(主要3章)より成り立っている。NF- $\kappa$ B は免疫応答や組織形成の制御にとって重要である一方、過剰な活性化は炎症性疾患や癌の原因となる。NF- $\kappa$ B は p65、RelB、c-Rel、p50、p52 からなる Rel family タンパク質の homo-または hetero-dimer によって構成される。NF- $\kappa$ B 活性化経路には、p65/p50 を主な構成因子として、即時的免疫応答、炎症、癌を活性化する canonical 経路と、RelB/p52 を主な構成因子として、B 細胞成熟、自己免疫疾患、癌を活性化する noncanonical 経路がある。本論文では、分子デザインされた 2 つの NF- $\kappa$ B 阻害剤(-)-DHMEQ と DTCM-glutarimide の新しい作用機構について記述している。

序論では、NF- $\kappa$ B 活性化経路と炎症、癌への寄与、および本論文で用いた NF- $\kappa$ B 阻害剤、(-)-DHMEQ と DTCM-glutarimide の知見をまとめ、本研究の意義を示している。

第 1 章では、NF- $\kappa$ B 阻害剤(-)-DHMEQ の noncanonical NF- $\kappa$ B 活性化経路に対する抑制効果を調べ、標的分子の特定を行った。その結果、(-)-DHMEQ は noncanonical NF- $\kappa$ B 活性化経路において RelB の 144Cys に共有結合し、DNA への結合を阻害することを見出した。

第 2 章では、(-)-DHMEQ による成人 T 細胞白血病(ATL)細胞で活性化している noncanonical NF- $\kappa$ B の阻害機構を調べた。その結果、(-)-DHMEQ が noncanonical NF- $\kappa$ B の DNA 結合と核局在を顕著に阻害することが分かった。さらに、(-)-DHMEQ が noncanonical NF- $\kappa$ B のタンパク質レベルでの不安定化を誘導していることを見出した。次に、RelB の mutant タンパク質を培養細胞に導入し、(-)-DHMEQ の機構解析と noncanonical NF- $\kappa$ B 活性化の抑制機構解析を行った。その結果、(-)-DHMEQ 処理、または変異を導入したタンパク質発現 によって、noncanonical NF- $\kappa$ B の DNA 結合能を欠損させると、核局在が抑制されること、およびタンパク質レベルでの不安定化が誘導されることがわかった。さらに、核へ移行できないように NLS を不活性化した noncanonical NF- $\kappa$ B mutant もタンパク質レベルで不安定になった。この結果から、DNA 結合能が noncanonical NF- $\kappa$ B の細胞内局在を制御し、安定性に大きく寄与していることが分かった。また、DNA に結合出来ない RelB は importin- $\alpha$ 5 への結合性が低下している知見も得られた。

第 3 章では、微生物由来の NF- $\kappa$ B 阻害剤 9-methylstreptimidone 類似体の構造活性相関、および NF- $\kappa$ B 活性化に与える効果の検討を行った。その結果、9-methylstreptimidone の活性には不飽和疎水性部位の構造が重要であることがわかり、また、新たな抗癌剤リード候補化合物が得られた。一方、9-methylstreptimidone 誘導体の DTCM-glutarimide は、短時間処理で NF- $\kappa$ B を阻害しないが、動物実験で抗炎症活性を示す。今回、DTCM-glutarimide は細胞毒素 LPS 短時間刺激で活性化する NF- $\kappa$ B には影響を与えないのに対し、LPS 長時間刺激によって活性化する RelB を含んだ NF- $\kappa$ B の活性化を抑制することを見出した。以上のように、DTCM-glutarimide は長時間処理で NF- $\kappa$ B も阻害する新たな機構が解明された。

以上の研究結果は十分な実験により裏付けされている。本研究によって解明された、分子デザインされた NF- $\kappa$ B 阻害剤の新規阻害機構と NF- $\kappa$ B の制御機構は、今後の自己免疫疾患や癌治療の発展に大きく貢献すると考えられる。

よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

# 論文審査の要旨

|        |            |           |                  |
|--------|------------|-----------|------------------|
| 報告番号   | 甲 第 3671 号 | 氏 名       | 中川 晴香            |
| 論文審査担当 | 主査         | 慶應義塾大学准教授 | 医学博士 松本 緑        |
|        | 副査         | 慶應義塾大学教授  | Ph.D. 梅澤 一夫      |
|        |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 岡 浩太郎       |
|        |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(地球環境科学) 土居 信英 |

学士(理学), 修士(理学)中川晴香君提出の学位請求論文は, 「プラナリア生殖様式転換における生殖細胞形成の分子機構に関する研究」と題し, 全 5 章からなっている。

生物が子孫を残す生殖様式は無性生殖と有性生殖の二つに大別され, 多くの後生生物はこれらの生殖様式を環境や世代に応じて使い分け, 効率よく子孫を残しているが, その分子機構は未解明である。

第 1 章では, 本研究で用いた扁形動物プラナリアの生殖様式について論じ, 自切・再生を繰り返す無性生殖系統と, 生殖器官を持ち他個体と交尾をして卵を産む有性生殖系統, 二つの生殖様式を転換できる系統が存在することを示した。そして無性生殖から有性生殖への転換においては, 驚異的な再生能力を支えるとされる多能性幹細胞ネオプラストが, 無性生殖個体に存在しなかった生殖系列細胞に分化すると考えられることを示した。さらに, 生殖様式転換や生殖細胞形成について, 他の動物での知見をまとめるとともに, 無性生殖系統のプラナリアを有性生殖に転換させる実験系を用いることで生殖様式転換機構解明への可能性を示した。

第 2 章・第 3 章では, 多くの後生生物において共通して生殖系列細胞で発現し, その発生過程で機能するといわれる遺伝子に着目し, RNA 結合タンパク質をコードし生殖細胞の形成, 移動や維持などに関与することで知られる *nanos* と, 低分子 RNA と結合して遺伝子サイレンシングを行い幹細胞の維持・分化や生殖細胞形成を調節することが知られる Argonaute/Piwi ファミリータンパク質をコードする *piwi* について解析した。

第 2 章では *nanos* 遺伝子のホモログ *Dr-nanos* が初期の生殖系列細胞で発現し, それらの細胞の形成もしくは維持に関与することを示し, *nanos* 遺伝子が多くの動物に共通して生殖細胞形成に重要であり, プラナリアの種間で生殖系列細胞の運命決定される場所やタイミングが異なることを見出した。

第 3 章では, *piwi* 遺伝子のホモログ *Drpiwi-1, -2, -3, -4* を同定し, その中で *Drpiwi-1* が特に生殖細胞形成に重要であることを発見した。*Drpiwi-1* はネオプラストを含む幹細胞と初期の生殖細胞で発現し, 遺伝子ノックダウンにより卵巣と精巣の生殖細胞形成に異常が起きることから, 生殖様式転換に応じてネオプラストから生殖系列細胞が形成され始める過程に関与することを示した。

第 4 章では, 性ホルモン様物質が生殖細胞や生殖器官の形成を誘導することを仮定し, プラナリアの生殖器官形成にステロイド物質が器官特異的に影響を及ぼすこと, 2 つのステロイドホルモン受容体候補遺伝子が卵巣の生殖細胞で発現することを示した。プラナリアは哺乳類と同様の内分泌器官や循環系は持たないが, 性ホルモン様物質が有性生殖の制御に関わる機構を持つ可能性を示した。

第 5 章では, 以上の研究を総括し, プラナリアの生殖様式転換においてネオプラストから生殖細胞が形成される過程とその分子機構について考察した。

以上, 本論文では形態, 生殖様式や生殖細胞形成過程が異なる多様な動物において, 相同な遺伝子や類似した化学物質が同様に生殖細胞や生殖器官の形成に重要な働きを持つことを論ずると共に, プラナリアが幹細胞研究のみならず有性生殖の制御機構を研究するモデル動物になりうる可能性を示した。これらの成果は今後の分子発生・生殖生物学研究に貢献するところが多い。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 3671 号 | 氏 名 | 中川 晴香 |
| 主論文題目：<br>プラナリア生殖様式転換における生殖器官および生殖細胞形成の分子機構に関する研究  |            |     |       |
| <p>生物が子孫を残す生殖様式は無性生殖と有性生殖の二つに大別され、多くの後生生物はこれらの生殖様式を世代や環境に応じて使い分け、効率よく子孫を残している。扁形動物プラナリアにも、自切・再生を繰り返す無性生殖系統と、生殖器官を持ち多個体と交尾をして卵を産む有性生殖系統、二つの生殖様式を転換できる系統が存在する。無性生殖から有性生殖へ転換する動物においては、必要に応じて生殖器官や生殖細胞を形成する機構が働く。プラナリアにおいては、驚異的な再生能力を支えるとされる多能性幹細胞ネオプラストが、有性生殖への転換に伴って無性生殖個体に存在しなかった生殖器官や生殖細胞へと分化すると考えられるが、その分子機構は未解明である。</p> <p>第一章では、本研究で用いたプラナリアについて紹介し、生殖様式転換や生殖器官・生殖細胞形成の機構に関する研究を、他の動物における知見も含めてまとめた。生殖様式転換は多くの動物で見られる現象であるがその機構は殆ど明らかになっておらず、我々が開発した無性生殖系統のプラナリアを有性生殖に転換させる実験系を用いることで解明の足掛かりが得られると期待できる。</p> <p>第二章・第三章では、多くの後生生物において共通して生殖細胞で発現し、その形成・維持に関わるといわれる遺伝子群について解析し、進化的に離れ、形態も生殖様式も生殖細胞形成過程も異なる多くの動物において、相同な遺伝子が同様に生殖細胞形成に重要な働きを持つことを示した。</p> <p>第二章ではショウジョウバエやマウスにおいて生殖細胞形成に重要な働きを持つ <i>nanos</i> 遺伝子のホモログ <i>Dr-nanos</i> がプラナリアの初期の生殖系列細胞で発現し、それらの細胞の形成もしくは維持に関与することを示した。プラナリアにおける <i>nanos</i> の研究は現在までに三種で行われ、それぞれ発現パターンや遺伝子ノックダウンによる表現型が異なるが、それらの結果と種ごとの生殖様式を比較し、<i>nanos</i> 遺伝子は共通して生殖細胞形成に重要であり生殖幹細胞の調節の場所やタイミングが種によって異なることを示した。</p> <p>第三章では、低分子 RNA と結合して遺伝子サイレンシングを行い幹細胞の維持・分化や生殖細胞形成を調節することが知られる Argonaute タンパク質をコードする <i>piwi</i> 遺伝子のホモログ <i>Drpiwi-1, -2, -3, -4</i> を同定し、その中で <i>Drpiwi-1</i> が特に生殖細胞形成に重要であることを発見した。<i>Drpiwi-1</i> はネオプラストを含む幹細胞と初期の生殖細胞で発現し、遺伝子ノックダウンにより卵巣と精巣の生殖細胞形成に異常が起きることから、生殖様式転換に応じてネオプラストから生殖系列細胞が形成され始める過程に関与することが示された。</p> <p>第四章では、生殖器官形成や生殖細胞形成を誘導する物質として性ホルモン様物質の存在を予想し、プラナリアの生殖器官形成にステロイド物質が器官特異的に影響を及ぼすこと、ステロイドホルモン受容体候補として単離した二つの核内受容体遺伝子が卵巣で発現することを示した。プラナリアはほ乳類と同様の内分泌器官や循環系は持たないが、性ホルモン様物質が生殖器官形成に関わる機構の存在が予想された。</p> <p>第五章では、以上の研究を総括し、プラナリアの生殖様式転換においてネオプラストから生殖器官や生殖細胞が形成される過程と、その分子機構について考察した。</p> |            |     |       |



## 内容の要旨

|   |          |    |       |
|---|----------|----|-------|
| 報告番号  | 甲 第3672号 | 氏名 | 坂牧 隆司 |
| 主論文題目：<br>水単成分系及び水 / メタン系における相平衡の分子動力学シミュレーション  |          |    |       |
| <p>水単成分系の気液および固液相平衡物性と水 / メタン系の気液相平衡物性を，Direct Coexistence (DC) シミュレーションと呼ばれる手法を用いて分子動力学シミュレーションにより調べた。DC シミュレーションは比較的長い計算時間を必要とするが，固体を含む系にも適用可能で，かつ界面物性も得ることができるため，まず(1)分子シミュレーションそのものの高速化を行った。分子シミュレーションの高速化には，グラフィックカードと呼ばれる画像処理に最適化されたハードウェアを使用した。シミュレーションの中で最も計算時間が費やされる分子間相互作用の計算部分にグラフィックカードを用いた結果，データの流を最適化することでビデオカードのピーク性能の7割近くを実効性能において達成し，またデファクトスタンダードな高速処理用アルゴリズム(Cell index法およびParticle Mesh Ewald法)の実装も行った。相平衡物性を分子シミュレーションから計算することは計算能力の問題から困難であることが知られているため，本研究ではグラフィックカードを使用して相平衡物性のDCシミュレーションを実行した。(2)水単成分系のDCシミュレーションからは，表面張力，気液平衡密度，飽和蒸気圧を得た。その結果，気液平衡物性に関するポテンシャルモデル依存性を明らかにした。そしてモデルに依存しない気液平衡物性の一般則を見出すことを目的に，様々な温度を提案した。また，実験値の表面張力を再現する新しいポテンシャルモデルの提案を行った。次に，(3)水 / 氷系のDCシミュレーションから水単成分系の固液平衡物性を得た。その際に物理的に妥当な固液相平衡状態を実現する手順を提案し，その方法の検証を行った。そして，固液共存温度(融点)のポテンシャルモデル依存性と圧力依存性を明らかにした。最後に，(4)水 / メタン気液共存系のDCシミュレーションを実行した。その結果，実験からは直接測定が困難なメタンの水表面への吸着の挙動を明らかにした。また，水 - メタン間の相互作用パラメータが気液平衡および界面物性に与える影響を見出した。これらの成果は，DCシミュレーションの有効性を示すとともに，水単成分系および水 / メタン系の相平衡に関する新たな知見をもたらした。</p> |          |    |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3642 号 | 氏 名       | 坂牧 隆司           |
|--|------------|-----------|-----------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 博士(工学) 泰岡 顕治    |
|  | 副査         | 慶應義塾大学教授  | Dr. -Ing 小尾 晋之介 |
|  |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 大村 亮     |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 工学博士 天野 英晴      |
| <p>学士(工学) 修士(工学) 坂牧隆司君提出の学位請求論文は「水単成分系及び水/メタン系における相平衡の分子動力学シミュレーション」と題し、7章から構成されている。</p> <p>コンピュータのハードウェアの飛躍的な進歩とともに、分子シミュレーションによる物性予測の研究が求められるようになって来ている。特に、気液や固液界面を有する系は、工学的な応用も多く注目されている。例えば、天然ガスと周囲の流体として存在する水との間で気液混相流やメタンハイドレートの生成等の現象が発生するが、これらの現象の予測は容易ではなく天然ガス開発コストを上げる要因となっている。予測が容易でない理由の一つとして、密度・界面張力・粘度・融点などの様々な熱物性値がこれらの現象内で著しく変化する点が挙げられ、天然ガスと水との間の相平衡状態における熱物性値の正確な測定は重要であると言える。</p> <p>本論文では、水単成分系及び水/メタン系において気液平衡物性、固液平衡物性について、分子動力学シミュレーションを用いて見積もることを目的としている。実験による直接測定と比較すると安価で時間も短縮できることが期待でき、また状態方程式などの経験式による予測は実験データをもとにしているため、未知の物質には対応できない。</p> <p>第1章では本論文の背景および目的、構成を、第2章では古典分子動力学シミュレーションの基礎理論を説明している。第3章から第6章に結果を示している。本論文で用いている Direct Coexistence (DC) シミュレーションは、長時間の計算時間を必要とするので、計算の高速化が必要となる。第3章では、本論文で行った GPU を用いた分子動力学シミュレーションの高速化について記述している。第4章は水単成分系の気液平衡物性、第5章は水単成分系の固液平衡物性、第6章は水/メタン系の気液平衡物性に関する研究を記述している。</p> <p>第3章では、GPU を用いて分子動力学シミュレーションを高速化する手段とその結果について述べている。これまでの関連研究においては、計算精度の検証および理論ピーク性能に対して実行性能の検証を行っていなかったが、本論文では計算精度の向上に関する工夫を行った上でピーク性能の半分以上の性能を出すことに成功している。</p> <p>第4章では、第3章で行った GPU を用いた高速化を用いて、水単成分の気液界面系の DC シミュレーションを行っている。表面張力はこれまでも多くの報告がある物性値であるが、正確な算出に膨大な計算量を必要とするため十分な報告がなされていなかった。本論文では、幅広い温度条件、ポテンシャルモデルを使用し、実験値の再現に優れるモデルを見だし、ギブスアンサンブル法等の方法を用いた先行研究との比較を行っている。また、モデルに依存しない気液平衡物性の一般則を導き、表面張力の実験値の再現に優れる新規モデルを提案している。</p> <p>第5章では、水単成分系の固液界面系の DC シミュレーションを行っている。従来手法では正確に相平衡状態を再現できておらず新たな方法の提案が求められていた。本研究では、DC シミュレーションを用いて固液平衡温度を求める新規方法を開発し、従来方法よりも小さい不確かさで様々な水モデルについて計算を行っている。</p> <p>第6章では、水/メタン気液界面系の DC シミュレーションを行っている。水/メタン界面は、メタンハイドレートの生成条件と関連して高圧での振る舞いが注目されている。界面物性についての実験的研究は十分に行われていなかった。本論文では、相平衡物性の計算方法の検証、ポテンシャルモデルの検証、圧力依存性の検証を行っており、実験的には見積もりが難しい密度分布や表面過剰を直接的に求めることに成功している。最後に第7章で研究全体に関する結論を述べている。</p> <p>以上要するに、本論文の著者は、分子動力学シミュレーションを用いて水単成分系及び水/メタン系の相平衡物性の計算を行った。その成果は、気液・固液界面のシミュレーションによる物性値予測の研究に重要な役割を果たすのみでなく、メタンハイドレートの生成等にこれらの基礎的な物性が重要な位置をしめる応用分野へ寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> |            |           |                 |

## 内容の要旨

|   |            |     |       |
|---|------------|-----|-------|
| 報告番号  | 甲 第 3673 号 | 氏 名 | 金子 敏宏 |
| 主論文題目：<br>分子動力学シミュレーションを用いたナノスケールにおける低分子系の融解現象の解明   |            |     |       |
| <p>近年のナノテクノロジーの進歩に伴ない、ナノスケールでの分子のふるまいは重要な研究テーマのひとつである。現在までに分子論的な立場での2体問題はほぼ解決されている。アルゴンのような希ガス同士の相互作用として Lennard-Jones 粒子が提案され、水の2量体の性質も実験や理論で既に数多くの研究がなされている。一方で、分子が多数集ったときの振舞いには不明なことが多く、実験的・理論的に様々な研究がされているところである。</p> <p>古典分子動力学法は Newton の運動方程式を解くことで、各分子の時間発展を追う手法であり、分子が多数集った系を研究するために有効な手法である。現在までに高温・高圧・ナノスケールなど実験することの難しい極端な条件下での物理現象の予測に役立ってきた。しかし、計算機能力の限界のため十分な時間発展を追跡することができず、結果が初期条件に依存してしまう問題点があった。これに対して、90年代後半に拡張アンサンブル法と総称される改良された古典分子動力学法が開発され、初期条件依存性の問題が軽減された。そして、拡張アンサンブル法では相空間の広範囲を探索できるため、様々な物理量の温度依存性を1つのシミュレーションから推定できる長所がある。また、固液相転移現象などのヒステリシスを伴う系について、各相の自由エネルギーを計算することなく2相の平衡条件を決定できる点も長所である。</p> <p>以上をふまえて、古典分子動力学法および拡張アンサンブル法を用いて、ナノスケールで分子が凝集した系を研究した。具体的には、「バルク Lennard-Jones 粒子系」、「Lennard-Jones クラスタ」、「水クラスタ」、「スリット型細孔に閉じ込められた Lennard-Jones 粒子」、「スリット型細孔に閉じ込められた水分子」の5つの系を計算対象とした。そして、比熱、エンタルピー、圧力などの温度依存性を計算し、各物理量の異常から相転移温度を決定した。その結果、「バルク Lennard-Jones 粒子系」と「Lennard-Jones クラスタ」では、先行研究で予測された相転移温度を新しい手法で定量的に再現した。また、「水クラスタ」では相転移の種類がクラスタサイズに依存することを初めて発見した。さらに、「スリット型細孔に閉じ込められた Lennard-Jones 粒子」と「スリット型細孔に閉じ込められた水分子」では固液相転移温度を初めて定量的に測定し、スリット型細孔の幅が固液相転移温度に大きな影響を与えることを明らかにした。</p> |            |     |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3673 号 | 氏 名       | 金子 敏宏              |
|--|------------|-----------|--------------------|
| 論文審査担当者：   | 主査         | 慶應義塾大学教授  | 博士(工学) 泰岡 顕治       |
|  | 副査         | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学)・TeknD 深湯 康二 |
|  |            | 慶應義塾大学准教授 | 博士(工学) 荻原 直道       |
|  |            | 慶應義塾大学教授  | 理学博士 高野 宏          |
| <p>学士(理学) 修士(工学) 金子敏宏君提出の学位請求論文は「分子動力学シミュレーションを用いたナノスケールにおける低分子系の融解現象の解明」と題し、9章から構成されている。</p> <p>近年のナノテクノロジーのシンポに伴い、ナノスケールでの分子の振る舞いを研究することは重要なテーマとなっている。これまで単純液体である Lennard-Jones 粒子に関する研究や会合性液体である水分子に関する研究が行われてきており、バルクの液体状態に関する研究は数多く行われてきている。一方近年クラスターやスリット型細孔に閉じ込められた場合の分子の振る舞いに関する研究が始まっているが、十分な結果を得ておらず、更なる研究が求められている。</p> <p>本論文は、古典分子動力学法および拡張アンサンブル法を用いて、クラスターやスリット型細孔に代表されるようなナノスケールで分子が凝集した系について、融解現象に注目して研究をしている。拡張アンサンブル法は、タンパク質等の系において局所的な安定構造に拘束されず様々な構造を計算するために用いられている。また、単純液体の気液、固液相転移点を計算した例も報告されており、本論文で対象としている融解現象についても適用が可能である。</p> <p>第1章では本論文の背景および目的、構成を、第2章では古典分子動力学シミュレーションの基礎理論を説明している。第3章では、拡張アンサンブル法について説明している。第4章から第8章に結果を示している。第4章では、拡張アンサンブル法のひとつであるマルチバーリック・マルチサーマルアンサンブルを用いて、バルク Lennard-Jones 粒子系の固液平衡温度・圧力条件を計算している。108 粒子の系においては、固体状態において完全な fcc 結晶を確認でき、他の手法で決定した 108 粒子の固液共存線と一致している。一方、256 粒子の系においては、固体状態において完全な fcc 結晶を確認できず、他の手法で決定した 256 粒子の固液共存線よりも低温・高圧な結果となっている。この原因は周期境界条件を課した立方体セルを用いたことにあると考え、マルチバーリック・マルチサーマルシミュレーションの改良が必要であるとの提案をしている。第5章では、拡張アンサンブル法のひとつであるマルチカノニカルアンサンブルを用いて、Lennard-Jones 粒子 N 個のクラスターの計算を行っている。N=31, 58, 98 の系について構造転移の研究を行い、他の方法を用いた先行研究で予想されていた2段階の転移を再現し、マルチカノニカルアンサンブルの妥当性を示している。第6章では、拡張アンサンブル法のひとつであるマルチカノニカルアンサンブルを用いて、水分子 N 個のクラスターの計算を行っている。N=7, 8, 11, 12 の系について融解現象を研究し、比熱等の各物理量の温度依存性・クラスターサイズ依存性を計算している。その結果、N=8, N=12 は一次相転移のような転移を示すこと、N=7, 11 は連続相転移のような転移を示すことを示している。第7章では、スリット型細孔に閉じ込められた Lennard-Jones 粒子系について計算を行っている。スリット幅を Lennard-Jones 粒子約 10 個分まで広げても、固液相転移温度がスリット幅に依存することを示している。また、等温・マルチサーマルアンサンブル分子動力学シミュレーションを行ない、6 種類のスリット幅での固液相転移温度を決定し、より正確なスリット幅と温度の相図を示している。第8章では、スリット型細孔に閉じ込められた水分子の系について、Ewald 法を用いて分子間相互作用を正確に計算しながら、冷却・加熱シミュレーションを行なっている。側方動径分布関数を計算し、Ewald 法を用いていない先行研究と同一な 1 レイヤーの高密度な氷が生成することを確認している。さらに、凝固点・融点のスリット幅依存性を調べ、Ewald 法を使用しない場合と比較して、温度において 10 K 程度スリット幅において 0.1~0.5 Å 程度、固液平衡条件が狭スリット幅・高温側にシフトすることを示している。最後に第9章で研究全体に関する結論を述べている。</p> <p>以上要するに、本論文の著者は、分子動力学シミュレーションを用いてナノスケールにおける低分子系の融解現象解明のための計算を行った。その成果は、分子シミュレーションを用いたスリット型細孔やクラスターの融解現象の研究に重要な役割を果たすのみでなく、ナノスケールにおける相転移現象解明の解明へ寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> |            |           |                    |

## 内容の要旨

|  |          |    |       |
|--|----------|----|-------|
| 報告番号   | 甲 第3674号 | 氏名 | 千代 浩之 |
| 主論文題目：<br>Semi-Fixed-Priority Scheduling<br>(準固定優先度スケジューリング)   |          |    |       |
| <p>リアルタイムシステムでは，動的な環境におけるオーバロードの問題に直面している．そのようなオーバロードの環境でリアルタイムスケジューリングを行うために，時間制約を満たしつつ結果の精度を向上させるインプリサイス計算モデルが提案された．インプリサイス計算モデルでは，動的優先度スケジューリングアルゴリズムが主に提案されているが，最短周期タスクのジッタが高い欠点がある．残念ながら，最短周期のジッタが低い固定優先度スケジューリングアルゴリズムでは，付加部分のオーバランが原因で，インプリサイス計算モデルに適応できない．</p> <p>まず，本論文では低ジッタと高スケジュール可能性を達成するために，準固定優先度スケジューリングの概念を提案する．準固定優先度スケジューリングは，インプリサイスタスクの各々の部分を固定優先度でスケジュールする．また，本論文では，Rate Monotonic(RM)を基調とした準固定優先度スケジューリングアルゴリズムRate Monotonic with Wind-up Part (RMWP)を提案する．スケジュール可能性解析では，RMアルゴリズムでスケジュール可能なタスクセットは，必ずRMWPアルゴリズムでもスケジュール可能であることを証明する．さらに，本論文ではRMWPアルゴリズムをグローバル方式とパーティション方式向けに拡張する．</p> <p>次に，本論文では準固定優先度スケジューリングアルゴリズム向けリアルタイムオペレーティングシステムRT-Estを開発する．RT-Estでは，独自のキューイング方式であるハイブリッドスケジューラとデュアルスケジューラを実装する．ハイブリッドスケジューラは，準固定優先度スケジューリングアルゴリズムを低オーバヘッドで実現する．デュアルスケジューラは，ハイブリッドスケジューラをグローバル方式向けに拡張する．</p> <p>準固定優先度スケジューリングの有効性をシミュレーションと実機の両方で評価する．そして，準固定優先度スケジューリングは，実用的なインプリサイス計算における理論と実装に関して貢献することを示す．</p> |          |    |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号     | 甲 第 3674 号 | 氏 名       | 千代 浩之        |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 論文審査担当者： | 主査         | 慶應義塾大学准教授 | 博士（工学） 山崎 信行 |
|          | 副査         | 慶應義塾大学教授  | 博士（工学） 寺岡 文男 |
|          |            | 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） 矢向 高弘 |

千代浩之君提出の学位請求論文「Semi-Fixed-Priority Scheduling（準固定優先度スケジューリング）」は、ユニプロセッサとマルチプロセッサにおけるリアルタイムシステムの実用的なインプリサイス計算を実現することを目的として行われた研究を全 8 章にまとめている。本学位請求論文では、低ジッタと高スケジュール可能性を達成するための優先度制御手法である準固定優先度スケジューリングを提案している。さらに、準固定優先度スケジューリングをリアルタイムオペレーティングシステムに実装し、その有効性を評価している。近年、組み込みリアルタイムシステムやサイバーフィジカルシステムの研究開発が盛んに行われているが、本提案手法はこれらのシステムに対して、実用的なインプリサイススケジューリングの提供を可能にする。

第 1 章では、本学位請求論文の貢献が分かるように、対象分野であるリアルタイムシステムを様々な視点から俯瞰している。これにより、本学位請求論文により得られる知見の適用可能な範囲を明示している。

第 2 章では、第 1 章で触れられた既存の研究の問題点を明らかにし、従来の手法ではマルチプロセッサにおける実用的なインプリサイス計算が実現されていないことを述べている。さらに、既存のリアルタイムオペレーティングシステムでは、マルチプロセッサにおけるインプリサイス計算をサポートしていないことを示している。また、既存のマルチプロセッサにおけるリアルタイムスケジューリングでは、Linux をリアルタイム拡張して実装されているため、オーバヘッドが非常に高くなってしまいう問題を提起している。

第 3 章では、本学位請求論文が扱うシステムモデルとその適用範囲を正確に記述している。さらに、そのシステムモデルを用いたアプリケーションの具体例を説明している。

第 4 章では、ユニプロセッサとマルチプロセッサにおける実用的なインプリサイス計算を実現するための優先度手法である準固定優先度スケジューリングを提案している。さらに、従来の固定優先度スケジューリングに対する準固定優先度スケジューリングの優位性を証明している。

第 5 章では、準固定優先度スケジューリングを実装したリアルタイムオペレーティングシステムの実装を示している。また、準固定優先度スケジューリングを低オーバヘッドで実装するために、独自のスケジューラを提案している。

第 6 章では、ユニプロセッサとマルチプロセッサにおける準固定優先度スケジューリングのシミュレーション評価を行っている。提案した準固定優先度スケジューリングは従来の固定優先度スケジューリングより高いスケジュール可能性と低ジッタを達成している。

第 7 章では、ユニプロセッサとマルチプロセッサにおける準固定優先度スケジューリングの実機評価を行っている。提案した準固定優先度スケジューリングは従来の固定優先度スケジューリングと比較して若干高いオーバヘッドに留まっている。また、Linux をリアルタイム拡張したスケジューラのオーバヘッドと比較すると、非常に低い結果となる。さらに、シミュレーション評価と同様に、実機評価においても、準固定優先度スケジューリングはジッタが低くなっている。

第 8 章では、本学位論文の内容をまとめると共に、将来の課題として実用的なインプリサイス計算モデルの実アプリケーションに対する適用について検討を行っている。

以上、本論文は、今後さらに重要性を増してくると考えられるリアルタイムシステムの分野において、ユニプロセッサとマルチプロセッサの両方で実用的なインプリサイス計算を実現し有効性を示しており、その貢献は工学上寄与するところが少なくない。

よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

|   |          |    |       |
|---|----------|----|-------|
| 報告番号  | 甲 第3675号 | 氏名 | 藤岡 正弥 |
| 主論文題目：<br>反応性固相バインダー法を用いた混合アニオン鉄系超伝導線材に関する研究  |          |    |       |
| <p>混合アニオン鉄系超伝導体である <math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> は超伝導転移温度 55 K を有し、上部臨界磁場においては 4.2 K で 100 T を超えている。この物質はこれらの性能を生かし、高磁場下においても使用可能な超伝導線材として期待されている。鉄系超伝導線材を作成するには現在 2 種類の方法があり一つが in-situ Powder In Tube (PIT) 法で、もう一つが ex-situ PIT 法である。混合アニオン鉄系超伝導体に関しては ex-situ PIT 法を適用した超伝導線材の作製報告はされておらず、本研究における成果がその最初の一報となった。</p> <p>第一章では超伝導の基本的性質について簡単に記述し、鉄系超伝導体と超伝導線材の現状、そして超伝導線材を応用する上で重要となる超伝導コイルについてまとめた。</p> <p>第二章では本研究で使用した測定装置、解析方法、理論モデルについて記述した。</p> <p>第三章では <math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> を作製し、採用した合成経路で十分な超伝導特性が得られる事を確認した。ex-situ PIT 法では合成した超伝導物質を一度粉碎し、シース材内部で再び焼き固めるため、この再焼結によってもたらされる超伝導特性の変化を調べた。その結果、<math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> は再焼結によって表面からフッ素元素を含む不純物が分離され、結晶内全体のキャリア濃度を減少させる事を明らかにした。</p> <p>第四章では再焼結後に高フッ素濃度を有する <math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> を作製するため、再焼結時にバインダーとしてフッ素元素を含む混合粉末を混入し、表面から分離する不純物を抑え、再度 <math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> 相を生成する新しいプロセス”反応性固相バインダー (reactive solid state binder, RSB) 法”を確立した。<math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> はこれまでフッ素濃度の固溶限が <math>x=0.08</math> 程度であると思われてきたが、ここで得られた超伝導体では <math>x=0.11</math> を示し、非常に高濃度なフッ素ドーピングが可能となった。得られた超伝導特性も再焼結以前の試料より優れており、磁気特性測定からはピン止め力の向上を確認した。</p> <p>第五章では、RSB 法を用いる事で、本研究以前は不可能であった ex-situ PIT 法を混合アニオン鉄系超伝導線材へ適用させた。得られた超伝導転移温度は 51 K であり、現時点では鉄系超伝導線材の中で最も高い値であった。また臨界電流密度も <math>4 \text{ kA/cm}^2</math> を示し、in-situ PIT 法と比較して 2 倍程度の大きい値を実現した。</p> <p>第六章では、ex-situ PIT 法を用いた場合に、超伝導コアと界面で熱拡散反応を起こさないシース材料の探索を行った。これにより Ag と Cu を組み合わせたシース材が <math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> に最適である事が明らかになり、ex-situ PIT 法を用いたこの系における、より高性能な線材開発の可能性を広げた。</p> <p>第七章では本研究で得られた知見をまとめ、今後の展望について記述した。</p> <p>ex-situ PIT 法を確立した事で、より性能の高い超伝導線材が作製され、混合アニオン鉄系超伝導線材の開発における一つの起点を与えたと言える。さらに、RSB 法の開発は、<math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> のフッ素置換濃度の限界を拡大し、新たな物性探索への指針を与えた。</p> |          |    |       |

## 論文審査の要旨

| 報告番号   | 甲 第 3675 号                   | 氏 名 | 藤岡 正弥        |
|--|------------------------------|-----|--------------|
| 論文審査担当者：   |                              |     |              |
| 主査   | 慶應義塾大学教授                     |     | 博士(工学) 的場 正憲 |
| 副査   | 慶應義塾大学教授                     |     | 工学博士 椎木 一夫   |
|  | 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(工学) 神原 陽一 |
|  | 物質・材料研究機構ナノフロンティア材料 Gr. リーダー |     | 博士(理学) 高野 義彦 |
| <p>学士(理学)、修士(工学) 藤岡正弥君提出の学位請求論文は、「反応性固相バインダー法を用いた混合アニオン鉄系超伝導線材に関する研究」と題して、全7章より構成されている。</p> <p>混合アニオン鉄系超伝導体<math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math>は、鉄系超伝導体中で最高の超伝導転移温度55 Kを有し、上部臨界磁場は4.2 Kで100 Tを超えているので、高磁場下においても使用可能な超伝導線材候補として期待されている。しかしながら、原料の混合粉末を金属管に充填して加工・熱処理を行う in-situ Powder-In-Tube (PIT)法を用いて線材化すると、その超伝導特性が低下してしまう。一方、あらかじめ超伝導体粉末を合成し、これを金属管に充填して加工・再熱処理する ex-situ PIT法を用いて線材化する方法も考えられるが、再熱処理により超伝導特性が著しく低下し消失することから、ex-situ PIT法を適用した混合アニオン鉄系超伝導線材の作製は実現していなかった。本研究では、混合アニオン鉄系超伝導体<math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math>の超伝導特性の向上を狙って、この物質の酸素サイトに置換されるフッ素の置換機構を解明するとともに、より均一な高濃度フッ素置換を可能にするための新手法「反応性固相バインダー(reactive solid state binder, RSB)法」を実現した。そして、その新手法を用いることで、ex-situ PIT法による<math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math>超伝導線材の作製に世界で初めて成功した。</p> <p>第1章では、研究背景および目的を明確に示し、さらに本論文の予備知識について述べている。</p> <p>第2章では、試料作製法、特性評価・解析方法、および解析理論モデルについて述べている。</p> <p>第3章では、十分な超伝導特性を示す <math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> の最適合成経路を検討し、合成した超伝導物質を一度粉砕した後、金属管(シース材)内部で再焼結する ex-situ PIT 法の適用時に生じる超伝導特性の劣化要因を探求している。その劣化要因は、<math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> の再焼結によって表面からフッ素元素を含む不純物が分離されることで結晶内全体のキャリア濃度が減少することにある。</p> <p>第4章では、再焼結後も高フッ素濃度を有する <math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> を作製するため、再焼結時にバインダーとしてフッ素元素を含む混合粉末を混入し、表面から分離する不純物を抑え、再度 <math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> 相を生成する新しいプロセス「RSB 法」を考案・確立している。これにより、<math>x=0.08</math> 程度であると思われてきたフッ素濃度の固溶限が <math>x=0.11</math> まで伸び、非常に高濃度なフッ素ドーピングが可能となっている。また、得られた超伝導特性も再焼結前の試料よりも優れており、磁束のピン止め力も向上している。ピン止め力の磁場依存性に関するスケーリング則を用いて、混合アニオン鉄系超伝導線材の磁束ピンニング機構を探求し、点状ノーマルピンニング機構がもっとも有力であることを明らかにしている。</p> <p>第5章では、確立した「RSB 法」を用いることで、本研究以前は不可能であった ex-situ PIT 法による <math>\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x</math> 超伝導線材の作製が可能であることを実証している。得られた超伝導転移温度は 51 K であり、現時点では鉄系超伝導線材の中で最も高い値を示している。また、臨界電流密度も <math>4000 \text{ A/cm}^2</math> を示し、in-situ PIT 法と比較して2倍程度の大きい値を実現している。</p> <p>第6章では、ex-situ PIT 法を用いた場合に、超伝導コアと界面で熱拡散反応を起こさないシース材の探索を行うとともに、その熱拡散反応機構を探求している。鉄系超伝導線材の作製には、通常 Ag シースが使用されるが、実際 Ag シースのみではヒ素の拡散を防ぐことは不十分であり、外側に Cu を使用した二重構造を有するシース材が有効である。</p> <p>第7章では、本研究で得られた科学的知見をまとめ、総括し、今後の展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本研究は ex-situ PIT 法による混合アニオン鉄系超伝導線材作製のための課題解決型基礎研究であり、確立した「RSB 法」は鉄系超伝導線材技術としての本質的な役割を果たすだけでなく、その萌芽的研究成果が高温超伝導物質探索や知識創造につながることで期待される。</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> |                              |     |              |