

2013(平成25)年度 春学期

博士(工学) 学位論文  
博士(理学)

論文の内容の要旨および論文審査の結果の要旨

## 目 次

萩原 健司	プラスミドDNA / キトサン / コンドロイチン硫酸三元複合体によるin vitroとin vivoでの遺伝子導入	1
西濱 里英	円標点とメッシュ変形法を用いた靴歩行時足変形の計測	3
新莊 聡子	Comparative Analysis of the Unfolded Protein Response Caused by Small Molecule Compounds (小分子化合物が誘導するUPRの比較解析)	5
オウ ピンシン Wang, Minzhen (王 敏真)	Extensions of Probability Distributions on Torus, Cylinder and Disc (トーラス、シリンダー及びディスク上の確率分布の拡張)	7
ムミノビッチ, ミリツァ Muminovic, Milica	Advanced Assemblage Analysis of Built Environment and Persistence of the Identity of Place in Yanesen (谷根千における構築環境及び場所のアイデンティティの持続性に関する先進的アセンブリッジ分析)	9
アマド イスニクルニアワン Ahmad Isnikurniawan	Response of shock loading and effect of pressure on ultrasonic propagation in magnetorheological fluids (MR流体の衝撃荷重応答および加圧下でのMR流体中の超音波伝播特性)	12
高橋 順一	結晶性ポリマにおけるクレーズ進展挙動のモデル化およびそれを用いた破壊予測シミュレーション	14
カイルー サレー ビン バサルディン Khairul Salleh Bin Basaruddin	Three-Dimensional Morphology Analysis of Vertebral Trabecular Network Architecture Using Multi-Scale Method (マルチスケール法を用いた椎体海綿骨ネットワーク構造の3次元モルフォロジー解析)	16
竹澤 洋子	湿式化学合成プロセスによるチタン酸ナノ結晶の合成と電子デバイスへの応用	18
アカギッチ, アミラ Akagic, Amila	Adaptable Architectures for Acceleration of Protocol Processing using FPGAs (プロトコル処理のためのFPGAを用いた適応型アクセラレータ)	20
鈴木 理基	Efficient Communication for Platooning and Overtaking in Intelligent Transport Systems (高度交通システムにおける隊列走行と追越制御のための通信方式)	22
反本 啓介	次世代光ネットワークノード構築のための空間光変調器を用いた高機能光スイッチの研究	24
コガ, アーロン ミットシ Koga, Aaron M.	Torsional Oscillator Study for Solid He Growth on Graphite and Graphene from the Superfluid (グラファイトおよびグラフェン表面での超流動液体からのヘリウム4の結晶成長に対するねじれ振り子法による研究)	26
廣井 孝介	磁性ナノ粒子集合体における磁気秩序の発現に関する研究	28
モハマド ソフィアン ビン アブ タリブ Mohamad Sofian Bin Abu Talip	Partial Reconfiguration Implementation on Fluid Dynamics Computation Using an FPGA (FPGAを用いた流体動力学計算における部分再構成実装)	30
水落 麻里子	Advanced Motion Control under Constraints in Application (実システム制約下におけるモーションコントロールの高度化)	33
鈴木 敦	Acceleration-Based Bilateral Teleoperation System under Time Delay Based on Modal Space Analysis (モード空間の解析に基づく通信遅延によるむだ時間下における加速度制御を用いた双方向遠隔操作)	35

## 論文の要旨および審査結果の要旨

本報は、学位規則(昭和28年4月1日文科省令第9号)第8条による公表を目的として、本大学において2013(平成25)年度春学期に博士の学位を授与した者の論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨である。収録したものは次のとおり。

慶應義塾大学理工学部

学位の種類	学位記号・番号	授与年月日	氏名
博士(工学)	甲第 3825 号	平成 25 年 9 月 21 日	萩原 健司
博士(工学)	甲第 3924 号	平成 25 年 5 月 29 日	西濱 里英
博士(理学)	甲第 3928 号	平成 25 年 6 月 12 日	新莊 聡子
博士(理学)	甲第 3937 号	平成 25 年 9 月 21 日	オウ ピンシン Wang, Minzhen (王 敏真)
博士(工学)	甲第 3944 号	平成 25 年 9 月 21 日	ムミノビッチ, ミリツァ Muminovic, Milica
博士(工学)	甲第 3945 号	平成 25 年 9 月 21 日	アマド イスニクルニアワン Ahmad Isnikurniawan
博士(工学)	甲第 3946 号	平成 25 年 9 月 21 日	高橋 順一
博士(工学)	甲第 3947 号	平成 25 年 9 月 21 日	カイルー サレー ビン バサルディン Khairul Salleh Bin Basaruddin
博士(工学)	乙第 4636 号	平成 25 年 9 月 3 日	竹澤 洋子
博士(工学)	甲第 3948 号	平成 25 年 9 月 21 日	アカギッチ, アミラ Akagic, Amila
博士(工学)	甲第 3949 号	平成 25 年 9 月 21 日	鈴木 理基
博士(工学)	甲第 3950 号	平成 25 年 9 月 21 日	反本 啓介
博士(理学)	甲第 3951 号	平成 25 年 9 月 21 日	コガ, アーロン ミットシ Koga, Aaron M.
博士(工学)	甲第 3952 号	平成 25 年 9 月 21 日	廣井 孝介
博士(工学)	甲第 3953 号	平成 25 年 9 月 21 日	モハマドソフィアン ビン アブ タリブ Mohamad Sofian Bin Abu Talip
博士(工学)	甲第 3954 号	平成 25 年 9 月 21 日	水落 麻里子
博士(工学)	甲第 3955 号	平成 25 年 9 月 21 日	鈴木 敦

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3825 号	氏 名	萩原 健司
主論文題目： プラスミド DNA/キトサン/コンドロイチン硫酸三元複合体による <i>in vitro</i> と <i>in vivo</i> での遺伝子導入			
<p>pDNA/キトサン複合体をアニオン性高分子であるコンドロイチン硫酸で被覆し、物理化学的な安定性と遺伝子発現活性の向上を目指した pDNA/キトサン/コンドロイチン硫酸三元複合体を開発した。三元複合体のキャラクタリゼーション、<i>in vitro</i> および <i>in vivo</i> での遺伝子導入を行ない、コンドロイチン硫酸を被覆剤として使用することの意義を検討した。</p>			
<p><b>第一章</b> 遺伝子治療の歴史的背景および現状についてまとめ、本研究を行うことの意義と目的について述べた。</p>			
<p><b>第二章</b> pDNA/キトサン複合体と、様々な分子量および硫酸化度のコンドロイチン硫酸によって被覆された三元複合体のキャラクタリゼーションを行った。至適なコンドロイチン硫酸で被覆された三元複合体は、血中や生体組織中において高い安定性があることが期待された。複合体の細胞内取り込み機構および細胞内輸送経路を解析した結果、三元複合体はマクロピノサイトーシスで細胞内に取り込まれ、プロトンスポンジ効果でエンドソームから細胞質中に脱出し、複合体の状態を維持して核内に移行していることが明らかになった。</p>			
<p><b>第三章</b> pDNA/キトサン/コンドロイチン硫酸三元複合体を凍結乾燥製剤に応用し、さらに <i>in vivo</i> での遺伝子発現活性を評価した。三元複合体は、凍結乾燥後冷凍保存し使用直前に再水和する「凍結乾燥-再水和型」製剤としての利用が見出された。<i>in vivo</i> で腫瘍形成マウスモデルの自殺遺伝子治療を行ったところ、三元複合体は有意に高い抗腫瘍効果を発揮し、さらに凍結乾燥-再水和三元複合体も同等の効果を有することが認められた。</p>			
<p><b>第四章</b> pDNA/キトサン複合体と三元複合体の凝縮度の違いが転写効率・翻訳効率に与える影響について調べた。コンドロイチン硫酸で被覆することにより粒子の凝縮度が緩やかになることが示唆された。複合体の細胞内動態の定量的解析の結果、コンドロイチン硫酸による被覆は、細胞内部への取り込み量を有意に向上させる効果がある一方、核移行効率はわずかに低下させることが明らかになった。mRNA レベルでの遺伝子発現活性評価により、pDNA/キトサン複合体と比較して三元複合体の転写効率は有意に向上することが分かった。</p>			
<p><b>第五章</b> 本研究の結論をまとめた。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3825 号	氏 名	萩原 健司
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授 工学博士	佐藤 智典
	副査	慶應義塾大学教授 農学博士	井本 正哉
		慶應義塾大学教授 工学博士	岡 浩太郎
		慶應義塾大学教授 博士（工学）	藤本 啓二
<p>学士（工学）・修士（工学）萩原健司君提出の学位請求論文は「プラスミドDNA/キトサン/コンドロイチン硫酸三元複合体による <i>in vitro</i> と <i>in vivo</i> での遺伝子導入」と題して、5章で構成されている。遺伝子治療や再生医療などの分野では、安全且つ高効率で特定の遺伝子を細胞内に導入する手法が求められている。本論文では、その様な目的のために、生体適合性に優れた天然由来の多糖を用いた遺伝子の細胞内へのデリバリーシステムが提案されている。プラスミドDNA（pDNA）をキトサンおよびコンドロイチン硫酸と混合することで三元複合体を作製して、物理化学的なキャラクタリゼーションに加えて、<i>in vitro</i> および <i>in vivo</i> での遺伝子導入が検討されている。その結果、pDNAの細胞内導入法として、pDNA/キトサン/コンドロイチン硫酸三元複合体が有用であることを見いだしている。</p> <p>第一章では、遺伝子治療の歴史的背景と現状、および本研究の目的と意義について述べている。第二章では、pDNA/キトサン複合体を分子量や硫酸化度の異なるコンドロイチン硫酸で被覆した種々の三元複合体を作製して、物理化学的なキャラクタリゼーションを行なうことで、細胞への取り込みに適した粒子サイズを有し且つ構造安定性が高い三元複合体を見いだしている。そのような三元複合体は、培養細胞への取り込み効率も高く、高い遺伝子発現活性を有していることが示されている。また、細胞内への取り込み経路および細胞内輸送機構を解析することで、三元複合体はマクロピノサイトーシスで細胞内に取り込まれ、エンドソームを脱出後に微小管を経由することなく、複合体の状態を維持したまま核内に移行していることを明らかにしている。</p> <p>第三章では、pDNA/キトサン/コンドロイチン硫酸三元複合体の凍結乾燥製剤としての可能性および <i>in vivo</i> での遺伝子発現活性について評価している。自殺遺伝子を組み込んだ三元複合体を、担癌マウスに局所投与することで、高い抗腫瘍効果が得られることが示されている。また、三元複合体を凍結乾燥後に再水和してもpDNAの構造と機能が保持されていることを見いだしており、さらに担癌マウスでの高い抗腫瘍効果も維持されていることが示されている。さらに、三元複合体の高い抗腫瘍効果は、腫瘍組織中での複合体の浸潤性が高いことで、広範囲に導入遺伝子が発現していることが要因になっていると述べている。</p> <p>第四章では、pDNA/キトサン/コンドロイチン硫酸三元複合体の高い遺伝子発現活性のメカニズムを解析するために、細胞内での輸送効率や転写効率について検討している。pDNA/キトサン複合体がコンドロイチン硫酸で被覆されることで、細胞内へのpDNAの取り込み量を向上させる効果があるが、核移行効率はわずかに低下していると述べている。一方で、遺伝子発現効率を評価することで、転写効率が向上することを見いだしている。</p> <p>第五章では、本研究の結論が述べられている。</p> <p>本論文では、pDNAと天然由来の多糖との複合体を作製し、その物性および機能解析を行なうことで、優れた遺伝子デリバリーシステムを構築することに成功している。この成果は、高分子科学への貢献のみならず、遺伝子治療への応用が期待される。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。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3924 号	氏 名	西濱 里英
主論文題目： 円標点とメッシュ変形法を用いた靴歩行時足変形の計測			
<p>靴歩行時には、筋活動による関節運動と靴を介した外力の作用によって、足の表面軟組織が複雑に変形する。このため、靴を足に適合させるには、この変形を明らかにする必要がある。動的な3次元形状の計測には、パターン光投影や多標点計測など、様々な方法が提案されているが、これらの方法で靴に覆われた足の動的変形を計測することは困難であった。本研究では、従来の動作計測で用いる反射球標点を反射円標点に代え、透明甲素材の実験靴を使用して靴歩行中にも足骨格特徴点の3次元計測を行えるようにした。また、足の主要骨格モデルと静止直立時の足形状メッシュモデルを用い、メッシュモデルの特徴点位置を計測した骨格特徴点位置と合わせることで、靴歩行時の足部の関節運動と表面伸縮の同時推定を行う手法を開発した。さらに、提案手法を用いてハイヒール靴歩行時の足変形を計測し、変形の特徴を示すとともに、本手法の靴開発への応用の可能性を示した。</p> <p>第1章では、研究の背景と位置づけ、および新規性と有用性を示した。</p> <p>第2章では、新たな計測手法を提案した。すなわち、足運動に関わる主要な骨格構造を4節のリンク構造に単純化し、各リンクの動きを記述する足表面上の骨格特徴点20点を標点位置と定め、この位置に厚さ0.2mm直径5mmの円標点を貼ることで、甲を透明素材に代えた実験靴を履けるようにした。また、あらかじめ用意した静止足型メッシュを、計測した標点位置にフィッティングすることで、歩行中の各時点の足表面形状と標点間の伸縮量を推定した。さらに、骨格モデルを用いて、計測した標点位置から関節運動を推定した。なお、被験者の足型メッシュは、光学式3Dデジタイザで取得した静止立位時の足形状に重なるように、テンプレートメッシュを変形させることで作成した。</p> <p>第3章では、提案手法の精度と実用性を確認するために、骨格位置と体表面標点位置のずれ量を超音波画像計測装置で計測し、ずれ量が関節角度に与える影響は小さいことを示した。また、透明甲素材を通しての円標点の3次元計測精度は球標点と同等で、球標点よりも円標点の方が、その中心が足表面に近いと、周長などの寸法精度は高くなることを確認した。3Dデジタイザによる計測形状と本手法による推定形状を比較した結果、幅方向の誤差は最大2mm、周長誤差は、変形が大きい足首付近でも最大2.5mmであり、実用上十分な精度を有している。</p> <p>第4章では、本手法の応用例として、ヒール靴歩行時の足変形を計測した。これにより、ヒール高によって骨格姿勢は変化するが、屈伸方向の関節運動や体表面積変化率の変化傾向は裸足歩行時とほぼ等しいことを示した。また、踵離地直前では、足アーチが低下し、中足骨が広がって足囲が増加することを利用して履き口を締める機構を提案し、履き口が大きく開いた婦人靴でも踵ずれを軽減できることを示した。</p> <p>第5章では、本研究の成果をまとめるとともに、今後の課題と展望を示した。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3924 号	氏 名	西濱 里英
論文審査担当者:	主査 慶應義塾大学教授	博士(工学)	岡田有策
	副査 慶應義塾大学教授	博士(工学)	大門 樹
	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	工学博士	岡田英史
	慶應義塾大学名誉教授	工学博士	山崎信寿
<p>学士（工学）、修士（工学）西濱里英君提出の学位請求論文は「円標点とメッシュ変形法を用いた靴歩行時足変形の計測」と題し、5章から構成されている。</p> <p>靴は大きな荷重と変形に耐えるばかりでなく、ファッション性も重視される商品であり、その設計には足の形状と運動に関する詳細な知識が必要である。しかし、靴歩行時には、筋活動による足変形に加えて足靴間の相互干渉があるため、裸足歩行の検討のみでは、靴の適合性を高めることが困難であった。本論文の著者は、従来の動作計測で一般的な反射球標点を薄い円標点に代え、透明甲素材の実験靴を用いれば、靴歩行中の動的足変形を計測できるようにした。また、足の骨格モデルと形状モデルを用い、計測した標点座標から、靴歩行中の関節運動と表面伸縮を推定する手法を提案した。さらに、これらの手法を応用して新たな靴設計の可能性を示している。</p> <p>第1章は序論であり、研究の背景と位置づけ、および目的を示している。</p> <p>第2章では、足運動に関わる主要な骨格構造を4節のリンク構造にモデル化し、各リンクの動きを記述する足表面上の骨格特徴点20箇所に厚さ0.2mm直径5mmの円標点を貼ることで、透明素材の実験靴であれば標点位置を光学的に3次元計測でき、計測した標点位置と骨格モデルから、靴歩行中の足関節運動を推定できることを示している。また、計測対象者の静止足型メッシュモデルを作成し、計測した標点位置にフィッティングすることで、足形状と各部の伸縮量を推定する手法を提案している。</p> <p>第3章では、提案手法の精度と実用性を確認するために、骨格位置と体表面標点位置のずれ量を超音波画像装置で計測し、ずれ量が関節角度に与える影響は小さいことを示している。また、透明素材を通しての円標点の3次元計測精度は、皮膚に密着しているため、球標点よりも高くなることを確認し、表面形状から計算される周長などの寸法も、実用上十分な精度であることを示している。</p> <p>第4章では、本手法の応用例として、特に適合が難しいヒール靴歩行時の足変形を計測し、足骨格の屈伸変化量や皮膚表面の伸縮分布は、ヒール高によらずほぼ等しいことを示している。また、足各部の変形の時間差を利用し、踵が離れるときの足囲の増加を履き口に伝達して締め付ければ、履き口が大きく開いた婦人靴でも踵ずれを軽減できることを示している。</p> <p>第5章は結論であり、得られた成果と今後の課題を示している。</p> <p>以上要するに、本研究は、足と靴の適合性を高めるための基礎となる、靴歩行中の足骨格と表面変形の計測・推定手法を示したものであり、人間工学的製品開発・評価等の分野に、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 3928 号	氏 名	新莊 聡子
主論文題目： Comparative Analysis of the Unfolded Protein Response Caused by Small Molecule Compounds (小分子化合物が誘導する UPR の比較解析)			
<p>小胞体は膜タンパク質及び分泌タンパク質の折りたたみが行われる細胞内小器官であると同時に、異常に折りたたまれてしまったタンパク質の蓄積（小胞体ストレス）を緩和させるための恒常性維持機構（unfolded protein response (UPR)）を備えている。この応答は、小胞体膜上に局在する3つの小胞体ストレスセンサータンパク質(ATF6, IRE1<math>\alpha</math>, PERK)の活性化が引き金となり、下流の UPR 関連遺伝子が発現誘導されることで実行される。これまでに、作用点の異なる小分子化合物が UPR を誘導することは報告されているが、これら化合物が誘導する UPR を比較解析した例はなかった。本論文では、UPR 制御機構の解明に向けて、これら化合物が誘導する UPR 関連遺伝子の発現挙動の比較解析を行った。</p> <p><b>(1) 小分子化合物が誘導するUPR関連遺伝子発現挙動の解析</b></p> <p>異なる作用点を持つUPR誘導剤7種(2-deoxyglucose, brefeldin A, DTT, eeyarestatin I, monensin, thapsigargin, tunicamycin)が誘導する9種のUPR関連遺伝子(ATF4, CHOP, EDEM, ERdj4, GADD34, GRP78, GRP94, PDI, p58<sup>IPK</sup>)の発現を経時的に測定した。得られたデータを階層的クラスタリングによって解析したところ、9遺伝子全体の発現プロファイルの違いは化合物の作用点の違いに起因することが示唆された。さらなる解析の結果、7化合物によるUPR関連遺伝子の発現パターンは大きく3つのクラスター(クラスターA', B', C')に分類された。このうち、クラスターC'ではATF6, IRE1<math>\alpha</math>により発現制御される遺伝子の発現が低かったことから、クラスターA', B'の化合物は3つのストレスセンサーを活性化させる一方で、クラスターC'の化合物はPERKのみを活性化させることが示唆された。実際にストレスセンサータンパク質の活性化検出を行った結果、クラスターA'の化合物は3つのセンサーを、クラスターB'の化合物はATF6 とPERKを活性化させるのに対し、クラスターC'の化合物はPERKのみを活性化させることが示唆された。また、各クラスターに分類された化合物の作用点に着目すると、クラスターA'の化合物は折りたたみ不全もしくは糖鎖修飾がされていない、すなわち未成熟なタンパク質の蓄積を誘導する一方、クラスターC'の化合物は成熟したタンパク質の蓄積を誘導するということが示唆された。これらの結果から、化合物の作用点によって小胞体内に蓄積するタンパク質の折り畳み状態に違いが生じ、それがセンサータンパク質の活性化、およびその下流のUPR関連遺伝子の発現パターンに影響を与えたことが示唆された。</p> <p><b>(2) BiFC法によるIRE1 二量体化検出法の構築</b></p> <p>小胞体センサータンパク質の活性化の検出は UPR を解析する上で必須であるにもかかわらず、それを直接、簡便かつ定量的に評価できる手法が乏しかった。そこで、3つのセンサータンパク質を1細胞内で同時かつ定量的に測定するため、3つのセンサータンパク質の活性を3色の蛍光でイメージングする系の構築を目的とした。そのために本論文では、IRE1<math>\alpha</math>活性化検出を目的とし、IRE1<math>\alpha</math>の活性化に必要な十分なステップである二量体化を、分断された蛍光蛋白質の再構成によりタンパク質間相互作用を検出する手法である Bimolecular Fluorescence Complementation (BiFC)法を用いて検出する系を構築した。IRE1<math>\alpha</math>の二量体化はN末端の小胞体内腔ドメインで起こるため、IRE1<math>\alpha</math>のC末端欠損体に、青色蛍光タンパク質である cerulean のN末端もしくはC末端を結合させたコンストラクトを作製し、その両方を安定発現する細胞を得た。この細胞では、通常培養条件において内在性 IRE1<math>\alpha</math>と同様に小胞体に局在していたが、cerulean の蛍光は観察されなかった。一方、この細胞に小胞体ストレス誘導化合物 DTT を添加したところ、IRE1<math>\alpha</math>の二量体化が起こる条件で cerulean の再構成が観察された。これらの結果から、IRE1<math>\alpha</math>の二量体化を cerulean の再構成により評価する系の構築に成功した。</p>			



## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3928 号	氏 名	新 莊 聡 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	工学博士 岡 浩太郎
		慶應義塾大学教授	博士(理学) 榊原 康文
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 清水 史郎
<p>学士（理学）、修士（理学）新莊聡子君提出の学位請求論文は、「Comparative Analysis of the Unfolded Protein Response Caused by Small Molecule Compounds (小分子化合物が誘導するUPRの比較解析)」と題し、4章から成っている。</p> <p>タンパク質の品質管理機構である unfolded protein response (UPR)は様々な生命現象や疾患に関与していることから近年注目を浴びている。著者は、UPR 制御機構をケミカルバイオロジーの手法で明らかにすることを目指し、まず小分子化合物を用いて UPR の制御機構の一端を明らかにした。また、UPR 制御因子の活性化評価系の構築を行った。</p> <p>第一章は、序論であり、本研究の礎となる UPR に関する従来研究を概説し、本論文の目的について記載している。</p> <p>第二章では、小分子化合物により誘導される UPR 関連遺伝子の比較解析を行なっている。まず、作用機構の異なる 7 種の小分子化合物が誘導する 9 種の UPR 関連遺伝子の発現量を測定したところ、化合物により発現誘導される遺伝子の発現パターンが異なることが明らかとなった。さらに、この 9 遺伝子全体の発現プロファイルは化合物の濃度を変えても大きく変わらなかったことから、発現プロファイルは化合物の濃度よりも作用点の違いに依存していることを示した。次に、化合物間で発現誘導される UPR 関連遺伝子の発現量にどのような違いがあるのか明らかにするため、UPR 関連遺伝子の発現量データを階層的クラスタリングにより解析した結果、化合物が 3 つのクラスターに分類された。各クラスターに属する化合物における作用点の共通項および遺伝子発現パターンの特徴について考察した結果、化合物の作用点によって小胞体内に蓄積するタンパク質の折り畳み状態に違いが生じ、それが小胞体ストレスセンサーの活性化、およびその下流の UPR 関連遺伝子の発現パターンの違いを生むことが示唆された。</p> <p>第三章では、小胞体ストレスセンサーの 1 つ IRE1<math>\alpha</math>の活性化検出系の構築について述べている。3 つの小胞体ストレスセンサーの活性化をイメージングにより 1 細胞で測定する手法の構築を目指し、3 つの小胞体ストレスセンサーのうちの 1 つ IRE1<math>\alpha</math>の活性化を青色蛍光タンパク質 cerulean の再構成により検出する手法の構築を行った。イメージングに必要なタンパク質を安定発現した細胞を構築し、その細胞に小胞体ストレス誘導化合物を処理すると、内在性 IRE1<math>\alpha</math>の活性化を反映して顕著に cerulean の再構成が誘導された。この結果から、IRE1<math>\alpha</math>の活性化を 1 細胞内で評価することが可能な検出系の構築に成功した。</p> <p>第四章では最後に本研究で得られた結果から UPR 研究の展望を議論し総括としている。</p> <p>本論文では UPR 制御機構の解析のみならず、さらなる解析に必要な UPR 制御因子活性化検出系の構築にまで及んでいる。本研究成果は UPR 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 3937 号	氏 名	王 敏真
主論文題目： Extensions of Probability Distributions on Torus, Cylinder and Disc (トーラス、シリンダー及びディスク上の確率分布の拡張)			
<p>角度観測値を含むデータの統計学は方向統計学として知られている。二つの時点において観測される風向のような二変量角度データのモデル化の際には二変量角度分布すなわちトーラス上の分布を考えることになる。本論文では、方向統計学の枠組みの中でトーラス上の分布と共にシリンダー及びディスク上の分布の拡張を提案している。</p> <p>円周上の分布に関する予備的な結果として、円周上のハート型分布に従う確率変数を Möbius 変換して得られる分布の分布関数、三角モーメント、単峰性と対称性の条件について調べた。トーラス上の分布については、Möbius 変換によって潜在構造が定められるモデル、言い換えれば三変量から二変量の分布を生成する変量減少法の一つから導かれるトーラス上の二変量ハート型分布を提案し、結合確率密度関数、結合三角モーメント及び角度変数間相関係数の具体的な式を与えた。また、二変量ハート型分布を利用して、朝6時と正午に継続的に観測された風向データの解析例を示した。</p> <p>次に、シリンダー上の分布を、von Mises 分布と変換されたKumaraswamy 分布の組み合わせから生成し、周辺分布と条件付き分布を与えた。この提案分布はJohnson とWehrly による分布の拡張である。また、正弦関数によって歪められた巻き込みCauchy 分布とWeibull 分布の組み合わせから生成した分布も提案した。その他、周辺分布が指定されているときにシリンダー上の分布を生成する方法を用いることによって、ハート型分布と変換されたKumaraswamy 分布を周辺に持ち、von Mises 分布をリンクとする分布の提案を行っている。</p> <p>最後に、長さを保つ修正メビウス変換を用いてディスク上のMöbius 分布の拡張としての非対称分布を生成し、周辺分布などの諸性質を調べた。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3937 号	氏 名	王 敏真
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 清水 邦夫
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 柴田 里程
		慶應義塾大学教授	Ph. D. 南 美穂子
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 鈴木 秀男
<p>修士（理学）王敏真君提出の学位請求論文は「<b>Extensions of Probability Distributions on Torus, Cylinder and Disc</b>（トーラス、シリンダー及びディスク上の確率分布の拡張）」と題し、全4章より構成されている。</p> <p>角度を含む観測値のモデル化や解析を扱う統計学の分野は方向統計学として知られている。本論文の著者は、方向統計学の文脈において、トーラス、シリンダー及びディスク上におけるいくつかの新しい確率分布を提案し、分布の持つ諸性質を調べている。</p> <p>本論文の第1章は序章である。まず、円周上の分布における基本的な用語としての平均方向、平均合成ベクトル長、三角モーメントについて述べ、ハート型分布、von Mises 分布、巻き込み Cauchy 分布、Jones と Pewsey の分布を紹介している。次に、von Mises 確率変数に単位円から単位円への Möbius 変換を施して得られる分布の先行研究について述べ、新しい分布としてハート型確率変数に Möbius 変換を施して得られる分布を提案し、先行研究との相違について触れながら分布関数、三角モーメント、単峰性と対称性の条件について調べた結果を述べている。</p> <p>第2章はトーラス上の分布を扱っている。トーラス上の分布とは2変量角度分布のことを言う。トーラス上の von Mises 分布、周辺分布を指定して結合分布を生成する方法、エントロピー最大化原理に基づく方法などの代表的な先行研究を概観し、関連文献をまとめている。次に、先行研究とは異なる方法によってトーラス上の分布を与えている。この部分が本章の主要な論点となっている。具体的には、観測されない2つの角度確率変数が Möbius 変換で関係づけられていて、それぞれの変数に誤差が加わり角度の対が観測されるモデルにおいて、Möbius 変換を行う方の変数と2つの誤差変数が互いに独立にハート型に従うことを仮定した場合を考察している。提案分布の結合確率密度関数、結合三角モーメント、角度変数間相関係数を求め、風向に関する解析例を与えている。</p> <p>第3章は角度確率変数と実数値を取る確率変数の結合分布であるシリンダー上の分布についての考察である。まず、周辺分布を指定してシリンダー上の分布を構成する方法とその拡張の先行研究及びエントロピー最大化原理に基づく方法の先行研究をまとめている。本論文は、ハート型分布と変換された Kumaraswamy 分布を周辺分布に指定して von Mises 分布をリンクとする分布を提案している。また、巻き込み Cauchy 分布を正弦関数によって歪めた分布と Weibull 分布の組み合わせからなる分布を提案している。実例により、これらの提案分布の適合の良さが示されている。さらに、シリンダー上の分布から、条件付き平均を考えることによって回帰モデルを導いている。</p> <p>第4章は非対称性を持つディスク上の分布の構成について述べている。回転対称性を持つディスク上の分布については数多くの研究がある。また、非対称分布については、ベータ型分布の先行研究や2変量回転対称ベータ確率変数に単位ディスクから単位ディスクへの Möbius 変換を施して得られる Möbius 分布の先行研究が知られている。Möbius 分布は、半径変数について非対称であるが、原点を通る一つの直線に関して対称である。本論文の著者は、Möbius 分布に従う確率変数に長さを保存する修正 Möbius 変換を更に施す方法により、非対称性を持つディスク上の分布を3種類構成して、周辺分布と条件付き分布を求めている。</p> <p>以上、著者は角度の観測値を含むデータのための統計的依存関係を持ついくつかの新しい2変量モデルの生成に成功した。研究成果は方向統計学の進展に貢献しており、理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(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” NO.3944	Name	Muminović, Milica
Thesis Title			
Advanced Assemblage Analysis of Built Environment and Persistence of the Identity of Place in Yanesen			
<p>The Thesis advances methods of urban analysis based on the assemblage theory by increasing its capacity to address changes in built environment and relating them to persistences of the identity of place. In urban theory, the identity of place is defined as specific quality arising from a certain location, and highly related to its durability. The methodology proposed and tested in this thesis approaches place in its complexity and analyses the dynamics of change of a concrete place as a whole. The dynamics of change contribute to the persistence, which itself defines the identity of the place.</p> <p>The Yanesen precinct of Tokyo was selected because of its peculiar urban character, which remains strongly associated with urban forms and practices of the past (Edo period), although the components of its built environment have dramatically changed, leaving almost no original buildings. The methodology applied was developed on the basis of assemblage theory and issues arising from the particularity of the Yanesen itself. The resulting assembled method brings together various tools and methods, in order to approach the totality of the place identity with due sensibility, addressing the built environment as a dynamic and complex assemblage system.</p> <p>This study has shown that application of assemblage theory in place theory is possible and useful for better understanding of the identity of places and built environments in their full physical complexity and dynamics. Methodological advancements developed here contribute to the analysis in the fields of urban morphological preservation and conservation. The project refines analytical tools in urban morphology by providing a broader view of persistences in definition of the identity of place, in which the concrete elements of built environment are not necessarily conserved. That is related to an approach to built environments as dynamic systems, which can have multiple states which demand neither total conservation nor complete change. The study also provides methodological contributions to analyses in the field of place making by broadening the scope and including commonly overlooked ordinary urban places and practices. The refined method enabled observation of processes which are usually hidden behind the expressiveness of the various elements of built environment. That remains of particular interest for further developments in the analysis of places. Finally, this study has contributed to the assemblage theory itself by refining the core concepts and definitions of identity and becoming. The findings from the specific case study of Yanesen are potentially contributing to better understanding of places in architectural and urban design, thus informing future, place sensitive design practice.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3944 号	氏 名	Muminović, Milica
論文審査担当者：	主査	Professor, Keio University Ph.D.	Radović , Darko
	副査	Professor, Keio University Ph.D.	Mita, Akira
		Professor, Keio University Ph.D.	Honda, Satoshi
		Associate Professor, Keio University Ph.D.	Kishimoto, Tatsuya
		Senior Lecturer, Daikin University Ph.D.	Boontharm, Davisi
<p>The dissertation of Milica Muminović, an Engineer of Architecture (B. Arch) and Graduate Engineer of Architecture (M. Arch), entitled “Advanced Assemblage Analysis of Built Environment and Persistence of the Identity of Place in Yanesen”(谷根千における構築環境及び場所のアイデンティティの持続性に関する先進的アセンブリッジ分析) consists of 7 chapters, which systematically presents theoretical aspects of the assemblage theory and elaborates its application in practice of urban and architectural analysis.</p> <p>The thesis proposes a set of analytical methods which enable revalorization of the intangible qualities of built environment (e.g. relations between physical elements of urban environment) and enhance an awareness about the seemingly paradoxical, positive contribution of changes to sustaining of the identity of place. The methodology was developed by combining the key concepts of assemblage theory related to the identity and built environment, with place theory and urban morphology discourse. The proposed methodology was tested at the case of Yanesen, the precinct of Tokyo well known exactly for those qualities where the advancement was sought - the persistence of the identity of place within perpetual changes of the built components.</p> <p>Chapter 1 introduces research questions, highlights the gaps in knowledge, reasons for choosing the case study approach, and limitations of the present research project. Chapter 2 presents theoretical background of the thesis. It explores definitions of identity and place from the positions of place theory and assemblage theory.</p> <p>Chapter 3 establishes the link between theory and analytical tools. The chapter develops an assemblage methodology, which derives its core concepts from broader assemblage theory and key characteristics of the case study, the Tokyo precinct of Nezu-Yanaka-Sendagi, or Yanesen. It explains all methods assembled and tools which were used to asses and measure various aspects of the built environment and the identity of place.</p> <p>Chapter 4 presents the application of analytical tools, described in the previous chapter, on a concrete case of Yanesen. It defines the framework of the analysis, by investigating and presenting main characteristics of the identity of place in that precinct. The focus is at the aspects directly linked with built environment and at definition of scales and boundaries of the study. It also presents the results of the analysis of the largest scale of local built environment, that of Yanesen as a whole. The results show that the dominant elements tend to be of small size, with a demonstrable tendency towards clustering in space, thus creating the zones of intensity of smallness.</p> <p>Chapter 5 presents the results of the analysis of the built environment at the finer scale of Nezu-Sendagi. The chapter is divided in two parts: first part focuses on the dynamics of change of built environment over time, while the second part presents the analysis of elements which evoke that particular identity, soundly based on the past. The results show that expressive quality of smallness comes from distinct relationships between the elements of built environment, and that it was changing over time. That provides evidence that there is no single stable state in built environment.</p> <p>Chapter 6 presents the analysis conducted at the smallest of scales, focusing on physical realities of public-private interface in Nezu. The results show tendency towards clustering of various characteristics of publicness and privateness along the streets in Nezu.</p> <p>Finally, chapter 7 presents the conclusions and key contributions to knowledge. This chapter is divided in two parts: presenting the conclusions, by focusing at dynamics of the change of the built environment and persistence of the identity of place in Yanesen, and discussing the contributions of this work to assemblage theory, and its capacity to refine morphological studies related to conservation and place theory and practice.</p> <p>The results of application of assemblage methodology in the analysis of a specific place has identified four mechanisms under which the built components of place change, while an overall identity of place persists. The thesis has demonstrated that application of an advanced and perpetually contextualised assemblage theory is of critical importance in engineering from academic standpoint for deeper understanding of persistence of the identity of place, through comprehension of its complexity and dynamics. Thus, the author of this thesis is qualified to receive this PhD degree in engineering.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3944 号	氏 名	Muminović, Milica
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. ラドヴィッチ, ダルコ
	副査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 三田 彰
		慶應義塾大学教授	工学博士 本多 敏
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 岸本 達也
		Daekin 大学専任講師	Ph. D. Boontharm, Davisi
<p>学士(工学)、修士(工学)、Muminović, Milica 君の学位請求論文は、「Advanced Assemblage Analysis of Built Environment and Persistence of the Identity of Place in Yanesen (谷根千における構築環境及び場所のアイデンティティの持続性に関する先進的アセンブリッジ分析)」と題し、アセンブリッジ論の理論的側面を体系的に示すとともに、それらの都市、建築分析への実践的な応用を精査しており、7章から構成されている。</p> <p>本研究は、構築環境の無形の資質（都市環境における物理的要素間の関係等）の価値の復元を可能とし、場所のアイデンティティを持続するために、一見したところ逆説的だが実はプラスの効果がある変化に対する意識を高める一連の分析手法を提案している。本手法は、アイデンティティと構築環境に関連するアセンブリッジ論の主要概念と場所論、都市形態論を組み合わせることにより開発された。提案手法は、建築要素が絶え間なく変化の中で場所のアイデンティティを持続している特徴があることでよく知られる谷根千において考査された。</p> <p>第1章では、本研究の研究課題を述べ、知識の問題点、事例研究のアプローチ法の選択理由、現在の研究プロジェクトの限界に焦点を当てて述べている。第2章では、本研究の理論的背景を示している。そこでは場所論とアセンブリッジ論の立場から、アイデンティティと場所の定義を探求している。</p> <p>第3章では、理論と分析の手段の関係を確立している。本章ではアセンブリッジ理論を開発しているが、具体的には、広義のアセンブリッジ理論と、根津一谷中一軒駄木または谷根千という東京地区での事例研究の鍵となる特性から、核となる概念を導出している。すべての手法を統合し、構築環境と場所のアイデンティティの様々な項目の評価と測定に用いられた手段について述べている。</p> <p>第4章では、前章で記述した分析手法の谷根千に対する具体的な適用を示している。この地区の場所のアイデンティティの主要な特性を調査し、呈示することによって、手法の枠組みを定義している。構築環境に直接つながる視点ならびに本研究のスケールと境界の定義に主眼がおかれている。局所的な構築環境での最大スケールでの分析の結果を示しつつ、谷根千全体としての分析結果も示している。この結果から、支配的要素のサイズは小さい傾向があり、またそれらは空間的に集団化する傾向があることが実証され、それゆえ小規模性という強い特徴を持つゾーンが形成されることを示した。</p> <p>第5章では、根津一軒駄木地区のより細かいスケールでの構築環境の分析結果を示している。この章は2つに大別され、まず時間の経過による構築環境の動的変化に焦点をあて、次に過去にもとづいた特定のアイデンティティを喚起する要素の分析を行っている。そこから、小規模性として表現された資質は構築環境の要素間における明確な関係性に由来すること、またその資質は時間とともに変化していることを示した。これにより、構築環境には安定状態はない論拠が示された。</p> <p>第6章では、根津の公的-私的境界の物質的側面に焦点をあて、最小スケールでの分析を行っている。ここから、根津の通り沿いで公共性と私事性の多様な特徴が集団化する傾向にあることを示している。</p> <p>最後に第7章では、結論と得られた主要な知見をまとめている。まず、構築環境の変化のダイナミクスと谷根千における場所のアイデンティティの持続性に焦点を当てた結論を示している。次に、本研究のアセンブリッジ理論に対する寄与、保存と場所論に関連した形態学的研究の発展性と実用性について論じている。</p> <p>以上要するに、特定の場所の分析にアセンブリッジ論を適用し、場所の建築要素が変化する一方で全体的な場所のアイデンティティを持続する4つのメカニズムを見出した。文脈化された先進的アセンブリッジ論の応用は、複雑性とダイナミクスの理解を通じて、場所のアイデンティティの持続性を深く理解するためにきわめて重要なものであることを論証したものであり、工学上の学術的価値が高い。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.3945	Name	Ahmad Isnikurniawan
Thesis Title			
<p><b>Response of shock loading and effect of pressure on ultrasonic propagation in magnetorheological fluids</b></p>			
<p>In this research, the behavior of magnetorheological fluid when subjected to high excitation or shock loading is investigated experimentally. In order to fully understand the behavior of cluster formation in this fluid under pressure that caused by shock loading, another experimental analysis is performed. Ultrasonic measurement technique is applied since magnetorheological fluid is opaque. The properties of ultrasonic propagation change when cluster structures formed in magnetorheological fluid. Therefore, cluster formation in this fluid under various magnetic fields and pressures can be analyzed based on the change of ultrasonic propagation properties. This dissertation is organized into six chapters.</p> <p>Chapter 1 introduces the basic characteristic of magnetorheological fluid, background and objectives of the research, contributions and outline of this dissertation.</p> <p>Chapter 2 summarizes the previous studies on the behavior of magnetorheological fluid under shock loading. The experimental apparatus, experiment procedure, preliminary results and repeatability of the experiment system are also described.</p> <p>Chapter 3 discusses the effect of magnetic field, orifice inner diameter and volume fraction on the performance of magnetorheological fluid to handle the shock loading. At low impact velocity, magnetic field has significant effect. However, the effect becomes not significant at high impact velocity. Damping force is relatively similar under different field. It because the force, which caused by shock loading, is much higher than the viscous force, which generated by the magnetic field. Performance of magnetorheological fluid under shock loading is also affected by orifice inner diameter and volume fraction of this fluid. The smaller orifice inner diameter is stronger to handle the shock loading. Moreover, the higher volume fraction, the bigger cluster is formed. In addition, bigger cluster is stronger to handle the shock loading.</p> <p>Chapter 4 summarizes the previous studies about the inner structure in magnetorheological fluid. It also describes the experimental apparatus and method of ultrasonic technique, procedure and experiment results. Temperature has significant effect on the cluster formation. The cluster size becomes smaller when higher temperatures are applied. In the application of magnetic field, magnetic particles begin to form cluster in seconds. The cluster size becomes bigger when higher magnetic fields are applied. Frequency of alternating magnetic field also affects the cluster size. The cluster size becomes smaller when higher frequencies are applied.</p> <p>Chapter 5 describes the experimental apparatus, procedure and the results of the investigation of cluster formation in magnetorheological fluid under pressures. At low magnetic flux densities (100 and 200 mT), the cluster size becomes smaller under higher pressures. However, at high magnetic flux densities (300 and 400 mT), the effect of pressure becomes not significant. At that range of magnetic field, cluster formation is strong enough to handle the pressure. These results confirm that magnetic field has effect on the performance of MR fluid to handle pressure that caused by shock loading. The higher magnetic flux densities produces bigger cluster. The bigger clusters are stronger to handle the amount of pressures that caused by the shock loading.</p> <p>Chapter 6 summarizes the results in this study.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3945 号	氏 名	Ahmad Isnikurniawan
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 澤田達男
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 杉浦壽彦
		慶應義塾大学准教授	工学博士 中澤和夫
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 竹村研治郎
<p>学士（工学）、修士（工学）Ahmad Isnikurniawan 君提出の学位請求論文は、「Response of shock loading and effect of pressure on ultrasonic propagation in magnetorheological fluids（MR 流体の衝撃荷重応答および加圧下での MR 流体中の超音波伝播特性）」と題し、6 章から構成されている。</p> <p>本論文では、流体内部に強磁性体微粒子を含んだ MR 流体（Magnetorheological fluid）を取り上げている。MR 流体に磁場を印加すると内部の強磁性体微粒子が凝集してクラスターを形成し、粘度が増加して高い降伏応力を示す。磁場に対する応答性もよく、印加磁場によって短時間で大幅な粘度増加を実現することが可能である。そこで、本論文の著者は、MR 流体を衝撃荷重緩衝器に利用することを提案し、基礎実験を行い、その諸特性を調べている。衝撃荷重の緩衝性能には、クラスターが関係しており、非接触で MR 流体の内部構造を解明するために、MR 流体中の超音波伝播速度（以後、伝播速度と略す）を調べている。</p> <p>第 1 章は序論であり、MR 流体の特徴を述べ、他の機能性流体との違いを概説し、本論文の目的を述べている。</p> <p>第 2 章では、衝撃荷重緩衝実験における計測システムについて記述している。本実験では、衝撃荷重を重りの落下によって与えている。重りの変位、磁場強度、MR 流体内部圧力の同時計測システムを構築し、計測システムの分解能、計測値の誤差、実験の再現性について詳細な検討を行い、構築した計測システムが十分な性能を持つことを確認している。</p> <p>第 3 章では、衝撃荷重、磁場強度、MR 流体微粒子濃度、流路内オリフィス径を変化させた実験を遂行し、衝撃初期では磁場強度による衝撃荷重変化があまり見られないが、その緩和過程においては磁場の影響が顕著になることを見出している。また、弱磁場ではオリフィス径による衝撃荷重変化は顕著でないが、120 mT 程度の磁場強度では、衝撃荷重はオリフィス径にほぼ反比例することを明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、MR 流体中の伝播速度計測システムについて述べ、磁場による伝播速度変化の検討を行っている。使用した超音波の周波数は、2 MHz である。流体温度、磁場強度、磁場方向の伝播速度変化におよぼす影響を調べた。それらの結果は、内部微粒子の運動を考慮した解析結果と定性的に一致している。また、動的な磁場変動の影響を調べるために、磁場のスイープレートを変化させた場合と交流磁場を印加した場合の伝播速度変化を検討している。その結果、80 mT/min 以下のスイープレートでは、クラスターが充分成長して伝播速度増加が顕著であるが、それ以上のスイープレートでは逆にクラスター成長が阻害されることを明らかにした。</p> <p>第 5 章では、ゲージ圧で 0.52 MPa まで圧力を変化させ、圧力が MR 流体中の伝播速度変化におよぼす影響を調べている。200 mT までの磁場では、圧力増加と共に伝播速度変化率が減少し、クラスター成長が抑えられるが、磁場強度が高まると、伝播速度変化率が一定になり、磁場によるクラスター拘束が顕著になることが明らかとなった。この知見は、第 2 章で得られた衝撃荷重の緩和過程の状況を定性的に説明しており、衝撃荷重緩衝器の開発に大いに役立つものと考えられる。</p> <p>第 6 章は、結論であり、本論文の成果を総括している。</p> <p>以上要するに、本論文では MR 流体の衝撃荷重緩衝器への応用を考えて基礎実験を行い、重要となる基礎資料を取得している。そして、衝撃荷重緩衝性能に大きく関わるクラスター挙動を、伝播速度変化で捉えることを試み、磁場強度、スイープレート、圧力等の外部因子による影響を詳細に検討し、新たな知見を得たものであり、磁気機能性流体工学に関連し、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 3946 号	氏 名	高橋 順一
<p>主論文題目：</p> <p style="text-align: center;">結晶性ポリマにおけるクレーズ進展挙動のモデル化 およびそれを用いた破壊予測シミュレーション</p>			
<p>乗用車におけるポリマの使用比率は重量比で8～10%を占め、現在増加傾向にあるとともに、その役割は年々増大している。近年、乗用車の設計では商用 FEM プログラムによる衝突シミュレーションが広く活用されており、ポリマ製品の大変形挙動の再現ならびに破壊部位予測の精度を高めることが産業界で強く求められている。しかしながら、金属とは異なるポリマ特有の破壊機構に基づいて実用的に破断予測を実施できる材料モデルは存在しないのが現状である。そこで本研究では、ポリマに特徴的な変形挙動であるくびれの伝ばを再現できる弾・粘塑性非共軸構成式にポリマの損傷であるクレーズの影響を導入するとともに、クレーズ進展挙動のモデリングを行う。次に、本モデルを商用 FEM プログラムに組み込んで結晶性ポリマの延性破壊に関する数値シミュレーションを実施し、実応力がフィブリル強度を超えることに基づいてポリマの破壊を評価することで、ポリマの破断予測を可能とする実用的なスキームを構築する。</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る。</p> <p>第 2 章では損傷配置と擬似無損傷配置を導入し、クレーズの影響を材料モデルに反映する。</p> <p>第 3 章では、全自由エネルギーの引数に内部変数として、塑性変形速度とクレーズ密度を導入するとともに、各引数に共役な熱力学的力を定義する。</p> <p>第 4 章では、クレーズの影響を考慮した非共軸弾粘塑性構成式を導出する。</p> <p>第 5 章では、静水圧依存形に拡張したひずみ速度硬化則を提案する。</p> <p>第 6 章では、クレーズの進展が塑性ひずみおよび平均塑性垂直ひずみの増加に伴って生じるとしてクレーズ発展式を提案するとともに、塑性ひずみの増加に対するクレーズ密度の増加率を塑性ひずみ速度および塑性ひずみの関数として具体化し、クレーズ伝ばのひずみ速度依存性と分子鎖配向領域におけるクレーズの停止を表現する。さらに、平均塑性垂直ひずみの発展式を球形ポイドを有するポリプロピレン(PP: polypropylene)ブロックモデルに対する数値実験により同定したうえで、クレーズ発生条件式をひずみ速度依存形に一般化する。加えて、クレーズの発生と成長に対して、ひずみ速度が異なる影響を及ぼすことを考慮することにより、クレーズ発展式を広ひずみ速度域において対応可能な形に拡張する。</p> <p>第 7 章では、PP の単軸引張試験を実施し、次章で行う数値解析の検証用に供する。</p> <p>第 8 章では、上述の材料モデルを商用 FEM プログラム(LS-DYNA)にユーザーサブルーチンを介して組み込んだうえで単軸引張シミュレーションを実施する。まず、クレーズ進展の定性的傾向を再現するため、ひずみ速度 <math>1 \text{ s}^{-1}</math> の条件でシミュレーションを行い、くびれの発生・伝ばが表現できること、高クレーズ領域が引張方向に伝ばするとともにくびれ進行端部でクレーズ密度および実応力の値が高くなることを示す。次に、ひずみ速度 <math>0.01 \sim 100 \text{ s}^{-1}</math> の条件でシミュレーションを実施し、上記に加えて高ひずみ速度および低ひずみ速度では高クレーズ領域が降伏直後に X 形せん断帯状に集中して発生すること、および破断ひずみのひずみ速度依存性が一般的な熱可塑性ポリマの特徴を再現していることを示す。加えて、いずれのひずみ速度においてもフィブリル強度に基づいて予測された破断部位が実験におけるそれと一致することを確認する。さらに、ここで構築した破断予測スキームの実用性について検討するため、第 7 章の実験を模擬した数値シミュレーションを実施して実験結果と定量的に整合する結果が得られることを示す。また、PP の単軸圧縮実験結果との比較を通じて静水圧依存性を考慮できることも合わせて確認する。</p> <p>第 9 章は結言であり、本研究により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 3946 号	氏 名	高橋 順一
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	博士(工学) 高野 直樹
		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) 大宮 正毅
		慶應義塾大学教授	工学博士 澤田 達男
<p>学士(工学), 修士(工学)高橋順一君の学位請求論文は「結晶性ポリマにおけるクレーズ進展挙動のモデル化およびそれを用いた破壊予測シミュレーション」と題し, 9章から構成されている。</p> <p>輸送機器へのポリマの使用率は年々増加傾向にあり, ポリマを用いた構造設計には商用 FEM プログラムによる変形・破壊シミュレーションが広く活用されているため, ポリマの大変形挙動の再現ならびに破壊部位予測の精度を高めることが強く求められている。しかしながら, 金属とは異なるポリマ特有の破壊機構に基づいて破壊予測を実施できる材料モデルは存在しないのが現状である。そこで本研究では, ポリマに特徴的な変形挙動であるくびれの伝ばを再現できる非共軸弾粘塑性構成式にポリマの損傷であるクレーズの影響を導入するとともに, クレーズ進展挙動のモデル化を行っている。次に, 本モデルを商用 FEM プログラム(RADIOSS, LS-DYNA)に組み込んで, 結晶性ポリマの延性破壊に関する数値解析を実施し, ポリマの破壊予測を可能とする実用的なスキームを構築している。</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章では損傷配置と擬似無損傷配置を導入し, クレーズの影響を材料モデルに反映している。</p> <p>第3章では, 本研究で扱う構成式や発展式の引数について熱力学的議論を展開している。</p> <p>第4章では, 前章の結果に基づいて速度形の非共軸弾粘塑性構成式にクレーズの影響を導入している。</p> <p>第5章では, 静水圧依存形に拡張したひずみ速度硬化則を提案している。</p> <p>第6章では, クレーズが塑性ひずみの増加に伴って進展するとしてクレーズ発展式を提案するとともに, その際, クレーズ密度の増加率を塑性ひずみ速度および塑性ひずみの関数として具体化し, クレーズ伝ばのひずみ速度依存性と分子鎖配向領域におけるクレーズの停止を表現している。さらに, クレーズ発生条件式をひずみ速度依存形に一般化するとともに, クレーズの発生と成長に対して, ひずみ速度が異なる影響を及ぼすことを考慮することにより, クレーズ発展式を広ひずみ速度域において対応可能な形に拡張している。</p> <p>第7章では, ポリプロピレンの単軸引張試験を後述の数値解析の検証用として実施している。</p> <p>第8章では, 上述の材料モデルを商用FEMプログラムにユーザーサブルーチンを介して組み込んだうえで単軸引張解析を実施している。まず, クレーズ進展の定性的傾向を再現するため, ひずみ速度 <math>1\text{ s}^{-1}</math> の条件で数値解析を行い, くびれの発生・伝ばが表現できること, ならびにくびれ進行端部でクレーズ密度および実応力の値が高くなることを示している。次に, ひずみ速度 <math>0.01\sim 100\text{ s}^{-1}</math> の条件で数値解析を実施し, 上記に加えて高ひずみ速度および低ひずみ速度では高クレーズ密度領域が降伏直後にX形せん断帯状に集中して発生すること, および破断ひずみのひずみ速度依存性が一般的な熱可塑性ポリマの特徴を再現できることを示している。加えて, いずれのひずみ速度においてもフィブリアル強度に基づいて予測された破壊部位が実験におけるそれとよく一致することを確認している。さらに, 第7章の実験を模擬した数値解析を実施し, その結果が実験結果と定量的にも整合することを示している。</p> <p>第9章は結言であり, 本研究により得られた知見を要約している。</p> <p>以上要するに, 本研究はポリマ特有の微視的損傷であるクレーズの挙動に基づいた破壊予測のための材料モデルを構築し, その実用性を商用 FEM プログラムを介して数値解析的に示したものであり, 高分子工学および損傷力学の分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No. 3947	Name	Khairul Salleh Bin Basaruddin
Thesis Title			
Three-Dimensional Morphology Analysis of Vertebral Trabecular Network Architecture Using Multi-Scale Method			
<p>Assessment of bone quality is essential for determining the fracture risk of osteoporotic bone. Bone quality refers to properties that influence bones' ability to resist fracture but are not explained by bone density. The morphology of a trabecular network plays a key role in determining bone quality. Morphology characteristics are commonly described by morphometric parameters (e.g. mean trabecular thickness, mean trabecular spacing, trabecular number per unit length, etc.) and their correlation with apparent mechanical properties. However, morphometric parameters are described only in terms of the size and quantity of the individual trabecular and are dependent on bone density.</p> <p>A novel approach to characterizing the morphology of a trabecular network from a truly microarchitectural viewpoint has been developed by examining apparent mechanical properties, microscopic stress distribution, and principal stress vectors based on a multi-scale method. Apparent elastic moduli were quantified to explain the anisotropy of healthy and osteoporotic bones related to their morphological characteristics. A classification method was introduced to investigate the morphology of the trabecular structure, focusing on load-bearing capability. This method was developed by analyzing the response of microscopic stress distribution with respect to orthogonal macroscopic and static loads. The principal stress vector was also used to describe the mechanical role of trabecular microarchitecture. Next, a dynamic-explicit finite element method was used to visualize the percolation of load transfer in the trabecular network. This approach provided a new insight into the investigation of trabecular network morphology.</p> <p>A new probabilistic simulation model based on a stochastic image-based multi-scale method was then developed to ensure the reliability of the calculated apparent elastic properties, which was used to examine the morphology of trabecular bone. Uncertainties that arise from bone characteristics, experimental works and image-processing were modeled in a systematic manner. Fluctuations in the uncertainty parameters were assumed in normal distribution, and effective properties were obtained using a Gaussian mixture method. Good agreement between the predicted stochastic apparent elastic moduli and the experimental findings of many researchers substantiated the reliability of the present morphology analysis. The developed probabilistic model could be used potentially as an extrapolation technique from a calibrated case to another case without measured data, and it may also be applicable to a variety of heterogeneous engineering materials, especially in microstructure design.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3947 号	氏 名	Khairul Salleh Bin Basaruddin
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 高野 直樹
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 志澤 一之
		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	Ph. D. 小國 健二
<p>学士(工学)、修士(工学)、Khairul Salleh Bin Basaruddin 君の学位請求論文は、「Three-Dimensional Morphology Analysis of Vertebral Trabecular Network Architecture Using Multi-Scale Method (マルチスケール法を用いた椎体海綿骨ネットワーク構造の3次元モルフォロジー解析)」と題し、7章から構成されている。</p> <p>椎体骨折リスクを予測し、予防することは骨粗鬆症患者の QOL (Quality of Life) 向上に大きく寄与するが、骨密度だけで正確な予測を行うことができない。そこで、骨内部にある海綿骨の骨質に関する研究が盛んであり、計算バイオメカニクスの発展が期待されている。しかし、海綿骨の微細な骨梁構造は複雑な3次元構造をとるため、これまで荷重支持、荷重伝達のためのネットワーク構造としての解析はなされていなかった。本論文は均質化理論に基づくマルチスケール法を応用し、腰椎骨の海綿骨において自重を支える一次骨梁を抽出し、動的有限要素法を利用した3次元可視化に成功した。さらに、個体差を数理的に取り扱うための確率的イメージベース均質化法を開発し、過去の実験データの大きなばらつきを少数の献体データから予測する新規手法を開発した。</p> <p>第1章では、本研究を行うに至った着想、目的ならびにアプローチ法を述べ、第2章では、骨の形態、物性値等に関する実験ならびにモデリング・シミュレーションの研究と、計算力学分野における不確かさのモデリングに関するレビューを行っている。</p> <p>第3章では、本研究で用いる献体腰椎骨における海綿骨のマイクロ CT イメージモデリング、注目する微視構造解析モデルの抽出を行っている。</p> <p>第4章では、均質化法による3次元モルフォロジー解析を行い、まず、微視構造を反映したマクロ特性の異方性からモルフォロジーの特徴を議論している。次に、自重を主に支える一次骨梁、水平方向に走行する二次骨梁を抽出し、それぞれの要素の体積割合を算出する解析手法を提案し、健全骨と骨粗鬆症骨の比較を行った。また、板状骨梁が荷重伝達を行う3次元ネットワーク構造においてハブの役割として機能し、板状骨梁の減少は骨の脆弱性を招くという知見を見出した。</p> <p>第5章では、前章で抽出した一次骨梁を立体的に可視化するために、動的有限要素法による大規模解析を行い、衝撃荷重下で応力波が一次骨梁を伝播する挙動を利用して、一次骨梁の連結性の視認性を大きく向上させることに成功した。</p> <p>第6章では、実験により得られている海綿骨のマクロ特性の大きなばらつきを計算バイオメカニクスにより解析するため、確率的イメージベース均質化法を新規開発した。不確かさの要因を分類し、各種の実験データに基づいて重要度を定めた上で、ナノスケールの生体アパタイト結晶配向に起因する異方性、モルフォロジーの個体差を考慮しつつ、その他の不確かさ要因を補正するパラメータを導入することで、頻繁に引用される実験データのばらつきを少数の献体データから予測することに成功した。</p> <p>最後に第7章では、本論文を通じて得られた知見をまとめると同時に、モデリングで用いた仮定を整理し、多孔質材料のマイクロ構造設計への応用等の今後の発展の可能性を論じている。</p> <p>以上要するに、本論文で提案された均質化法を核とした骨梁ネットワーク構造のモルフォロジー分析法、および確率均質化法によるばらつき予測法は、新規性に富み、計算力学・バイオメカニクス分野での学術的意義が高く、後者は工業材料のマイクロ構造設計への発展性という点でも工学的価値がある。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	乙 第 4636 号	氏 名	竹澤 洋子
主論文題目： 湿式化学合成プロセスによるチタン酸ナノ結晶の合成と電子デバイスへの応用			
<p>電子機器の小型化・高性能化が進み、用いられる電子材料においては形態がナノメートルスケールでコントロールされた合成技術の確立が求められている。無機ナノ粒子合成および形態コントロールには湿式プロセスが有効であり、これまでに、ナノロッドやナノシートなど特異的な形態を有する様々な材料の合成が可能になっている。本研究では、二酸化チタン・層状チタン酸・チタン酸バリウムなどの酸化チタン系材料をターゲットとし、湿式化学プロセスにおける反応場・前駆体・イオン濃度などが形態へ与える影響を検討した。また、得られたナノ結晶について誘電体薄膜を形成し、その電子材料としての可能性を評価した。</p> <p>第1章では、溶液系における結晶成長メカニズムと湿式化学プロセスの研究動向を概説し、本研究の背景および目的を示した。</p> <p>第2章では、ゲルマトリクスを反応場としたチタン酸ナノ結晶の作製と形態コントロールについて論じた。高分子ゲルを原料の拡散律速場として用いることで、ナノからマイクロメートルにわたる高次構造を有するチタン酸ナノシートを合成した。また、これを比較的低温で熱処理することで、高次構造を保持したアナターゼ型二酸化チタンナノシートが合成できることを見出した。</p> <p>第3章では、第2章で得られたチタン酸ナノシートの合成条件を基に、層状チタン酸とアナターゼ型二酸化チタンの選択的合成について論じた。原料溶液の pH とカウンターカチオンの種類が層状チタン酸の結晶構造や形態に影響を与えることを見出した。</p> <p>第4章では、高濃度ゾルゲル法による高結晶・高分散のチタン酸バリウムナノ結晶の合成について論じた。実験条件を検証して合成メカニズムを考察し、低コストで実用的なプロセスへの方向性を示した。</p> <p>第5章では、高濃度ゾルゲル法によるチタン酸バリウムナノ結晶の誘電体薄膜への応用について論じた。実用プロセスで必要とされる還元雰囲気での熱処理においてチタン酸バリウムの絶縁性が低下することが問題であったが、ここでは、マンガンの添加によりチタン酸バリウムナノ結晶に耐還元性を付与することに成功し、実用的な誘電体薄膜への応用の可能性を示した。</p> <p>第6章では、高濃度ゾルゲル法によるチタン酸バリウムナノ結晶の実用化に向けてプロセス温度の低下を試みた。ホウ素を添加したチタン酸バリウムナノ結晶では、粒成長が促進され、電極基板上での粒成長温度が 50°C 程度低下した。添加物濃度の最適化によって高結晶チタン酸バリウム薄膜が形成され、誘電体として高い特性を有することが確認された。</p> <p>第7章では、本研究で得られた知見を総括し、チタン酸ナノ結晶の合成における湿式化学プロセスの優位性と今後の発展性を示した。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	乙 第 4636 号	氏 名	竹澤 洋子
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 今井 宏明
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 磯部 徹彦
		慶應義塾大学教授	博士(工学) 藤原 忍
	慶應義塾大学教授	博士(工学) 栄長 泰明	
	慶應義塾大学専任講師	博士(工学) 緒明 佑哉	
<p>学士(工学), 修士(工学)竹澤洋子君提出の学位請求論文は、「湿式化学合成プロセスによるチタン酸ナノ結晶の合成と電子デバイスへの応用」と題し、7章より構成されている。</p> <p>電子機器の小型化・高性能化が進み、用いられる電子材料においてはナノメートルスケールで微細構造がコントロールされた合成技術の確立が求められている。ナノ粒子合成には、湿式合成法が有効であり、ナノロッドやナノシートなどの特異的な形態を有する様々な材料の合成が可能になっているが、物質系が限定されており、その形態のコントロールも十分とは言えない。本研究では、電子デバイスへの応用が期待される二酸化チタン・層状チタン酸・チタン酸バリウムなどのチタン系材料をターゲットとし、湿式合成法における反応場・原料種類・原料濃度などが与える形態への寄与を検討するとともに、得られたナノ粒子材料を用いて誘電体薄膜を形成し、電子材料としての可能性を評価している。</p> <p>第1章では、溶液系における結晶成長メカニズムと湿式合成法の研究動向を概説し、本研究の背景および目的が示されている。</p> <p>第2章では、ゲルマトリクスを反応場としたチタン酸ナノ結晶の作製と形態コントロールについて論じている。高分子ゲルを原料の拡散律速場として用いることで、ナノからマイクロメートルにわたる高次構造を有するチタン酸ナノシートが合成されるとともに、比較的低温での熱処理により、高次構造を保持した状態でアナターゼ型二酸化チタンに転移可能であることが見出された。</p> <p>第3章では、第2章で得られたチタン酸ナノシートの合成条件を基に、層状チタン酸とアナターゼ型二酸化チタンの選択的合成について論じている。原料溶液のpHとカウンターカチオンの種類が層状チタン酸の結晶構造や形態に影響を与えることが見出された。</p> <p>第4章では、高濃度ゾルゲル法による高結晶・高分散のチタン酸バリウムナノ結晶の合成について論じている。実験条件を検証して合成メカニズムが考察され、安価な原料への代替の方向性が示されている。</p> <p>第5章では、高濃度ゾルゲル法によるチタン酸バリウムナノ結晶の誘電体薄膜への応用について論じている。下部電極としてCuやNiなどを利用するためには、還元雰囲気での熱処理を必要とするが、チタン酸バリウムの絶縁性が低下する問題があった。ここでは、<math>Mn^{2+}</math>の添加によりチタン酸バリウムナノ結晶に耐還元性を付与することに成功し、実用的な誘電体薄膜への応用の可能性が示唆されている。</p> <p>第6章では、高濃度ゾルゲル法においてチタン酸バリウムナノ結晶への焼結助剤の添加によるプロセス温度の低下について示されている。ホウ素を添加したチタン酸バリウムナノ結晶では、電極基板上での粒成長温度が50℃程度低温化して粒成長が促進され、さらに、添加物濃度の最適化によって誘電体として高い特性を有する高結晶性薄膜が形成されることが確認された。</p> <p>第7章では、本研究で得られた知見が総括され、チタン酸ナノ結晶の合成における湿式プロセスの優位性と今後の発展性が示されている。</p> <p>以上要するに、本論文では、湿式化学合成プロセスにおけるさまざまな条件検討によって多様な微細構造をもつチタン酸ナノ結晶の合成に成功するとともに、その電子デバイスへの応用の可能性を示し、新たな材料設計の指針を与えている。これらの知見は、結晶成長工学および電子材料分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

# Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” NO.3948	Name	Akagic, Amila
Thesis Title Adaptable Architectures for Acceleration of Protocol Processing using FPGAs			
<p>The emergence of multi-Gigabit Ethernet and ever-increasing volume of network traffic on the Internet has begun outpacing server capacity to manage incoming data. In recent years, the network traffic exhibits constant increase, due to the confluence of many market trends. Today, data centers are considering employment of new technologies, such as 40- and 100-Gb Ethernet, however their adoption rate is still rather small. The major concern is that the potential for such high bandwidths would not be exploited, due to the communication overhead that consumes high levels of processor's processing power. One major source of processing overhead is the TCP/IP stack. This problem has been addressed in various methods. One method is to dedicate one or more cores for TCP/IP processing exclusively. However, with the new paradigm shift to multicore processors, it is hard to guarantee the high throughput for inherently sequential processes, such as cyclic redundancy checks. Other methods include protocol processing offloading onto a specialized hardware and using special large packets known as jumbo frames. This has been specially beneficial in storage applications that transfer large blocks of data.</p> <p>The future networks also seem to take a new direction toward so called programmable networks, which will allow greater agility, programmability and flexibility. In this thesis, we take another step in this direction by utilizing programmable hardware to achieve the same goals. At first, we target one of the challenging aspects of iSCSI processing, which is processing of digests or Cyclic Redundancy Checks (CRC). CRCs are often characterized as computationally intensive, and thus often substituted with less efficient error detection schemes. We propose a non-adaptable and fully-adaptable CRC accelerators based on a table-based algorithm, which has been rarely used in hardware implementations. The non-adaptable CRC accelerator is suitable for acceleration of a specific application, and has no ability to adapt to a new standard or an application. The fully-adaptable CRC accelerator has ability to process arbitrary number of input data and generates CRC for any known CRC standard during run-time. We modify table generation algorithm in order to decrease its space complexity.</p> <p>We also address the problem of efficiently implementing IP-based iSCSI Offload Engine which operates on the top of the TCP/IP protocol stack. Based on the analysis of iSCSI traffic, CPU utilization and throughput of software-based Open-iSCSI, we propose a new architecture which offloads data transfer and related non-data functions to an FPGA based adapter. The resulting architecture relieves the host CPU from computational burden imposed by software implementations. The iSCSI Offload Engine allows very low utilization on the host CPU of approximately 3%. Our work is a step toward the goal of using hardware accelerators to enable higher levels of agility, programmability and flexibility in future networks.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3948 号	氏 名	Akagic, Amila
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 天野英晴
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬巖
		慶應義塾大学教授	工学博士 山中直明
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 寺岡文男
<p>学士(工学)、修士(工学)、Akagic, Amila 君の学位請求論文は「Adaptable Architectures for Acceleration of Protocol Processing using FPGAs (プロトコル処理のための FPGA を用いた適応型アクセラレータ) と題し、六章から成る。</p> <p>100Gb Ethernet の登場により、ネットワークの物理的な転送速度はますます高速になっている。しかし一方で、ネットワークの持つ高い性能が有効に利用されていない場合が多い。これは、TCP/IP スタックにおけるプロトコル処理のオーバーヘッドが一つの原因となっており、アクセラレータとしてハードウェアを用いる方法が使われているが、開発コストが大きく、機能が固定されて新しい規格に対応できない問題がある。そこで、本論文では、最近発展が著しい FPGA(Field Programmable Gate Array)を利用し、性能が高く柔軟性にも優れたアクセラレータを設計、実装することを目的としている。</p> <p>まず第一章で、背景と論文の目的を述べ、続く第二章では本論文で高速化する対象とするプロトコル処理として、ボトルネックになることが多い CRC(Cyclic Redundancy Check)と iSCSI(Internet Small Computer System Interface)イニシエータについて紹介している。第三章では FPGA を導入し、これを用いて高速性と柔軟性を共に実現するリコンフィギャラブルシステムの先行研究を紹介している。</p> <p>第四章以降が本論文の主題である。まず FPGA 内のテーブルを用いて CRC の高速化を行う方法を提案し、様々なコード長とスライス長に対して固定型の方式を実装し、従来方式の 2 倍以上の性能向上を実現した。次に、対応する規格のコード長とスライス長に合わせてテーブルを自動的に生成する適応型 CRC を提案した。この手法は、様々な規格に対応できる柔軟性を持つ上、テーブルを自動的に生成することにより、固定式と同等以上の性能を実現した。リソース使用量は従来方式よりはやや多いが、現在一般的に用いられる Xilinx 社の FPGA、Virtex-6 LX150 の 1.2%~14%で実装可能である。第五章は、この手法を拡張して iSCSI イニシエータに適用している。iSCSI イニシエータは、一般的にストレージに用いられるが、CRC を内部に持ち、複雑なプロトコル処理を行うため CPU の負担が大きい。本論文で提案するアクセラレータは、処理の大半を占める送信モジュール、受信モジュール、制御モジュールを FPGA 内に実装し、先行研究の性能の約 7 倍を達成している。このアクセラレータを用いることで、CPU の利用率を 3%まで落とすことができる。しかも、モジュール構造に優れ、内部の CRC を含めて高い柔軟性を実現している。これらの設計は全て実際の FPGA 上に実装されて、動作が確認されている。第六章に結論と今後の課題を述べている。</p> <p>以上、本論文は、FPGA を用い、従来方法と比べてはるかに高い性能で柔軟性の高いプロトコル処理を行うアクセラレータを設計し、実際のチップ上でその性能を実証した点で工学上寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			



## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3949 号	氏 名	鈴木 理基
主論文題目： Efficient Communication for Platooning and Overtaking in Intelligent Transport Systems (高度交通システムにおける隊列走行と追越制御のための通信方式)			
<p>近年、人・車・道路が融合し将来の安全・安心かつ環境にやさしい車社会を構築する Intelligent Transport Systems (ITS)の研究が進展している。ITS では、スムーズな交通の促進、空気抵抗削減や不要な加減速回避による燃費改善効果、自動運転によるドライバ負荷軽減効果という観点から協調走行の研究が進み、とりわけ、複数車両が短い車間距離で車群を形成し、目的地まで走行する隊列走行が注目されている。</p> <p>従来の隊列走行研究は、主として隊列の単独走行時を対象としている。しかし、今後の実用化においては、複数隊列や非隊列車両の混走が想定され、隊列走行の維持に必要な通信プロトコルならびに隊列と非隊列車両の追越制御が重要となる。</p> <p>本論文は複数隊列走行時に予想される無線帯域の輻輳ならびに隠れ端末による偏った通信負荷を解決するため、隊列走行用タイムスロット通信プロトコルを提案する。本プロトコルでは、タイムスロット化した Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) チャンネル上の擬似 Time Division Multiple Access (TDMA) フレームを導入し、スロットの使用状況を車両間で交換しながら共有する。また本プロトコルでは、輻輳時には連送数を減少し、輻輳していない場合には連送数を増加させる連送数制御を導入し、無線帯域の輻輳および隠れ端末による特定車両への偏った通信負荷を回避し、隊列内全車両への高い情報伝達率を得る。さらに、隊列のリーダー車両が他メンバ車両を代表してスロットを予約し、割当てすることで、隊列メンバ間でのスロット競合、通信量の偏りを回避し、隊列維持率を改善する。シミュレーションにより提案プロトコルを従来プロトコルと比較し、情報伝達率と隊列維持率の観点から複数隊列走行時における有効性を確認した。</p> <p>また本論文は、車車間通信を用いた追越動作制御方式を提案する。ここでは、隊列は指定レーンを走行し、低速車が隊列の前方を走行する場合には隊列に道を譲ることならびに後続する高速車両が隊列を追越すことを想定する。両者が同時に発生する場合、高速車は低速車を追越せない状況が発生する。本論文ではこの問題を追越動作の干渉と呼び、分散排他制御のアルゴリズムを用いて解決する。隊列と隣接する追越車線部分をクリティカルセクションとし、車両を1台ずつ進入させるように制御することで、追越動作の干渉を回避し、不必要な加減速を無くし、二酸化炭素排出量を削減する。排他制御はトークン方式とパーミッション方式の2方式が考えられるが、トークン方式の方が合意形成に必要なメッセージ数が少ないため、車両の追越要求から着手までの待機時間を削減できる。シミュレーションの結果から、提案方式が不必要な加減速、二酸化炭素排出量、待機時間を削減し、スムーズな追越動作が可能となることを確認した。</p> <p>以上より、本研究は隊列走行の実用化にむけて、複数隊列ならびに非隊列車両が混走する環境下における有効な通信プロトコルならびに追越制御方式を示した。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3949 号	氏 名	鈴木 理基
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 重野 寛
	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 笹瀬 巖
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 寺岡 文男
<p>学士（工学）、修士（工学）鈴木理基君提出の博士学位請求論文は、「Efficient Communication for Platooning and Overtaking in Intelligent Transport Systems（高度交通システムにおける隊列走行と追越制御のための通信方式）」と題し、5章より構成されている。</p> <p>人、車、道路を融合することで、安全・安心かつ環境にやさしい車社会を構築することを目指す高度交通システム（ITS）の研究が進展している。特に、円滑な交通、空気抵抗削減や不要な加減速回避による燃費改善、ドライバ負荷軽減といった観点から協調走行の実現への期待が高まっており、中でも、複数の車両が短い車間距離で車群を形成し、目的地まで走行する隊列走行が注目されている。これまでの隊列走行の研究開発は、主として隊列の単独走行を対象としている。しかし、今後の実用化においては、複数隊列の走行や非隊列車両との混走が想定され、隊列走行の維持に必要なとなる通信方式、隊列と非隊列車両の走行の調整が重要となる。</p> <p>本論文では、無線通信における輻輳ならびに隠れ端末によって発生する通信負荷の偏りを解決する隊列走行用通信方式を提案している。また、隊列が指定レーンを走行する想定に基づいて、車車間通信を用いた隊列と非隊列車両の間の追越制御方式を提案している。そして、シミュレーション評価により、これらの提案方式の有効性を示している。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的、位置づけについて述べている。</p> <p>第2章では、ITSと協調走行について概説し、隊列走行用通信方式ならびに車車間通信を用いた追越制御方式の関連研究と問題点について述べている。</p> <p>第3章では、複数の隊列からの通信が互いに干渉するような状況における隊列走行用通信方式として、CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) チャンネル上に擬似 TDMA (Time Division Multiple Access) フレームを導入したタイムスロット予約方式を提案している。本方式では、タイムスロットの使用状況を車両間で交換してフレームの繰り返し送信数（連送数）を制御し、隊列メンバを代表する代表車両によるスロット予約割当を行うことで、通信の輻輳と隠れ端末によって発生する通信負荷の偏りを解決し、高い隊列維持率を実現する。シミュレーション評価では、連送数を固定した単純連送方式ならびに RR-ALOHA (Reliable Reservation ALOHA) 方式と比較し、情報伝達率と隊列維持率の観点から提案方式の有効性を示している。</p> <p>第4章では、隊列とその前後を走行する非隊列車両の間に追越動作が干渉する問題に着目し、車車間通信によるトークンベースの分散排他制御を用いた追越制御方式を提案している。提案方式では、隊列の走行車線に隣接する追越車線をクリティカルセクションと見なし、トークンベースの分散排他制御アルゴリズムを適用することで、追越動作の優先権を制御する。これにより、隊列の周辺での追越動作の干渉と、それに伴う不要な加減速、環境性能の悪化を防ぐことを意図している。シミュレーション評価により、提案方式が不要な加減速、二酸化炭素排出量、待機時間を削減し、円滑な追越動作を可能とすることを示している。</p> <p>最後に第5章では、各章の内容をまとめ、本論文の結論を述べている。</p> <p>以上の通り、本研究により、隊列走行の実用化に向けて重要である、複数隊列が存在する場合でも必要な性能を維持できる隊列走行用通信方式ならびに車車間通信を用いた隊列と非隊列車両の間の追越制御方式が示されたことになり、研究の成果は工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3950 号	氏 名	反本 啓介
主論文題目：  次世代光ネットワークノード構築のための空間光変調器を用いた 高機能光スイッチの研究			
<p>光ネットワークの大容量化への需要に応えるため、波長多重された各信号に対し最適な伝送経路を選択し動的に経路を切り替える ROADM(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer)がネットワークノードに導入されている。上記ネットワークを柔軟に再構成するため、ROADM を構成する光ファイバおよび光送受信器は多数の光スイッチを用いて配線される。ROADM の設置スペースや光増幅器の電力削減、および信号品質維持のために、個々の光スイッチ素子の小型化・低損失化・偏光無依存化が求められている。また、周波数利用効率向上のため、異なる変調方式による信号を多重伝送する可変グリッド ROADM が必要であり、その実現のために、光スイッチにはグリッド可変動作が求められる。</p> <p>第1章の序論では、光ネットワークの動向について述べ、ROADM とグリッド可変 ROADM の必要性を述べる。また、その運用のためには、空間スイッチと WSS(Wavelength Selective Switch)を用いたノード構成が不可欠であることを述べる。本研究では、LCOS(Liquid Crystal on Silicon)または MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)を用いた空間スイッチ・WSS を提案し、本研究の目的が、これらの光スイッチ素子に対し、低損失性・小型性・偏光無依存性・グリッド可変動作などの機能を付与するための設計手法の確立であることを述べる。</p> <p>第2章では、LCOS を用いた空間スイッチを提案し、挿入損失低減のため、LCOS を用いて光学系の収差を高速に補償する方法を提案する。収差を補償するための最適な位相パターンを試行錯誤型アルゴリズムによって算出する。探索過程において Zemike 関数のモード間の相関性を応用することにより、従来の手法と比べ約2倍高速に補償が可能となる。</p> <p>第3章では、AWG(Arrayed Waveguide Grating)と LCOS を用いた WSS を提案し、その設計手法を明らかにする。本 WSS では AWG により波長多重信号をスペクトル展開し、各波長信号に対し LCOS を用いて個別にスイッチングを行い、別の層の AWG に出力する。複数の AWG を高い精度で互いに平行に多層化することで、低損失な WSS が得られる。多層 AWG を作製する手段として、別々の基板上に形成された AWG を貼合わせる手法および、単一基板上に複数の AWG をモノリシックに形成する手法を提案する。両手法を用いて多層 AWG を試作し、層間の平行度がそれぞれ<math>\pm 0.9 \mu\text{m}</math> 以下、<math>\pm 0.7 \mu\text{m}</math> 以下という良好な性能が得られている。</p> <p>第4章では、多層 AWG と2台の LCOS を用いた偏光無依存型 WSS を提案する。一方の LCOS がスイッチ動作を行い、他方の LCOS が多層 AWG の位相誤差を直交する偏光成分別に補償する。また、偏波ダイバーシティ光学系を導入し、LCOS の偏光依存性が補償される。試作の結果、PDL(Polarization Dependent Loss)が1dB 以下という良好な性能が得られている。</p> <p>第5章では、多層 AWG と1台の LCOS を用いた小型かつ偏光無依存な WSS を提案する。偏波ダイバーシティ光学系に反射器を導入し折り返し型構成とすることにより、小型となる。また1台の LCOS を用いて、スイッチング動作および多層 AWG の位相誤差補償動作の両方が可能となる。試作の結果、光学系サイズが<math>100 \times 80 \times 60 \text{mm}^3</math> 以下、PDLが2dB 以下という良好な性能が得られている。</p> <p>第6章では、MEMS を用いた WSS を提案する。MEMS ミラー表面に複数のスロット構造を設けることにより、ミラー間ギャップに由来するスペクトルリップルが補償され、グリッド可変動作が可能となる。ミラーピッチが<math>50 \mu\text{m}</math> の MEMS ミラーに対し、単位ミラーあたりのスロット数を2とし、スロット幅を<math>2 \mu\text{m}</math> と最適化することで、リップル幅が0.004 dB 以下という良好な性能が得られることを明らかにする。</p> <p>第7章では本論文を総括し、結論および今後の展望を述べる。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3950 号	氏 名	反本 啓介
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 岡田 英史
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 田邊 孝純
<p>学士（工学）、修士（工学）反本啓介君提出の学位請求論文は「次世代光ネットワークノード構築のための空間光変調器を用いた高機能光スイッチの研究」と題し、7章から構成されている。</p> <p>光ネットワークの大容量化への需要に応えるため、波長多重された各信号に対し最適な伝送経路を選択し動的に経路を切り替える ROADM(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer)がネットワークノードに導入されている。ROADM の設置スペースや光増幅器の電力削減、および信号品質維持のために、個々の光スイッチの小型化・低損失化・偏光無依存化が求められる。また、周波数利用効率向上のため、光信号の変調方式と変調速度に合わせて帯域幅を調整できる、グリッド可変 ROADM が必要であり、光スイッチにはグリッド可変動作が求められる。</p> <p>第1章の序論では、光ネットワークの動向について述べ、ROADM に必要とされる性能を述べている。LCOS(Liquid Crystal on Silicon)またはMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)を用いた空間スイッチ・WSS(Wavelength Selective Switch)を提案し、本研究の目的が、これらの光スイッチに対し、低損失性・偏光無依存性・グリッド可変動作などの機能を付与するための設計手法の確立であることを述べている。</p> <p>第2章では、LCOS を用いた空間スイッチにおいて、挿入損失低減のため、光学系の収差を高速に補償する方法を提案している。収差を補償するための最適な位相パターンを試行錯誤型アルゴリズムによって算出する。解探索の過程において Zernike 関数のモード間の相関性を応用することにより、従来の手法と比べ約2倍高速に補償が可能となることを明らかにしている。</p> <p>第3章では、多層 AWG(Arrayed Waveguide Grating)と LCOS を用いた WSS を提案し、その設計手法を明らかにしている。多層 AWG を作製する手段として、別々の基板上に形成された AWG を貼合わせる手法と単一基板上に複数の AWG をモノリシックに形成する手法を提案している。両手法を用いて多層 AWG を試作し、約1cmの幅における層間の平行度が、それぞれ、<math>\pm 0.9 \mu\text{m}</math> 以内、<math>\pm 0.7 \mu\text{m}</math> 以内の良好な性能が得られている。</p> <p>第4章では、多層 AWG と2台の LCOS を用いた偏光無依存型 WSS を提案している。一方の LCOS がスイッチ動作を行い、他方の LCOS が多層 AWG の位相誤差を直交する偏光成分別に補償している。また、偏波ダイバーシティ光学系を導入し、WSS の偏光依存性を低減している。試作の結果、偏光依存損失が 1.0 dB 以下の良好な性能が得られている。</p> <p>第5章では、多層 AWG と1台の LCOS を用いた小型かつ偏光無依存な WSS を提案している。偏波ダイバーシティ光学系に反射器を導入し折り返し型構成とすることにより、小型となる。光学系寸法(W・H・D)が 100 mm × 80 mm × 60 mm 以下、偏光依存損失が 2 dB 以下という良好な性能が得られている。</p> <p>第6章では、MEMS を用いた WSS において、MEMS ミラー表面に複数のスロット構造を設けることを提案している。これによって、ミラー間ギャップに由来するスペクトルリップルを補償し、グリッド可変動作を可能としている。リップル幅が 0.05 dB 以下の良好な性能が得られている。</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、光ネットワークノード用光スイッチの設計法を確立し、実証実験により、その有用性を明らかにしている。考案した光スイッチは、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>			

# Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No.3951	Name	Koga, Aaron Mitsutoshi
Thesis Title			
Torsional Oscillator Study for Solid $^4\text{He}$ Growth on Graphite and Graphene from the Superfluid			
<p>Helium-4 (<math>^4\text{He}</math>) exhibits various intriguing quantum phenomena at low temperature such as superfluidity. Systems containing superfluid and solid <math>^4\text{He}</math> are ideal for clarifying theories of solid formation and have been studied in detail. The growth of solid <math>^4\text{He}</math> on graphite from the superfluid phase is known to occur with the number of adsorbed layers increasing with pressure. The solid is thought to undergo step-like growth below 1.3 K. Experiments in search of these layering transitions have seen that the solid grows layer-by-layer below 1.3 K, and possibly in a two-stage layer-by-layer fashion below 0.95 K. The two-stage layer-by-layer growth has, to our knowledge, never been confirmed and its cause is still unclear.</p> <p>This thesis presents experiments for solid <math>^4\text{He}</math> growth adsorbed on graphite and graphene from the superfluid phase at temperatures between 1.65 K and 0.1 K. Shifts and discontinuities in the oscillation frequency and patterns of energy dissipation have been observed at constant temperatures.</p> <p>The measurements on graphite show layer-by-layer growth that is mostly continuous and confirm the two-stage growth seen previously. Measurements down to 0.1 K have revealed that there is less solid on the substrate at low temperature. These observations lead us to believe that the exfoliated graphite samples (grafoil), used here and in all previous studies, are not ideal substrates and severely influence the growth of the adsorbed <math>^4\text{He}</math>. The average platelet diameters are on the nanometer order and the substrate has a tortuous pore structure.</p> <p>We have also employed a graphene sample with average platelet diameters on the micrometer order and observed the growth of a single <math>^4\text{He}</math> layer to be a series of discontinuous steps. This suggests that solid <math>^4\text{He}</math> growth on graphene does not occur in a simple layer-by-layer fashion. We propose that the uppermost solid <math>^4\text{He}</math> layer grows via a succession of two dimensional phase transitions through various commensurate and incommensurate phases. Additionally, each discontinuity is preceded by a dip and overshoot that become larger at low temperature.</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3951 号	氏 名	Koga, Aaron Mitsutoshi
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 白濱 圭也
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 齋藤 幸夫
		慶應義塾大学准教授	博士(理学) 渡邊 紳一
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 牧 英之
		電気通信大学大学院教授	理学博士 鈴木 勝

  

Bachelor of Science and Arts、修士(理学) Koga Aaron Mitsutoshi君提出の学位請求論文は、「Torsional Oscillator Study for Solid  $^4\text{He}$  Growth on Graphite and Graphene from the Superfluid」(グラファイトおよびグラフェン表面での超流動液体からのヘリウム4の結晶成長に対するねじれ振り子法による研究)と題し、全7章より構成されている。

平坦な固体表面で結晶が1原子層ずつ成長する層状成長の理解は、半導体産業に不可欠だけでなく、物理学としても興味深い。超流動液体ヘリウム( $^4\text{He}$ )と接するグラファイトの表面では、ヘリウムの凝固圧(25気圧)よりもはるかに低い圧力で結晶の層状成長が起こる。これは、グラファイトの蜂の巣格子による周期ポテンシャルが有効圧力として作用するためと考えられてきた。過去の実験では、10nm程度のグラファイト小片の積層構造からなる「グラフォイル」(膨張黒鉛)の上に固体ヘリウムが層状成長することが示されたが、圧力変化の様子は理論が予言するシャープな相転移ではなく、ブロードであった。また、0.9K以下では1層の成長が2段階に起こることを示唆する実験結果が存在し、その真偽や解釈について興味を持たれていた。

本研究で著者は、グラファイト上 $^4\text{He}$ 結晶の層状成長機構の解明を目的として、ヘリウム超流動特性の測定法であるねじれ振り子法を初めて結晶成長研究に応用した。ねじれ振り子の共振周波数がグラファイトに浸漬した $^4\text{He}$ の密度変化に比例する性質を利用し、結晶成長過程を詳細に測定できると期待される。試料としてグラフォイルと、ここ数年で開発が進み入手可能となったグラフェン(単層ないしは数原子層の積層グラファイト)を用いた。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。第2章は層状成長の理論と過去の実験について述べている。第3章は実験方法で、ねじれ振り子によるヘリウムの超流動特性と結晶成長測定の方法を詳述している。第4章で実験結果と解析、第5章と第6章でそれぞれグラフォイルとグラフェンでの実験結果について議論している。グラフォイルを用いた実験では、層状成長が1Kでは少なくとも8原子層まで、また1原子層内で2段階で成長が起こることが確かめられた。しかし低温になるにつれ多層成長は抑制され、0.1Kでは約4原子層までしか成長しないことがわかった。

一方グラフェンを用いた実験では、1.1K以下で固体膜厚の不連続的な変化(ステップ)を5つの圧力で観測した。これらのステップはグラフォイルでは見られない新しい現象である。5つのステップを経た総膜厚変化は1原子層以下にとどまること、ステップの直前に結晶は一旦融解し、直後には過剰に凝固することがわかった。これらの結果は、不連続ステップが層状成長によるものではなく、1原子層内部の結晶構造相転移に起因することを強く示唆する。ステップの原因として、最上面2次元固体層の構造相転移、すなわち下地固体層の周期ポテンシャルに対し整合(Commensurate)な複数の結晶構造間の1次相転移を提案する。著者は5つの不連続ステップが、4種類の整合構造と、不整合(Incommensurate)相間の転移に対応することを、各整合構造の形成エネルギーの計算から示した。4種類もの整合相が実現される系はこれまで例がなく、2次元固体における新しい構造相転移の発見と言える。またグラフォイルとグラフェンでの結果の大きな違いの原因として、グラフェン試料の平坦表面が圧倒的に大きく端の効果が小さいことと、ヘリウム吸着ポテンシャルが両者で異なっている可能性を指摘している。最後に第7章で本研究をまとめている。

以上まとめると、グラファイト表面上固体 $^4\text{He}$ の結晶成長を新しい手法で調べ、層状成長と新奇な構造相転移の様相を明らかにした。本研究は結晶成長と相転移の物理に重要な貢献をなし、その学術的意義は高い。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3952 号	氏 名	廣井 孝介
主論文題目： 磁性ナノ粒子集合体における磁気秩序の発現に関する研究			
<p>磁性ナノ粒子集合体の磁氣的性質は磁性ナノ粒子の応用上大きな意味を持つが、高密度なナノ粒子集合体の磁気挙動は粒子間相互作用に由来する協力現象の複雑さから未だ十分に理解されていない。その様な協力現象の解釈として、ナノ粒子の磁気モーメントが粒子間相互作用により配列しスーパースピングラスと呼ばれる磁気秩序が起きていると考えられている。本研究では<math>\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3</math>とFeの2種類のナノ粒子を用いて、粒子間隔を系統的に変化させた試料を作製し、粒子間相互作用の強さと粒子集合体中に現れる磁気秩序の関係を詳細に調べた。</p> <p>第1章では現在考えられている磁性ナノ粒子の応用を説明し、従来の研究で明らかとなっていない問題点と本研究の目的を記した。</p> <p>第2章では、ナノ粒子の磁性や粒子間相互作用による磁氣的協力現象などに関する基礎的な知識および近年の報告について本研究に直接関係が深いものを選び記した。</p> <p>第3章では<math>\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2</math> コアシェルナノ粒子を用いて、<math>\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3</math> ナノ粒子間の距離が均一に制御されたナノ粒子集合体を作製し、スーパースピングラスの発現に必要な粒子間双極子相互作用の大きさを見積もった。粒子間距離 18 nm以下の試料では超常磁性とは異なる磁気挙動が観測され、低温の磁化緩和を詳細に調べた結果、粒子間距離 14 nm以下の試料ではスーパースピングラス特有のエイジング現象が観測されたのに対し、18 nmの試料ではそれが観測されなかった。このことからスーパースピングラスの発現に必要な双極子相互作用の大きさは粒子自体の異方性エネルギーに対して7~12%程度であると見積もられた。</p> <p>第4章ではFe/Au共凝集ナノ粒子集合体を作製し、集合体中のFeナノ粒子密度によりFeナノ粒子間の相互作用を系統的に変化させたときの集合体の磁気挙動の変化を調べた。Fe/Auナノ粒子集合体ではFeナノ粒子密度が約5 vol%を超えるとスピングラス的磁気挙動が現れはじめ、Feナノ粒子間にスーパースピングラスが生じるには粒子自体の異方性エネルギーに対して12%以上の粒子間相互作用エネルギーが必要であると見積もられた。これは<math>\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2</math> ナノ粒子集合体の場合とほぼ同様の結果であり、スーパースピングラスの発現条件が粒子の種類にほぼ依存していない事が分かった。また、最も粒子間相互作用の強いFeナノ粒子のみで構成された試料では、転移点以下でスピングラス的挙動が観測されたが転移点が測定周波数に依存せず、高温で強磁性転移した後低温でスピングラス転移が起こるリエントラントスピングラスと同様の特徴を持っている事が分かった。</p> <p>第5章ではFe ナノ粒子集合体中で起こった磁気転移をより詳細に特徴付けるため、交流非線形磁化率を測定し磁気転移の臨界指数を見積もった。試料の非線形波磁化率には臨界挙動と考えられる特徴的なピークが観測され、線形磁化率と非線形磁化率それぞれの臨界指数は強磁性転移で報告された値と非常に近い値が得られた。このことからFe ナノ粒子集合体の高温側で起こる磁気転移が強磁性転移である事が確認された。</p> <p>第6章では本研究で得られた知見を総括し、今後の展望を記した。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3952 号	氏 名	廣井 孝介
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 佐藤 徹哉
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 中嶋 敦
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 磯部 徹彦
		慶應義塾大学教授	工学博士 太田 英二
		物質・材料研究機構主幹研究員	博士（工学） 間宮 広明

学士（工学）、修士（工学）廣井孝介君提出の学位請求論文は「磁性ナノ粒子集合体における磁気秩序の発現に関する研究」と題し、6章から構成されている。

磁性ナノ粒子集合体の磁氣的性質は磁性ナノ粒子を応用する上で重要な意味を持つ。高密度に集積したナノ粒子集合体は粒子間相互作用に由来する協力現象に起因してスーパースピングラスと呼ばれる磁気秩序を発現するものと考えられているが、さらに相互作用が強い極限での磁気挙動は十分に理解されていない。本研究では、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ とFeのナノ粒子を用いて粒子間隔を系統的に変化させた試料を作製し、粒子間相互作用の強さとナノ粒子集合体中に発現する磁気秩序の関係を詳細に調べ、磁気秩序発現条件の検討、および相互作用が強い極限で発現する磁気秩序の特定を行っている。

第1章では、現在考えられている磁性ナノ粒子の応用と従来の研究でこれまで明らかにされていない問題点を説明し、本研究の目的を記している。

第2章では、ナノ粒子の磁性と粒子間相互作用による磁氣的協力現象などに関する基礎的な知識および近年の報告について記している。

第3章では、平均粒径 11 nmの $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を $\text{SiO}_2$ でコートしたコアシェルナノ粒子を用いて、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ナノ粒子間の距離が均一に制御されたナノ粒子集合体を作製し、スーパースピングラスの発現に必要な粒子間双極子相互作用エネルギーの大きさを見積もっている。14 nm以下の粒子間距離では超常磁性とは異なるスーパースピングラス特有のエイジング現象が観測されることより、スーパースピングラスの発現に必要な粒子間双極子相互作用エネルギーの大きさは粒子の異方性エネルギーに対して7~12%程度であると見積もっている。

第4章では、Fe/Au共凝集ナノ粒子集合体を作製し、Feナノ粒子とAuナノ粒子の混合比を変化させることで、Feナノ粒子間相互作用を系統的に制御した集合体の磁気挙動を調べている。Fe/Auナノ粒子集合体ではFeナノ粒子密度が約5 vol%を超えるとスーパースピングラス的な磁気挙動が出現することから、スーパースピングラスの発現には粒子間双極子相互作用エネルギーが粒子の異方性エネルギーの12%以上であることが必要であると見積もっている。この比率は $\text{SiO}_2$ でコートした $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ナノ粒子集合体で見積られる値とほぼ等しいことから、粒子の種類に依存しないスーパースピングラスの発現条件が存在する可能性があることを指摘している。また、Feナノ粒子のみで構成される最も粒子間相互作用の強い集合体は、高温で強磁性へ転移したのち低温でスピングラスに転移するリエントラントスピングラスと類似の二段階転移を示すことを見出している。

第5章では、Feナノ粒子集合体中で生じる高温側の磁気転移を詳細に特徴付けるため、薄層状に粒子を堆積させた試料に対する交流非線形磁化率の測定結果を解析している。線形磁化率に発散的挙動が見られる温度近傍で高調波磁化率にも臨界挙動と考えられる特徴的なピークが観測され、それより見積られる臨界指数は強磁性転移で報告されている値と非常に近いことを見出している。以上よりFeナノ粒子集合体の高温側で生じる磁気転移は強磁性転移であると同定している。

第6章では、本研究で得られた知見を総括し、今後の展望を記している。

以上要するに、本研究は、磁性ナノ粒子集合体において磁気秩序が発現するための条件、および双極子相互作用が強い極限における超強磁性秩序の発現を初めて明らかにしたもので、磁性ナノ粒子を用いた磁気応用分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。



# Thesis Abstract

Registration Number	“KOU” No. 3953	Name	Mohamad Sofian bin Abu Talip
Thesis Title Partial Reconfiguration Implementation on Fluid Dynamics Computation Using an FPGA			
<p>The field of high performance scientific computing lies at the crossroads of many disciplines and skill sets. Scientific computation from an application context makes some acquaintance with physics and engineering sciences. Then, problems in these application areas are solve using scientific processes, and the use of computers for numerical analysis to produce quantitative results. An efficient implementation of the practical formulations of the application problems requires some understanding of computer architecture, both on the CPU level and on the level of parallel computing.</p> <p>One of the high performance computing (HPC) applications is computational fluid dynamics (CFD). In aerospace industry, CFD is used as a common design tool. It presents scientific computation methods to analyze fluid behavior for designing aircraft components such as engines and wings. Therefore, software packages for CFD are needed for aeronautical engineers and researchers. However, enormous floating-point calculations cause a long execution time required to simulate complete aeronautics configurations. It remains as a bottleneck in the design flow of new structures for the aircraft design. Thus, reducing the total execution time for aerodynamics analysis is one of the important challenges of current research in this field.</p> <p>Recent advances in Field Programmable Gate Array (FPGA) technology make reconfigurable computing using FPGAs an attractive platform for accelerating scientific applications. The readily availability and high-power efficiency of high-density FPGAs make them attractive to the HPC community. Since their invention in the mid-1980s, FPGAs have been used to accelerate high performance applications on custom computing machines. Under such circumstance, a new type of computational systems is being focused for allocating a part of scientific operations to dedicated hardware in order to achieve both low-cost and high-performance.</p> <p>In this thesis, two CFD codes are studied: UPACS (Unified Platform for Aerospace Computational Simulation) and FaSTAR (Fast Aerodynamics Routines) software packages. The problems of these codes are hard to be executed in parallel machines because of their irregular and unpredictable data structure. In addition, a single FPGA is not enough for the software packages because the whole modules are very large. Exploiting reconfigurable hardware with their advantages to make up for the inadequacy of the existing high performance computers has gradually become the solutions. Instead of using a large number of chips, partially reconfigurable hardware available in recent FPGAs is explored for these applications.</p> <p>With the above aim, this thesis explores scientific computation of CFD applications and implements the target subroutines in FPGA by utilizing partial reconfiguration technology. The goal of this work is to achieve high performance compared to microprocessor execution and to clarify the</p>			

relationships among hardware resources utilization, configuration time and performance according to the evaluation results.

UPACS developed by JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) is one of CFD packages to simulate compressible flow using multi-block grids. MUSCL (Monotone Upstream-centered Schemes for Conservation Laws) scheme in UPACS is chosen as a target subroutine, since it is used twice in core routine of UPACS. Partial reconfiguration is applied to the flux limiter functions (FLF) in MUSCL. Two types of partially reconfigurable design are implemented that are static and dynamic reconfigurations. Four FLFs are implemented for Turbulence MUSCL (TMUSCL) and eight FLFs are for Convection MUSCL (CMUSCL). In statically reconfigurable design, the implementation has successfully reduced the resource utilization by 44% to 63%. Total power consumption was also reduced by 33%. Configuration speed was improved by 34 times faster as compared to full reconfiguration method. In dynamically reconfigurable design, the implementation has successfully reduced resources utilization by 60%. Total power consumption was also reduced by 29%. Configuration speed was improved by 15 times faster compared to fully reconfiguration method. Both implementations also achieved at least 17 times speed-up compared with the software execution.

FaSTAR, another CFD package developed by JAXA, supports several solvers and adopts unstructured mesh as its grid form. The advection term computation module in FaSTAR is chosen as a target subroutine, which a time-consuming and large function. Therefore, a partially reconfigurable flux calculation scheme that would fit in a single FPGA was proposed. The flux computational module was developed and five flux calculation schemes were implemented as reconfigurable modules, these were: Roe, HLLE, HLLEW, AUSM<sup>+</sup>-up, and SLAU. The implementation of this module has the advantages of saving up to 62.75% of resource and increasing the configuration speed by a factor of 6.28. Performance evaluation also shows that 2.65 times more acceleration was achieved compared to the Intel Core 2 Duo at 2.4 GHz.

Finally, we summarize our proposed implementation method, utilizing the partial reconfiguration technique for saving hardware resources and achieving faster performance in comparison with software execution. Based on the above, we discuss how the current work could be explored further in order to develop the scientific applications of FPGAs.

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3953 号	氏 名	Mohamad Sofian bin Abu Talip
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	工学博士	天野英晴
副査	慶應義塾大学教授	博士(工学)	斎藤英雄
	慶應義塾大学教授	理学博士	藤代一成
	慶應義塾大学准教授	博士(工学)	西 宏章
<p>学士(工学)、修士(工学) MOHAMAD SOFIAN BIN ABU TALIP 君の学位請求論文は「Partial Reconfiguration Implementation on Fluid Dynamics Computation Using an FPGA (FPGAを用いた流体動力学計算における部分再構成実装)」と題し、六章から成る。</p> <p>流体動力学計算は、風洞実験に比べて安価で手軽であることから、航空機の設計などに広く用いられており、JAXA(宇宙航空研究開発機構)でも、流体動力学計算用ソフトウェアパッケージが開発されている。このソフトウェアパッケージを用いることで、対象物体のメッシュの作成や、場合に応じた解法の指定などを簡単に行うことができるため、設計者にとって利便性が高い。一方で、このソフトウェアパッケージは対象問題が大規模な場合に計算時間が長くなり、この短縮が重要な課題である。そこで、最近発展が著しいFPGA(Field Programmable Gate Array)を用いて、流体動力学計算の主要部をハードウェア化して高速実行する研究が盛んに行われている。実用的なソフトウェアパッケージは規模が大きく、全てをハードウェアで実現するには多数のFPGAが必要になり、実装コストが大きくなる。本論文は、実用的なソフトウェアパッケージの規模が大きい場合でも実際に動作している部分は限られていることに着目し、部分再構成手法を用いて実装コストを低減することを目的としている。</p> <p>まず第一章で、背景と論文の目的を述べ、続く第二章では流体動力学計算を紹介し、その高速化手法を論じている。第三章ではFPGAを用いた高速化手法の実例を紹介し、実用的なソフトウェアパッケージに対してこの手法を用いる場合の問題点について述べ、その解法としての部分再構成手法を紹介している。部分再構成は、FPGAを動作中に、その一部分のみの構成情報を入れ替えることによりハードウェアモジュールを入れ替える手法である。最近設計ツールが整備されたことから暗号化処理、ソフトウェア無線などで用いられているが、入れ替えモジュールの選定と性能に対するオーバーヘッドの問題から科学技術計算への応用例は少ない。</p> <p>第四章以降が本論文の主題である。まず提案手法をJAXAが開発した古典的な流体動力学ソフトウェアパッケージUPACSのサブルーチンの一つであるMASCUL中のFlux limiter関数に適用し、利用資源を従来に比して44%~63%削減することに成功した。次に、複数の領域を設けて、他方が動作中にもう片方を部分再構成することで、再構成時間を隠蔽する方法を実装した。部分再構成を導入することにより、ハードウェアの実行速度を妨げることはなく、PC上のソフトウェアに対して14倍の性能向上を実現することを示した。次に第五章では、提案手法をJAXAが開発した最新のソフトウェアパッケージであるFaSTARにおけるAdvection termモジュールに適用した。5種類の関数モジュールを部分再構成によって交換可能とすることで、利用資源を62.75%削減すること成功し、動作速度についてもPC上のソフトウェアの2.65倍の性能向上を達成した。第六章には結論と今後の課題をまとめている。</p> <p>以上、本論文は、FPGAの部分再構成を、数値演算の実用的なソフトウェアパッケージに応用し、利用資源の節約と再構成時間の短縮を達成した点で、その貢献は工学上少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 3954 号	氏 名	水落 麻里子
主論文題目： Advanced Motion Control under Constraints in Application (実システム制約下におけるモーションコントロールの高度化)			
<p>近年、ロボット技術や計算機技術の発展に伴い、自動車等の一般社会に近い分野でもロボット技術の適用が進んでいる。人々を助けるための技術としてロボット技術をより広い分野で活用するためには、より複雑な動作を正確かつ信頼性高く実現することが重要である。本研究では、計測、制御の観点から加速度制御に基づくロバストモーションコントロールの高精度化、高度化に取り組んだ。本論文では特に、モーションコントロールの性能を妨げる様々な制約に着目し、モーションコントロールの性能を向上するための基礎技術とより高度なタスクを実現するための応用技術の両面から、制約下においてより高い性能を実現するための提案を行った。</p> <p>第 1 章に、本研究の背景、目的および着眼点を概説した。</p> <p>第 2 章では、本研究の基盤となる外乱オブザーバを用いた加速度制御に基づくロバストモーションコントロールについて説明し、これを実現する上での課題を明らかにした。</p> <p>第 3 章および第 4 章では、外乱オブザーバの性能を制限する要因としてサンプリング周期および計測ノイズに着目し、ロバストモーションコントロールの性能向上のための基礎技術の研究に取り組んだ。第 3 章では、加速度制御のためのマルチレートサンプリング手法を、第 4 章では速度計測方法を提案した。マルチレートサンプリング手法は、入力、出力、制御の周期を独立に設計するものであるが、本研究では、加速度制御では、入力に対して短い周期で出力情報を取得することが重要であることを示し、その観点から従来手法とは異なる手法を提案した。また、速度計測では加速度制御に特に有効な同期計数法に着目し、この性能をさらに向上させる瞬時速度オブザーバを構築した。それぞれの手法による加速度制御の広帯域化のほか、提案手法を統合することにより、更なる性能向上が可能であることを確認した。</p> <p>第 5 章および第 6 章では、ロバストモーションコントロールの応用技術の研究に取り組んだ。第 5 章では、ネットワークを介して制御されるシステムを対象とし、通信周期の制約を克服するために、サンプリング周期の設計手法および伝送信号の抽出、符号化手法を提案した。また、第 6 章では環境との接触を対象とし、動作中のリアルタイム接触検知を可能にするディザ信号を用いた接触検知法を提案した。各提案手法の有効性を解析および実験により検証した。</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。また、提案技術の今後の発展について言及した。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3954 号	氏 名	水落 麻里子
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 大西 公平
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 村上 俊之
		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) 滑川 徹
<p>学士(工学), 修士(工学) 水落 麻里子 君提出の学位請求論文は「Advanced Motion Control under Constraints in Application」(実システム制約下におけるモーションコントロールの高度化)と題され, 7章から構成されている。</p> <p>ロボットを典型的な例とする人工的な人間支援システムが希求されている。人間に対する親和性の高いシステムではより複雑な動作機能を高い信頼度で正確に実現する高度なモーションコントロールが求められる。そのためには運動量(あるいは速度)と力に関する制御の独立性が必要であり, 高い信頼性で両方を実現する加速度の正確な制御が必要である。本論文では高精度な加速度制御を実現するための様々な手法を現実的な観点から考究したものである。</p> <p>第1章では, 研究の背景と目的を述べ, 従来の研究を概説している。</p> <p>第2章では, 加速度制御系の高精度化とモーションコントロールのロバスト化が等価であることを背景に, 高いロバスト性を得るための有力な手法である外乱オブザーバについての性質と特徴に関する解析を行い, より高精度な加速度制御を実現するための課題を提示している。</p> <p>第3章と第4章では, 高精度な加速度情報を得るための二つの手法を提案している。モーションコントロールで用いられるもっとも一般的なセンサは位置エンコーダであるため, 位置情報がどの程度正確であるかという点と, それをどの程度の頻度で取得できるかという点が現実的な課題である。前者は空間由来の誤差, 後者は時間由来の誤差に結びつく。第3章では上記の課題に対し, 入力, 出力, 制御のそれぞれの周期を独立に設計するマルチレート手法を提案しており, その中で入力周期に比べ出力周期を相対的に短縮するのが最も効果的であることを見出し, 実験的な検証を行っている。第4章では速度推定に関し同期計数法と呼ばれる新しい推定法を提案しており, 安定性を損なうことなく加速度制御の広帯域化が可能であることを明らかにしている。これらの手法により, 誤差の少ないかつ帯域の広い加速度信号を取得することが可能になる。</p> <p>第5章では, 以上の結果を援用し, ネットワークを介するモーションコントロールの高性能化を提案している。一般に通信周期は短くできないので, その制約下におけるサンプリング周期設計手法, 伝送信号抽出手法, および符号化設計手法を提案し, 有効性を実験的に示している。</p> <p>第6章では, これまで難しかった微妙な接触を高精度な加速度制御法で検知し, リアルタイムに接触前後で動作モードを可変にできる制御方法を提案し, その検証を行っている。</p> <p>第7章では, 結論と今後の展望を示している。</p> <p>以上要するに, 本論文では誤差の少ない帯域の広い加速度情報を用いて接触動作を含む複雑で高度なモーションコントロールを実現するための実用的な制御設計手法を提案し, 理論と実験の双方からその有効性を実証したもので, 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 3955 号	氏 名	鈴木 敦
主論文題目： Acceleration-Based Bilateral Teleoperation System under Time Delay Based on Modal Space Analysis (モード空間の解析に基づく通信遅延によるむだ時間下における加速度制御を用いた双方向遠隔操作)			
<p>近年、触覚伝達を可能にする2台のマスタ、スレーブロボットを用いたバイラテラル（双方向）遠隔操作に注目が集まっている。バイラテラル遠隔操作の危機的な問題の一つに通信遅延により生じるむだ時間の影響によるシステムの性能劣化と不安定化が存在する。このむだ時間によって、バイラテラル遠隔操作の安定性と性能は著しく劣化してしまう。本論文では、通信遅延によるむだ時間下におけるバイラテラル制御系にモード分解（座標分解）を施すことによって、むだ時間下における位置制御と力制御のそれぞれの安定性を解析する。また、解析に基づきむだ時間下においても高い性能と安定性を実現できるバイラテラル制御システムを提案する。</p> <p>第一章では、本研究の背景及び目的を述べている。</p> <p>第二章では、本研究で用いるロバスト加速度制御について述べている。</p> <p>第三章では、通信遅延下における加速度制御に基づくバイラテラル制御について述べている。</p> <p>第四章では、性能評価指標である再現性と操作性について述べている。</p> <p>第五章では、従来手法である通信外乱オブザーバについて述べている。</p> <p>第六章では、従来手法である速度フィードバックによる粘性付加について述べている。</p> <p>第七章では、提案手法である周波数整形フィルタを用いた周波数領域における粘性の最適設計について述べている。具体的には、速度フィードバックにハイパスフィルタを通すことにより、不安定になりやすい高周波領域にのみ大きな粘性を付加させる。これにより、快適な操作性を維持したまま、環境との接触時における高周波の振動を抑えることができる。</p> <p>第八章では、触覚コミュニケーションのための新しいバイラテラル制御の構造について述べている。</p> <p>第九章では、周波数整形フィルタを用いた新しい通信外乱オブザーバによるむだ時間補償について述べている。不安定になりやすい高周波領域にのみ、むだ時間補償を行うことによりマスタ、スレーブの両方から操作が可能なバイラテラル制御系を提案している。</p> <p>第十章では、通信外乱オブザーバの補償値にスケールリングを施すことによる環境に適応的な性能調整手法について述べている。</p> <p>第十一章では、環境と接触しないと仮定したスレーブのモデルと実際のスレーブロボットとの速度差フィードバックによる安定化手法について述べている。</p> <p>第十二章では、結論として本研究の成果を要約している。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 3955 号	氏 名	鈴木 敦
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 大西 公平
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 村上 俊之
		慶應義塾大学教授	工学博士 山中 直明
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 矢向 高弘

  

学士(工学), 修士(工学) 鈴木 敦 君提出の学位請求論文は「Acceleration-Based Bilateral Teleoperation System under Time Delay Based on Modal Space Analysis」(モード空間の解析に基づく通信遅延によるむだ時間下における加速度制御を用いた双方向遠隔操作)と題され, 12章から構成されている。

力触覚を伴う遠隔操作は産業応用のみならず外科手術など人間支援の観点からもその開発が望まれている。しかし, 通信遅延により性能劣化のみならず遠隔操作システム全体が不安定に陥ることもあり, 解決すべき課題が多い。本論文は通信遅延による性能劣化が操作性と再現性という二つの性能指数で表せることを示し, それに基づく通信外乱オブザーバと整形フィルタの併用による性能改善を提案している。

第1章と第2章では, 研究の背景と目的を述べ, 従来の研究を概説するとともに双方向制御の基本になっている加速度規範双方向制御理論を概説している。

第3章と第4章では, 通信遅延のある双方向制御のモデル化を行うとともに力触覚伝送における定量的な性能指数である操作性と再現性を定義し, その理論的根拠を明らかにしている。

第5章では, 遅延を等価加速度外乱とみなすことで双方向制御におけるロバスト性の向上が通信遅延補償と等価になることを示し, 通信外乱オブザーバがマスタ・スレーブ間の差モード制御である位置同期制御の安定性改善に効果的であることを明らかにしている。しかし, 同時に作用反作用則を実現する和モード制御においては安定性への寄与が少ないことも指摘している。

続く第6章と第7章では, 和モード制御に等価的な局所粘性付加制御を適用し安定性の確保が可能であることを明らかにすると共に, ジッタのある遅延に対してもH<sup>∞</sup>ノルムによる制御系の設計を通じてロバスト安定性の確保が可能であることを明らかにしている。

第8章と第9章では, 通信外乱オブザーバを改良し, より性能の高い力触覚通信手法を提案している。通信外乱オブザーバはその上限遮断周波数付近で通信遅れによる不安定性を補償しきれないため, 力触覚伝達性能と遠隔システム安定性の双方を満足する整形フィルタを設計する手法を提示しジッタのある通信エミュレータを用いた実機による実験でその効果を確認している。

第10章では, 遠隔操作において性能が劣化する再現性について通信外乱オブザーバの補償値にスケーリングを行うことで性能改善がなされることを示している。

第11章では, 遅延のある双方向制御で自由動作時にマスタ側で観測される不必要な負荷力を低減する手法を提案し, 実験でその効果を確認している。

第12章は, 本論文の結論である。

以上要するに, 本論文では力触覚通信において, 通信遅延により劣化した再現性と操作性を通信外乱オブザーバと整形フィルタを併用して性能の改善を図ったもので, ハプティック通信分野において, 工業上, 工学上寄与するところが少なくない。

よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

2013（平成25）年9月までの新制博士学位授与者数は次のとおり。

学位の種類	課程修了によるもの （課程博士・・・・・・甲）	論文提出によるもの （論文博士・・・・・・乙）	計
工学博士	451	389	840
博士（工学）	1,112	311	1,423
理学博士	26	8	34
博士（理学）	291	48	339
学術博士	0	1	1
博士（学術）	1	1	2
計	1,881	758	2,639

本書に記載した論文審査担当者の所属および職位は2013（平成25）年度春学期のものである。

2013(平成25)年11月30日 発行

発行者 理工学部長 青山 藤詞郎

編集 慶應義塾大学理工学部学生課学事担当

〒223-8522  
神奈川県横浜市港北区日吉3 - 14 - 1