

2022（令和4）年度 春学期

博士（工学） 学位論文  
博士（理学）

論文の内容の要旨および論文審査の結果の要旨

慶應義塾大学理工学部

## 目次

佐藤 裕太	A study of interjoint coordination during locomotion after spinal cord injury (脊髄損傷後の歩行中における関節協調に関する研究)	1
笠原 弘貴	地上加速型レールガンにおける加速・過渡弾道数値解析	3
栗原 央明	Advanced Robotic Inspection Technology Based on Force Information Processing (力情報処理に基づいた高度なロボット検査技術)	5
石川 智啓	生体組織中における二光子励起の4次元時空間制御	7
古谷 亮太	イオン液体電解液中における負極上の固体電解質界面相の評価	9
Gao, Peng (高 鵬)	Analog-to-Digital Conversion Schemes in Beyond-Fifth and Sixth Generation Wireless Communication Systems (第5超世代および第6世代移動通信システムのためのアナログ-デジタル変換方式)	11
河上 浩之	フェムト秒レーザーによる高精度3次元形状加工CAMシステムの開発	13
松元 崇裕	ロボットによる回想療法の実現を通じた高齢者-ロボットインタラクションのデザインに関する研究	15
弘中 和衛	A Study on Management System and Parallel Application Library for Stand-Alone FPGA Clusters (スタンドアロンFPGAクラスタのための管理システムおよび並列アプリケーションライブラリに関する研究)	17
田澤 俊介	ウレタン架橋をした固体のポリ(2-メトキシエチルアクリレート) 血管治療用医療材料の研究	19
Xu, Rongxing (徐 榮幸)	Machine Learning Approach to Optimization Problems in Nonequilibrium Thermodynamics (非平衡熱力学の最適化問題における機械学習によるアプローチ)	21
栗澤 尚瑛	海洋シアノバクテリア由来抗トリパノソーマ物質およびカルシウムポンプ阻害剤の構造と生物活性	23
水田 隼斗	C-mannosylation基質タンパク質の細胞生物学的解析	25
林 正彬	Functional manipulation of interhemispheric connections through brain-computer interfacing (ブレイン・コンピュータ・インターフェースによる大脳半球間投射の機能的操作)	27
安孫子 涼	画像生成モデルを考慮した深層学習による映り込みと影除去に関する研究	29
小野 雅司	相変化材料に基づく自己適応型放射制御の提案と実証	31
Thompson Diraviam Andrew, Joel (トンプソン ディラビラム アンドリュウ, ジョエル)	Cognitive Grasping and Manipulation of Unknown Object Based on Cyber Physical System Approach (サイバーフィジカルシステムアプローチに基づいた未知のオブジェクトの認知的把持と操作)	33
渡辺 拓郎	モバイルデバイス操作時の手指運動を利用した手根管症候群スクリーニングシステム	35
Krishnan Arumugasamy, Muthukumar (クリシュナン アルムガサミー, ムトゥクマル)	Activity Detection Systems Using Infrared Array Sensors With Deep Learning (深層学習を用いた赤外線アレイセンサによる行動検出システム)	37
田中 康之	Resilient Wireless Multihop Networking based on Open Standard Technologies (公開標準技術に基づくレジリエントな無線マルチホップネットワーク)	40
石原 悠	モデルベース強化学習による自律移動ロボットの安全性を考慮したビジュアルナビゲーション	42

瀬戸 一郎	Phase Detection based Two-way Ranging in Sub-GHz Band for Remote Keyless Entry Systems (リモートキーレスエントリーシステム向けサブギガヘルツ帯における位相検波を用いた双方向型測距方式)	44
Xia, Chengshuo (夏成碩)	Virtual Sensors with 3D Digital Human Motion for Interactive Simulation and Their Real-world Applications (インタラクティブシミュレーションのための3次元デジタルヒューマンモーションを活用したバーチャルセンサと実世界アプリケーション)	46
Wang, Baoqing (王宝慶)	FORSETI: A Provenance-aware Visual Analysis Environment for Generation and Utilization of Autopsy Reports (FORSETI: 検死報告書の生成と活用のための出自を考慮した視覚分析環境)	49
松森 匠哉	A Study on Question and Image Generation in Vision and Language Dialogue (視覚言語対話における質問と画像の生成の研究)	51
西脇 和弘	車両の加減速・操舵支援システムにおける判断・計画・制御の高度化に関する研究	53

## 論文の要旨および審査結果の要旨

本報は、学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第8条による公表を目的として、本大学において2022(令和4)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(理学)	甲 第 5811 号	令和 4 年 9 月 5 日	佐藤 裕太
博士(工学)	甲 第 5818 号	令和 4 年 5 月 25 日	笠原 弘貴
博士(工学)	甲 第 5822 号	令和 4 年 7 月 6 日	桑原 央明
博士(工学)	甲 第 5823 号	令和 4 年 7 月 6 日	石川 智啓
博士(工学)	甲 第 5828 号	令和 4 年 7 月 27 日	古谷 亮太
博士(工学)	甲 第 5829 号	令和 4 年 9 月 5 日	Gao, Peng (高 鵬)
博士(工学)	甲 第 5830 号	令和 4 年 9 月 5 日	河上 浩之
博士(工学)	甲 第 5831 号	令和 4 年 7 月 27 日	松元 崇裕
博士(工学)	甲 第 5832 号	令和 4 年 7 月 27 日	弘中 和衛
博士(工学)	甲 第 5833 号	令和 4 年 7 月 27 日	田澤 俊介
博士(理学)	甲 第 5842 号	令和 4 年 9 月 5 日	Xu, Rongxing (徐 榮幸)
博士(理学)	甲 第 5843 号	令和 4 年 9 月 5 日	栗澤 尚瑛
博士(理学)	甲 第 5844 号	令和 4 年 9 月 5 日	水田 隼斗
博士(理学)	甲 第 5845 号	令和 4 年 9 月 5 日	林 正彬
博士(工学)	甲 第 5846 号	令和 4 年 9 月 5 日	安孫子 涼
博士(工学)	甲 第 5847 号	令和 4 年 9 月 5 日	小野 雅司
博士(工学)	甲 第 5848 号	令和 4 年 9 月 5 日	Thompson Diraviam Andrew, Joel (トンプソン ディラビラム アンドリュウ, ジョエル)
博士(工学)	甲 第 5849 号	令和 4 年 9 月 5 日	渡辺 拓郎
博士(工学)	甲 第 5850 号	令和 4 年 9 月 5 日	Krishnan Arumugasamy, Muthukumar (クリシュナン アルムガサミー, ムトゥクマル)
博士(工学)	甲 第 5851 号	令和 4 年 9 月 5 日	田中 康之
博士(工学)	甲 第 5852 号	令和 4 年 9 月 5 日	石原 悠
博士(工学)	甲 第 5853 号	令和 4 年 9 月 5 日	瀬戸 一郎
博士(工学)	甲 第 5854 号	令和 4 年 9 月 5 日	Xia, Chengshuo (夏 成碩)
博士(工学)	甲 第 5855 号	令和 4 年 9 月 5 日	Wang, Baoqing (王 宝慶)
博士(工学)	甲 第 5856 号	令和 4 年 9 月 5 日	松森 匠哉
博士(工学)	甲 第 5857 号	令和 4 年 9 月 5 日	西脇 和弘

## 内容の要旨

報告番号	甲 第5811号	氏名	佐藤 裕太
主論文題名：  A study of interjoint coordination during locomotion after spinal cord injury (脊髄損傷後の歩行中における関節協調に関する研究)			
<p>脊髄損傷 (Spinal Cord Injury, 以後 SCI) の後の病的歩行様態とその再建過程を理解することは、生物の神経筋骨格系における適応機構の理解や、科学的根拠に基づいたリハビリテーション戦略の開発に重要である。これまでの研究では、歩幅や関節角度などの運動学的なパラメータの変化と脊髄の神経病理との関係について報告されているが、運動生成の背後で駆動している中枢神経系 (Central Nervous System, 以後 CNS) の活動特性や適応過程に関する検討は十分に行われていない。そこで本研究では、歩行制御器として機能する CNS の性質を理解することを目的として、SCI によって生じる歩行障害の特徴を関節協調パターン分析により検討した。</p> <p>第1章は序論である。まず CNS が冗長な筋骨格系を協調的に働かせて歩行を制御する仕組みについて概説した。次に、CNS からの運動指令によって生成される筋活動パターンや関節運動のコーディネーションが、SCI による CNS 障害にどのように変化するかを説明した。最後に、本研究の目的と重要性を述べた。</p> <p>第2章では、損傷度が異なる SCI マウスにおいて、歩行中の関節運動のコーディネーションの違いを横断的に評価した。SCI マウスにおける関節運動のコーディネーションは、3つのパターンに分類された。これら3つのパターン間では、SCI の重症度が有意に異なっていた。以上の結果から、歩行中の関節運動のコーディネーションは、歩行制御器である CNS の病理学的な違いを反映していると考えられた。</p> <p>第3章では、歩行中の関節運動のコーディネーションを可視化し、定量するために第2章で用いた解析手法がヒトへ応用可能か見極めるために、前臨床研究として非ヒト霊長類コモンマーモセットにおける関節運動のコーディネーションについて検討した。具体的には、SCI 後の経時的变化を分析し、歩行制御器である CNS の機能変化の特徴付けをおこなった。マーモセットは損傷直後から損傷側後肢の弛緩性麻痺を示し、その後は経時的に歩行能力が回復した。また脚の軌道や関節角度などの表面的な運動パラメータは損傷前から変化していたが、脚セグメントの仰角の平面共分散で表現されるセグメント間協調性は、損傷後も障害を受けずに保持されていた。これまでの研究で、SCI 患者では平面共分散が障害されることと、平面性の改善がリハビリテーション後の歩行能力の回復と相関することが示唆されている。以上の結果から、歩行中における関節運動のコーディネーション解析は、損傷後の CNS の機能状態を反映する指標となると考えられた。</p> <p>第4章は結論である。本論文の成果を総括し、その重要性と今後の展望を述べている。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5811 号	氏 名	佐藤 裕太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 牛場 潤一
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 岡 浩太郎
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 堀田 耕司
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 高橋 正樹

学士（工学）、修士（理学）佐藤裕太君提出の学位請求論文は、「A study of interjoint coordination during locomotion after spinal cord injury（脊髄損傷後の歩行中における関節協調に関する研究）」と題し、全4章から成っている。脊髄損傷（Spinal Cord Injury, 以後SCI）後の病的歩行様態とその再建過程を理解することは、生物の神経筋骨格系における適応機構の理解や、科学的根拠に基づいたリハビリテーション戦略の開発に重要である。これまでの研究では、歩幅や関節角度などの運動学的なパラメータの変化と脊髄の神経病理との関係について報告されているが、運動を駆動している中枢神経系（Central Nervous System, 以後CNS）の活動特性や適応過程に関する検討は十分に行われていない。本論文では、歩行制御器であるCNSによって制約されている協調的な関節運動という観点から、SCI後の歩行障害の特徴を体系的に明らかにした。

第1章は序論で、CNSが冗長な筋骨格系を協調的に働かせて歩行を制御する仕組みを概説している。また、CNSからの運動指令によって生成される筋活動パターンや関節運動のコーディネーションが、SCIによるCNS障害によってどのように変化するか解説している。最後に、本研究の目的と重要性が述べられている。

第2章では、損傷度が異なるSCIマウスのデータから、歩行中の関節運動のコーディネーションの違いが分析されている。関節角度データから抽出される低次元成分を比較することで、SCIマウスにおける関節運動のコーディネーションは3つのパターンに分類可能であることが示されている。また、この分類が組織損傷の大きさと対応することを報告している。

第3章では、歩行中の関節運動のコーディネーションを可視化し、定量可能であった前章の解析手法について、ヒトへ応用を見極めるため、前臨床研究として非ヒト霊長類コモンマーモセットでの関節運動コーディネーションの解析に適用している。実験でマーモセットはSCI直後から損傷側後肢の弛緩性麻痺を示し、その後は経時的に歩行能力が回復したことが報告されている。このとき、脚の軌道や関節角度などの個別の運動パラメータは損傷によって変化している一方、脚セグメントの仰角の平面共分散で表現されるセグメント間協調性は、損傷後も障害を受けずに保持されていた。すなわち、歩行中における関節運動のコーディネーション解析は、損傷後のCNSに保存された機能状態を評価する指標として利用できると述べられている。

第4章は結論である。本研究を総括するとともに、歩行中の関節運動のコーディネーション分析が、脊髄損傷をはじめとした神経原性運動障害の体系的、定量的な機能評価に臨床応用される可能性について述べている。また、その実現に向けて必要な検討項目（例えば脊髄内下行路の選択的評価や、種間の歩行様式の差など）について、主な課題を挙げながら言及している。

以上、本論文の成果は、脊髄損傷後の歩行中における関節運動のコーディネーション解析がCNSの機能性をよく表現する手法であることを見出したことと、SCI後のCNSは障害を受けながらも歩行中の関節協調を高度に保って歩行容態を適応させる性質があることを見出したことである。このことは、歩行運動を支える神経機構の理解や治療を目指した運動生理学研究の更なる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（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 5818 号	氏 名	笠原 弘貴
主論文題名：			
地上加速型レールガンにおける加速・過渡弾道数値解析			
<p>本論文では地上環境下で極超音速まで加速された飛翔体におけるサボ分離を三次元解析により調査した。数値解析において流体側に三次元圧縮性 Euler 方程式，異なる速度で移動・回転する飛翔体・サボの運動を再現するために六自由度剛体運動方程式を用いた。</p> <p>第一章では本研究における背景と動機，先行研究について示した。第二章では本研究で使用した流体・剛体運動の支配方程式を示し，サボ分離再現のために利用した重合格子法および用いた計算手法の高速化のために分散メモリ型並列機における並列化方法を示した。第三章では Erenkil(1999)によって行われた地上環境下における極超音速サボ分離実験を対象とし本研究で構築した計算手法を用いて実験を再現し，先行研究によって捉えられたサボ重心軌跡とピッチ角変化を対象に数値計算モデルの妥当性を検証した。飛翔体・サボから生じる離脱衝撃波は分離に従い異なる干渉形態を示し，3 種類に分類された。分離初期において飛翔体・サボ間の流路が非定常的に閉塞することにより衝撃波がサボ前方で振動する干渉形態が生じた。分離中期において，サボ飛翔体を覆うように生じた離脱衝撃波はそれぞれの物体周りから生じる二種類の衝撃波に分離した。分離後期では飛翔体・サボ間で衝撃波が複数反射し，飛翔体表面を沿うように不連続な圧力が形成された。サボ表面を 5 種類に分類し，各領域における流体力・モーメントへの寄与率を解析した結果，サボ前方部のスコープ領域が分離を支配していることが示唆された。</p> <p>第四章では共同研究によって行われた地上加速型レールガン実験における飛翔体加速，サボ分離を数値計算モデルにより再現した。加速過程において飛翔体前方に先行衝撃波が発生し，管端付近の圧力分布を変化させた。また先行衝撃波によって誘起された極超音速流によりマッハディスクが加速管前方に形成された。分離過程において先行衝撃波による極超音速流は飛翔体の分離を阻害し，流体现象のみによってサボ分離が遅延する可能性が示唆された。飛翔体・サボが先行衝撃波とマッハディスクを追い越す際に 2 つの異なる追い越し過程が確認された。衝撃波追い越し過程は飛翔体周りでの衝撃波に影響を与え，先行衝撃波到達時点で飛翔体抗力が最大値を取り衝撃波貫通後に急激に減少する現象が発生した。第五章では主要な結論を示した。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5818 号	氏 名	笠原 弘貴
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 松尾 亜紀子
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学），TeknD 深潟 康二
		慶應義塾大学准教授	Ph. D. 安藤 景太
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 澤田 達男

  

学士（工学），修士（工学）笠原弘貴君の学位請求論文は「地上加速型レールガンにおける加速・過渡弾道数値解析」と題し，本論 5 章から構成されている．本論文では圧縮性流体力学に基づく極超音速流れの解析 (Computational Fluid Dynamics, CFD) と剛体運動方程式 (Rigid Body Dynamics, RBD) を連成させる解析モデル (CFD-RBD) を新規に構築し，標準大気下における極超音速飛翔体の加速・過渡弾道数値解析を実施している．

第 1 章では，研究の背景と動機について示している．

第 2 章では，本研究で構築した CFD-RBD に関する数値計算手法について説明している．サボ周りにおける現象の重要性から，複雑物体周りを厳密に再現できる非構造格子法に基づく圧縮性 CFD，複数の移動境界を取り扱うことが可能な重合格子法，そして個々の運動を再現するための六自由度剛体運動方程式を連成し，計算モデルを構築した．また，大規模計算領域を取り扱うために，分散メモリ型並列化を圧縮性 CFD と重合格子法に導入し高速化を実現した．

第 3 章では，極超音速飛翔体におけるサボ分離解析するために，Erengil によって行われた実験を対象とし数値解析を行い，第 2 章で示した CFD-RBD の極超音速サボ分離における妥当性検証を行った．非構造格子，重合格子法，及び剛体運動方程式を組み合わせた CFD-RBD は，実験結果と比較して，サボ分離時におけるサボの重心位置・ピッチ角変化を評価する上で良い一致が確認された．解析結果において，衝撃波振動のような非定常的な干渉が確認されたことから，簡易的な推算モデルであるサボ分離予測モデルに非定常的な干渉を考慮する必要性が示唆された．また，サボ表面を 5 つに分類し行った詳細検討から，サボ設計においてはサボスコープ部，特に傾斜部がサボ分離初期の流体力・モーメントを支配し，唯一の形状設計パラメータとなることが示唆された．

第 4 章では，第 2 章で示した三次元 CFD-RBD を用いて，先行実験で行われた地上加速型レールガンの加速過程・管端離脱後のサボ分離過程を数値的に再現した．飛翔体管端離脱時からサボ分離が開始し，サボ分離過程を飛翔体周りの流れ場と抗力履歴から Flight in the hypersonic jet, Interaction with precursor shock waves, Multiple shock wave reflection between the projectile and the sabot の三段階に分類し，飛翔体管端離脱前に生じる先行衝撃波の発生・伝播と離脱後に生じる飛翔体-サボ間での衝撃波の相互作用を明らかにするとともに，それらの衝撃波との干渉がサボ分離に与える影響について明らかにした．

最後に第 5 章では主要な結論を述べている．

以上，本論文をまとめると，著者は地上環境下における飛翔体の加速・過渡弾道数値解析を可能とする極超音速流れの解析と剛体運動方程式を連成させる解析モデルを新規に構築し，そのモデルの有効性を明らかにした．その結果は，レールガンを始めとした飛翔体加速器設計の高速化・最適化と極超音速流における解析技術向上に貢献するものである．

よって，本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める．



## 内容の要旨

報告番号	甲 第5822号	氏名	栞原 央明
主論文題名：  <b>Advanced Robotic Inspection Technology Based on Force Information Processing</b> (力情報処理に基づいた高度なロボット検査技術)			
<p>老朽化する社会インフラ設備の急増は世界規模の問題であり、設備の維持・管理のためには、点検・補修などの予防保全技術の確立が喫緊の課題である。これまでに、人のアクセスが難しい検査対象に移動して定量的な検査をするための、ロボット点検技術が研究されている。従来のロボット点検技術は、目的・用途に応じて個別開発されてきたが、主な要求機能は、「検査位置へのアクセス機能」、「周辺環境への適応機能」、「点検機能」に集約される。これらの要求機能では、点検ロボット、移動環境および検査対象間の力情報が共通して関わっており、力情報の応用がロボット点検技術の高度化に有効であることを示唆している。そこで本研究では、ロボット点検技術の高度化へ向けた、力情報の抽出・適用指針の明確化と有効性の実証を目的とした。本研究は、各要求機能の観点に基づき、力情報を点検ロボットの1. 状態推定と運動制御、2. 環境適応、3. 構造物診断に適用する3つのアプローチにより遂行した。</p> <p>第1章では、本研究の背景と従来技術の問題点と課題、目的について説明した。</p> <p>第2章では、本研究の基礎技術である、外乱オブザーバによるロバスト制御と、外乱オブザーバを応用した反作用力の推定方法について説明した。</p> <p>第3章では、路面を移動する点検ロボットの、非線形で複雑な滑りを含む速度の推定方法として、駆動軸への外乱力と機械学習を用いた方法を提案した。移動時に滑りを伴うクローラ型機構を用いた、従来手法との比較実験により、提案手法の有効性を確認した。また、学習する路面環境と推定速度の関係について実験的に調査し、提案手法の適用に向けた機械学習の方針を明確にした。さらに、インフラ点検で想定される斜面走行において、点検ロボットの重力補償を併用することで速度推定性能を確保する方法を提案し、実験により有効性を示した。</p> <p>第4章では、点検ロボットの運動エネルギーを発生させる駆動力に基づく制御方法を提案した。まず、第3章で述べた方法による推定速度から駆動力を推定するオブザーバを設計し、駆動力制御に基づく運動制御系を提案した。提案手法をクローラ型機構に適用し、並進方向の滑り抑制効果を示した。次に、駆動力制御時に左右のクローラの駆動力の干渉が旋回を妨げることに言及し、この解決方法として、瞬間的な旋回中心に基づく駆動力分配方法を提案した。提案手法により、旋回方向への滑りが誘発され、旋回性能が向上することを実験により示した。さらに、点検ロボット含む一般的な移動ロボットの課題である非ホロノミック拘束下での移動性能確保のため、駆動力分配と移動ロボットの非ホロノミック拘束を含む横方向の外乱を補償する仮想旋回速度制御を併用し、旋回方向の滑りを適切に許容する運動制御を提案した。従来手法との比較実験により、提案手法の有効性を示した。最後に、受動性の観点から提案する制御系の安定化条件と設計指針について考察した。</p> <p>第5章では、狭隘空間に適応しながら移動し、電源供給消失など非常時を含み狭隘空間内で姿勢を保持するための点検ロボットの機構として、力制御アクチュエータと受動機構を用いた押付力制御機構を提案した。また、提案する押付力制御機構のモデルベース制御方法およびオフラインで同定する外乱モデルに基づく外乱補償方法を提案した。タービン発電機の回転子・固定子間を点検するロボットに実装した押付力制御機構による評価により、提案手法の有効性を示した。</p> <p>第6章では、力情報に基づく点検ロボットによる構造物内部診断の実現に向け、打撃力制御と反作用力推定を1つの機構で実現する打振検査デバイスを開発した。また、構造物内部状態を連成振動モデルで表現し、打振検査デバイスの入出力特性と構造物内部状態の関係を明確化した。さらに、打振検査デバイスの入出力特性から推定されるモデルパラメータに基づく診断方法を提案した。従来、人手による打音検査で実施されるタービン発電機の固定子楔緩み検査をモチーフにした提案手法による診断の妥当性を、シミュレーションと実験により示した。</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>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5822 号	氏 名	栞原 央明
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 村上 俊之
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 大森 浩充
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 矢向 高弘
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 竹村 研治郎
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 大西 公平
<p>学士(工学), 修士(工学) 栞原 央明 君提出の学位請求論文は「Advanced Robotic Inspection Technology Based on Force Information Processing」(力情報処理に基づいた高度なロボット検査技術)と題し, 7章から構成されている. 近年, 社会インフラ設備の老朽化に伴う点検・補修などの予防保全技術の確立が課題となっている. 特に, 人のアクセスが難しい検査対象において, 「検査位置へのアクセス機能」, 「周辺環境への適応機能」, 「点検機能」の実現が重要となる. こうした機能の実現において移動環境および検査対象間の力情報が共通して関わっており, 力情報の応用がロボット点検技術の高度化に有効であることは明白である. そこで本研究では, ロボット点検技術の高度化に向けて, 力情報の抽出・応用について新たな手法ならびに適用指針を提案し, その有効性をクローラ型移動ロボットにより実証している.</p> <p>第1章では, 本研究の目的を述べ, 研究の位置付けおよび論文構成を概説している.</p> <p>第2章では, 本研究の基礎制御アルゴリズムとして活用している外乱オブザーバによるロボスタ制御および外乱オブザーバを応用した反作用力の推定手法について概説している.</p> <p>第3章では, 点検ロボットが走行中に路面から受ける滑りの影響を考慮した速度推定にあたって, 駆動軸への外乱力情報を用いた機械学習手法を提案している. 提案手法の有用性については, クローラ型移動ロボットによる実験により確認している. また, 路面環境の違いによる速度推定への影響を実験的に明確化し, 実応用上重要な機械学習の適用方針を示しつつ, 斜面走行時でも重力補償を併用することで速度推定性能が維持できることを実証している.</p> <p>第4章では, 点検ロボットの旋回性能の向上を目的として瞬時に仮想設定された旋回中心に基づく駆動力分配手法を提案している. まずは第3章で示した速度推定法によって得られた推定速度から駆動力を同定するオブザーバを設計し, 駆動力制御に基づく運動制御系の構築法を確立している. 同時に, クローラ型移動ロボットにおいて, 並進方向の滑りが抑制できることを示している. その上で, 瞬時に仮想設定された旋回中心に基づく駆動力分配方法により滑らかな旋回動作の実現手法を構築している. また, 移動ロボット全般の課題である非ホロノミック拘束下での運動性向上のため, 駆動力分配に加え非ホロノミック拘束を含む等価外乱補償を併用した仮想旋回速度制御系を構築し, 実機実験により提案手法の有用性を示している.</p> <p>第5章では, 狭隘空間内で姿勢を保持するための点検ロボット機構として, 力制御アクチュエータと受動機構を用いた押付力制御機構を提案し, その制御手法を確立している. 提案手法の有用性は, タービン発電機の回転子・固定子間を点検するロボットに実装した押付力制御機構による実証実験の評価により検証している.</p> <p>第6章では, 力情報に基づく点検ロボットによる構造物内部診断を目的として, 打撃力制御と反作用力推定を1つの機構で実現する打振検査デバイスを開発し, 打振検査デバイスの入出力特性と構造物内部状態の関係を明確化している. また, 打振検査デバイスの入出力特性から推定されるモデルパラメータによる環境状態の劣化診断手法を提案し, 提案手法による診断の妥当性を, シミュレーションおよび実験により示している.</p> <p>第7章では, 結論を述べ, 得られた成果の重要な貢献と今後の展望について総括している.</p> <p>以上要するに, 本研究では点検ロボットにおける路面環境の滑りを考慮した駆動力制御ならびに力制御に基づいた環境状態の診断手法を提案し, クローラ型移動ロボットによる実機実験によりその有用性を実証したものである. これらの研究は力制御に基づいた点検ロボットシステムの実応用を含め, メカトロニクス, モーションコントロールの分野において, 工学上, 工業上寄与するところが少なくない.</p> <p>よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める.</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 5823 号	氏 名	石川 智啓
主論文題名：			
生体組織中における二光子励起の 4 次元時空間制御			
<p>集光されたパルスの伝播とともにパルス幅が劇的に変化する時空間集光 (TF) 技術の発明によって、生命現象を解明するために有用な多光子励起技術が開発されてきた。広視野 TF 顕微鏡は、走査型多光子顕微鏡のように集光スポットを走査することなく断層像が得られる高速なイメージング技術であるため、多細胞間相互作用の観察へ応用されている。また、TF 技術をホログラフィック技術と組み合わせたパターン照明は、細胞の活動を光で操作するオプトジェネティクスに適用され、離れて存在する複数の細胞の活動を同時に操作することが可能となっている。しかし、TF 技術にはまだ、いくつかの問題がある。例えば、厚みのある試料内部において歪んだ TF パルスの補償が困難であること、走査型多光子顕微鏡より深さ方向の分解能が低いこと、パターン照明において隣り合うマルチスポット間で生じる干渉縞がスポットの均一性を劣化させることなどである。これらの問題を解決するために、本研究では、生体組織において、TF パルスの歪み補償を行うための時空間ロックイン検出技術、走査型多光子顕微鏡と同等の深さ方向の分解能が得られる時間多重化 (TM) マルチライン (ML) TF 技術、均一なパターン照明が可能なマルチフォーカス (MF) TM-TF 技術の開発に取り組んだ。</p> <p>第 1 章では、背景および研究目的について述べた。</p> <p>第 2 章では、本研究の基礎となる理論や技術として、非線形光学、超短パルスレーザー技術、イメージング技術について説明した。</p> <p>第 3 章では、広視野 TF 顕微鏡において広い視野で同時に多光子励起するために、本研究で構築した Yb ファイバーレーザーの構成および出力特性について述べた。平均出力 3.9 W、ピーク波長 1059 nm、繰り返し 710 kHz、パルス幅 110 fs を達成した。</p> <p>第 4 章では、広視野 TF 顕微鏡の補償光学技術として開発した時空間ロックイン検出技術について述べた。従来は、TF 顕微鏡において厚みのある試料を用いると、パルスの時間特性を最適化することは困難であったが、本検出技術により厚みのある試料でもパルスの時間特性の最適化ができることを実証した。</p> <p>第 5 章では、TM-TF 顕微鏡において、視野と深さ方向の分解能の両立を可能とするためマルチライン化を組み合わせた TM-ML-TF 顕微鏡について述べた。従来の TM-TF 顕微鏡で達成されている視野を 5 倍に拡大し、TF 顕微鏡に対して深さ方向の分解能を 2.5 倍向上することに成功した。</p> <p>第 6 章では、均一なパターン照明が可能な技術として開発した MF-TM-TF 技術について述べた。マルチスポットを近接して配置しても、フリッジ・スペckルフリーを実現できるパターン照明技術を確立した。開発した技術を TM-TF 顕微鏡の視野拡大にも応用し、視野を 12 倍にまで拡大することに成功した。</p> <p>第 7 章では、本博士論文で開発してきた技術に関する知見をまとめ、開発した技術の生物学・医科学応用への展望について述べた。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5823 号	氏 名	石川 智啓
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	工学博士	神成 文彦
副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	斎木 敏治
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	田邊 孝純
	慶應義塾大学教授	博士（理学）	渡邊 紳一
<p>学士（工学）、修士（工学）、石川智啓君提出の博士学位請求論文は「生体組織中における二光子励起の4次元時空間制御」と題し、7章から構成されている。</p> <p>フェムト秒レーザーパルスを用いた多光子励起蛍光顕微鏡は従来のレーザー顕微鏡に比べて深さ方向の空間分解能に優れることから、生体サンプルの3次元構造の可視化、さらには脳活動を捉える目的にも用いられつつある。しかし、広い視野観察を高い画像フレームレートで実現するには、深さ方向の空間分解能を保ちつつ高速に面内および深さ方向の点走査イメージングを実現することが必要となる。さらに脳活動観察などのオプトジェネティック計測には、目的とする部位を励起した際の離れた部位のダイナミックな活性化を計測する必要があるため、高速3次元イメージングのみならず局所的短パルス励起の機能性も備わっていることが要求される。</p> <p>レーザーパルスのパルス幅を局所的に短くできる時空間集光（Temporal Focusing: TF）技術は、走査型多光子顕微鏡のように集光スポットを走査することなく断層像が得られる高速なイメージング技術として有効である。しかし、従来のTF技術には、深さ方向分解能の劣化など解決すべき課題がいくつか存在していた。本論文では、厚みのある生体試料内部において群速度分散の効果を受けて広がってしまうTFパルスのパルス幅を補償するための時空間ロックイン検出技術、また、深さ方向の分解能を改善するための時間多重（Temporal Multiplexing: TM）マルチライン化（Multi-Line: ML）励起を従来のTF技術に新規に導入し、計測実験結果からこれらの有効性を定量的に明らかにした。さらに、局所的パターン励起が可能なマルチフォーカス（Multi-Focus: MF）TM-TF技術の開発を行いその有効性を実証した。</p> <p>第1章では、本研究の背景およびレーザー顕微鏡の開発動向と各手法の特徴を概説し、本論文の目的を述べている。</p> <p>第2章では、本研究に用いた超短パルスレーザーに関する基盤技術を概説し、本研究で新規に提案したTM-ML-TF顕微鏡、およびMFパターン励起光学系の光学的特徴を述べている。</p> <p>第3章では、走査を必要としないTF顕微鏡を広い視野サイズで実現するために自作した、イッテルビウム（Yb）ファイバレーザーの構成および出力特性について述べている。平均出力 3.9 W、中心波長 1059 nm、繰り返し 710 kHz、パルス半値全幅 110 fs を達成している。</p> <p>第4章では、広視野TF顕微鏡におけるTFパルスの群速度分散補償技術として開発した時空間ロックイン検出技術について述べている。本技術により厚みのある試料でも時空間集光の焦点位置においてパルス幅を最短に保つことができることを実証している。</p> <p>第5章では、TM-TF顕微鏡において、視野サイズと深さ方向の分解能の両立を実現するために、空間的励起プロファイルのマルチライン化を組み合わせたTM-ML-TF顕微鏡を構築し、その性能を実験結果から明らかにしている。従来のTM-TF顕微鏡で達成されている視野を5倍の30 <math>\mu\text{m}</math> に拡大し、通常のTF顕微鏡に対して深さ方向の分解能を2.5倍の1.6 <math>\mu\text{m}</math> に向上することに成功している。</p> <p>第6章では、オプトジェネティック計測に不可欠な均一なパターン照明を可能とするために開発した、ホログラフィック技術を併用したMF-TM-TF技術について述べている。マルチスポットを近接して配置しても、時間的ずれにより干渉縞が発生しないパターン照明技術を確立している。本技術をTM-TF顕微鏡の視野拡大にも応用した場合、視野をさらに70 <math>\mu\text{m}</math> に拡大することにも成功している。</p> <p>第7章では、各章で得た実験結果および知見をまとめ、開発したレーザー顕微鏡技術の生物学・医科学応用への展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本論文では、脳機能のようなオプトジェネティック計測において有効な高機能レーザー顕微鏡の提案とその有用性を実験的に実証しており、超高速光エレクトロニクスのみならずレーザー応用工学において、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5828号	氏名	古谷 亮太
主論文題名：  イオン液体電解液中における負極上の固体電解質界面相の評価			
<p>イオン液体は難燃性を示すことから、現行で電池に用いられている可燃性の有機電解液に代わり、電池の安全性が改善できる電解液として検討が行われている。初回充電の際、電解液の還元分解により負極表面上に生成する solid electrolyte interphase (SEI)は、電池のレートやサイクル性能に影響を与えるとされているが、その詳細は未解明な部分が多い。本研究では、SEIの本質を明らかにすることを目的として、電気化学測定および元素分析などにより、イオン液体電解液中で負極表面上に生成する SEI がもつ性質および SEI 物性に影響を与える因子について検討を行った。</p> <p>第1章では、電池、イオン液体および人工 SEI に関わる本研究の背景と目的を示した。</p> <p>第2章では、bis(trifluoromethylsulfonyl)amide (TFSA<sup>-</sup>)系イオン液体電解液中において、スパッタ法により Ni 電極上に作製した lithium phosphorus oxynitride (LiPON)薄膜を介して Li の析出溶解が可能であったことから、電解液の分解により生成した SEI 同様、LiPON 薄膜は Li<sup>+</sup>伝導性を示し、電子伝導性を示さないことが示された。また、電位に対する LiPON 薄膜および電解液の分解により生成した SEI のインピーダンス変化から、電極/LiPON 薄膜または SEI 界面の過剰な負電荷を補うため、LiPON 薄膜および SEI の Li<sup>+</sup>キャリア濃度は、電位が負になるに従い増加していることが示唆された。</p> <p>第3章では、異なる組成の bis(fluorosulfonyl)amide (FSA<sup>-</sup>)系イオン液体電解液中において、Li 塩濃度が高い系で Li 電極上の SEI に含まれる FSA<sup>-</sup>由来の成分が多く、SEI 抵抗が低くなったことから、電解液の分解により生成する SEI 組成は、電解液の組成を反映していることが示唆された。SEI 厚みは時間経過で変化していなかったにもかかわらず、SEI 抵抗は時間経過で増加したことから、SEI は粘性またはゲル状の相であり、時間経過で分解生成物が SEI 内に溶解または分散することで蓄積し、SEI 内の Li<sup>+</sup>の移動度が低下していると考えられる。有機カチオン側鎖中のエーテル酸素原子についても、SEI 中の解離した Li<sup>+</sup>生成の促進や電解液の分解抑制に寄与している可能性が示唆された。一方で、Li の析出形態に対しては有機カチオン側鎖中のエーテル酸素の有無で析出形態に大きな違いはなかったことから、Li 塩組成の影響が支配的であると考えられる。</p> <p>第4章では、各章のまとめと本研究のイオン液体由来の SEI に関する総括を示した。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5828 号	氏 名	古谷 亮太
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	片山 靖
副査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	緒明 佑哉
	慶應義塾大学専任講師	博士（理学）	山本 崇史
	慶應義塾大学教授	工学博士	吉岡 直樹
<p>学士（工学）、修士（工学）古谷亮太君提出の学位請求論文は「イオン液体電解液中における負極上の固体電解質界面相の評価」と題し、4章から構成されている。</p> <p>リチウム金属は密度が低く、酸化還元電位が著しく負であることから、二次電池負極への利用が検討されてきた。一方で、リチウムの反応性は高く、非プロトン性有機溶媒を用いた電解液中においてリチウムは電解液を還元分解し、その表面に分解生成物からなる固体電解質界面相（SEI）が生成することが知られている。SEIの組成や性質は電解液の構成成分に大きく依存するが、炭酸エステル系有機電解液中では、リチウムイオン伝導性を有し、電子伝導性を示さないSEIが生成し、このSEIを介してリチウムの電気化学的な溶解および析出が可能になると考えられている。有機溶媒は可燃性および揮発性であることが多く、電池の発火や爆発の原因となり得る。有機電解液に代わって、難燃性および難揮発性のイオン液体を電池の電解液に用いることで、電池の安全性の向上が期待される。しかし、イオン液体中においてリチウムの表面に生成するSEIについては不明な部分が多い。本研究では、イオン液体中において生成するSEIの組成および性質を明らかにすることを目的として、イオン液体中で生成するSEIとリチウムイオン伝導性固体電解質による人工SEIとの比較検討およびイオン液体の組成がSEIに与える影響について検討している。</p> <p>第1章は緒言であり、リチウム二次電池、SEIおよびイオン液体についてまとめ、本研究の背景および目的を述べている。</p> <p>第2章では電極上に作製したリチウムイオン伝導性固体電解質薄膜の人工SEIをイオン液体および有機電解液中で生成したSEIと比較検討している。SEIはリチウムイオン伝導性固体電解質によって模擬できることを示すと同時に、いずれのSEIにおいても電極電位に応じてSEI中のリチウムイオン濃度が変化し、リチウムイオン伝導性が電位に依存することを見出している。</p> <p>第3章ではカチオンおよびリチウム塩濃度の異なるイオン液体中において生成するSEIの組成および性質について検討している。SEIのリチウムイオン伝導性は電解液のリチウムイオン濃度に依存することから、SEI中のリチウムイオン濃度が電解液組成を反映していることを明らかにしている。また、電極表面付近で生成するイオン液体の分解生成物がSEIの表面でも見出されることから、SEIはイオン液体の分解生成物がイオン液体に溶解または分散することによって生じる高粘性またはゲル状の相であるとのモデルを提案している。さらに、イオン液体のカチオンに含まれるエーテル酸素原子がSEIのリチウムイオン伝導率に与える影響およびリチウム塩濃度が高いほどリチウムの析出溶解のクーロン効率が高くなることなどを明らかにし、高濃度のリチウム塩を含むイオン液体がリチウム二次電池電解液に適用できる可能性を示している。</p> <p>第4章では、本論文の成果をまとめ、今後の展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本論文はイオン液体中においてリチウム負極上に生成するSEIの組成および性質を明らかにしており、電気化学および材料科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。</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. 5829	Name	Gao, Peng
Thesis Title			
<b>Analog-to-Digital Conversion Schemes in Beyond-Fifth and Sixth Generation Wireless Communication Systems</b>			
<p>With a marked rise in a plethora of wireless devices and emerging use cases in the future, larger data traffic needs to be supported. The development of the existing fifth generation (5G) network is designed to satisfy these demands. Furthermore, increasing factory automation and the transition from Industry 4.0 to the upcoming Industry X.0 paradigm will accelerate the demands of wider coverage and higher connection density in 5G designs. In recent years, massive MIMO has been implemented in two ways, namely centralized and distributed antenna deployment. For reducing cost and power consumption, massive MIMO communications adopt hybrid transceivers, which combine analog phase shifters and power amplifiers with digital signal processing units. However, hybrid-mode implementations are confronted with inter-user interference (IUI) due to a larger beamwidth. On the other hand, using a low-resolution analog-to-digital converter (ADC) in the BS can also achieve better energy efficiency (EE), but it will cause severe quantization distortion in a received signal. With the trends of ADCs, current research indicates that low-resolution ADCs are very promising for massive MIMO and cell-free networks. Therefore, the focus of this thesis tends to address the above challenges to better improve the spectral efficiency (SE) and the EE of the system, and we assert that the ongoing research on massive MIMO and cell-free distributed antennas are the key to future wireless communications. To this end, a low-complexity and low-power full-digital receiver with a practical quantized signal detection scheme is designed. Further, an adaptive-resolution (AR) ADC scheme is proposed to the cell-free distributed antenna system to mitigate the serious quantization distortion.</p> <p>Chapter 1 is the introduction. It mainly describes the evolution of wireless communication systems, the major demands of beyond-5G and the sixth generation (6G), the key issues of current 5G networks, and related research motivations.</p> <p>Chapter 2 is the design of a low-power and low-cost massive MIMO system. It includes a quantization range control scheme in a massive MIMO system with low-resolution ADCs and the selection of detection schemes to derive effective ADC quantization range limit coefficients and reduce computational complexity for the system, respectively.</p> <p>Chapter 3 is the design of ADCs in the access points (APs) of a cell-free distributed antenna system (DAS). AR-ADC scheme is proposed for each AP, and it can refer to factors such as propagation loss, quantization distortion, and IUI, and then reasonably switch a flexible low-resolution ADC component to improve system throughput and reduce energy consumption.</p> <p>Chapter 4 summarizes the results of this thesis and presents conclusions with future works.</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5829 号	氏 名	Gao, Peng (高 鵬)
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 慶應義塾大学名誉教授	工学博士	笹瀬 巖
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	大槻 知明
	慶應義塾大学教授	工学博士	池原 雅章
<p>学士（工学）、修士（工学）GAO, Peng 君提出の学位請求論文は「Analog-to-Digital Conversion Schemes in Beyond-Fifth and Sixth Generation Wireless Communication Systems」（第5超世代および第6世代移動通信システムのためのアナログ-デジタル変換方式）と題し、4章から構成されている。</p> <p>第5超世代および第6世代移動通信システムにおいては、第5世代移動通信システムよりも更なるデータレートならびに周波数利用効率の改善が求められている。第5世代移動通信において大規模 Multi-Input Multi-Output (MIMO) 技術はアナログ信号処理とデジタル信号処理のハイブリッド方式で実装されているが、ユーザ間干渉を一層低減するためにはフルデジタル方式での実装が必要である。また第5超世代および第6世代移動通信システムでは分散アンテナによるセルフフリーネットワークが検討されているが、このネットワークにおいてもエネルギー効率の改善が必要である。</p> <p>本研究ではこれらの課題を解決するために、受信機の消費電力を削減するためのアナログ-デジタル変換方式を提案している。特に大規模 MIMO 技術における低解像度アナログ-デジタル変換器の量子化誤差を解析し、解像度および変換入力電圧領域の最適化法を検討している。同時に分散アンテナシステムにおいても、各アンテナのアナログ-デジタル変換器の解像度を適応的に選択することにより、周波数利用効率とエネルギー効率を同時に改善することを目的としている。</p> <p>第1章では、本研究の背景と研究の位置づけを概説し、その目的を述べている。</p> <p>第2章では、大規模 MIMO 技術における低解像度アナログ-デジタル変換器の特性を検討し、解像度および変換入力電圧領域と受信信号歪の関係を明らかにしている。そして各解像度と復調方式におけるシステムスループット特性を求めている。</p> <p>第3章では、分散アンテナによるセルフフリーネットワークにおいて、適応的なアナログ-デジタル変換器の解像度選択法を提案している。そして発生する変換歪の特性を明らかにし、ネットワークのパラメタと周波数利用効率の関係を求めている。同時に従来方式を含めた変換方式に対する周波数利用効率とエネルギー効率の関係を明らかにしている。</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、本論文では第5超世代および第6世代移動通信システムの実装形態と受信機におけるアナログ-デジタル変換方式の関係を明確化すると共に、周波数利用効率改善と低消費電力化を実現する解像度選択法を提案しており、無線通信工学分野において、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 5830 号	氏 名	河上 浩之
主論文題名：			
フェムト秒レーザーによる高精度 3 次元形状加工 CAM システムの開発			
<p>フェムト秒レーザーによるアブレーション加工は、材料への熱影響が小さく、導電体のみならず誘電体、そして難削材の精密加工が可能であり、切削工具成形、微小穴あけ、材料表面のパターン形成などに用いられている。しかし、従来は 2 次元/2.5 次元加工が適用されているが、アブレーションによる除去形状が同定されておらず、3 次元形状の高精度な成形が困難であった。そこで本研究では、アブレーションによる 3 次元除去形状を同定し、加工形状を高精度に予測する加工シミュレーションシステムを構築するとともに、同定された 3 次元除去形状を仮想的な工具形状として逆オフセット法を適用し、3 次元形状を形成するための CAM システムを開発することを目的とした。</p> <p>第 1 章では、フェムト秒レーザー加工の特徴を概説し、本研究の背景と目的を述べた。</p> <p>第 2 章では、フェムト秒レーザーの技術背景として、パルスレーザー発振技術、レーザー加工に用いられるレーザーの種類、そしてフェムト秒レーザー発振に用いられているチャープパルス増幅技術について概説した。また、フェムト秒レーザー加工において発生するアブレーションとインキュベーション効果の現象について解説し、提案するシミュレーションシステムに組み込むためのモデル化手法および計算式を提示した。さらに、現在用いられているレーザー加工用 CAM システムの機能について解説した。</p> <p>第 3 章では、アブレーションにより除去される 3 次元形状を仮想工具形状として同定する手法を述べた。フルエンスとアブレーション率の関係性の多段階近似、レーザー照射位置誤差、吸収率変化によるフルエンスの補正係数を導入することにより、高精度な加工形状予測が可能なモデルを構築した。さらに、仮想工具形状を同定するためのアブレーションパラメータを、オンマシン計測器によって自動的に同定するシステムを開発し、アブレーションパラメータの同定を効率化した。開発した計算モデルおよびパラメータ同定システムを用いて、バインダレスナノ多結晶ダイヤモンドのアブレーションパラメータと仮想工具形状を同定した。</p> <p>第 4 章では、レーザー加工における 3 次元加工経路の導出法について述べた。本手法では、切削加工における逆オフセット法をレーザー加工に適用し、仮想工具形状の逆形状の走査包絡面よりレーザーの照射経路を得た。さらに、材料に対してレーザーの照射位置を 3 軸制御した場合に生じる削り残し形状（アンダーカット形状）をシミュレーションにより予測し、レーザーの照射位置・角度を 5 軸制御してアンダーカット形状を追加工する加工経路を得た。得られた加工経路による加工実験を行い、2.5 次元加工経路に比べて高精度な 3 次元形状の成形が可能となることを確認した。</p> <p>第 5 章では、結論として各章で得られた研究成果を要約し、今後の展望を述べた。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5830 号	氏 名	河上 浩之
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 青山 英樹
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 柿沼 康弘
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 閻 紀旺
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 寺川 光洋
		カリフォルニア大学教授	工学博士 山崎 和雄
<p>学士（工学）、修士（工学）河上浩之君提出の学位請求論文は、「フェムト秒レーザーによる高精度 3 次元形状加工 CAM システムの開発」と題し、5 章から構成されている。</p> <p>フェムト秒レーザーによるアブレーション加工は、加工材料への熱影響が小さく、導電体および誘電体の精密加工が可能であり、切削工具形成、微小穴あけ、材料表面のパターン形成などに用いられている。従来、同アブレーション加工では、除去形状が同定されておらず、3 次元形状の高精度な形成が困難であった。そこで本研究では、フェムト秒レーザーによるアブレーションの 3 次元除去形状を同定し、加工形状を高精度に予測する加工シミュレーションを構築するとともに、同定された 3 次元除去形状を仮想的な工具形状として逆オフセット法を適用し、3 次元形状を形成するための CAM システムを開発することを目的としている。</p> <p>第 1 章では、フェムト秒レーザー加工の特徴を概説し、本研究の背景と目的を述べている。</p> <p>第 2 章では、フェムト秒レーザーの技術背景として、パルスレーザー発振技術、レーザーの種類、そしてフェムト秒レーザー発振に用いられているチャープパルス増幅技術について概説している。また、フェムト秒レーザー加工において発生するアブレーションとインキュベーション効果の現象について解説し、提案するシミュレーションに組み込むためのモデル化手法および計算式を提示している。さらに、現在用いられているレーザー加工用 CAM システムの機能について解説している。</p> <p>第 3 章では、アブレーションにより除去される 3 次元形状を仮想工具形状として同定する手法を述べている。フルエンスとアブレーション率の関係の多段階近似、レーザー照射位置誤差、吸収率変化によるフルエンスの補正係数を導入することにより、高精度な加工形状予測が可能なモデルを構築している。さらに、仮想工具形状を同定するためのアブレーションパラメータをオンマシン計測機によって自動的に同定するシステムを開発し、アブレーションパラメータの同定を効率化している。開発した計算モデルおよびパラメータ同定システムを用いて、バインドレスナノ多結晶ダイヤモンドのアブレーションパラメータと仮想工具形状を同定している。</p> <p>第 4 章では、フェムト秒レーザー加工における 3 次元加工経路の導出法について述べている。提案手法では、切削加工における逆オフセット法をレーザー加工に適用し、仮想工具形状の逆形状の走査包絡面よりレーザーの照射経路を得ている。さらに、加工材料に対してレーザーの照射位置を 3 軸制御した場合に生じる加工残し形状をシミュレーションにより予測し、レーザーの照射位置・角度を 5 軸制御して加工残し形状を追加工する加工経路を得ている。得られた加工経路による加工実験を行い、2.5 次元加工経路に比べて高精度な 3 次元形状の形成が可能となることを確認している。</p> <p>第 5 章では、各章で得られた研究成果を要約し、今後の展望を述べている。</p> <p>以上要するに、本論文では、フェムト秒レーザーにより高精度に 3 次元形状を形成する CAM システムを開発しており、生産工学の分野において、工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 5831 号	氏 名	松元 崇裕
<p>主論文題名：</p> <p style="text-align: center;">ロボットによる回想療法の実現を通じた 高齢者・ロボットインタラクションのデザインに関する研究</p>			
<p>認知症を治療/予防する心理ケア手法に回想法が知られている。回想法は認知症の有力な非薬物療法の1つであるが実施・準備に時間を必要とするため、少子高齢化で介護者が不足する社会では、対話システムなどによる自動化が重要となる。そこで本論文では対話ロボットによる回想法自動化を試み、高齢者ロボットインタラクションに有用な知見の獲得を目指す。</p> <p>回想法の提供には、非タスク指向型対話を10分以上の長時間継続する課題において、高齢者を積極的に対話へ参加させて多くの発話を促すこと、高齢者が対話に対して満足感を得られること、数か月以上の長期間利用を継続させることの3点を解決する必要がある。本論文では本課題に対し、音声対話処理の高度化ではなく、非言語および非対話時のインタラクションデザインで解決するアプローチをとる。</p> <p>本論文は音声認識を用いない対話システムとして、ロボットの発話内容と話番が記述された台本形式の対話シナリオを入力とし、ロボットの視線・ジェスチャを自動決定することで、複数ロボットを制御可能な回想法ロボットシステムを設計する。そして設計システムによりリハビリテーション施設のレクリエーションとして、高齢者にロボット回想法を提供するフィールドスタディを行う。フィールドスタディではアンケートなどの量的データによる有意差検定だけでなく、インタビュー・観察を通じた質的データを組み合わせ、回想法自動化に有用な知見を広く探索することを重視する。</p> <p>本論文では、まず1台ロボットと2台ロボットによる回想法の比較調査を実施した。そして2台ロボットを用いる方式は、10分間の対話において、1台ロボットと比べて高齢者から多くの発話を引き出すことを明らかにした。一方で、若年層を対象とした従来研究の結果とは異なり、2台ロボットによる対話は1台ロボットによる対話と比べて、高齢者の対話への主観評価を下げてしまうことを示した。</p> <p>続けて本論文では、2台ロボットによる対話の主観評価の低下に、対話時の位置関係が影響することを明らかにした。実験室実験と小規模なフィールドスタディを行い、2台のロボットが高齢者の同一視野内に収まらない位置にある場合に、対話における認知負荷が増加し、対話への主観評価が下がることを明らかにした。</p> <p>最後に本論文では、ロボットを長期間利用継続させるために、非対話時の非同期コミュニケーションを用いる手法を提案した。対話データから非同期コミュニケーションの1つである手紙を自動生成するアルゴリズムを示し、約2ヶ月の2つの小規模フィールドスタディを通じて、手紙がロボットの長期利用継続にポジティブな影響を与える可能性を示した。</p> <p>本論文は、複数台ロボット対話や非対話時の手紙コミュニケーションを用いることによる、非タスク指向型の長時間対話における発話促進・主観的対話評価・長期間利用継続を向上させるための新たな手法と調査結果を提示し、ロボットによる回想法の自動化、および高齢者ロボットインタラクションの向上に貢献する知見を示した。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5831 号	氏 名	松元 崇裕
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 今井 倫太
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 萩原 将文
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 高橋 正樹
		慶應義塾大学准教授	博士（メディアデザイン学） 杉浦 裕太
<p>学士（工学）、修士（工学）松元崇裕君提出の学位請求論文は「ロボットによる回想療法の実現を通じた高齢者-ロボットインタラクションのデザインに関する研究」と題し、全 8 章で構成される。</p> <p>本論文は、認知症を治療/予防する心理ケア手法の回想法を、ロボットで自動化するためのデザインに関して行った研究である。回想法の自動化は高齢者の健康寿命延伸につながり、少子高齢社会の課題解決に向けた重要な研究である。本論文は対話ロボット台数・非同期コミュニケーションに着目し、回想法への効果をまとめている。具体的には、2 台のロボットを用いて回想法を行うことが高齢者の発話促進に寄与する一方で、高齢者の主観的対話評価の低下を防止するためには、ロボット 2 台の設置位置を高齢者の視野角内とする必要があることを示した。さらに、高齢者とロボットの非同期コミュニケーションとして手紙を導入し、高齢者のロボットの長期利用継続に効果的であることを示すとともに、高齢者とロボットの対話内容から手紙を自動生成する方法についても提案している。</p> <p>第 1 章では、回想法の自動化が求められる社会背景について論じ、さらに回想法がもつ特性から、発話促進・主観的対話評価向上・長期継続利用という 3 要件を実現する重要性をまとめている。</p> <p>第 2 章では、回想法と介護ロボットの従来研究を紹介し、両研究領域における本研究の位置づけを明確にしている。特に、介護ロボット研究では、非言語インタラクション・短時間対話・長時間対話の 3 領域で従来研究を分類し、各研究分野の動向と本研究の立ち位置を明らかにしている。また同章では、複数ロボット対話・長期関係性構築・非同期コミュニケーションの従来研究を俯瞰し、各研究動向を明らかにするとともに、本研究が対話ロボット台数と非同期コミュニケーションを通じて、3 要件へアプローチする学術的意義を明確にしている。</p> <p>第 3 章では、対話シナリオを入力として、自動でロボットの視線・ジェスチャを生成し、任意台数のロボット制御が可能な回想法ロボットシステム的设计について提案している。</p> <p>第 4 章では、上記の設計システムを用いて、ロボット台数の違いが回想法へ与える効果に着目し、2 台ロボットが 1 台ロボットと比べて多くの発話を引き出すことを明らかにしている。一方で、2 台ロボットは 1 台ロボットと比べ、高齢者の対話主観評価を下げる課題があることを示している。</p> <p>第 5 章では、前章の 2 台ロボットが対話主観評価を下げる要因に、対話時の位置関係が影響することを明らかにし、2 台ロボットが高齢者の同一視野内に収まらない位置にある場合には、対話における負荷が増加し、楽しさなどの対話主観評価が下がることを示している。</p> <p>第 6 章では、回想法ロボットの長期利用継続を実現するため、手紙を用いた非同期コミュニケーション手法を提案している。本論文では対話データから手紙を自動生成するアルゴリズムを提案し、約 2 ヶ月の 2 つの小規模フィールドスタディを通じて、手紙によるコミュニケーションが、高齢者とロボットの長期関係性構築に良い効果を持つ可能性を示している。</p> <p>最後に、第 7 章では全ての調査を通じた総論として回想法ロボットの実現性と、将来的に広く高齢者ロボットインタラクションの領域において必要となる研究領域について議論し、第 8 章では本論文で得られた成果と結論についてまとめている。</p> <p>以上、本論文は、ロボットによる回想法を実現するための複数ロボットの設置位置、非同期コミュニケーションのデザインおよび技法を提案し、対話ロボットを用いた回想法による社会課題解決の可能性を示したものであり、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 5832 号	氏 名	弘中 和衛
主論文題名： A Study on Management System and Parallel Application Library for Stand-Alone FPGA Clusters (スタンドアロン FPGA クラスタのための管理システムおよび 並列アプリケーションライブラリに関する研究)			
<p>第 5 世代モバイル通信(5G)では Multi-access Edge Computing (MEC) と呼ばれるエッジコンピューティング手法が注目されている。MEC は 5G 基地局に設置した計算資源を用いて、処理負荷が高く、低処理レイテンシーへの要求が高い Artificial Intelligence (AI) アプリケーションなどの処理オフローディングが期待されている。本研究では、Field Programable Gate Array (FPGA) の高効率かつ低消費電力な特徴に着目し、MEC の計算機構への適用をめざしたクラスタ型のマルチ FPGA システム「Flow-in-Cloud (FiC)」、その後継システム「M-KUBOS」を開発した。FiC や M-KUBOS は、独立した FPGA ノード同士が直接高帯域ネットワークで結合されたスタンドアロン型の FPGA クラスタである。MEC において FiC や M-KUBOS を適用し活用するには、アプリケーション環境からの FPGA プラットフォームのアクセス性・管理性の確保や、マルチ FPGA を対象としたアプリケーション開発環境の整備が必要である。本研究は FiC や M-KUBOS を対象に、MEC 向けの FPGA プラットフォーム管理システム「FiC-RFC」と、マルチ FPGA を対象とした並列プログラミングを実現する並列ライブラリ「FiC-MPI」を提案する。</p> <p>FiC-RFC は、クラウドプラットフォームで広く用いられている疎結合な API に着想を得て開発した、FiC や M-KUBOS を対象とした FPGA プラットフォーム管理システムである。FPGA ノードのプリミティブな管理操作を RESTful API で提供し、アプリケーション実行場所や環境に依存しない HTTP アクセスによる FiC や M-KUBOS の利用や管理を実現した。FiC-RFC の利用により FPGA プラットフォームのアクセス性や管理性を改善し、MEC での FiC や M-KUBOS の利用性を向上する。</p> <p>また、FiC-MPI は汎用的な並列コンピューティング規格である Message Passing Interface (MPI)に着目し、C/C++を利用した高位合成 (HLS) を利用した FPGA アプリケーションの開発で利用できる並列プログラミングライブラリである。従来の HLS でのアプリケーション開発は、マルチ FPGA を利用する並列アプリケーションを想定していないため、並列アプリケーションのプログラマビリティやデバッグ方法に課題があった。FiC-MPI は FiC や M-KUBOS を対象に MPI のサブセットを実装した並列ライブラリで、FPGA ベンダの標準的な C/C++を用いた HLS 環境で利用できる。FiC-MPI により、アプリケーション開発者はアプリケーションを MPI プログラミングで設計できるため、従来と比較して少ない労力でマルチ FPGA を利用する並列アプリケーションを FiC や M-KUBOS に実装できる。また、マルチ FPGA 環境におけるアプリケーションテスト・デバッグ環境を改善するため、FiC-MPI は MPI 環境をシミュレートする FiC-MPI Simulator 環境を提供する。このシミュレーション環境を用いることで、実機におけるテスト・デバッグの必要性を少なくし、マルチ FPGA アプリケーション開発の効率化・生産性の向上に寄与する。</p> <p>本研究における FPGA プラットフォーム管理システム「FiC-RFC」や、並列アプリケーション開発環境「FiC-MPI」の提案を通じ、MEC において FiC や M-KUBOS などのマルチ FPGA システムを適用するためのベースプラットフォームを確立した。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5832 号	氏 名	弘中 和衛
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） 西 宏章
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 松谷 宏紀
		理化学研究所チームリーダー	博士（情報科学） 佐野 健太郎
<p>工学士、修士（工学）弘中和衛君の博士学位請求論文は、「A Study on Management System and Parallel Application Library for Stand-Alone FPGA Clusters（スタンドアロンFPGA クラスタのための管理システムおよび並列アプリケーションライブラリに関する研究）」と題し、6章から成る。</p> <p>5G 技術の普及と共に、その基地局に設置した計算資源を利用し、クラウドの通信遅延を回避して時間制約のあるジョブを実行する MEC(Multi-access Edge Computing)技術の開発が進んでいる。書き換え可能な大規模集積回路 FPGA（Field Programmable Gate Array）を複数接続した FPGA クラスタは、高いエネルギー効率、ハードウェアによる低遅延処理、優れた規模拡張性から MEC 用の計算資源として注目されている。しかし、本来ハードウェアデバイスである FPGA は、特に MEC への利用が期待されるスタンドアロン型では、プラットフォームとしてのアクセス性が悪く、管理が難しい問題があった。また、マルチ FPGA を対象としたアプリケーションの開発環境は、一般の並列コンピュータに比べて未検討な課題が多かった。本論文は、これらの問題の解決に取り組み、実際のプロトタイプ FPGA クラスタに実装することで、その効果を実証するものである。</p> <p>まず 1 章で研究の背景と目的、論文の全体構成を述べ、2 章で背景となる MEC、マルチ FPGA システムを紹介し、3 章では対象とするプロトタイプ FPGA クラスタ FiC および M-KUBOS クラスタについてその詳細を述べている。</p> <p>4 章以降が本論文の主題である。まず、クラウドプラットフォームで広く用いられている疎結合な API に着想を得て、RESTful API を用いてスタンドアロン FPGA クラスタ管理システムを設計、実装した。このシステムは、HTTP アクセスを利用し、FPGA の構成情報の設定、クラスタ間のルーティング情報の設定など、複数の FPGA を単位としたジョブの割り付け、入出力を実行場所に依存せずに行うことができる。現在、FiC および M-KUBOS クラスタの運用に利用され、既に数多くのアプリケーションプログラムが動作している。</p> <p>次に 5 章では、FPGA クラスタのプログラミング環境の改善のため、汎用的な並列プログラミングライブラリである MPI(Message Passing Interface)を、FPGA の一般的な設計環境である高位合成から直接利用可能とした。この環境に合わせたシミュレータを提供することで、プログラマは、マルチ FPGA アプリケーションの開発を、一般的なクラスタ型コンピュータとほぼ同様に行うことができる。実際のアプリケーション開発例を通して、提案環境が FPGA クラスタのプログラミング効率を大幅に改善することを実証している。6 章は、本論文のまとめと、残された課題について議論している。</p> <p>以上要するに、本論文は、スタンドアロン FPGA クラスタの管理システムと並列プログラミング環境を提案、実装し、実際のシステム上でその有効性を示した点で、工業上、工学上寄与することが少なくない。</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 5833 号	氏 名	田澤 俊介
主論文題名：  ウレタン架橋をした固体のポリ(2-メトキシエチルアクリレート) 血管治療用医療材料の研究			
<p>現在の医療分野において、血液に接触する血管等を治療するにあたり、血管の塞栓につながる血栓の形成を防ぐ抗血栓性材料が重要である。その中でも、特にポリ(2-メトキシエチルアクリレート)(PMEA)は、低コストかつ高い抗血栓性や細胞付着性を有する材料として注目されている。しかしながら、PMEAは-30°Cという低いガラス転移温度から常温では液体状であるため、用途がコーティングに限定されるという課題があった。そのため、PMEAの固体化は用途拡大に必要不可欠である。そこで、PMEAの固体化のために、生体適合性の高さや力学物性の良さで知られるポリウレタンに着目した。本論文の目的は、一般的にポリウレタン合成に利用されるジイソシアネートを用いてPMEAを常温で固体化し、さらに固体化時の架橋種を変化させることで、より医療用に適したPMEAの合成とその物性研究を実施することである。</p> <p>第1章では、現状の抗血栓材料としてのPMEAとその課題を紹介し、その解決策としてのポリウレタン化の手法を提案し、PMEAに応用する際の問題点を述べている。</p> <p>第2章では、両末端にヒドロキシ(-OH)基を有するPMEAを可逆的付加開裂連鎖移動重合(RAFT)法により合成し、ジイソシアネートによる付加重合をおこなうことで、ウレタン結合間の水素結合架橋に由来する固体状PMEAの合成を実施した。さらに、常温で固体化したPMEAに対し、力学物性および抗血栓性の評価を、それぞれ動的粘弾性測定および血小板付着試験を通して実施している。</p> <p>第3章では、第2章で合成したジイソシアネートを含む固体状PMEAにおいて、導入時のジイソシアネートの種類を変えることで物性への影響を考察した。ジイソシアネートは脂肪族、芳香族、シクロ環状構造の3種類の異なる構造を有するものを導入し、ジイソシアネートの構造がPMEAの力学物性および抗血栓性に対してどのような影響を及ぼすかを、動的粘弾性測定および血小板付着試験を通して解析している。</p> <p>第4章では、両末端にOH基を合計4つ有するRAFT剤を用いて合成したPMEAをジイソシアネートにより付加重合をおこなうことで、ウレタン結合に由来する化学架橋を有する固体状PMEAの合成を実施している。さらに、合成したPMEAに対して、動的粘弾性測定を通してその熱硬化性および力学物性の評価を実施している。また、固体状PMEAを水に浸漬させた後に、示差走査熱量測定を実施することで、PMEAの抗血栓性の要因と知られている中間水構造の解析を実施している。</p> <p>第5章では、第2章から第4章にて得られた結果をもとに、本論文を総括している。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5833 号	氏 名	田澤 俊介
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 堀田 篤
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 朝倉 浩一
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 横森 剛
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 高橋 英俊
<p>学士（工学）、修士（工学）を有する田澤俊介君の学位請求論文は「ウレタン架橋をした固体のポリ(2-メトキシエチルアクリレート) 血管治療用医療材料の研究」と題し、全5章から構成されている。本論文をもって、2022年6月より主査・副査による専修での予備審査が執り行われた。主査・副査との個別のディスカッションを幾度か経た後、同年6月20日に予備審査が終了し、同年7月6日に専攻での受理申請が承認された。その後、同年7月13日に公聴会が開催され、最終審査会において論文審査と学識確認を経て本報告に至った。同君の研究成果につき、以下に述べる。</p> <p>本論文は、抗血栓性コーティングとして利用されている液体状医療用ポリマーの固体化による基材等への用途拡大に焦点をあてている。そしてウレタン結合由来の架橋の導入による材料の固体化と抗血栓性材料としての有効性を示すことで、血管治療用医療材料を創ることを目的としている。</p> <p>第1章では、液体状医療用ポリマーであるポリ(2-メトキシエチルアクリレート)(PMEA)の現状と課題点について述べており、課題解決に向けてウレタン結合由来の水素結合および、化学結合由来の架橋導入によるPMEAの固体化について記述し、本研究の目的を述べている。</p> <p>第2章では、両末端にヒドロキシ(-OH)基を有する直鎖状のPMEAを可逆的付加開裂連鎖移動重合(RAFT)法により合成し、ジイソシアネートによる付加重合をおこなうことで、ウレタン結合由来の水素結合架橋を有する固体状PMEAの合成を試みている。さらに、動的粘弾性試験により、水素結合を導入したPMEAは、温度変化により液体状から固体状に変化する熱可塑性を有することを示した。そして、その軟化温度は、水素結合を導入したPMEAの分子量の増加にともなって、25°Cから73°Cまで大きく上昇することが明らかになっている。また、血小板付着試験による抗血栓性の評価では、水素結合架橋を有する固体状PMEAが既存の抗血栓性材料と比較しても高い抗血栓性を有したことが示されている。</p> <p>第3章では、第2章で合成したジイソシアネートを有する固体状PMEAにおいて、水素結合架橋点であるジイソシアネートの種類を変えていき物性への影響を考察した。ジイソシアネートは脂肪族、芳香族、シクロ環状構造の3種類の異なる構造を有するものを導入した。ジイソシアネートの構造が脂肪族から芳香族、さらにはシクロ環状構造に変わることによってPMEAの軟化温度が上昇することが動的粘弾性試験により示された。一方、抗血栓性に関しては、ジイソシアネートの構造に依存せず、既存の抗血栓性材料と比較して高い抗血栓性を維持していることが血小板付着試験による抗血栓性評価によって明らかになっている。</p> <p>第4章では、両末端にOH基を合計4つ有するRAFT剤を用いて枝分かれ構造を有するPMEAを合成した。さらに、そのPMEAをジイソシアネートによる付加重合をすることで、ウレタン結合由来の3次元化学架橋を有する固体状PMEAを合成している。動的粘弾性試験により、3次元化学架橋を有するPMEAが熱安定性を有することが明らかになった。さらに引張試験により、架橋量の増加により、弾性率が100kPaから570kPaまで増加したことがわかった。また、固体状PMEAを水に浸漬させた後に示差走査熱量測定を実施することで、架橋量の増加にともないPMEAの抗血栓性の要因となる中間水の割合が2.8wt%から2.2wt%に減少することを示している。</p> <p>第5章では、各章で得られた結果を総括し、本論文の総論を述べている。</p> <p>以上要するに、本論文では、ウレタン架橋由来の水素結合架橋および化学架橋の導入によるPMEAの固体化により、新しい血管治療用医療材料の研究をおこなっている。これらの技術と知見は、コーティングの用途で知られる液体状PMEAの用途を、人工血管や人工臓器の基材などに拡大するための有効な技術であると位置づけることができ、将来の血管治療用医療材料の低コスト化にも寄与しうる。よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			



# Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5842	Name	Xu, Rongxing
Thesis Title			
<b>Machine Learning Approach to Optimization Problems in Nonequilibrium Thermodynamics</b>			
<p>This thesis aims to develop a systematic method to solve optimization problems in nonequilibrium thermodynamics by machine learning approaches. Solving optimization problems in nonequilibrium thermodynamics is a vital routine to help us to understand statistical physics. However, some problems such as heat engine controlling and shortcuts between states become difficult to solve under general conditions. The machine learning approach as a newly developed method has shown its wide variety of applications in computer science, medicine, and physics in recent decades. As many machine learning problems are formulated as minimization of some loss function, machine learning has the potential to be a systematic method for the aforementioned optimization problems.</p> <p>In this thesis, we focus on applications of machine learning approaches to the problem of finding shortcuts between two equilibrium states with minimum entropy production and the problem of finding the optimal cycle in microscopic heat engines. For the first topic, we propose a systematic method based on reinforcement learning (RL) techniques to find the optimal protocol to minimize the total entropy production between two equilibrium states of open systems at the same temperature in a given fixed time. We successfully apply our method to the classical and quantum two-level systems. We provide a powerful tool to address this problem in quantum systems even with two-dimensional continuous controllable parameters. For the second topic, we propose a systematic method based on the universal approximation property of neural networks to find an optimal heat engine cycle with some objective function. We apply the method to heat engines with both slow and fast-driving parameters. Besides, we also apply the genetic algorithm to the slow-driving case under some constraints. Optimal cycles in the classical overdamped Brownian heat engine and single-qubit heat engine are successfully found by our method. This work is the first to establish a systematic method to find optimal cycles with machine learning approaches.</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5842 号	氏 名	Xu, Rongxing (徐 栄幸)
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士 (理学) 齊藤 圭司
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士 白濱 圭也
		慶應義塾大学教授	医学博士、博士 (理学) 藤谷 洋平
		慶應義塾大学准教授	博士 (工学) 渡辺 宙志
<p>徐栄幸君の学位請求論文は、「Machine Learning Approach to Optimization Problems in Nonequilibrium Thermodynamics (非平衡熱力学の最適化問題における機械学習によるアプローチ)」と題し、全5章より構成されている。</p> <p>第1章では、本論文の全体構成と、本論文で扱う非平衡熱力学での最適化問題の概要が述べられている。様々な科学の分野で機械学習が応用されるなか、非平衡熱力学での最適化問題に機械学習を応用する意義なども説明されている。</p> <p>第2章では機械学習における近年の進歩がまとめられている。機械学習に関する歴史と、教師あり学習や強化学習の概念や方法論の具体的な説明がなされ、3章以降で、非平衡熱力学での最適化問題に機械学習を応用するための準備がなされている。</p> <p>第3章および第4章では、本論文の研究内容が具体的に説明されている。第3章では、系が等温環境にあるときに、あるパラメーターでの平衡分布から、異なるパラメーターの平衡分布に、有限時間内でエントロピー生成が最小になるように両者をつなぐプロトコルを探す問題を考察している。熱力学ではよく知られているように、ある等温分布から別の等温分布に移るには、パラメーターを準静的に動かせばよい。ここでは、有限時間内で両者をつなぎ、さらに発生する散逸 (エントロピー) を最小にするプロトコルを見つける一般的な強化学習の方法論を提唱している。まず、複数の制限下で強化学習を効率よく実行するための方法論が、まとめられている。さらに、その方法論を、2準位系を使った具体的な系に適用している。機械学習で得たプロトコルの精度を考察するにあたっては、古典極限でのダイナミクスで最適化問題を解析的に厳密に解き、その厳密なプロトコルと機械学習でのプロトコルを比較することによって注意深く行われている。一連の結果から、提唱した機械学習による方法論は、十分に機能していることが結論づけられている。</p> <p>第4章では、微小系の熱機関を考え、効率と仕事率をともに高くするためのサイクルを探すという問題が、議論されている。通常、サイクルが与えられたときに、熱的環境下でのダイナミクスを解くことによって、熱効率や仕事率が計算される。ここでは、その逆を考え、熱効率の下限や仕事率の下限が与えられたときに、許されるパラメーター空間内でそれを満たすサイクルを探すという最適化問題を考える。最初に遺伝的アルゴリズムによる方法論が展開され、具体的に2準位系やブラウン粒子熱機関で最適なサイクルを見つけるとともに、そのサイクルの物理的な性質が議論されている。次に、機械学習が導入され、さらに高精度で汎用性の高い方法論が提唱されている。機械学習では、周期関数の学習理論があまり研究されていないが、最適な活性化関数が導入されている。提唱された方法論は、2準位系の熱機関に適用され、最適サイクルが精度良く見つけられるということが結論づけられている。これらの研究から、微小系での熱機関に対して、最適サイクルを見つける精度の高い方法論が確立された。</p> <p>第5章では、この論文のまとめと今後の展望が書かれている。</p> <p>本論文において著者は、非平衡熱力学における2つの最適化問題に対して機械学習を使う方法論を提唱している。その方法論は、今後の当該分野の発展に大きく貢献すると期待され、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5843号	氏名	栗澤 尚瑛
主論文題名： 海洋シアノバクテリア由来抗トリパノソーマ物質および カルシウムポンプ阻害剤の構造と生物活性			
<p>これまでに、特異な構造や生物活性を有する海洋天然物が多数発見され、有機化学をはじめとする関連分野を進展させてきた。近年、海洋天然物の真の生産者の多くは海洋シアノバクテリアをはじめとする微細藻類であることが明らかとなっており、これら直接の生産者を対象とした探索研究が注目を集めている。また先行研究において、海洋シアノバクテリアの産生する二次代謝産物の多様性は、生息地の海洋環境の違いに起因することが示唆されている。著者はこの点に着目し、国内の沖縄・奄美大島の亜熱帯地域において、所属研究室がこれまで採集活動を行わなかった地域を中心に海洋シアノバクテリアの採集を行い、含まれる二次代謝産物の探索研究を行った。</p> <p>第1章の序論では、天然物の探索研究における歴史と発展やその重要性、物質探索研究における海洋シアノバクテリアの有用性について概説している。</p> <p>第2章では、沖縄県伊平屋村野甫島にて採集した海洋シアノバクテリア <i>Dapis</i> sp. より発見した3種の新規鎖状ペプチド <i>iheyamide</i> A-C の単離、構造決定、生物活性について報告している。全ての化合物について、二次元 NMR を中心とした分光学的手法を用いて平面構造を明らかにし、分解反応により得られた各アミノ酸を標品のキラルカラムにおける保持時間と比較することで絶対立体配置を決定した。<i>Iheyamide</i> A はヒト正常細胞と比較して選択的な抗トリパノソーマ活性を示す一方で、類縁体である <i>iheyamide</i> B および C は上記の生物活性を示さないことから、C 末端側のピロリノン環が抗トリパノソーマ活性に必須であることを明らかにした。</p> <p>第3章では、鹿児島県大島郡徳之島にて採集された海洋シアノバクテリア <i>Salileptolyngbya</i> sp. より発見した新規鎖状デブシペプチド <i>kinenzoline</i> の単離、構造決定、生物活性について報告している。<i>Kinenzoline</i> は二次元 NMR を中心とした分光学的手法および分解・誘導反応により、絶対立体配置を含めた全構造を決定した。<i>Kinenzoline</i> はヒト正常細胞と比較して選択的な抗トリパノソーマ活性を示した。</p> <p>第4章では、沖縄県伊江島で採集した海洋シアノバクテリア <i>Leptochromothrix valpauliae</i> より発見した新規ペプチド-ポリケチドハイブリッド配糖体 <i>iezoside</i> の単離、構造決定、全合成、生物活性について報告している。<i>Iezoside</i> は二次元 NMR を中心とした分光学的手法により平面構造を決定し、一部の絶対立体配置は分解・誘導反応により決定した。ポリケチド部分の18位および19位の絶対立体配置については、計算化学を駆使し、モデル化合物の可能な4つのジアステレオマーについて計算を行い、候補を (18<i>R</i>,19<i>R</i>) もしくは (18<i>S</i>,19<i>R</i>) に絞り込んだ。最終的に、上述した立体化学を有する <i>iezoside</i> をそれぞれ全合成した。(18<i>R</i>,19<i>R</i>) 体の各種スペクトルデータが天然品と完全に一致したため、<i>iezoside</i> の全ての絶対立体配置を明らかにするとともに、本研究で用いた計算化学の妥当性を実証した。また、<i>iezoside</i> は子宮頸がん細胞 HeLa に対し、極めて強力な増殖阻害活性を示すことから、その標的分子同定に着手した。最終的に、<i>iezoside</i> は小胞体膜上のカルシウムポンプである SERCA を強力に阻害することでがん細胞に小胞体ストレスを誘導し、細胞死と細胞周期遅延の両方を誘導することを明らかにした。</p> <p>第5章では、これらの研究を総括した。本研究を通じて、著者は海洋シアノバクテリアから5種の新規生物活性物質を発見し、その構造と生物活性を明らかにした。特に <i>iezoside</i> については、計算化学を駆使して立体を決定し、その全合成を達成すると共にがん細胞に対する作用メカニズムを明らかにした。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5843 号	氏 名	栗澤 尚瑛
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 末永 聖武
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 藤本 ゆかり
		慶應義塾大学教授	博士（薬学） 荒井 緑
		慶應義塾大学准教授	博士（理学） 犀川 陽子
<p>学士（農学）、修士（農学）栗澤尚瑛君提出の学位請求論文は「海洋シアノバクテリア由来抗トリパノソーマ物質およびカルシウムポンプ阻害剤の構造と生物活性」と題し、序論、本論、総括および実験項より構成されている。特異な構造や生物活性を有する海洋天然物が多数発見されており、有機化学をはじめとする関連分野を進展させてきた。著者は、二次代謝産物の多様性が、海洋生物生息地の環境の違いに起因するとの着想に基づき、これまであまり採集活動が行われていない地域を中心に海洋シアノバクテリアの採集を行い、含まれる二次代謝産物の探索研究を行った。</p> <p>第 1 章の序論では、天然物の探索研究における歴史と発展やその重要性、物質探索研究における海洋シアノバクテリアの有用性について概説している。</p> <p>第 2 章では、沖縄県伊平屋村野甫島にて採集した海洋シアノバクテリア <i>Dapis</i> sp. より発見した 3 種の新規鎖状ペプチド <i>iheyamide</i> A-C の単離、構造決定、生物活性について述べている。全ての化合物について、二次元 NMR を中心とした分光学的手法を用いて平面構造を明らかにし、分解反応により得られた各アミノ酸を標品のキラルカラムにおける保持時間と比較することで絶対立体配置を決定した。<i>iheyamide</i> A はヒト正常細胞と比較して選択的な抗トリパノソーマ活性を示す一方で、類縁体である <i>iheyamide</i> B および C は上記の生物活性を示さないことから、C 末端側のピロリノン環が抗トリパノソーマ活性に必須であることを明らかにした。</p> <p>第 3 章では、鹿児島県大島郡徳之島にて採集された海洋シアノバクテリア <i>Salileptolyngbya</i> sp. より発見した新規鎖状デプシペプチド <i>kinenzoline</i> の単離、構造決定、生物活性について述べている。二次元 NMR を中心とした分光学的手法および分解・誘導反応により、<i>kinenzoline</i> の絶対立体配置を含めた全構造を決定した。<i>kinenzoline</i> はヒト正常細胞と比較して選択的な抗トリパノソーマ活性を示した。</p> <p>第 4 章では、沖縄県伊江島で採集した海洋シアノバクテリア <i>Leptochromothrix valpauliae</i> より発見した新規ペプチド-ポリケチドハイブリッド配糖体 <i>iezoside</i> の単離、構造決定、全合成、生物活性について述べている。二次元 NMR を中心とした分光学的手法により <i>iezoside</i> の平面構造を決定し、一部の絶対立体配置は分解・誘導反応により決定した。ポリケチド部分の 18 位および 19 位の絶対立体配置については、計算化学を駆使し、モデル化合物の可能な 4 つのジアステレオマーについて計算を行い、候補を (18<i>R</i>,19<i>R</i>) もしくは (18<i>S</i>,19<i>R</i>) に絞り込んだ。さらに、これら 2 種の立体配置を有する <i>iezoside</i> をそれぞれ全合成した。(18<i>R</i>,19<i>R</i>) 体の各種スペクトルデータが天然品のもものと完全に一致したため、<i>iezoside</i> の全ての絶対立体配置を明らかにするとともに、本研究で用いた計算化学の妥当性を実証した。<i>iezoside</i> は子宮頸がん細胞 HeLa に対し、極めて強力な増殖阻害活性を示す。その標的分子同定・作用機構解析を行なった結果、<i>iezoside</i> は小胞体膜上のカルシウムポンプである SERCA を強力に阻害することでがん細胞に小胞体ストレスを誘導し、細胞死と細胞周期遅延の両方を誘導することを明らかにした。</p> <p>第 5 章は、研究の総括である。</p> <p>以上、著者は海洋シアノバクテリアから 5 種の新規生物活性物質を発見し、その構造と生物活性を明らかにした。特に <i>iezoside</i> については、その全合成を達成し、がん細胞に対する作用機構を明らかにした。本研究成果は天然物化学のみならず、医学・薬学・生命科学など関連分野にも貢献するものである。よって、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第5844号	氏名	水田 隼斗
主論文題名：  C-mannosylation 基質タンパク質の細胞生物学的解析			
<p>ポストゲノム時代においてトランスクリプトームやプロテオーム解析は生命現象を理解するための有用な情報を数多く提供している。しかし、遺伝子情報のみでは説明が困難な現象も多く存在する。その要因の1つとして考えられるのが、タンパク質の翻訳後修飾である。本研究では翻訳後修飾の中でも糖鎖修飾、特に基質タンパク質の報告例が比較的少ない C 型糖修飾(C-mannosylation)に注目して研究を行った。</p> <p>(1) Rspo2 における C-mannosylation の同定とその機能解析</p> <p>がんなどの疾病に関与している Rspo2 リコンビナントタンパク質を粗精製し、質量分析を行ったところ、Trp<sup>150/153</sup> の2か所で C-mannosylation されることを同定した。この C-mannosylation の機能を解析するために、野生型 Rspo2 と W150A/W153A 変異型 Rspo2 をそれぞれ過剰発現させた細胞株を樹立し、機能を比較した。その結果、C-mannosylation は Rspo2 の細胞外分泌量を細胞種により正負どちらにも調節することや、小胞体からゴルジ体への輸送に重要であることが明らかになった。また、Rspo2 は C-mannosylation されることで、Wnt/<math>\beta</math>-catenin 経路アゴニスト活性が上昇し、細胞遊走能も促進することが示された。</p> <p>(2) RAMP1 における C-mannosylation の同定とその機能解析</p> <p>細胞膜1回貫通タンパク質であり、様々な細胞内シグナル伝達に関与している RAMP1 の細胞外ドメインを粗精製し、質量分析を行ったところ、RAMP1 の Trp<sup>56</sup> が C-mannosylation されることを同定した。野生型 RAMP1 と W56F 変異型 RAMP1 との比較により、この C-mannosylation が RAMP1 の安定性や HT1080 細胞における細胞遊走能促進活性に重要な役割を果たすことが示唆された。一方で、RAMP1 の重要な機能である、カルシトニン受容体様受容体(CLR)の細胞膜輸送に関しては影響を与えなかった。</p> <p>本研究により C-mannosylation 基質タンパク質として新たに Rspo2 および RAMP1 の2つのタンパク質を同定した。上記のタンパク質はがんなどの疾患とも関連が報告されているため、新規治療法やバイオマーカーとしての活用ができる。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5844 号	氏 名	水田 隼斗
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 清水 史郎
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 末永 聖武
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 宮本 憲二
		慶應義塾大学准教授	医学博士 松本 緑
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 高橋 大介

  

学士（工学）、修士（理学）の水田隼斗君提出の学位請求論文は「*C*-mannosylation 基質タンパク質の細胞生物学的解析」と題し、序論、本論、総括および実験項より構成されている。糖鎖修飾の異常はがんなどの疾患とも密接に関係しており、バイオマーカーや新規治療標的としての応用が期待される。*C*-mannosylation は、マンノース単糖がアミノ酸配列中のトリプトファンと炭素—炭素結合で付加する糖修飾である。初めて報告されてから 25 年以上経過しているが、基質タンパク質の報告例が少なく、機能や疾患との関連性に関して未解明な点が多い。本論文では *C*-mannosylation コンセンサス配列を満たす Rspo2、RAMP1、ANGPTL4 の 3 つのタンパク質に注目し、*C*-mannosylation の有無とその機能に関して記述している。

第 1 章は序論であり、*C*-mannosylation を含む糖鎖修飾、そして本論文で注目した各タンパク質について概説し、本研究の目的に言及している。

第 2 章では Rspo2 の *C*-mannosylation について記述している。分泌型タンパク質である Rspo2 の Trp<sup>150</sup> および Trp<sup>153</sup> の 2 か所が *C*-mannosylation されることを初めて明らかにした。肺がん、乳がん、膵臓がん、さらに線維肉腫由来の細胞株を用いて、それぞれ野生型 Rspo2 と *C*-mannosylation が起こらない Trp<sup>150</sup>/Trp<sup>153</sup> 変異型 Rspo2 を過剰発現させ、Rspo2 の機能に与える影響を解析した。その結果、線維肉腫由来細胞株では *C*-mannosylation が Rspo2 の細胞外分泌を正に制御する一方で、それ以外の細胞株では負に制御することが示された。また Rspo2 は様々ながんで異常な活性化が報告される Wnt/ $\beta$ -catenin 経路のアゴニストとして知られているが、*C*-mannosylation はこのアゴニスト活性を促進することが明らかになった。さらに野生型 Rspo2 過剰発現細胞では、変異型 Rspo2 過剰発現細胞と比較してがんの転移と強い結びつきがある細胞遊走能が有意に促進された。以上より Rspo2 の *C*-mannosylation は、Rspo2 の有する機能を促進させ、がん悪性を誘導する可能性が示された。

第 3 章では、RAMP1 の *C*-mannosylation について記述している。現在報告されている *C*-mannosylation 基質タンパク質は、TSR superfamily もしくは I 型サイトカイン受容体が大部分を占める。そこで、それらのタンパク質群に属さない細胞膜 1 回貫通タンパク質の RAMP1 に注目した。本研究で RAMP1 の Trp<sup>56</sup> が *C*-mannosylation されることを初めて明らかにし、本修飾が RAMP1 の安定性に重要であることや、細胞遊走能を促進することを証明した。以上より、*C*-mannosylation が基質タンパク質の機能を制御することは TSR superfamily や I 型サイトカイン受容体に偏ることなく、普遍的であることが示唆された。

第 4 章では、RAMP 1 と同様に TSR superfamily タンパク質にも I 型サイトカイン受容体にも属さない分泌型タンパク質 ANGPTL4 に注目した。しかし ANGPTL4 の Trp<sup>380</sup> は、コンセンサス配列を満たすにも関わらず、*C*-mannosylation されなかった。この結果は、より詳細な *C*-mannosylation コンセンサス配列の提唱にもつながり、今後 *C*-mannosylation 研究がさらに発展することが期待される。

第 5 章では総括として、各章で得られた結果から、*C*-mannosylation が基質タンパク質に与える影響について知見をまとめ、展望を記述している。

本研究は、Rspo2 および RAMP1 タンパク質が *C*-mannosylation されることを明らかにした。さらに *C*-mannosylation は基質タンパク質を介して細胞遊走能や Wnt/ $\beta$ -catenin 経路などに作用し、がんの進行を促進する可能性が示され、本研究は学術的に非常に意義深い。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5845号	氏名	林 正彬
主論文題名：  Functional manipulation of interhemispheric connections through brain-computer interfacing (ブレイン・コンピュータ・インターフェースによる大脳半球間投射の機能的操作)			
<p>ヒトの大脳半球間には多数の神経接続が存在し、認知や運動などの様々な機能の形成に関与している。このうち運動機能については、左右の体性感覚運動野を相互に抑制し、過剰な運動出力を統制する半球間抑制現象（Interhemispheric inhibition, IHI）が深く関与しており、随意運動の生成に重要であることが示されている。しかし脳卒中を発症すると、損傷半球から非損傷半球への IHI は減少し、非損傷半球から損傷半球への IHI が過剰に増大するため、結果的に随意運動の生成が困難になる。これまで、IHI 強度を是正するための試みとして、標的脳領域に対する電磁気刺激や末梢神経刺激による外的な脳賦活がおこなわれてきたが、いずれも内的な IHI の自己調節は実現できておらず、その効果は限定的であった。そこで本研究では、大脳皮質活動を電氣的に計測し、体性感覚運動野における興奮性の自己調節を訓練するブレイン・コンピュータ・インターフェース（Brain-Computer Interface, BCI）を用いて、標的半球特異的な興奮性調節をおこない、IHI 強度を随意的に操作することができるか検討した。</p> <p>第1章は序論である。IHI が運動機能に与える生理学的な影響について概説した。次に、これまで用いられてきた IHI 強度を操作するための手法について説明した。最後に、新規なアプローチである BCI についての知見と課題をまとめ、本研究の目的を述べた。</p> <p>第2章では、左右両側の体性感覚運動野の活動を同時に実時間推定して視覚提示することで、それらの随意的な調節方法を訓練する BCI を構築した。大脳皮質から両側性の神経投射があることが知られている肩と、一側の大脳半球からの神経投射が支配的な手指を対象筋として、左半球の興奮性は上昇、右半球は低下させることで左半球特異的な興奮性上昇を誘導する BCI 訓練と、その逆のパターンを誘導する BCI 訓練をそれぞれおこなった。健常成人 12 名を対象にランダム化クロスオーバー法にて計 4 日間の BCI 訓練をおこなった結果、肩を対象筋とした場合は左右どちらの半球であっても標的半球における興奮性を誘導した一方で、手指を対象筋とした場合は支配半球においてのみ興奮性を誘導することを示した。これらの結果から、構築した BCI は標的半球特異的な興奮性を誘導できることを確認し、またその訓練効果は大脳皮質から骨格筋に至る神経投射構造の差異を反映する可能性を示した。</p> <p>第3章では、前章で構築した BCI と二連発経頭蓋磁気刺激法を用いて、IHI 強度を随意的に操作することができるか検証した。健常成人 24 名を対象に標的半球の興奮性を随意調節する訓練をおこない、一定の興奮性レベルに達したタイミングで刺激を与えることでその時の IHI 強度を評価した。その結果、標的半球特異的な興奮性誘導が確認されるとともに、一側の運動野興奮性に付随して IHI も変化することが示された。以上の結果から、本 BCI を用いた標的半球興奮性の随意的な調節により IHI 強度、すなわち特定の神経回路状態を操作できることを明らかにした。</p> <p>第4章は結論である。本研究の成果を総括し、その重要性と今後の展望を述べている。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5845 号	氏 名	林 正彬
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授 博士（工学）	牛場 潤一
	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）	榭原 康文
		慶應義塾大学教授 博士（工学）・博士（医学）	満倉 靖恵
<p>学士（工学）、修士（理学）林正彬君提出の博士学位請求論文は、「Functional manipulation of interhemispheric connections through brain-computer interfacing（ブレイン・コンピュータ・インターフェースによる大脳半球間投射の機能的操作）」と題し、全4章から成る。ヒトの大脳半球間にみられる神経投射のうち、半球間抑制（interhemispheric inhibition, IHI）は身体運動の随意制御に重要な役割を果たしている。脳卒中を発症すると、IHIは亢進し、片麻痺は重症化することから、IHI強度を随意的に操作する手法の開発が求められていた。本論文では、大脳皮質活動を頭皮上から電氣的に計測し、体性感覚運動野における興奮性の自己調節を訓練するブレイン・コンピュータ・インターフェース（Brain-Computer Interface, BCI）を用いることで、標的半球に特異的な興奮性の調節が可能であることを示し、これによってIHI強度を随意的に操作できることを明らかにした。</p> <p>第1章は序論で、IHIが運動機能に与える生理学的な機序を概説している。また、IHI強度を操作するための既存手法の特徴が説明されている。最後に、新規なアプローチであるBCIについての知見と課題がまとめられ、本研究の目的が述べられている。</p> <p>第2章では、左右両側の体性感覚運動野の活動を同時に実時間推定し、それを視覚提示するBCIを用いることで、左右の活動を個別に随意調節できることが述べられている。具体的には、大脳皮質から両側性の神経投射があることが知られている肩と、一側性の神経投射が支配的な手指を対象筋とした。左半球の興奮性を上昇、右半球は低下させることで左半球特異的な興奮性上昇を誘導するBCI訓練と、その逆のパターンを誘導するBCI訓練が行われた。健常成人12名を対象にランダム化クロスオーバー法にて計4日間のBCI訓練をおこなった結果、肩を対象筋とした場合は左右どちらの半球であっても標的半球における興奮性を誘導できた。一方で、手指を対象筋とした場合は支配半球においてのみ興奮性の誘導が可能であった。これらの結果から、今回構築したBCIは標的半球特異的に興奮性を誘導できること、およびその訓練効果は大脳皮質から骨格筋に至る神経投射構造の差異を反映する可能性が示された。</p> <p>第3章では、前章で構築したBCIと二連発経頭蓋磁気刺激法を用いて、IHI強度が随意的に操作可能であることを実証している。具体的には、健常成人24名を対象に標的半球の興奮性を随意調節するBCI訓練をおこない、一定の興奮レベルに達したタイミングで体性感覚運動野に刺激を与え、得られたIHI強度の変調度が検討された。その結果、BCIによる標的半球特異的な興奮性誘導が確認されたとともに、一側の運動野興奮性に随伴してIHIは変化した。以上の結果から、BCIを用いた標的半球興奮性の随意的な調節によりIHI強度を操作できることが明らかになった。</p> <p>第4章は結論である。本研究を総括するとともに、BCIが脳卒中片麻痺をはじめとした神経原性運動障害の治療として臨床応用される可能性について述べている。また、その実現に向けて必要な検討項目（例えば病態脳からの適切な脳波計測や分析方法、個々人の治療反応性の違いなど）について、主な課題を挙げながら言及している。</p> <p>以上、本論文の成果は、左右両側の体性感覚運動野の活動を同時に実時間推定して視覚提示するBCIを用いることで、標的半球特異的な興奮性の能動的な自己調節が可能であることと、これによって大脳半球間のIHI強度を内的かつ随意的に操作できることを示したことであり、身体運動を支える神経機構の理解や神経リハビリテーションの更なる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（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 5846 号	氏 名	安孫子 涼
主論文題名：			
画像生成モデルを考慮した深層学習による映り込みと影除去に関する研究			
<p>画像は様々な要因によって劣化が発生し、それらの劣化は異常検知や画像分類などの応用手法における精度にも影響を与える。また近年ではスマートフォンやSNSの普及によって個人が写真を扱う機会も増えており、劣化の含まれない画像を得ることは多くの需要が存在する。画像の劣化は、劣化が含まれる過程から加法性の劣化と乗法性の劣化に大別することができるが、最終的には1つのシステムでこれらすべての劣化を取り除くことが望まれる。しかしながら、現時点では1つのシステムですべての劣化を除去することは難しいため、特定の条件に焦点を当てて画像における劣化の除去に関する研究を行った。本研究では加法性の劣化として映り込み、乗法性の劣化として影の除去について扱い、一般的な画像処理手法よりも高い性能を発揮している深層学習に基づいた手法の研究を行った。カメラの画像取得モデルに基づいた新しい画像生成モデルの利用と、それに応じたネットワーク構造と損失関数の設定によって、従来の深層学習に基づいた手法よりも高い精度で劣化を除去できる手法を提案した。また様々な画像処理の前処理として用いられるエッジ保存平滑化フィルタに関して新たな手法を提案し、ネットワークの入力画像に対して前処理を行うことによる学習への影響について調査した。</p> <p>第1章では研究背景とそれに伴う研究目的について述べた。</p> <p>第2章では前処理として用いられる平滑化フィルタに関して述べ、また深層学習に関する基礎理論と、映り込みモデル、影モデル、それらを利用した複数の従来研究について概説した。</p> <p>第3章では前処理のための手法として、新しいエッジ保存平滑化フィルタを提案した。提案手法ではパッチ単位での処理を行う一方で、輝度値を考慮した画素間の距離を新たに定義することで、高速かつエッジ保存性能の高い平滑化フィルタを提案した。</p> <p>第4章では映り込み除去手法について考察し、2つの手法の提案を行った。映り込み除去は、1枚の写真から撮影の対象である風景と映り込んだ風景を分離するタスクである。そこで2つの風景には互いに相関性がないものとの考え、これらの相関が低くなるような学習方法を提案したのが1つ目の手法である。また2つ目の手法では白飛びが発生した領域に対して事前処理を行うことで、映り込み除去性能の向上を目指した。これらの手法は複数のデータセットにおいて従来の手法よりも高い精度で映り込みを除去できることを示したが、特定のデータセットに対しては性能が下がってしまう場合があることも確認している。</p> <p>第5章では影除去手法の提案を行った。影モデルに基づいた変換を学習用画像に施すことによって、ネットワーク学習時に使用する画像の多様性を向上させた。学習用データセットの拡張と新しいネットワーク構造の提案によって、従来手法と比べて高い精度で影を除去できることを示した。また提案したエッジ保存平滑化フィルタを用いることで、ネットワークに対する入力データへの前処理が与える影響について調査した。</p> <p>第6章では本研究によって得られた成果を結論としてまとめ、今後の展望について記載した。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5846 号	氏 名	安孫子 涼
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 池原 雅章
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 萩原 将文
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 青木 義満
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 久保 亮吾
<p>学士(工学)、修士(工学) 安孫子涼君提出の学位請求論文は「画像生成モデルを考慮した深層学習による映り込みと影除去に関する研究」と題し、6章から構成されている。</p> <p>画像は様々な要因によって劣化が発生し、それらの劣化は異常検知や画像分類などの応用における精度にも影響を与える。また近年ではスマートフォンやSNSの普及によって個人が写真を扱う機会も増えており、劣化の含まれない画像を得ることは多くの需要が存在する。本研究では加法性の劣化として映り込み、乗法性の劣化として影の除去について扱い、一般的な画像処理手法よりも高い性能を発揮している深層学習に基づいた劣化除去の研究を行っている。カメラの画像取得モデルに基づいた新しい画像生成モデルの利用と、それに応じたネットワーク構造と損失関数の設定によって、従来の深層学習による方法よりも高い精度で劣化を除去できる手法を提案している。また様々な画像処理の前処理として用いられるエッジ保存平滑化フィルタに関して新たな方法を提案し、ネットワークの入力画像に対して前処理を行うことによる学習への影響について考察している。</p> <p>第1章では、研究背景と研究目的について述べている。</p> <p>第2章では、前処理として用いられる平滑化フィルタに関して述べ、また深層学習に関する基礎理論と、映り込みモデル、影モデル、それらを利用した複数の従来研究について概説している。</p> <p>第3章では、前処理のための手法として、新しいエッジ保存平滑化フィルタを提案している。パッチ単位での処理を行う一方で、輝度値を考慮した画素間の距離を新たに定義することで、高速かつエッジ保存性能の高い平滑化フィルタを提案している。</p> <p>第4章では、映り込み除去手法について考察し、2つの手法の提案を行っている。映り込み除去は、1枚の写真から撮影の対象である風景と映り込んだ風景を分離するタスクである。そこで2つの風景には互いに相関がないので、これらの相関が低くなるような学習方法を提案したのが1つ目の手法である。また2つ目の手法では白飛びが発生した領域に対して事前処理を行うことで、映り込み除去性能の向上を目指した。これらの手法は複数のデータセットにおいて従来の手法よりも高い精度で映り込みを除去できることを示している。</p> <p>第5章では、影モデルに基づいた変換を学習用画像に施すことによって、ネットワーク学習時に使用する画像の多様性を向上させた。学習用データセットの拡張と新しいネットワーク構造の提案によって、従来手法と比べて高い精度で影を除去することに成功している。またネットワークに対する入力データにエッジ保存平滑化フィルタを用いることで、影除去性能が改善することを示している。</p> <p>第6章では、本研究によって得られた成果をまとめ、今後の展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本研究は深層学習による写り込みと影の除去方法を提案したものであり、従来法に比べ高品質な画像の復元を実現しており、画像工学分野において工学上、工業上寄与するところが少なくない。</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5847号	氏名	小野 雅司
主論文題名：			
相変化材料に基づく自己適応型放射制御の提案と実証			
<p>所望の波長領域において光波、電磁波の透過、反射、吸収、あるいは伝搬方向や偏光を制御する技術が広く求められている。これらの要求に応えるべく、近年ナノフォトニクス分野において、フォトニック結晶やプラズモニクス、さらにはメタマテリアルやメタサーフェス等の新しいサブ波長光学構造の概念が生まれた。中赤外域での光学制御の大きな進展として、2014年に大気窓（波長8～13 μm）に対する波長選択的な熱放射制御が実現し、無電化で物体を冷却する日中放射冷却が実証された。これに端を発し、人工的な光学構造に基づいた中赤外熱放射制御の研究が急速に活発化したが、既存研究の大半は、光学特性のチューニングやスイッチング機能を有さない静的な動作の実証にとどまっている。放射冷却応用において熱放射特性が静的に固定化されると、夜間や気温が低い季節であっても冷却が継続するため、暖房コストの増加が懸念される。課題解決のためには、中赤外領域における放射率を外環境温度に応じて自己適応的に制御する、すなわち暑い時には熱放射を促進し、冷たい時には抑制する機能を具備させることが必要である。そこで本研究では、温度応答性相変化材料に着目し、環境温度の変化に対して自己適応的に放射率制御が可能な光学積層構造の提案、設計、実験実証を行った。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景および研究目的について述べた。</p> <p>第2章では、本研究の基礎となる概念として、日中放射冷却の理論について述べた。また本論文の光学構造を構成する相変化材料やプラズモンナノ粒子、及びその作製方法等について述べた。</p> <p>第3章では、日中放射冷却を目的とし、外気温に応じて放射率が変化する光学構造の理論提案とその効果について論じた。具体的には相変化材料（VO<sub>2</sub>）に基づいた簡素な積層構造によって、相変化温度を臨界点とした理想的な放射率スイッチングが大気窓領域において実現できることを示した。また本構造は、太陽光遮蔽を可能とするフィルター構造と放射冷却構造の組み合わせからなる為、二構造間の輻射の相互作用を考慮した、放射冷却能力算出の新たな理論式を構築した。設計した構造は、日中で外気温-9℃の冷却効果を示す傍ら、朝晩では殆ど冷却効果を示さない、自己適応型放射冷却構造となっていることを示した。</p> <p>第4章では、赤外域の放射率を、スケラブルな方法で動的に変調する新たな構造について提案し、実験実証を行った。波長選択的に光学特性を制御するための構成要素として、化学的な方法で合成されたプラズモンナノ粒子とVO<sub>2</sub>ナノ粒子に着目した。そしてそれらの塗布積層膜により、環境温度に応じて赤外放射率を動的に変調できること、即ち自己適応型の放射率制御を実証した。また、光学長にともなって放射率が変化する機構を、電磁界解析と転送行列計算によって明らかにした。本構造の有望な応用として、動的放射冷却や蓄熱、熱カモフラージュ等への適用を提示した。</p> <p>第5章は結論であり、本研究を総括し、今後の展望について述べた。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5847 号	氏 名	小野 雅司
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 齋木 敏治
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 野田 啓
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 木下 岳司
		慶應義塾大学教授	博士（理学） 渡邊 紳一

学士（理学）、修士（工学）小野雅司君提出の学位請求論文は「相変化材料に基づく自己適応型放射制御の提案と実証」と題し、5章から構成されている。

近年、フォトリソグラフィやメタサーフェスなどの人工的光学構造による熱放射制御の研究が盛んである。日中放射冷却技術はその一つであり、太陽光の吸収を抑えつつ、大気の窓とよばれる中赤外熱輻射領域における放射率の最大化を目指すものである。日中放射冷却に関する先行研究の大半は、光学特性のチューニングやスイッチング機能を有さない静的な動作の実証にとどまっている。日中放射冷却素子において熱放射特性が静的に固定化されていると、夜間や気温が低い季節であっても冷却機能が持続するため、暖房コストの増大が懸念される。この問題を解決するためには、中赤外領域における放射率を環境温度に応じて自己適応的に制御する機能を具備させることが必要である。本論文では、温度変化とともに絶縁体-金属相変化を示すVO<sub>2</sub>を利用することにより、環境温度とともに放射率を自己適応的に制御可能な光学積層構造を提案、設計している。さらに、設計した構造をウェットプロセスのみで作製し、自己適応的動作を実証している。

第1章では、研究背景として日中放射冷却技術の先行研究、ならびに環境温度に応じた動的制御の必要性について述べ、その実現手段としてナノフォトニクスによる波長選択的光学特性制御について概説している。最後に本研究の目的を述べている。

第2章では、日中放射冷却の原理を説明し、その自己適応的制御に向けた光学構造の設計指針、ならびにその作製に必要となる中赤外プラズモニクス材料（Indium Tin Oxide, ITO）、絶縁体-金属相変化材料（VO<sub>2</sub>）について述べている。

第3章では、自己適応型放射冷却構造の理論的提案について述べている。VO<sub>2</sub>/誘電体/金属反射層からなる共振器構造において、VO<sub>2</sub>が金属相（高温相）の場合、多重反射によってVO<sub>2</sub>による強い中赤外吸収、すなわち高い熱放射率が得られる一方、VO<sub>2</sub>が誘電体相（低温相）の場合は低損失の誘電体積層膜となり、熱放射が生じないことを原理として説明している。本素子と太陽光遮蔽フィルターを組み合わせることにより、日中は外気温-9℃の冷却効果を示す傍ら、夜間は冷却を抑制する自己適応的動作となっていることを示している。

第4章では、実際の素子作製までを想定し、ITOとVO<sub>2</sub>を用いる新たな共振器構造を提案している。ITOが中赤外光吸収を担い、VO<sub>2</sub>が光学長可変層として機能することを原理として説明している。化学的方法で合成したITO/VO<sub>2</sub>ナノ粒子の塗布積層膜を作製し、自己適応的な放射率制御を実証している。本構造の設計自由度を活かした応用として、蓄熱、熱カモフラージュ等を提示している。

第5章では、本研究を総括し、日中放射冷却素子の設計と作製に関する今後の展望を述べている。

以上要するに、本論文は環境温度に応じて自己適応的に熱放射制御が可能な相変化光学構造を提案し、さらにウェットプロセスでの素子作製と動作実証を行ったものであり、光工学、伝熱工学分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

# Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5848	Name	Thompson Diraviam Andrew, Joel
Thesis Title			
Cognitive Grasping and Manipulation of Unknown Object Based on Cyber Physical System Approach			
<p>Soft robotics application is growing, and several industries are researching to build the capabilities in service robots to flexibly adapt their behavior when interacting with humans. Service robots require ability to perceive, understand and plan to perform precise control with skill and real time learning. It is important for service robots to have the ability to grasp objects with the right grip and lift force irrespective of their physical properties (weight, stiffness, friction, etc.). Generally, when it comes to grasping or handling objects of any given property there are three basic actions that humans perform which include sensing, acting and learning. The objective of this research was to propose novel Cyber Physical System (CPS) framework that can enable perception (sensing) and grasping (action) functions to enable a common robot to grasp hard/soft or heavy/light weight or smooth/rough surface of the objects with a minimum safety margin in gripping force and do a quick grasp force correction to change in the environment.</p> <p>Chapter 1 describes the purpose and background of this research and explained about 3 key functions for enabling cognitive functions. Also, the basics of CPS and proposed incorporation of 3 key functions to build the cognitive functions for position controlled 2-fingers gripper robot was explained.</p> <p>Chapter 2 introduces the fundamentals of motion control that is applied to experiment setup which enables sensorless acceleration control of 2-fingers gripper robot. This chapter contained comprehensive explanations for acceleration control and its implementation in experimental setup for validation and demonstration.</p> <p>Chapter 3 describes sensing function and details for the identification of unknown object properties (stiffness, mass and surface interaction) based on tactile motion sequence using the 2-fingers gripper robot. Here this study compared different machine learning approaches and shared the comparison for selecting the best convolutional neural network and long-short term memory deep learning approach to identify object properties.</p> <p>Chapter 4 describes acting function with 2 approaches. The first approach was to use logistic regression machine learning model together with rule and optimization to suggest optimum grip command. For second approach, this study proposed to use the model predictive control approach to suggest optimum grip command without learning from experiments.</p> <p>Chapter 5 describes learning function and explained the concept of self learning to enable robot to learn continuously. To enrich the learning, this study proposed finite element modeling and physics-based simulation for generating learning data.</p> <p>Chapter 6 summarizes the results of this thesis and presented conclusions with future works.</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5848 号	氏 名	Thompson Diraviam Andrew, Joel
論文審査担当者：			
主査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	村上 俊之
副査	慶應義塾大学教授	博士（工学）	滑川 徹
	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	矢向 高弘
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	高橋 正樹
<p>学士（工学）、修士（工学）THOMPSON DIRAVIAM ANDREW, Joel（トンプソン ディラビアン アンドリュー、ジョエル）君提出の学位請求論文は「Cognitive Grasping and Manipulation of Unknown Object Based on Cyber Physical System Approach」（サイバーフィジカルシステムアプローチに基づいた未知のオブジェクトの認知的把持と操作）と題し、6章から構成されている。近年、ソフトロボティクス分野への関心が高まっており、人や環境に対する適応性が求められるサービスロボットへの応用が期待されている。サービスロボットには、環境の認知やそれに基づく動作計画と正確な運動制御を実現する機能が必須であり、リアルタイムでの学習が要となる。本研究では、2本指把持ロボットがオブジェクトの硬さや重さ、表面粗さに応じた適切な力で未知のオブジェクトを安全に把持し、環境変化に適応するための知覚、把持機能を実現するサイバーフィジカルシステム（CPS）の枠組を新たに提案している。</p> <p>第1章では、本研究の目的と背景を述べ、認知機能を実現するための3つの重要な機能として、センシング、把持動作、学習について概説し、さらにCPSの基本構造について述べ、位置制御に基づいた2本指把持ロボットに3つの機能を実装するための基本概念を示している。</p> <p>第2章では、モーションコントロールの基礎を紹介し、それに基づいた2本指把持ロボットの力センサレス加速度制御系の基本設計と実装方法について説明している。</p> <p>第3章では、2本指把持ロボットを用いた触覚動作に基づく未知のオブジェクト特性（剛性、質量、表面粗さ）の識別のためのセンシング機能と詳細について説明している。ここでは、CNN（Convolutional Neural Network）、LSTM（Long Short Term Memory）、およびCNN-LSTMの組み合わせによる3つの異なる機械学習アプローチを比較し、オブジェクト特性を特定するために最適な深層学習アプローチの選択法も示している。実証試験では、剛性および質量特性の同定に対してCNN-LSTMがより効果的であり、表面特性の分類ではCNNが優位であることを示している。</p> <p>第4章では、把持動作の機能を概説し、把持動作指令値の生成法として3つのアプローチを提案している。各アプローチにおいては共通して機械学習により剛性、質量、表面粗さを同定し、同定したパラメータに基づいてロジスティック回帰、リッジ回帰、あるいはモデル予測制御により把持動作指令値を生成することを提案している。これらのアプローチの有用性ならびに評価は実機実験及びシミュレーションにより示されている。</p> <p>第5章では、学習機能の拡張について提案し、学習データ生成のために物理特性の解析のための有限要素モデルと動力学特性に基づいたシミュレーションモデルを導入している。また、学習のアプローチとして、モデルの妥当性のモニタリングおよび強化学習に基づいた手法を提案し、把持オブジェクトのパラメータ変動に対しても適切な把持動作指令値の生成が行えることを数値シミュレーションにより検証している。</p> <p>第6章では、本論文の結果をまとめ、結論とともに今後の課題を示している。</p> <p>以上要するに、本研究では2本指把持ロボットにおける未知オブジェクトの把持動作において、センシング、把持動作、学習機能のための新しい基本構造およびモデルを提案し、CPS枠組内で認知把持機能の実現手法を示しつつ、2本指把持ロボットによる実機実験および数値シミュレーションによりその有用性を実証したものである。これらの研究は力情報に基づいた把持ロボットシステムの実応用を含め、メカトロニクス、モーションコントロールの分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 5849 号	氏 名	渡辺 拓郎
主論文題名：			
モバイルデバイス操作時の手指運動を利用した 手根管症候群スクリーニングシステム			
<p>手は身体の中で最も複雑な動きと繊細な感覚を持つ運動器である。手は食事、更衣や整容といった日常生活動作、職場でのPC操作や書字、そして楽器の演奏のような芸術活動のために絶え間なく働いている。しかし、手を障害する疾患を患うとそれらが制限される。手根管症候群は手に痺れ、痛み、感覚障害、巧緻運動障害を引き起こす最も一般的な手を障害する疾患である。</p> <p>手根管症候群の検査方法としては、神経伝導速度検査が手根管症候群検査の中で最も有用とされているが専門の機器と技師を必要とするので検査へのアクセスが悪い。また、手根管症候群の身体所見、TinelサインとPhalenテストは何らかの装置を必要とせず非侵襲である一方で医師の主観的評価に依存するので感度と特異度に議論がある。そこで手根管症候群を客観的に評価できて、人々がアクセスしやすいスクリーニングが求められる。</p> <p>本論文はモバイルデバイスを活用して手根管症候群を客観的にスクリーニングする手法を提案する。モバイルデバイスは日常生活から仕事まで幅広く使用されているので、モバイルデバイスは我々の生活に浸透している。そして我々の生活に浸透し、毎日使用するモバイルデバイスを用いて疾患をスクリーニングできれば疾患の早期発見および治療につながるだろう。また、人々は疾患スクリーニングのために特定の行動を起こす必要がないので人々の負担を軽減できるだろう。本論文はこの将来の一端を担う手根管症候群スクリーニングを2つ提案する。</p> <p>1つめは、タブレットデバイス向けの母指運動を利用したゲームによる手根管症候群スクリーニングを検討する。手根管症候群は母指対立運動を障害するのでモノを把持したり、つまんだりする動作が困難になる。そこで本論文は健常者と患者間の母指対立運動に差異が表出すると仮定して、母指対立運動を伴うスクリーニングゲームを開発する。</p> <p>2つめは、スタイラスでタブレットデバイスの画面に螺旋を描くことで手根管症候群のスクリーニングを検討する。手根管症候群は手に痺れ、痛み、感覚障害を引き起こして巧緻運動を障害するので更衣、食事、書字、タイピングといった動作が困難になる。そこで巧緻運動障害は運筆動作を障害すると仮定して、スタイラスで螺旋を描くことで手根管症候群のスクリーニングを目指す。</p> <p>2つの提案スクリーニングはモバイルデバイスを利用するときの所作を活用するため、将来既存のモバイルアプリケーションに搭載できる可能性がある。そして最終的に人々がモバイルデバイスを利用する度に、無意識のうちに疾患をスクリーニングできれば疾患の早期発見および治療につながるだろう。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5849 号	氏 名	渡辺 拓郎
論文審査担当者：	主査 慶應義塾大学准教授	博士（メディアデザイン学）	杉浦 裕太
	副査 慶應義塾大学教授	博士（工学）	今井 倫太
	慶應義塾大学教授	博士（工学）	杉本 麻樹
	東京医科歯科大学講師	博士（医学）	藤田 浩二
<p>学士（工学）、修士（工学）渡辺 拓郎君提出の学位請求論文は、「モバイルデバイス操作時の手指運動を利用した手根管症候群スクリーニングシステム」と題し、6章で構成されている。</p> <p>手根管症候群は手を障害する一般的な疾患である。手根管症候群を罹患すると手の感覚障害や母指球筋萎縮を発症して患者の生活の質を脅かす。そのため手根管症候群の早期発見が求められるが、既存の検査方法には根管症候群を客観的に評価できるとともに、人々がアクセスしやすいスクリーニングシステムはなかった。本論文はタブレットデバイスを用いて手根管症候群を簡便かつ客観的にスクリーニングする手法を提案し、その有効性を検証した成果についてまとめたものである。</p> <p>第1章では、手の役割とその重要性、さらに手を障害すると起こる不自由を述べている。そして疾患の早期発見のために、人々が無意識に利用できる疾患スクリーニングの必要性を説いている。</p> <p>第2章では、手を障害する疾患を複数例紹介して、その中から本論文が手根管症候群に注目する理由を明らかにしている。また人々が無意識に利用できる疾患スクリーニングに応用可能な技術を俯瞰し、その中でもモバイルデバイスは我々の生活に浸透しており、多種多様な疾患スクリーニングに活用されていることを調査するとともに、モバイルデバイスの操作時に無意識のうちに疾患を発見できる将来性を見出している。</p> <p>第3章では、本論文が研究対象とする手根管症候群の特徴および検査方法を述べて、既存の検査方法と本論文の立ち位置を明らかにしている。さらに既存の検査方法の短所を克服するための先行研究を調査するとともに、先行研究が満足していない研究領域を明らかにしている。</p> <p>第4章では、母指対立運動を利用したタブレットデバイス向けのゲームによる手根管症候群スクリーニングを提案している。本提案手法は、手根管症候群は母指対立運動を障害することに注目して、被験者がタブレットデバイス上で行う母指対立運動の軌跡を解析することで手根管症候群のスクリーニングを実現している。実験により、疾患群は健常群と比較して母指対立運動が劣っていることを示唆している。さらに分類性能が感度 93%、特異度 73%を達成し、本提案手法の有用性を示唆している。</p> <p>第5章では、運筆動作を利用した手根管症候群スクリーニングを提案している。本提案手法は、手根管症候群は書字を含む巧緻運動を障害することに注目して、スタイラスを用いてタブレットデバイス画面に螺旋を描くことで手根管症候群スクリーニングを検討している。実験により、疾患群は健常群と比較して筆圧および描画の正確性が低下していることを示唆している。さらに分類性能が感度 61-82%、特異度 65-84%を達成し、本提案手法の有用性を示唆している。</p> <p>最後に、第6章では本論文の成果とモバイルデバイスを利用した疾患スクリーニングをより多くの人々に届けるための方法を論じている。さらに本提案手法の開発過程を一般化して疾患スクリーニングを開発するためのプロセスを提案している。</p> <p>以上、本論文はモバイルデバイスを用いて手根管症候群の特徴を測定、解析することで、客観的な手根管症候群スクリーニングを提案し、手根管症候群の早期発見の可能性を示したものであり、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.5850	Name	Krishnan Arumugasamy, Muthukumar
Thesis Title			
Activity Detection Systems Using Infrared Array Sensors With Deep Learning			
<p>In assistive care technologies, activity detection is one of the vital tasks to assist people by preventing or at least detecting any accident that might occur. Activity detection has conventionally relied on two leading families of devices: wearable and non-wearable ones. As their name suggests, wearable devices are devices that require the person being monitored to wear them or at least carry them with him/her anywhere (s)he goes, such as smartphones, smartwatches, accelerometers, kinetic sensors, etc. It is a burden to the person to carry the device. Non-wearable devices, on the other hand, do not have such limiting constraints. A device (typically a sensor) is placed in a specific location in the area under monitoring, with no need for the monitored person to worry about its functioning. In recent years, many non-contact activity detection techniques have been proposed using Wireless Fidelity (Wi-Fi), Light Detection and Ranging (LiDAR), radar etc. These approaches have limitations like coverage issues, and deployment issues related to computational resources.</p> <p>The recent introduction of the wide-angle low-resolution infrared (IR) array sensor helped develop device-free monitoring systems to solve most of the issues. Many IR-based activity detection systems have been proposed in recent years. The limitations of the existing works include but are not limited to the difficulty to detect the activity, the non-robustness to the environment, and the computational resource constraints in deployment.</p> <p>To address the aforementioned issues, this thesis proposes activity detection systems using a hybrid deep learning model, which could classify blurriness and noisy images produced by the two wide-angle IR array sensors. One is placed on the wall, and another one is placed on the ceiling. Activity detection technique involves two stages. First, we classify the individual frames collected by the wall sensor and the ceiling sensor separately using a Convolution Neural Network (CNN). In the second stage, the output of the CNN is passed through a Long Short-Term Memory (LSTM) with a window size equal to 5 frames to classify the sequence of activities. Afterwards, we combine the ceiling data and wall data and classify each pair of frames using hybrid deep learning model. Furthermore, we propose an activity detection systems using one IR array sensor on the ceiling allowing for performance comparable to that when using dual sensors. By applying advance deep learning based computer vision techniques, we remove the noise and blurriness in data, which help to improve the IR image quality. The IR images/image sequences are then classified using a hybrid DL model that combines a CNN and an LSTM. By incorporating a wider variety of samples, we use data augmentation to improve the training of</p>			

neural networks and make the model robust to the environment. A Conditional Generative Adversarial Network (CGAN) performs the data augmentation process. By enhancing the images with Super-Resolution (SR), removing the noise, and augmenting the training data with more samples, the classification accuracy of activity detection can be improved. We used quantization to optimize the neural network so that it could run on low-powered devices.

The contribution of the thesis as follows:

We propose a lightweight Deep Learning model for activity classification that is robust to environmental changes. Being lightweight, such a model can run on devices with very low computation capabilities, making it a base for a cheap solution for activity detection.

The blurriness and noise present in the IR captured frames, due to the sensor characteristics the imprecision in the sensor lead to a noticeable drop in performance in conventional methods. Our proposed neural network architecture manages to address this issue by exploiting the temporal changes in the frames to identify the activities accurately.

We identify the activity using a time window of less than 1 second. Despite the smaller time window, we have remarkably enhanced the classification accuracy in comparison to conventional works, which require a larger time window.

Low Resolution (LR) sensors are always preferred over High Resolution (HR) ones if they provide similar performance. It preserve the privacy of the person and have much lower cost. We demonstrate that it is possible, by using deep learning techniques such as Super-resolution, denoising, and CGAN, to achieve classification performance on the LR data that is nearly identical to that of the classification of the HR data, namely  $24 \times 32$ .

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5850 号	氏 名	Krishnan Arumugasamy, Muthukumar
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 池原 雅章
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 斎藤 英雄
Nanjing University of Posts and Telecommunications, Ph.D. Guan Gui			
<p>Bachelor of Technology in Computer Science Engineering, Master of Technology in Computer Science Engineering, Muthukumar Krishnan Arumugasamy 提出の学位請求論文は、「Activity Detection Systems Using Infrared Array Sensors With Deep Learning (深層学習を用いた赤外線アレイセンサによる行動検出システム)」と題し、全5章から構成されている。</p> <p>介護支援等において、行動検出は事故防止や事故検出のための重要なタスクの一つである。行動検出で用いるセンサには、装着型と非装着型がある。一般に装着型は、非装着型に比べて検出精度は高いが、利用者は常にセンサを装着する必要があるため負担が大きい。一方、非装着型は、そのような負担がないため、近年、注目されている。非装着型の中で、低解像度赤外線アレイセンサを用いた手法は、低解像度の温度分布に基づく手法であり、比較的高い精度が得られながら、プライバシー侵害の心配が低いため注目されている。しかし、実環境で用いるには、行動検出精度の改善が必要である。</p> <p>本論文では、深層学習を用いた赤外線アレイセンサによる行動検出システムを提案している。</p> <p>第1章は、序論であり、研究背景および従来の赤外線アレイセンサによる行動検出システムについて述べた後、既存手法の問題点と本研究の位置付け及び貢献について述べている。</p> <p>第2章では、行動検出システムとして、装着型と非装着型の従来法について述べている。また、赤外線アレイセンサによる行動検出システムの従来法の詳細について述べた後、その課題について述べている。</p> <p>第3章では、壁と天井に設置した2つの低解像度赤外線アレイセンサを用いる、深層学習を用いた赤外線アレイセンサによる行動検出システムを提案している。提案法は、各センサから得られる温度分布を、畳み込みニューラルネットワーク (CNN: Convolution Neural Network) に個別に入力する。そして、それらの時系列出力を結合した後、長・短期記憶 (LSTM: Long Short-Term Memory) に入力し、一連の行動を分類する。その後、天井のデータと壁のデータを組み合わせ、ハイブリッド深層学習モデルを用いて行動を検出する。実験を通して、提案した深層学習を用いた赤外線アレイセンサによる行動検出システムが、転倒を含めた複数の行動を機械学習やCNNのみを用いた従来法よりも高い精度で検出できることを示している。</p> <p>第4章では、システムの簡易化を目指し、天井に設置した1つの低解像度赤外線アレイセンサを用いる、深層学習を用いた赤外線アレイセンサによる行動検出システムを提案している。提案法では、低解像度赤外線センサ特有の温度のちらつきなどの雑音を、深層学習技術により低減する技術を用いている。また、行動検出精度を改善するために、低解像度赤外線アレイセンサで得られる温度分布を高解像度化する、深層学習技術の一つである超解像の技術を用いている。さらに、転倒などのデータ取得困難さから生じるデータ不足の問題を解決するために、条件付き敵対的生成ネットワーク (CGAN: Conditional Generative Adversarial Networks) を用いてデータを生成している。それらの深層学習技術を用いて得られたデータをCNNとLSTMから成る深層学習モデルに適用することで、転倒を含めた複数の行動を機械学習やCNNのみを用いた従来法よりも高い精度で検出できることを示している。</p> <p>第5章は結論であり、本研究の総括を述べている。</p> <p>以上、本論文の著者は、深層学習を用いた赤外線アレイセンサによる行動検出システムを提案し、その有効性を確認しており、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			

## 内容の要旨

報告番号	甲 第5851号	氏名	田中 康之
主論文題名：  <b>Resilient Wireless Multihop Networking based on Open Standard Technologies</b> (公開標準技術に基づくレジリエントな無線マルチホップネットワーキング)			
<p>Internet of Things (IoT) は通信機能を持つセンサやアクチュエータなどが接続したシステムを意味する。IoT がさまざまなシステムを自動化することにより、我々の生活をスマート化していくことが期待されている。Industrial IoT (IIoT) とは産業アプリケーション向けの IoT のことであり、例えばスマートマニュファクチャリングやスマートエネルギー、スマートビルなどのアプリケーションがある。IIoT は学术界からだけでなく、産業界からも注目されている。</p> <p>Internet Engineering Task Force (IETF) は IIoT 向けの省電力無線ネットワーク方式として 6TiSCH (IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e)を標準化してきた。6TiSCH の下位レイヤの通信方式として、IEEE 802.15.4 の Time Slotted Channel Hopping (TSCH) が選択されている。TSCH はファクトリオートメーションの分野で広く使われている WirelessHART や ISA 100.11a と呼んだ産業向け無線通信方式を由来とする、実証済みの技術である。6TiSCH により、電池で数年稼働するようなデバイスで構成される、レジリエントでスケーラブルな無線マルチホップの IPv6 ネットワークが実現できる。</p> <p>本論文の主な成果は三つある。一つ目は YSF と呼ばれる 6TiSCH のスケジューリング関数を開発したことである。YSF は 6TiSCH に準拠しており、また、IETF が標準化したスケジューリング関数よりもエンドツーエンドの伝搬遅延やデータ信頼性の観点で優れたネットワークを構築できる。YSF はまた、6TiSCH のプロトコルスタックに従って設計されたスケジューリング関数によって 6TiSCH のネットワーク性能を高められることを示した。二つ目は 6TiSCH の開発コミュニティが必要とするオープンソース実装を提供したことである。例えば、Contiki-NG や Wireshark 向けに開発した 6top Protocol (6P) 実装により 6P の仕様の相互接続性を高めた。また、これらの実装は ETSI (European Telecommunications Standards Institute) 開催の相互接続試験でも使われた。最後に、6TiSCH の標準化に対する貢献である。IETF に提案された方式の評価や仕様のレビューにより、6TiSCH の標準化を加速させた。シミュレーション結果や実装経験からのフィードバックは 6TiSCH のプロトコル設計に重要な影響を与えた。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5851 号	氏 名	田中 康之
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 寺岡 文男
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 重野 寛
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学） 金子 晋丈
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 矢向 高弘

  

修士(工学)田中康之君提出の学位請求論文は「Resilient Wireless Multihop Networking based on Open Standard Technologies (公開標準技術に基づくレジリエントな無線マルチホップネットワーク)」と題し全6章から構成される。

Internet Engineering Task Force (IETF) は Industrial IoT (IIoT)向けの省電力無線ネットワーク方式として 6TiSCH (IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e)を標準化してきた。6TiSCH の下位レイヤの通信方式として、IEEE 802.15.4 の Time Slotted Channel Hopping (TSCH) が選択されている。6TiSCHにより、電池で数年間稼働可能なデバイスで構成されるレジリエントでスケラブルな無線マルチホップの IPv6 ネットワークが実現できる。しかし、本研究の開始時点では低遅延・高信頼のネットワークを 6TiSCH で実現できるかは明らかではなく、6TiSCH に関連する OSS は不十分で、標準化も途上であった。

第1章は本論文の序章であり、本研究の背景、目的、貢献についてまとめている。

第2章は 6TiSCH の概要についてまとめている。

第3章は 6TiSCH の通信スケジューリングに関する提案方式である YSF (Yet another Scheduling Function)の設計と評価について述べている。YSF は IIoT の代表的なアプリケーションであるセンサデータ収集を題材とし、通信遅延を最適化した通信スケジューリング方式である。YSF は IETF で標準化された 6top Protocol (6P) と呼ばれる制御プロトコルを使い、6TiSCH ネットワーク上のデータの転送経路に沿って通信遅延が最小化されるよう通信をスケジュールする。シミュレーション評価の結果、YSF はデータ収集アプリケーションの通信要件である通信遅延 1 秒未満、データ信頼性 98%以上を達成できることが確認された。

第4章は本研究の中で開発した 6TiSCH 関連の OSS (Open Source Software)について述べている。本研究において開発した OSS 実装は、6TiSCH ネットワークをシミュレーション可能とした 6TiSCH Simulator, IIoT デバイス用基本ソフトウェアである Contiki-NG のシミュレータ Cooja の完全仮想化ノードである Cooja mote の TSCH 対応実装, Contiki-NG 向け 6top Protocol 実装, 汎用パケット解析ツール Wireshark 向けの 6top Protocol パケット解析機能, 無線品質データ収集ツール Mercator である。

第5章は 6TiSCH の標準化に対する貢献について述べている。YSF や 6TiSCH 関連の OSS 実装の開発を進める中で発見した既存仕様の問題点や、当時、IETF で開発が進められていた改善提案等について述べている。具体的には再送バックオフアルゴリズムを含む IEEE 802.15.4 仕様の改善提案, 6TiSCH Minimal Configuration の技術課題の指摘, 6top Protocol の改善提案, 6LoWPAN (IPv6 over Low-power Wireless Personal Networks) Fragment Forwarding の評価, 6TiSCH Minimal Scheduling Function の評価, CoJP (Constrained Join Protocol) の改善提案などである。2021 年に IETF における 6TiSCH の標準化が一通り完了し、必要な技術仕様が整備された。

第6章は本論文の結論であり、論文を総括するとともに 6TiSCH の研究開発で実践した大学・企業・オープンソースコミュニティが相互に連携するオープンイノベーションサイクルについて述べている。

以上、本論文は通信スケジュール方式 YSF の提案を通して 6TiSCH が IIoT で求められる低遅延・高信頼のネットワークを実現できることを明らかにした。また、6TiSCH の開発に資するソフトウェアを開発し、OSS として公開した。さらに IETF において 6TiSCH の技術仕様の標準化活動を行った。以上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 5852 号	氏 名	石原 悠
主論文題名：			
モデルベース強化学習による自律移動ロボットの 安全性を考慮したビジュアルナビゲーション			
<p>本論文では、自律発達しながら人の労働を代替するロボットの実現を目指し、画像指示によりタスクを実行するロボットにおいて、ロボットが環境内で行動することで得られるデータから、タスク達成方法を自律的に学習する手法を提案する。実環境での動作を想定し、安全性をロボット周囲の静的障害物と衝突しないことと定義し、ロボットの安全性が学習したパラメータに依存しない枠組みを提案する。静的障害物と衝突しないことを拘束条件とした、最適制御問題として問題の定式化を行い、環境内で収集したデータから学習し、問題を解くことでロボットの行動生成を行う。具体的には、環境地図上で経路計画を実施することで安全性を考慮した行動列を複数サンプリングし、サンプルされた行動列にしたがった場合に到達する未来の状態を現在の状態から画像として予測する。そして、予測した画像が指示された画像の状態に近づくか評価し、最も近づくことと評価した行動列を実行することを繰り返し行うことでタスクを実行する。提案手法の実現にあたり、画像予測モデルおよびタスクを達成するために効果的な評価指標を設計し、学習する手法の提案も行う。本研究では、安全性の考慮が不可欠である移動ロボットのナビゲーションタスクに提案手法を適用し、シミュレーションおよび実機を用いた実験を通じて、その有効性を検証する。</p> <p>第1章では、本論文の背景、研究目的を述べ、その位置づけと論文の構成を述べた。</p> <p>第2章では、ロボットの行動決定問題をマルコフ決定過程における拘束条件付き最適制御問題として定式化を行い、本論文で提案するアルゴリズムがモデルベース強化学習アルゴリズムの一つであることを述べた。</p> <p>第3章では、画像の状態遷移モデルを設計し、モデルに与える入力画像が、状態遷移モデルの予測に与える影響を実験的に検証した結果について述べた。入力画像として、従来広く利用されてきた正面カメラではなく、周囲 360 度を観測可能な全方位カメラが予測に有効であることを示した。</p> <p>第4章では、画像予測と行動評価に基づく行動生成アルゴリズムの実装方法を提示する。行動評価を時間ステップ数により行うため、その推定モデルの設計および学習法を示し、複数のシミュレーション及び実機実験を通じた提案手法の有効性検証結果と課題を述べた。</p> <p>第5章では、初期状態から目標状態までの距離が遠い場合にタスク実行に失敗する課題を解決するため、時間ステップ数による行動評価ではなく、所望の時間ステップ以内に現在の状態から目標状態に到達する確率で定義されるタスク達成可能性と呼ぶ評価指標の利用とその予測モデルを提案し、行動生成アルゴリズムにおける有効性を示した。</p> <p>第6章では結論を示し、得られた成果の重要な貢献と今後の展望について総括した。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5852 号	氏 名	石原 悠
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 高橋 正樹
	副査	慶應義塾大学准教授	工学博士 中澤 和夫
		慶應義塾大学教授	工学博士 萩原 将文
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 今井 倫太
<p>学士（工学）、修士（工学）石原悠君提出の学位論文は「モデルベース強化学習による自律移動ロボットの安全性を考慮したビジュアルナビゲーション」と題し、全6章から構成されている。</p> <p>本論文では、自律発達しながら人の労働を代替するロボットの実現を目指し、画像指示によりタスクを実行するロボットにおいて、ロボットが環境内で行動することで得られるデータから、タスク達成方法を自律的に学習する手法を提案している。実環境での動作を想定し、安全性をロボット周囲の静的障害物と衝突しないことと定義し、ロボットの安全性が学習したパラメータに依存しない枠組みを提案している。静的障害物と衝突しないことを拘束条件とした、最適制御問題として問題の定式化を行い、環境内で収集したデータから学習し、問題を解くことでロボットの行動生成を行っている。具体的には、環境地図上で経路計画を実施することで安全性を考慮した行動列を複数サンプリングし、サンプルされた行動列にしたがった場合に到達する未来の状態を現在の状態から画像として予測している。そして、予測した画像が指示された画像の状態に近づくかを評価し、最も近づく評価した行動列を実行することを繰り返し行うことでタスクを実行している。提案手法の実現にあたり、画像予測モデルおよびタスクを達成するために効果的な評価指標を設計し、学習する手法を提案している。本研究では、安全性の考慮が不可欠である移動ロボットのナビゲーションタスクに提案手法を適用し、シミュレーションおよび実機を用いた実験を通じて、その有効性を検証している。</p> <p>第1章では、本論文の背景、研究目的を述べ、研究の位置付けと論文構成を概説している。</p> <p>第2章では、ロボットの行動決定問題をマルコフ決定過程における拘束条件付き最適制御問題として定式化を行い、本論文で提案するアルゴリズムがモデルベースド強化学習アルゴリズムの一つであることを述べている。</p> <p>第3章では、画像の状態遷移モデルを設計し、モデルに与える入力画像が状態遷移モデルの予測に与える影響を実験的に検証した結果について述べている。入力画像として、従来広く利用されてきた正面カメラではなく、周囲360度を観測可能な全方位カメラを利用することが状態予測に有効であることを示している。</p> <p>第4章ではまず、提案する行動生成アルゴリズムを説明している。具体的には、複数の行動列をサンプリングして得られた行動列に対応する未来の状態を予測し、それに対応する状態価値を算出し、得られた行動列の中から価値を最大化するものを選択することを繰り返す。次に、価値推定モデルの設計および学習法と行動生成アルゴリズムの実装法を提示し、複数のシミュレーションおよび実機実験を通じて、提案手法の有効性の検証結果と課題について述べている。</p> <p>第5章では、初期状態から目標状態までの距離が遠い場合にタスク実行に失敗する課題を解決する方法について述べている。具体的には、時間ステップ数による行動評価ではなく、所望の時間ステップ以内に現在の状態から目標状態に到達する確率で定義されるタスク達成可能性と呼ぶ新しい評価指標とその予測モデルを提案し、行動生成アルゴリズムにおける有効性を示している。</p> <p>第6章では結論を示し、得られた成果の重要な貢献と今後の展望について総括している。</p> <p>以上のように、本論文は、画像指示により行動生成するロボットにおいて、ロボットが環境内で行動することで得られるデータから、タスク達成方法を自律的に学習する手法を提案し、ナビゲーションタスクに適用し、提案行動生成アルゴリズムの有用性を検証している。その成果はロボット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。</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 5853 号	氏 名	瀬戸 一郎
主論文題名： Phase Detection based Two-way Ranging in Sub-GHz Band for Remote Keyless Entry Systems (リモートキーレスエントリシステム向けサブギガヘルツ帯における 位相検波を用いた双方向型測距方式)			
<p>市場に浸透しているリモートキーレスエントリ (RKE) システムは、近傍磁界結合を活用し、所有者が車両の所定距離以下に近寄ると、キー FOB に触れる必要なく、ドアロックを解除する。近傍磁界は盗聴の脆弱性があり、車両盗難等の被害が増える社会問題となっている。リレーアタックと呼ばれる攻撃は、磁界を傍受し、離れたキー FOB に無線中継し、キー FOB からの応答も車両に向け無線中継する。車両はキー FOB が近寄ったと騙され、ドアロックを解除してしまう。この攻撃への対策は急務であり、無線測距方式の導入が期待されている。例えば、車両がキー FOB までの距離を認識し、3m 以内にある時のみドアロック解除することで、車両盗難を防げる。RKE システムでは、測距性能に加え、グローバル無線規定、カバレッジ、低消費電力によるバッテリー動作等の必要条件がある。様々な測距方式のなかで、サブギガヘルツ帯の位相検波方式が注目される。</p> <p>本論文では、RKE システム向けサブギガヘルツ帯における位相検波を用いた双方向型測距方式を提案する。時間検波で研究されてきた双方向型の概念を位相検波に拡張し、新たに適用する 8 シーケンスの通信により、送受デバイス間の非同期クロックオフセットによる時間及び位相ずれへの耐性を高め、高精度の距離測定を提供する。さらに、狭帯域条件下で、マルチパスの無線伝搬の影響を軽減する世界初の補償方式を提案する。</p> <p>本論文では、まず、RKE システム及びリレーアタックの概要、無線仕様、測距方式比較を紹介し、提案するシーケンス及びマルチパス補償方式の動作原理を述べる。続けて、クロックオフセット、マルチパスに対する理論的な性能限界、無線機雑音による性能ばらつきを導く。無線機プロトを用いて、車両傍ら 6m x 6m エリアのマルチパス環境下でフィールド評価を実施し、提案する測距方式の有効性を確認する。理論性能限界及び実測性能は、平均絶対誤差にて 0.65 m 及び 1.13 m、誤差 3 m 以下のカバレッジ率にて 99% 及び 94.7% であった。提案方式は、キー FOB までの測距機能を有し、グローバル無線規定への準拠、10 m のカバレッジ、低消費電力の条件を満足する。リレーアタック対策を備えた RKE システムに適す唯一の無線測距と結論付けられる。</p>			



## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5853 号	氏 名	瀬戸 一郎
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	博士（工学） 重野 寛
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 眞田 幸俊
Nanjing University of Posts and Telecommunications, Ph.D. Guan Gui			
<p>学士（工学）、修士（工学）、瀬戸一郎君提出の学位請求論文は、「Phase Detection based Two-way Ranging in Sub-GHz Band for Remote Keyless Entry Systems（リモートキーレスエントリーシステム向けサブギガヘルツ帯における位相検波を用いた双方向型測距方式）」と題し、全6章から構成されている。リモートキーレスエントリー（RKE）システムは、自動車の利便性を高め、急速に市場に浸透している。本システムは、近傍磁界結合を活用し、所有者が車両の所定距離以下に近寄ると、キー FOB に触らずドアロックを解除できる。しかし、近傍磁界は盗聴の脆弱性があり、車両盗難等の社会問題となっている。リレーアタックと呼ばれる攻撃は、車両からの磁界を傍受し、離れたキー FOB に向け無線中継し、キー FOB からの応答も車両に向け無線中継する。車両はキー FOB が近寄ったと騙され、ドアロックを解除してしまう。この攻撃は、無線中継機さえあれば、通信プロトコルを気にせず成立する。この攻撃への対策は急務であり、リレーされたか否かがわかる無線測距方式の導入が期待される。</p> <p>本論文では、RKE システム向けサブギガヘルツ帯における位相検波を用いた双方向型測距方式を提案している。RKE システムの従来構成を逸脱することなく測距機能の追加を可能としており、キー FOB が 3 m 以内にあることが高確率で確認でき、リレーアタック対策に有効であることが述べられている。</p> <p>第 1 章は序論であり、パッシブ RKE システムの概要、リレーアタックの社会問題を紹介し、パッシブ RKE に要求されるグローバル対応、優れた使用感、コイン電池利用を説明した後、本研究の位置付けについて述べている。</p> <p>第 2 章は、RKE システムへの適用において必要条件となる、無線規定、カバレッジ、バッテリー動作制限等を紹介し、双方向型無線通信における具体的な要求仕様を明確化している。7 MHz 以下の要求帯域、10 m のカバレッジ、コイン電池で 2 年以上の持続性を実現する必要性から、様々な従来技術の中で、サブギガヘルツ帯の位相検波方式、双方向型測距に注目した背景が述べられている。</p> <p>第 3 章は、Time of Flight（飛行時間の検波）で研究されてきた双方向型測距の概念を位相検波に拡張した提案方式が述べられている。双方向型で課題となるクロックオフセットには、新規適用するシーケンスにより、送受デバイス間の非同期クロックオフセットによる時間及び位相ずれへの耐性を高め、オフセット±100 ppm においても、測距誤差 0.3 m に抑えられることを示している。また、もう一つの課題となる無線伝搬耐性では、狭帯域条件下でマルチパス劣化を緩和する世界初の補償方式を提案している。本方式の数値計算から、10 m までのエリアカバーにおいて平均絶対誤差で 45% の改善効果を導いており、帯域幅が 10 倍以上も異なる広帯域な従来方式と同等のマルチパス抑圧効果が確認されている。</p> <p>第 4 章は、無線機雑音による性能ばらつきを導き、実機を想定したパラメータを用いた提案方式のシミュレーションより、RF 回路雑音による測距性能限界を明らかにしている。マルチパス抑圧効果を得るには受信信号の対雑音比で 30 dB 以上が要求され、リンクバジェット計算より実現性が高いことを導いている。</p> <p>第 5 章は、提案方式を実装した無線機試作機を用いて、車両傍ら 6 m × 6 m エリアのマルチパス環境下におけるフィールド検証を実施し、測距性能及びマルチパスの緩和効果を示している。二波モデル環境では、測距誤差 3 m 以内のエリアカバー率が 88.1% から 94.7% の改善が確認されている。また、天井や壁からも含めた厳しいマルチパス環境下においても同エリアカバー率は 82.4% から 88.1% への改善が確認されている。実機検証では理論限界からの性能差も確認され、性能改善に向けた技術トピックを示している。</p> <p>第 6 章は、結論であり、本研究の総括を述べている。</p> <p>以上、本論文の著者は、サブギガヘルツ帯における位相検波を用いた双方向型測距方式を提案し、理論及び実機検証から、その有効性を確認しており、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格がある。</p>			

# Thesis Abstract

Registration Number	"KOU" No.5854	Name	Xia, Chengshuo
Thesis Title			
Virtual Sensors with 3D Digital Human Motion for Interactive Simulation and Their Real-world Applications			
<p>Sensor-based human-activity-related applications have emerged into people's daily life and assist the end-users with diverse functionalities. However, the traditional applications are limited by the costly real data required, making the development time-consuming and laborious. Therefore, this thesis proposed a method to collect the low-dimensional sensor data from 3D digital human motion and enable the real-world application design to be low-cost and interactive. The thesis proposed to call the method of collecting the low-dimensional sensor data a 'virtual sensor' and presented two main applications.</p> <p>Section 1 introduced the background and motivation of the thesis. Section 2 introduced the literature review of the corresponding work regarding sensor-based human-activity-related applications, 3D motion reconstruction, synthetic sensor data generation, and digital human studies.</p> <p>Section 3 described a Unity3D-based virtual sensor design process with 3D human motion. In this section, the method of reconstructing the 3D motion in Unity3D and two types of sensors (i.e., IMU and distance sensor) were presented. With popular game engines used, the way to obtain the simulated sensor data would get more accessible.</p> <p>Section 4 presented the work of combining the virtual sensor and optimization algorithm to design a human recognition system (HAR). The virtual sensors were employed to generate the simulation signal from various sensor positions as the training dataset for machine learning classifiers. The optimization algorithm was investigated to realize a high-efficient position searching to output the best sensor position with the highest accuracy of the built HAR system. Two swarm intelligent-based sensor position algorithms and three case studies using virtual sensors and optimization to design a HAR system were presented.</p> <p>Section 5 showed a novel motion-learning system that combined the virtual avatar and auditory feedback, named <i>VoLearn</i>. The 3D motion can be extracted from the traditional online 2D video resources. With the designed interface, the 3D motion can be fine-tuned by amplitude, speed, and combination of two separate motions. Through the virtual IMU detecting each body limb's rotation angle and calculating the limb that needs to be corrected, the end-user wears a personal smartphone with a developed mobile application to correct their movement using auditory feedback. <i>VoLearn</i> not only helps to provide a wider motion registration via 2D video input but also completes a fine-tune modification</p>			

function with interactive auditory feedback to assist various individuals in completing a customized motion-learning task, as they can use the system to adjust the motion according to their physical conditions.

Section 6 concluded the work of this thesis and presented the limitation of future work. The thesis introduced a method to generate the low-dimensional sensor data from 3D digital human motion based on a game engine. It may envision a more promising direction that more sensors can be simulated and improve more real-world applications.

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5854 号	氏 名	Xia, Chengshuo (夏 成碩)
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士 (メディアデザイン学) 杉浦 裕太
	副査	慶應義塾大学教授	博士 (工学) 斎藤 英雄
		慶應義塾大学教授	博士 (情報学) 杉浦 孔明
		慶應義塾大学教授	Ph. D. Kai Kunze
<p>学士 (工学)、修士 (工学)、XIA, Chengshuo 君提出の学位請求論文は、「Virtual Sensors with 3D Digital Human Motion for Interactive Simulation and Their Real-world Applications (インタラクティブシミュレーションのための 3 次元デジタルヒューマンモーションを活用したバーチャルセンサと実世界アプリケーション)」と題し、6 章で構成されている。</p> <p>実世界センサの中でも、カメラや三次元スキャナ等と比較して低次元のデータを取得するセンサ群がある。このような実世界センサを用いた人間動作計測におけるアプリケーションは多種多様で、生活に溶け込み様々なシーンでユーザを支援することが期待されている。実世界アプリケーションをプロトタイプする際には、何回かシステムを実体化したうえで、実センサデータを収集する必要があり、これに手間がかかるという課題を軽視できない。そこで本論文は、デジタル空間内に仮想的に配置した複数のセンサ群からなる「バーチャルセンサ」を導入し、バーチャルセンサの配置とデータ収集をインタラクティブに実現することにより実世界センサと等価なデータを収集する手法を提案し、これを 2 つの異なる実世界アプリケーションに応用し、有効性を検証している。</p> <p>第 1 章では、実世界センサによる人間動作計測に基づいたアプリケーションの多様性やそれらを開発する際の課題を述べ、本研究の必要性を説いている。</p> <p>第 2 章では、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション分野における人間動作計測の実施例を俯瞰し、さらに三次元空間での人間動作再構成技術や、実世界センサデータ生成技術について紹介するとともに、先行研究が満足していない研究領域を明らかにし、本提案の貢献を述べている。</p> <p>第 3 章では、デジタル空間での実世界センサの再構成プロセスについて説明をしている。具体的にはデジタル空間内において人間動作の再構成と複数種類の実世界センサを再構成する方法を紹介している。これらはゲームエンジンである Unity 3D 上で動作をするものであり、多くの人々がアクセスしやすい点にも特徴がある。</p> <p>第 4 章では、人間動作認識システムを設計する手法を提案している。特にセンサの配置は認識の精度や開発コストに影響を与える。そこでまずは、センサ配置を最適化するアルゴリズムを示し、これを評価している。検討したアルゴリズムが統合されたシステムを用いて 3 つのケースにおいて人間動作認識システムの設計をしている。</p> <p>第 5 章では、モーション動作教示を支援するシステム「VoLearn」を提案している。本システムは EndtoEnd のシステムであり、単眼カメラで撮影した動画像を用いて人間の 3 次元モーションを登録するフェーズ、ユーザがモーションの速度や振幅を編集するフェーズ、VoLearn がバーチャルセンサを用いて運動評価モデルを出力するフェーズ、スマートフォンの装着と聴覚フィードバックによる動作習得フェーズがある。本章では、三次元再構成の精度評価や、聴覚フィードバックによる運動精度評価、専門家へのインタビューによる質的評価をして有効性を示している。</p> <p>第 6 章では、本論文の成果のまとめと、今後の展望を論じている。</p> <p>以上、本論文はインタラクティブシミュレーションのための 3D デジタルヒューマンモーションを活用したバーチャルセンサを提案し、これを 2 つの異なる実世界アプリケーションに応用し、有効性を検証しており、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.5855	Name	Wang, Baoqing
Thesis Title			
FORSETI: A Provenance-aware Visual Analysis Environment for Generation and Utilization of Autopsy Reports			
<p>In forensic autopsy, medical examiners (MEs) and diagnostic radiologists (DRs) cooperate with each other to perform an autopsy of the corpse, and in this process, autopsy reports play a pivotal role. The MEs and DRs cross-reference autopsy results in the form of autopsy reports, while judicial personnel derive legal documents from final autopsy reports. Effective computational assistance tools are imperative for facilitating the intricate collaborative work involved in the autopsy process. In prior research, a browser with authoring tools using a language called legal medicine markup language (LMML) was presented so that MEs can be assisted by the proposed prototype in effectively generating physical autopsy (PA) reports. However, the research did not target virtual autopsy (VA) reports authored by DRs, nor the collaborative work combining both PA and VA reports. This thesis, therefore, presents an integrated visual analysis environment named FORSETI (forensic autopsy system for e-court instruments) to support the generation and utilization of autopsy reports encompassing PA and VA. The FORSETI system has been developed in a two-step manner.</p> <p>The first step is the development of a core FORSETI that has two essential technical features. One is designed on the basis of an extended version of LMML (x-LMML) for authoring reports on PA as well as on VA. The other lies in autopsy juxtaposition, which seamlessly assists the MEs and DRs in referring to the VA and PA works, respectively. The second is a provenance-aware FORSETI that is an extended work that incorporates provenance infrastructure with authority management for forensic data accountability into the core FORSETI, the technical essence of which is twofold. One is a novel provenance management mechanism that combines the forensic autopsy workflow management system and a version control system called <code>lmmlgit</code> for x-LMML files, which allows a large amount of provenance information on e-autopsy reports and their documented autopsy processes to be optionally parsed in a streamlined or an individual manner, as appropriate. The other is provenance-supported immersive analytics, which is intended to ensure that the DRs' and MEs' autopsy provenances can be viewed, listed, and analyzed so that a principal ME can author their own report through accountable autopsy referencing in an augmented reality setting.</p> <p>A set of fictitious cases with the Visible Female Dataset, a synthetically injured 3D human model, and wound images were used to evaluate the effectiveness of the FORSETI system in terms of usability and interaction through quantitative and qualitative evaluations with experts in legal medicine.</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5855 号	氏 名	Wang, Baoqing (王 宝慶)
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士 藤代 一成
	副査	慶應義塾大学教授	博士 (工学) 杉本 麻樹
		慶應義塾大学准教授	博士 (メディアデザイン学) 杉浦 裕太
		山梨大学教授	博士 (医学) 安達 登
<p>Bachelor of Engineering, Master of Engineering の王 宝慶君が提出した学位請求論文は、「FORSETI: A Provenance-aware Visual Analysis Environment for Generation and Utilization of Autopsy Reports (FORSETI: 検死報告書の生成と活用のための出自を考慮した視覚分析環境)」と題し、全 8 章から構成されている。</p> <p>本研究では、遺体解剖プロセスにおける出自管理を強化しながら、説明責任のある可視化環境を提供し、検視報告書の効率的かつ効果的な生成・活用を目指した、計算法科学統合視覚分析システム FORSETI (<b>f</b>orensic <b>a</b>utopsy <b>s</b>ystem for <b>e</b>-court <b>i</b>nstruments) を提案している。</p> <p>第 1 章では、法医学を計算論的に取り扱う新たな研究領域である計算法科学 (computational autopsy) の社会的意義と技術的課題を俯瞰し、法科学と情報工学の懸け橋となる提案システムの貢献を要約している。</p> <p>第 2 章では、専用マークアップ言語設計、仮想検視と実検視を融合する拡張現実技術、視覚分析における説明責任のとり方、事案の類似検索等の関連する各種先行研究を広く概観し、本研究の立ち位置を具体的に与えている。</p> <p>第 3 章の目的はドメイン分析である。具体的には、実際の遺体解剖プロセスを詳細に分析することにより、その目的を 10 件のゴールとして同定するとともに、それを実現するための計算論的タスクも 10 件に要約し、互いの関係を規定することによりシステム開発の論理的基盤を与えている。</p> <p>第 4 章では、前章のドメイン分析の結果を受けて、計算法科学システムがとるべき三層システムアーキテクチャを新たに提案し、FORSETI システムの基本処理フレームワークを設計している。実際、FORSETI システムは入れ子構造をとり、検視報告書を生成する基本オーサリング機能を担う Core FORSETI が中核をなし、出自を考慮した検視報告書コンテンツの改訂を担う Provenance-aware FORESETI が上位に配置されている。</p> <p>第 5 章では、ベースとなる法科学専用マークアップ言語 x-LMML (Extended Legal Medicine Markup Language) の拡張言語仕様、実解剖映像と 3 次元 CT/MRI 像を並置して対話的に提示する拡張現実型可視化、標本化・見えの調整・計測・ラベリング等の各種視覚分析ツール群に焦点をあて、Core FORSETI の基本機能を詳述している。</p> <p>第 6 章では、解剖医と放射線医の協同作業を重視した検視ワークフロー管理を支援するノードエディタインタフェースに加え、マークアップ言語レベルの細粒度分散版管理機能を提供する lmmgit、頭部搭載型ディスプレイ上で稼働する没入的視覚分析機能の詳細を与えると同時に、視覚分析の出自や利用者権限の管理の側面も強調しつつ、Provenance-aware FORSETI の拡張機能について説明している。</p> <p>第 7 章では、2 種類の合成データを擁した 4 ケースの実利用シナリオに対して、経験豊かな 2 名の法医への構造化した質問に基づく定量的・定性的システム機能評価を実施し、FORSETI システムの有用性を実証するとともに、さらなる課題抽出を試みている。</p> <p>第 8 章では、本研究の結論を述べるとともに、社会実装の可能性や電子裁判利用に向けたシステム拡張性を含む今後の課題に言及している。</p> <p>以上要するに、FORSETI システムにおいて実現された検視フレームワークと対話的視覚分析手法は、法科学における情報処理環境の高度化ならびに新たな情報工学応用の開拓の両面に資する点で、工学的に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 5856 号	氏 名	松森 匠哉
主論文題名：			
A Study on Question and Image Generation in Vision and Language Dialogue (視覚言語対話における質問と画像の生成の研究)			
<p>実世界において人間とコミュニケーションの取れる AI を実現するためには環境の認識と言語理解の能力が重要である。深層学習の登場は、環境の視覚的認識を実現する画像認識や言語理解を実現する自然言語処理の分野の発展に大きく貢献してきた。とりわけ <b>vision and language</b> の分野では、画像の説明文を生成する <b>image captioning</b> や、画像に関する質問文への回答を生成する <b>visual question answering (VQA)</b> など、自然言語と画像の統合的な理解を目指した研究が行われてきた。</p> <p>これらの <b>vision and language</b> の研究では、シングルターンのデータセットを扱っており、人間が介在するような対話の設定を扱ってこなかった。一方、対話課題において画像と言語の統合的理解を実現するようなモデルは、実世界におけるコミュニケーション AI の実現に重要な基本的要素である。したがって、本論文では質問と画像を生成する 2 つの視覚言語対話の課題を扱う。</p> <p>1 つ目は、画像中のユーザの指示対象をマルチターンの質問応答によって明確化していく <b>Goal-oriented Visual Dialogue</b> タスクである。本論文では、同種の物体が多数存在する複雑な環境の中でも効率的に質問をすることができるアルゴリズム <b>UniQer (Unified Questioner Transformer)</b> を提案した。UniQer では、物体特定を行う <b>Guesser</b> と質問生成を行う <b>Questioner</b> を一つの <b>Transformer</b> を用いて実装することで特徴量の共通化を実現、また、どのオブジェクトについて質問を生成するか決定する <b>Object Targeting Module</b> を構築することで、強化学習の負担の軽減を実現した。実験では、同種のオブジェクトが画像中に複数存在するシミュレーション環境である <b>CLEVR Ask</b> を構築し評価、また既存の <b>GuessWhat?!</b> データセットでの評価も行った。実験の結果より、UniQer は同種の物体が存在するような複雑な環境でも、参照表現を利用しながら効率的に物体を特定できることが分かった。</p> <p>2 つ目は、ユーザの言語指示に基づきマルチターンで画像を生成するタスク <b>Generative Neural Visual Artist (GeNeVA)</b> タスクである。本論文では、物体のより細かい描画を実現する <b>Language Attention GAN (LatteGAN)</b> を提案した。LatteGAN では、指示文のより細かな特徴量を抽出するため、画像の相対特徴量を <b>Query</b>、指示文 <b>Key</b> と <b>Value</b> とする <b>Visually Guided Language Attention Module (Latte Module)</b> を導入した。さらに、指示物体が追加されているかを大域的に判別し、追加物体のもっともらしさを局所的に判別するために <b>Text-conditioned U-Net discriminator</b> を導入した。実験では、<b>CoDraw</b> 及び <b>i-CLEVR</b> データセットを用いベースラインモデルと性能比較を実施した。結果、既存モデルに比べて大幅に性能を向上し、<b>CoDraw</b> と <b>i-CLEVR</b> の 2 つのデータセットで <b>SOTA</b> を達成した。</p> <p>以上 2 つの取組みにおいて、視覚言語対話における提案アルゴリズムの有効性とふるまいを明らかにし、コミュニケーション AI の実現への知見を得ることができた。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5856 号	氏 名	松森 匠哉
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 今井 倫太
	副査	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	博士（工学） 青木 義満
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 杉浦 孔明
<p>学士（工学）、修士（工学）松森匠哉君提出の学位請求論文は「A Study on Question and Image Generation in Vision and Language Dialogue (視覚言語対話における質問と画像の生成の研究)」と題し、全7章で構成される。</p> <p>本論文は、対話における視覚と言語の統合的理解を実現するアルゴリズムに関する研究をまとめたものである。実世界でのコミュニケーション AI を実現するにあたって、環境の視覚的理解と対話の言語的理解を統合的に扱うことは重要である。しかしながら、視覚と言語の統合理解を扱う研究分野(Vision and Language の分野)では、人間と AI がマルチターンで行う対話に主眼が置かれることは少なかった。本論文では、視覚と言語の統合的理解を必要とする対話タスクにおいて取り組むべき研究課題をまとめ、課題を克服する質問生成と画像生成のアルゴリズムを提案している。</p> <p>第一章では、実世界コミュニケーション AI が求められる社会的背景について論じ、更に関連する基礎技術である視覚と言語の統合的理解の研究事例についてまとめている。さらに、視覚と言語の統合的理解の研究において対話が重点的に扱われてこなかったことに着目し、本論文で扱う研究領域を視覚言語対話(Vision and Language Dialogue)と定義している。最後に、本論文で取り組んだ質問生成と画像生成の研究を目標指向性、文脈依存性、曖昧性という観点からまとめることで、視覚言語対話の領域における取り組むべき問題と本研究の貢献を明確にしている。</p> <p>第二章では、視覚と言語の統合的理解に関する代表的な研事例と、実世界におけるコミュニケーション AI の研究事例を紹介し、本研究の学術的位置づけと意義を述べている。</p> <p>第三章では、本論文で用いたモデルである Transformer および GAN のアーキテクチャ構造について解説し、論文中で使用する定式化の記法の説明をしている。</p> <p>第四章では、画像中のユーザの指示対象をマルチターンの質問応答によって明確化していく Goal-oriented Visual Dialogue タスクにおいて、同種の物体が多数存在する複雑な環境の中でも効率的に質問をすることができるアルゴリズム Unified Questioner Transformer (UniQer)を提案し、実験を通じて Questioner と Guesser の特徴量を共通化すること、強化学習の負担を軽減することの重要性を示している。</p> <p>第五章では、前章で扱った Goal-oriented Visual Dialogue において問題となっていた冗長な質問生成を削減するために UniQer に Two-stream splitter (TSS)を提案し、実験を通じて画像特徴量と言語特徴量を独立する Transformer で抽出することの重要性を示している。</p> <p>第六章では、ユーザの言語指示に基づきマルチターンで画像を生成するタスク Generative Neural Visual Artist (GeNeVA)タスクにおいて、Language Attention GAN (LatteGAN)を提案している。実験を通じて、Generator における指示特徴量のより粒度が細かい抽出と、Discriminator における大域的かつ局所的な判別を実現することの重要性を示している。</p> <p>最後に、第七章では本論文で得られた成果と、社会応用についてまとめている。さらに、今後当該分野で大きな貢献を果たすことが予想される大規模モデルと本研究との位置づけについて論じ、将来研究の方向性について一つの知見を提供している。</p> <p>以上、本論文は、視覚言語対話タスクにおいて、質問生成と画像生成を行うモデルを提案し、既存モデルを上回る性能を達成するとともに、モデルの詳細な挙動についても明らかにしている。本論文で得られた知見は実世界におけるコミュニケーション AI を実現するための基礎アルゴリズムにおける有効なアプローチを提示するものであり、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5857号	氏名	西脇 和弘
主論文題名：			
車両の加減速・操舵支援システムにおける判断・計画・制御の高度化に関する研究			
<p>近年、車両の運転支援システムの普及が進展しており、ドライバの負荷軽減・交通事故の抑制が期待される。例えば、合流支援システムは高速道の合流における加減速と操舵を支援する。本システムは、合流位置を選択する「判断」、合流位置までの目標軌道（速度・経路）を生成する「計画」、目標軌道に追従する「制御」で構成される。しかし、先行研究では、機能間で相互干渉しやすい課題があった。例えば、「制御」の調整により、軌道変化への対応が過敏になり速度がふらつく、または応答が低下して合流失敗する場合がある。そこで本論文では、目標軌道を「制御開始時に決定した初期軌道」と「制御開始後の軌道変化」に分解する。そして、各軌道の追従に要求される応答性の差異に着目し、2自由度制御を応用して設計する。高い応答が要求される「初期軌道」への追従は、初期軌道を伝達関数で表現し、車両応答の逆モデルと組み合わせたフィードフォワード制御により実現する。そして、緩やかな応答が要求される「軌道変化」への追従は、フィードバック制御により実現する。これにより、他機能に影響を及ぼさずに個別調整可能な加減速・操舵支援システムを提案する。</p> <p>第1章では、本論文の背景、研究目的を述べ、研究の位置付けと論文構成を述べる。</p> <p>第2章では、滑らかな加減速支援の実現を目指し、計画と制御の基本機能を「滑らかな軌道生成」と「正確な軌道追従」と定義する。そして、目標軌道を初期軌道と軌道変化の2つに分解することで、計画と制御を設計する。本章では、初期軌道を伝達関数で表現する軌道生成と、フィードフォワード制御を用いた軌道追従により、基本機能を実現する。</p> <p>第3章では、合流区間内での支援完了が可能な合流支援の実現を目指し、判断の基本機能を「最小の加減速で合流区間内に到達可能な合流位置の選択」と定義する。合流位置の選択時は折れ線状の速度に簡素化した初期軌道により加速度を評価する。そして、合流位置の選択後、初期軌道を伝達関数に変換して第2章の計画・制御と組み合わせることで、判断・計画・制御を備える合流支援システムを実現する。</p> <p>第4章では、計画の副次機能を「ジャークの抑制」と定義することで、加減速開始時の快適性を向上させる。本章では、基本機能である「滑らかな軌道生成」と副次機能である「ジャークの抑制」を同時に実現する新たな軌道生成を提案する。そして、副次機能である「ジャーク抑制」が合流位置の判断に影響を及ぼさないことを示し、本副次機能が非干渉化できることを示す。</p> <p>第5章では、制限速度内での合流を目指し、判断を高度化する。制限速度で走行する仮想車両を定義し、仮想車両に追従する目標軌道を生成することで、制限速度以下の最小の加減速で到達可能な合流位置を判断する。</p> <p>第6章では、目標軌道への追従性と、軌道変化に対する過度の対応を抑制する快適性の両立を目指す。制御の副次機能を「軌道変化への追従」と定義し、モデル予測制御と軌道追従のためのフィードフォワード制御を組み合わせた制御手法を提案する。これにより、「正確な軌道追従」という基本機能に影響を与えないよう「軌道変化への追従」を非干渉化する。</p> <p>第7章では、本論文の結論を述べる。</p>			

## 審査の要旨

報告番号	甲 第 5857 号	氏 名	西脇 和弘
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 高橋 正樹
	副査	慶應義塾大学教授	博士（情報学） 小檜山 雅之
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 滑川 徹
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 井上 正樹
<p>学士（工学）、修士（工学）西脇和弘君提出の学位論文は「車両の加減速・操舵支援システムにおける判断・計画・制御の高度化に関する研究」と題し、全7章から構成されている。</p> <p>近年、車両の運転支援システムの普及が進展しており、ドライバの負荷軽減・交通事故の抑制が期待されている。例えば、高速道の合流における加減速と操舵を支援する合流支援システムは、合流位置を選択する「判断」、合流位置までの目標軌道（速度・経路）を生成する「計画」、目標軌道に追従する「制御」で構成される。しかし、先行研究では機能間で相互干渉しやすい課題があり、「制御」の調整により、軌道変化への対応が過敏になり速度がふらつく、または応答が低下して合流失敗する場合がある。そこで、本論文では目標軌道を「制御開始時に決定した初期軌道」と「制御開始後の軌道変化」に分解し、各軌道の追従に要求される応答性の差異に着目し、2自由度制御を応用して設計することを提案している。高い応答が要求される「初期軌道」への追従は目標軌道を伝達関数で表現し、車両応答の逆モデルと組み合わせたフィードフォワード制御により実現する。そして、緩やかな応答が要求される「軌道変化」への追従は、フィードバック制御により実現することで、他機能に影響を及ぼさずに個別調整可能な加減速・操舵支援システムを提案している。</p> <p>第1章では、本論文の背景、研究目的を述べ、研究の位置付けと論文構成を概説している。</p> <p>第2章では、滑らかな加減速支援の実現を目指し、計画と制御の基本機能を「滑らかな軌道生成」と「正確な軌道追従」と定義し、初期軌道と軌道変化の2つに分解して設計する。そして、初期軌道を伝達関数で表現する軌道生成と、フィードフォワード制御を用いた軌道追従により、基本機能を実現し、数値シミュレーションと実車実験により提案システムの性能を検証している。</p> <p>第3章では、合流区間内での支援完了が可能な合流支援の実現を目指し、判断の基本機能を「最小の加減速で合流区間内に到達可能な合流位置の選択」と定義している。合流位置の選択時は折れ線状の速度に簡素化した初期軌道により加速度を評価する。そして、合流位置の選択後、目標軌道を伝達関数に変換して第2章の計画・制御と組み合わせることで、判断・計画・制御を備える合流支援システムを実現している。</p> <p>第4章では、計画の付加機能を「ジャークの抑制」と定義し、加減速開始時の快適性を向上させることを目的としている。基本機能である「滑らかな軌道生成」と付加機能である「ジャークの抑制」を同時に実現する新たな軌道生成を提案している。付加機能である「ジャーク抑制」が合流位置の判断に影響を及ぼさないことを示し、本付加機能が個別調整可能であることを示している。</p> <p>第5章では、制限速度内での合流を目指し、判断を高度化している。制限速度で走行する仮想車両を定義し、仮想車両に追従する目標軌道を生成することで、制限速度内で加速度の大きさを最小とする合流位置を判断できるようにしている。提案システムの性能を数値シミュレーションにより検証し、課題を示している。</p> <p>第6章では、目標軌道への追従性と、軌道変化に対する過度の対応を抑制する快適性の両立を目指している。モデル予測制御と軌道追従のためのフィードフォワード制御を組み合わせた制御手法を提案し、「正確な軌道追従」という基本機能に影響を与えないよう「軌道変化への追従」を非干渉化できることを示し、数値シミュレーションにより有効性を検証している。</p> <p>第7章では、結論を示し、得られた成果の重要な貢献と今後の展望について総括している。</p> <p>以上のように、本論文は、自動車の自動走行制御において判断・計画・制御の高度化や統合手法により、各機能が他機能に影響を及ぼさずに個別調整可能な加減速・操舵支援システムを提案している。その成果は自動車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。</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>			

2022（令和4）年9月までの新制博士学位授与者数は次のとおり。

[ ]内は内数。当該年度学期（2022年度春学期）授与者数。

学位の種類	課程修了によるもの (課程博士・・・・甲)	論文提出によるもの (論文博士・・・・乙)	計
工学博士	451	389	840
博士（工学）	1,596 [21]	318 [0]	1,914 [21]
理学博士	26	8	34
博士（理学）	450 [5]	49 [0]	499 [5]
学術博士	0	1	1
博士（学術）	1 [0]	1 [0]	2 [0]
計	2,524 [26]	766 [0]	3,290 [26]

本書に記載した論文審査担当者の所属および職位は2022（令和4）年度春学期のものである。

2022(令和4)年12月1日 発行

発行者 理工学研究科委員長 齋木 敏治

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