

令和 2年 2月 26日

豊橋技術科学大学長 殿

機械工学 専攻
学位審査委員会
委員長 三浦 博己

論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	金田 礼人		学籍番号	第111816号	
申請学位	博士(工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 機械工学 専攻		
博士学位論文名	Flexible Linear Motors for Mobile Continuum Robots (移動連続体ロボットのための柔軟直動モータに関する研究)				
論文審査の期間	令和 2年 1月 16日 ~ 令和 2年 2月 19日				
公開審査会の日	令和 2年 2月 19日		最終試験の実施日	令和 2年 2月 19日	
論文審査の結果*	合格		最終試験の結果*	合格	
審査委員会(学位規程第6条)					
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。					
委員長	内山 直樹				
委員	真下 智昭			章 忠	
			印		印
			印		印

*論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文は、連続的に形状を変えることのできる連続体ロボットへの適用を目的とし、柔軟性を有するリニア型アクチュエータに関連する技術を提案し、研究を行い、その成果をまとめたものである。連続体ロボットは、柔軟性、器用さ、安全性などの理由から、医療、工業検査分野などにおける期待が大きい。本論文では、1章に、連続体ロボットならびにそれらを駆動するアクチュエータの先行研究を引用し、研究背景を述べ、研究目的を明らかにする。2章では、超音波振動を用いてコイルバネを駆動することのできる、フレキシブル超音波モータを提案した。このモータは、他の原理のアクチュエータと比べ、約15mmの小型サイズであり、柔らかなコイルバネを送り出して直進させることが可能という特長を有する。コイルバネの弾性力学に基づいてモータの設計手法を明らかにし、コイルバネの運動を表す動力学モデルを構築して実験を行い、モデルの検証を行った。モータの制御を実現するためには、コイルバネを用いた抵抗式センサを採用した。2個のフレキシブル超音波モータを組み合わせた2自由度の連続体ロボットの開発を行い、フィードバック制御システムを考案し、実験検証を行った。3章では、柔軟性を有するチューブを3本用いた連続体ロボットを開発した。3本のチューブは先端で互いにつながれており、3本は自由に直進可能であり、それらの相対的位置により、ロボット先端は自由な姿勢を取ることが出来る。このロボットの運動をモデル化し、実験でモデルを検証した。その連続体ロボットを電磁モータで駆動できるようにし、吸盤機構を取り付け、壁面移動ロボットとしてのデモを実施した。移動ロボットのタスクとして最も難しいと言われる、壁面裏面への移動のデモに成功した。第4章では、本研究の成果についてまとめ、今後の連続体ロボット開発におけるアクチュエータの可能性について言及する。

審査結果の要旨

超音波モータの原理を用いてコイルバネを駆動することのできるフレキシブル超音波モータは、小型サイズで、バネの柔軟性を有する独創的なアクチュエータである。モータの試作について、いくつかの課題を解決して安定した性能を得られるようになった。例えば、コイルバネとステータの接触圧（予圧）は、モータの性能を向上するための重要なパラメータであるが、予圧を推定する方法が無かった。弾性力学に基づいて、ばねのたわみ量から、予圧の発生量を推定し、予圧の最適設計手法を明らかにし、性能を向上させた。コイルバネは柔らかいという特長を有する一方で、振動しやすく評価が難しいという問題があったが、コイルバネが発生する直進運動を動力学モデルで表し同定に成功した。コイルバネを強制的に変形させた状態でも、モータは安定して駆動する（コイルバネを送り出す）ことに成功している。

制御を行うにはセンサが必要であるが、コイルバネ自身の内部抵抗をもちいて変位量を検出するセンシング手法の開発を行った。シンプルだが、部品を追加することなくセンシングを可能にする独自のアイデアである。このセンサを搭載することによって、フィードバック制御ができるようになり、応答性や位置決め精度を明らかにした。センサを搭載したフレキシブル超音波モータ2式を組み合わせた、2自由度の連続体ロボットを用いて位置追従実験、移動のデモを実施した。

提案する連続体ロボットが3自由度有する場合を想定し、3本のチューブを備えた連続体ロボットを開発した。これらのチューブは先端でつながれており、相対的な位置によって、ロボット先端の姿勢を制御することができる。ここでは安定して駆動ができるDCモータを用いた。3本のチューブの相対的な運動を、一定曲率モデルで表すことで制御できるようにし、実験を行ってモデルの精度を明らかにした。連続体ロボットの移動能力を調査するために、壁面移動ロボットの開発を行い、壁面移動ならびに、180度曲がることで壁面裏面への移動も成功した。この裏面への移動タスクは、壁面ロボットでは最も難しいと言われるものであった。

以上の研究成果は、当該学生が考案したオリジナルのアクチュエータと機構であり、創造性、完成度向上のための工夫は十分に認められる。また、以上の研究成果は、分野で著名な国際論文誌に掲載され、国内外の学会から複数の賞も受けるなどしており、客観的にも評価されている。以上より、本論文は博士（工学）の学位論文に相当するものと判定した。

2020年3月4日

豊橋技術科学大学長 殿
博士課程教育リーディングプログラム実施本部長 殿

リーディング大学院教育推進機構
機構長 中内 茂樹



(Screening Results for Completion of Leading Graduate School Program)

リーディングプログラム学位審査結果報告

Organization for Leading Graduate School Program at Toyohashi University of Technology reports the screening results of Leading Program Degree as follows.

このことについて、学位審査会を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

Applicant's name 学位申請者	Ayato Kanada 金田 礼人		
Degree 申請学位	Doctor of Engineering 博士 (工学)		
Title of Thesis 博士学位論文名	Flexible Linear Motors for Mobile Continuum Robots (移動連続体ロボットのための柔軟直動モータに関する研究)		
(Period of Screening) 論文審査の期間	令和2年 1月16日 ~ 令和2年 2月19日		
(Public Defense) 公開試験の日	令和2年 2月19日	(Final Examination) 最終試験の実施日	令和2年 2月19日
Results of Screening 論文審査の結果*	<input checked="" type="checkbox"/> Pass, 合格 <input type="checkbox"/> Fail, 不合格	Results of Examination 最終試験の結果*	<input checked="" type="checkbox"/> Pass, 合格 <input type="checkbox"/> Fail, 不合格
(Screening Committee) 審査委員会 (リーディングプログラム) **			
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙リーディングプログラムにかかる審査結果の要旨のとおり確認したので、機構長に報告します。			
委員長	内山 直樹		
委員	真下 智昭		中村 太郎
	飯田 史也		章 忠

*論文審査の結果及び最終試験の結果は「Pass, 合格」又は「Fail, 不合格」に印を付すこと。

**海外機関所属の審査委員については、審査委員会委員長が代わりに押印できる。

令和2年2月28日

豊橋技術科学大学長 殿

機械工学専攻
学位審査委員会
委員長

三浦 博己



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	鈴木 康剛		学籍番号	第179102号
申請学位	博士（工学）	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 機械工学専攻	
博士学位論文名	超高強度鋼部材のホットスタンピングにおけるプレス成形と接合に関する研究 (Study of Press Forming and Joining in Hot Stamping Processes of Ultra-High Strength Steel Components)			
論文審査の期間	令和2年1月16日 ～ 令和2年2月27日			
公開審査会の日	令和2年2月27日	最終試験の実施日	令和2年2月27日	
論文審査の結果※	合格	最終試験の結果※	合格	

審査委員会(学位規程第6条)

学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。

委員長

柴田 隆行



委員

足立 忠晴



安部 洋平



森 謙一郎



印

印

印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文では、自動車の衝突安全性の向上と軽量化を同時に実現し、かつ製造コストの低減を目的として、超高強度鋼部材のホットスタンピングにおけるプレス成形技術と穴抜き接合技術に関する研究開発を行った。

第1章では、自動車の高強度化・軽量化の必要性を述べるとともに、車体骨格部材に適用が拡大している超高強度鋼部材の製造技術の現状と課題を論じている。特に、鋼板の各種成形法、ホットスタンピングにおける成形性、テーラード特性を持つホットスタンピング、パッチワーク部材のホットスタンピング、超高強度鋼板へのボルト・ナットおよび棒材の接合に関する技術を解説するとともに、現状の技術的課題に鑑み、本論文の目的を示している。

第2章では、成形性を向上させるために加熱炉から金型まで搬送されるブランクに部分冷却を導入するプレス成形法を開発した。部分冷却によって鋼板の変形抵抗を位置選択的に最適に制御することで、局部減肉を抑制し、成形性を向上させた結果、従来法と比較して、深い成形品の製造が可能となり、車体骨格部材の高強度化が図れることを示した。

第3章では、部材の一部の延性を高めるための溶接テーラードブランクに用いられている非焼入れ鋼板の代替材を調査した。各種鋼板のダイクエンチ後の材料特性を明らかにし、ダイクエンチ後も高延性を有する安価な軟鋼板が代替できることを示し、材料コストの低減に資するプレス成形法を開発した。

第4章では、スポット溶接によって製造されているパッチワーク部材の板厚の制約条件を解決し、母材よりも厚いパッチを用いることで、高強度・軽量化に資するプレス成形法を開発した。プレス成形と同時に母板とパッチを接合する複合材料の製造技術を考案し、従来技術と比較して厚いパッチの利用を可能とした。その結果、母板の薄肉化が実現でき、低コストで軽量の車体骨格部材が得られることを示した。

第5章では、欠陥の生じやすいプロジェクション溶接の問題点を解決するために、底角部に丸みを有するナットおよび棒材を超高強度鋼板に直接圧入することで、穴抜きと同時に機械的に接合を行う技術を開発した。

第6章では、第5章の穴抜き接合の実用化を図ることを目的とし、接合強度の向上と端面の位置の制御を容易にしたテーパナットおよびテーパボルトの穴抜き接合を開発した。

第7章では、結論を示すとともに、実部品へ適用された際の軽量化とコスト低減の効果、今後の超高強度部材の展望および量産化技術についての課題を示した。

審査結果の要旨

本論文では、自動車の衝突安全性の向上、軽量化、コスト低減に資する超高強度鋼部材のホットスタンピングにおけるプレス成形と穴抜き接合に関する研究開発を行っている。

部分冷却を導入するプレス成形法では、ブランク温度と変形抵抗の分布について考察し、局所的な減肉を抑制することで、大幅な成形性の向上を実現している。本提案技術によって、より深い成形品の製造が可能となり、車体骨格部材の軽量化と高強度化が同時に図れることを示している。また、各種鋼板のダイクエンチ後の機械的特性を明らかにし、溶接テーラードブランク用の高延性部材として使用されている高価な非焼入れ鋼板の代替材として、マルテンサイト変態なしに高延性を有する軟鋼板が利用できることを見出ししている。その結果、従来品と同等の機械的性能を有したままで、低コスト化が図れる溶接テーラードブランクのホットスタンピング法を開発している。さらに、補強部材であるパッチをプレス成形と同時に機械的に接合する複合部材の成形法を考案し、従来のパッチワーク部材の問題点を解決し、厚板のパッチと薄い母板の利用を可能とし、従来品と同程度の強度を有し、軽量かつ低コストでの車体骨格部材の製造技術を開発している。

また、自動車の製造においては、部品の取り付けのために多数のボルトやナットを鋼板部材に溶接する必要がある。しかし、従来のプロジェクション抵抗溶接では、熱影響などによって欠陥が生じやすいという問題がある。本論文では、ナットやボルトを鋼板部材に直接圧入することで、穴抜きと同時に機械的に接合する穴抜き接合法を開発し、実用に十分な接合強度を達成している。本提案技術は、ホットスタンピング鋼板のみならず、抵抗溶接が困難な冷間超高張力鋼にも有効であり、信頼性の向上と低コスト化に資する製造技術である。

本論文では、自動車の衝突安全性の向上、軽量化、コスト低減のための自動車骨格用超高強度鋼部材を製造するホットスタンピング法とナット・ボルトの接合法に関する製造技術の研究開発であり、学術上の新規性と独創性が認められるだけでなく、産業界への寄与も大きい。以上のように、本論文は博士(工学)の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は1ページ以上可)

令和 2 年 2 月 17 日

豊橋技術科学大学長 殿

機械工学 専攻
学位審査委員会
委員長

三浦 博己



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	山 崎 拓 也		学籍番号	第 179104 号
申請学位	博士（工学）	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 機械工学 専攻	
博士学位論文名	Study on Limiting Behavior of Smoldering Using Low Pressure (低圧場を用いたくん焼の限界挙動に関する研究)			
論文審査の期間	令和 2 年 1 月 16 日 ～ 令和 2 年 2 月 17 日			
公開審査会の日	令和 2 年 2 月 10 日	最終試験の実施日	令和 2 年 2 月 17 日	
論文審査の結果※	合格		最終試験の結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条)				
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。				
委員長	柳田 秀記			
委員	桑名 一徳		小口 達夫	
	中村 祐二			印
		印		印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文は、炎を伴わない燃焼（くん焼）における限界挙動である消炎および有炎燃焼への遷移について低圧場を活用することでその限界条件を整理し、温度計測などを併用することでその限界を決定する物理過程の特定を行うものである。本論文は全6章から構成されている。

第1章では、住宅火災の初期過程および世界的な地球温暖化や大気汚染をもたらす森林や泥炭等の広域火災の開始段階におけるくん焼の役割を明確化し、その対策としてくん焼を制御すること、そのために限界を決定する因子を特定することの重要性を述べている。

第2章では、くん焼に関するこれまでの研究例を精査し、木質系燃料におけるくん焼の消炎および有炎燃焼への遷移限界が明確にされていない事実とその課題を整理し、その不安定な非線形挙動を安定に実現させる手法導入の必要性を述べている。

第3章では、低圧場を適用することによりくん焼現象における熱および物質の輸送過程に与える影響について調査している。試料の向きを変えた際の燃焼挙動ならびに試料内部の温度の測定結果から、低圧場の利用により相対的に自然対流に起因する酸化剤輸送のかく乱を抑制し、くん焼の限界挙動を再現性高く安定して調査することが可能であることを明らかにしている。

第4章では、様々な酸素濃度環境における低圧場でのくん焼の消炎限界条件を整理し、くん焼臨界曲線を実験的に得ている。計測結果ならびに解析的検討により、くん焼の消炎限界は熱輸送と化学反応が支配する2つの限界因子で決まることを明らかにしている。

第5章では、様々な酸素濃度環境における低圧場でのくん焼から有炎燃焼への遷移条件を整理し、遷移臨界条件を実験的に得ている。臨界曲線を説明するためのモデル化を検討した結果、セミュノフの着火理論を応用することで遷移条件を説明できることを見出している。

第6章で全体の総括を行っている。

審査結果の要旨

炎を伴わずに燃焼が持続する燃焼形態として知られる“くん焼（スモルダリング）”は、有毒ガスを放出しつつ緩慢に進行し、その上、突如有炎燃焼形態に遷移するといった特徴を有する。くん焼は火災における初期過程の殆どの状態で観察されるため、その制御は火災の発生そのものを制御することにつながる。くん焼は多孔質可燃性固体の表面反応と気相反応および多相にわたる熱と物質の輸送現象に関わる複雑な現象であり、特にその限界挙動は著しく非線形である。従来の研究により、くん焼の燃焼状態の決定には輸送過程が重要になることが指摘されているものの、限界挙動についてはその限界を決定できるほどの精密な検討例が少なく、十分な理解に至っていない。また、くん焼は突如として有炎燃焼状態へと遷移する事実は知られているものの、再現性が著しく悪く、その遷移条件を正確に理解することはほぼ不可能とまでされていた。

本論文は、この未知の課題に対して圧力モデリングの概念を導入し、様々な低圧下・酸素濃度下における消炎や有炎燃焼への遷移が起こる臨界条件を明確にし、それを決める因子に対する新しい知見を提供したものである。低圧場を導入することにより、相対的に自然対流を抑制してその擾乱に起因するデータのばらつきを低減させ得ることを実験的に確認し、低圧場利用が限界挙動の把握に効果的であることを示した。極細熱電対を試料内部に挿入し、限界条件付近での試料内部温度分布の取得に成功した。くん焼の消炎限界を実験的に導き、その限界は熱輸送と化学反応が支配する2つの限界因子で決まることを明らかにしている。さらに、くん焼から有炎燃焼への遷移条件を実験的に導き、セミュノフの理論に基づきその限界条件がよく整理できることを示した。

これらの研究成果は、くん焼がもたらす火災被害の抑制を検討する際の技術指針を与えるのみならず、表面反応により発熱する多孔質固体の非線形挙動に関する支配要因を与えるものであり、可燃性固体を燃料とする燃焼工学の進展にも大きく貢献する。

以上により、本論文は博士（工学）の学位論文に相当するものと判定した。

（各要旨は1ページ以上可）