

平成 29年 8月 30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

飯田 明由



## 論文審査及び最終試験の結果報告

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。

学位申請者	伊藤 敦		学籍番号	第103206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	傾動式自動注湯システムにおける取鍋動作制御と液体制振制御に関する研究 (Study on Ladle Motion Control and Liquid Vibration Suppression Control for Tilting-type Automatic Pouring System)			
論文審査の 期間	平成 29年 7月 27日 ~ 平成 29年 8月 28日			
公開審査会 の日	平成 29年 8月 4日	最終試験の 実施日	平成 29年 8月 4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學位論文について、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	寺嶋 一彦		三好 孝典	
	小林 正和			
		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

鋳物成形の最終プロセスである溶湯の注湯プロセスは、鋳物製品に直接関係する極めて重要なプロセスである。自動注湯方法には傾動式、ストッパー式、加圧式、電磁式があり、熟練技能者のスキルを活かすことが可能な点、メンテナンス性に優れる点から傾動式自動注湯が多く用いられている。これまでの研究では、容器内の振動現象の基礎研究がされてきたが、現場の自動注湯システムでは経験的なティーチングで制御入力を決めることが多く合理的で最適な制御方法が望まれている。また、現実の複雑な取鍋において、溶湯へのガス巻き込みや注湯時の飛散防止のために、注ぎ口が最も低くなるような取鍋の低位置注湯や運動制御に関する研究はされてない。さらに取鍋の制御では、液体を扱うことから振動が発生しやすく、振動制御を行うことは注湯の基本である。そこで、取鍋の回転中心位置など振動抑制と関連づけた取鍋構造の最適化、さら振動抑制できる取鍋の運動制御の究明が期待されている。本論文は、これらの要求に応えるべく、障害物回避をし、注湯落下位置制御、注湯流量制御を同時に実現できる取鍋の低位置注湯制御と共に、振動を低減化する取鍋の構造、および運動制御の研究を行い成果を集約したものである。

第1章では研究背景、従来研究、本研究の研究目的について述べている。第2章では本研究で使用する傾動式自動注湯システムの概要と注湯制御を実現するために必要な注湯プロセスの数値モデルを導出している。第3章では、注湯した溶湯を溢流させることなく、効率的なプロセスを実施するために、取鍋高さの低位置化を図る自動注湯制御システムを構築している。注湯中に障害物を回避するために、取鍋の高さと水平位置の制御、および流量制御、注湯落下位置制御を同時に行える解析的なアルゴリズムを導出している。なお注湯量制御は、注湯モデルの逆システムより求めている。第4章では、自動注湯実プロセスで用いられる堰付き注湯取鍋に対して、後継動作時の溶湯振動特性を数値的に解析し、取鍋内の溶湯振動における、取鍋の回転中心位置、堰の取鍋内での取り付け位置、堰の取鍋壁との隙間量の影響を明らかにすると共に、取鍋の運動に関する振動制御手法を提案し、取鍋の構造と運動制御の両面から溶湯振動制御について述べている。振動を抑制するための振動制御入力を Input Shaping 法により整形しその有用性を確認している。最後に第5章では、本論文の結言を述べると共に、自動注湯研究に関する今後の課題・展望について述べている。

## 審査結果の要旨

本論文は、鋳造における注湯プロセスでの2つの重要なテーマについて研究を行い、成果をまとめたものである。鋳型に溶融金属を流し込む注湯時において、注湯位置制御、注湯流量制御を同時に行いながら、取鍋高さの低位置化を最適に行う方法の提案と解析的なアルゴリズムの構築を行い、また堰付き取鍋の湯切り後傾動作に対するCFDを用いた溶湯振動解析に基づき、取鍋構造の各種パラメータに対する振動への影響解析と最適化への指針、および取鍋動作の制振制御手法についての研究成果をまとめたものである。本論文の主要な成果は次の2点である。

①注湯時の溶湯の飛散や鋳型内溶湯へのガス巻き込み抑制を実現するために、取鍋を低位置化し注湯する取鍋の動作軌道制御を、幾何学的な位置関係より解析的に導出した。まず取鍋からの流出液体落下軌跡と取鍋外形形状、取鍋姿勢に基づき、注ぎ口が最も低くなる取鍋位置を、鋳型、取鍋の位置関係から3つのモードに分け、モードごとに幾何学的関係から取鍋の動作軌道を低位置化する解析アルゴリズムを導出した。また、モードを決定する判定条件により、動作制御の切り替えをスムーズに行うことができ、常に注ぎ高さを最も低くすることができた。この解析解の妥当性については、評価関数を与え、数値最適化手法により数値解を求めたところ同じ結果が得られた。これにより本提案手法は解析解が得られているため、実プロセスにおいてリアルタイム計算に有効であることが証明できた。最終的にはシミュレーションと実験により提案手法の有用性を示している。

②実際の注湯機で用いられる堰付き注湯取鍋に対して、取鍋後傾動作時の溶湯運動をCFDにより解析し、振動抑制方法を提案した。振動を支配する要素としては、取鍋の運動における溶湯のダイナミクス特性、また堰の位置、堰と取鍋壁との隙間量、取鍋回転中心位置等の取鍋構造がある。解析結果より、まず堰付き注湯取鍋内では、溶湯の液面振動現象と共に、堰を介した体積移動の振動現象が存在することを定量的に明らかにした。体積移動振動および液面振動について、堰位置に応じたピーク周波数の遷移を同定し、堰付き取鍋では、その2つの種類の振動モードを制御する必要があることを示した。さらに、取鍋構造のパラメータと振動現象の関係を明らかにし、それにより構造の最適化についての指針を与えた。最後に、制振制御手法の一つであるInput Shaping法に基づき取鍋後傾動作を制御設計し、液面振動・体積移動振動の残留振動を抑制することが可能であることを示した。

鋳造プロセスでの低位置自動注湯制御手法、および振動の少ない取鍋の構造、運動制御の提案は、製品の品質向上と鋳造プロセスの合理化に貢献する有用な技術であり、学術的、実用的に貴重な知見を与えた成果として評価できる。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。

(各要旨は1ページ以上可)

