

2020年 8月 19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

佐藤 海二



## 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	HO DUC THO		学籍番号	第155113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	Load Swing and Skew Vibration Suppression and Excitation Controls of Crane Systems (クレーンシステムにおける吊り荷の揺れとねじれ振動抑制および励起制御)			
論文審査の期間	2020年 7月16日 ~ 2020年 8月19日			
公開審査会の日	2020年 8月19日	最終試験の実施日	2020年 8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	柳田 秀記			
委員	真下 智昭		内山 直樹	
		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、港湾や建築作業場等で広く利用されているクレーン装置の制御性能向上に関する研究をまとめたものである。同装置ではロープを用いて吊り荷を搬送するため、この振動制御が課題となる。クレーンの動作によっては、移動方向の揺れのみならず、ねじれ振動の抑制も必要になる。さらに、バルク材料の搬送などでは、作業の効率化のために、吊り荷の振動を積極的に利用する場合がある。本論文では、これら複数の振動形態とアクチュエータ性能などの制約条件を考慮した制御法の提案を目的としており、全7章から構成される。第1章では、本研究の背景、研究目的、論文構成を述べ、対象とするクレーンの構造、振動の形態、関連する制御法について記している。第2章では、吊り荷のねじれ振動を考慮したクレーンの動特性モデルを提案し、ロバスト制御として代表的なスライディングモード制御系と  $H_{\infty}$  制御系の新たな設計法を示している。シミュレーションと実験により両者の性能を比較し、前者の優位性を明らかにしている。第3章では、クラッチ機構を導入し、吊り荷のねじれ振動抑制を考慮して、搬送時間を大きくすることなく消費エネルギーを低減する制御系の設計法を提案している。この機構によりクレーンの動作中に、駆動アクチュエータと吊り荷の結合と分離を切り替え、省エネルギー性を向上する最適制御系を構成している。シミュレーションと実験により、切り替えを用いない既存の代表的な制御法に比較して、搬送時間を抑えつつ消費エネルギーを大きく低減できることを示している。第4章では、天井クレーンを対象として、アクチュエータの制限を考慮しつつ、最短時間搬送と吊り荷の残留振動抑制の双方を実現する動作軌道生成法を提案している。産業機械に多く用いられる S 字曲線に基づく動作軌道を最適化する方法を示し、シミュレーションと実験により、従来の方法に比べ大幅な搬送時間の低減を達成している。第5章では、旋回クレーンの起伏動作を対象に、動作中のロープ長の変動を考慮した制御法を提案している。ロープ長変動のない動特性を参照し実際の動作を調整する新たな制御法を提案し、シミュレーションにおいて完全な残留振動抑制を実現している。第6章では、荷揺れを積極的に利用してバルク材の投げ搬送を効率化する天井クレーンの制御法を提案している。吊り荷の固有振動を励起することで振幅を増大し、投げ搬送に要する時間を大幅に低減できることをシミュレーションと実験により示している。第7章では、本研究で得られた成果をまとめると共に、今後の課題と展望を述べている。

## 審査結果の要旨

クレーン装置は重量物搬送に広く用いられる重要な産業機械であり、最適動作軌道の生成や吊り荷の振動抑制に関する研究が広く行われているが、実用例は多くない。この理由として、理想的な条件下において制御系の解析や設計が行われることが多く、実用化のためには、例えば、吊り荷の揺れのみならず、ねじれ振動、動作時のロープ長変動、アクチュエータ性能など現実的な制約条件を考慮することが必要である。以上のことから、本論文では、クレーン装置における一層の作業効率化を図るべく、吊り荷の様々な振動形態と実用化のための制約条件を考慮した制御法の提案を目的としている。本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。

- 1) 吊り荷のねじれ振動を考慮したクレーン装置の新たな動特性モデルと、最適手法に基づくロバスト制御系の設計法を提案し、安定性を証明した。
- 2) 吊り荷のねじれ振動を有するクレーン装置を対象に、搬送時間を抑えつつ消費エネルギーを低減するためにクラッチ機構を導入し、これを考慮した切り替え型の最適制御法の有効性を示した。
- 3) 産業機械に広く利用される S 字曲線に基づく天井クレーンの動作軌道を最適化し、最短時間搬送と残留振動抑制が可能なることを解析的に示した。
- 4) 旋回クレーンの起伏動作を対象に、動作中のロープ長変動を考慮して、完全な残留振動抑制が可能なる制御系設計法を提案し、有効性を示した。
- 5) 天井クレーンの荷揺れを励起することで、バルク材の投げ搬送を効率化する制御系設計法を提案し、最適性を証明した。

以上、クレーン装置の多様な振動形態と制約条件を考慮した制御法の提案は学術的に独創性が高く、シミュレーションと実験により有効性を示しており産業分野への寄与も大きい。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)