

2022年 7月 8日

機械工学専攻	学籍番号	第 199101 号	指導教員	内山 直樹 教授 河村 庄造 教授
氏名	高橋 秀樹			

論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名	大型旋回クレーンのタワー弾性を考慮した最適制御と操作性向上
---------	-------------------------------

(要旨 1,200 字程度)

大型旋回クレーンの設計において構成部品の運搬性向上を目的とした軽量化が進められており、それに伴いクレーンの剛性が低下している。これにより、荷役の際にクレーンが弾性変形し、操作性の低下が問題となっている。特に大型旋回クレーンではタワーの捻り振動が顕著である。本論文では、これを考慮した動作軌道を自動生成する制御法について検討している。また、このようなクレーンは工事現場などで繰り返し動作を行うことが多く、近年の地球環境・資源エネルギー問題を考慮すると省エネルギー化も重要な課題である。本研究では旋回型を含む一般的なクレーンに応用できる省エネルギー化制御についても検討している。さらに、クレーンの軽量化を検討する際に操作性を向上させるタワー捻り剛性の設計についても検討している。以上の内容を第1章にまとめている。

第2章では、はじめにタワーブームの捻りを考慮した非線形動力学モデルを示している。次に、そのモデルを用いて逐次二次計画法によりクレーンの動作軌道を最適化する制御法を提案している。提案法の有効性を確認するための小型クレーン装置を製作し、妥当性を確認するために実機クレーンの稼働データと比較している。この装置を用いて捻り剛性が低下した場合でも提案法は荷振抑制に有効であることを示している。さらに、実機クレーンを用いた実験でも提案法の有効性を確認している。

第3章では、クレーンの省エネルギー化制御法とそれに伴い発生する荷振れを抑える制御について検討している。動作抵抗を減速に利用する省エネルギー化について提案し、それに伴い発生する荷振れの軽減が有効であることをシミュレーションにより確認している。小型クレーン装置を用いた実験によって動作時の電流値を計測して消費エネルギーを計算し、省エネルギー化の前後で比較して消費エネルギーが低減していることと荷振れの低減を確認している。

第4章では、クレーン操作性を向上させるタワーブームの捻り剛性の設計について検討し、その有効性を確認するために手動操作実験を行っている。タワーブームと吊り荷の振動は2次モードとなるため、吊り荷質量、ロープ長、捻り剛性を変化させた場合の2次モードゲインを3次元空間にプロットし、それぞれの平均値、分散値、最大値が最小となる捻り剛性を選出する設計法を提案している。それらの捻り剛性を実験装置に設定し、被験者の協力のもと手動操作実験を行い、運搬時間、振動抑制時間、残留振動の各計測結果と実験後に集めたアンケート結果より、二次モードゲインの分散値を最小化することでクレーン操作性が向上することを確認している。

第5章では本研究の成果をまとめ、今後の展望を述べている。

Date of Submission (month day, year) : 7 8th, 2022

Department of Mechanical Engineering	Student ID Number	D199101	Supervisors	Prof. Naoki Uchiyama Prof. Shozo Kawamura
Applicant's name	Hideki Takahashi			

Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Optimal Control and Operability Improvement of Large Rotary Cranes with Tower Elasticity
-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------

Approx. 800 words

The design of large rotary cranes has been focused on weight reduction to improve the transportability of the components, and this has resulted in a decrease the stiffness of the crane body. This has caused elastic deformation of the crane body during loading and unloading, which has become a problem of reduced operability of the crane. In this paper, an automatic control method for rotary motion is studied in consideration of the tower torsion, especially for large rotary cranes.

In addition, such cranes often perform repetitive operations at construction sites, energy saving is also an important issue in consideration of recent global environmental, resource and energy issues. This study also deals with an energy saving control method that can be applied to general cranes, including rotary cranes.

Furthermore, when considering the weight reduction of the crane body, the design of the tower torsional stiffness that improves the operability is also examined. The above backgrounds are explained in Chapter 1.

In Chapter 2, we first present a dynamic model for rotary crane load-sway suppression that considers the tower torsion. Next, using the model, we propose a load-sway suppression method that optimizes the crane motion using a sequential quadratic programming method. An experimental system was designed to confirm the effectiveness of the proposed method. Furthermore, we verify the influence of tower torsion affecting the crane control using an actual large crane and confirm that the proposed method is effective for load-sway suppression even when the torsional stiffness is reduced.

In Chapter 3, an energy-saving control method for general crane operations are discussed, and simultaneously, a method to reduce load-sway are considered. It is confirmed that energy-saving can be achieved by reducing the deceleration time. The load-sway generated by energy saving control can also be suppressed by control.

In Chapter 4, the effect of the tower torsion on the crane operation is analyzed by simulation, and the torsional stiffness, which improves the operability, is estimated. The estimated torsional stiffness is implemented the experimental system, and a crane operation experiment is conducted by unskilled operators. Secondary mode characteristics of the load-sway are analyzed when the tower torsional stiffness, load mass, and rope length are changed, and the torsional stiffness that minimizes the mean, variance, and maximum values of these gains

is selected. Using the selected torsional stiffness, we set up an experimental system and conduct manipulation experiments. It is shown that minimizing the variance improves the crane operability.

Chapter 5 summarizes the results of this study and discusses future works.