

# 固有振動数成分除去法を用いた残留振動制御に関する研究

栗原, 海

<https://hdl.handle.net/2324/4060161>

---

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 栗原 海

論 文 名 : 固有振動数成分除去法を用いた残留振動制御に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

残留振動とは機械システムの動作停止時に残っている許容できない振動を指し、本論文で対象としているクレーンによる搬送においてはしばしば動作停止時に吊り荷に残留振動が生じる。残留振動は一般に搬送が高速であるほど顕著となり、吊り荷の正確な位置決めを妨げる。現状では高速かつ正確な運転の実現を長年の経験に基づいた熟練者の技量に頼らざるを得ないが、物流が年々拡大傾向にある一方で熟練者の数は減少していることから、安全性の向上や作業の効率化のためにクレーンの運転を自動化することへの要望が強くなって来ている。

クレーン運転の自動化を行うにあたっては、目標位置における吊り荷の残留振動を抑制するための手法が必要となる。クレーンの残留振動の制御手法が備えるべき要件としては、高速搬送を行う際に避けられない吊り荷振れ角の増大にともなって現れる非線形性に対応できること、多種多様な使用環境においてリアルタイムで系パラメータを正確に同定することは困難であるため不確かさを許容できるロバスト性を有すること、搬送中にロープ長が変化する場合のような系パラメータの時間的変動に対応できること、高次モードの残留振動が生じることがあるため多自由度系にも適用できること、などが挙げられる。これまでクレーンの残留振動の制御手法に関して多くの研究が行われているが、上の要件をすべて兼ね備えた手法は未だ存在していない。

本研究では、計測機器が不要なオープンループ制御による天井走行クレーンの残留振動の抑制を目指して、固有振動数成分除去法による台車軌道の設計法を提案している。固有振動数成分除去法は、線形不減衰系に対して有限時間作用する外力が系の固有振動数の成分を持たなければ残留振動が発生しない、という性質に基づいたものである。本研究では、非線形性や減衰の影響を線形不減衰系にかかる外力と捉え（以下、みなし外力と呼ぶ）、みなし外力から固有振動数成分を除去することによって上の性質を非線形減衰系へ適用することを可能にしている。この手法によれば、運動方程式からみなし外力を求めて固有振動数成分を除去するという簡潔かつ明快な手続きで一般的な系の残留振動を完全に抑制できることから、高い汎用性を有した手法であるといえる。

本論文は6つの章から構成される。

第1章では、クレーンを中心とした残留振動制御に関する研究状況についてまとめた。また、クレーンの残留振動を抑制する上での問題点および本研究の目的を示した。

第2章では、まず、線形不減衰系に対する固有振動数成分除去法の基本概念を示した。次に、天井走行クレーンモデルを提示し、みなし外力を導入することによって固有振動数成分除去法を非線形減衰系に適用する手続きを示した。さらに、ルジャンドル多項式を参考にして作成した直交多項式で台車軌道を表すことによって台車軌道を効率的に設計する方法について述べた。最後に、数値シミュレーションおよび実験によって本手法の有効性を確認した。

第3章では、本手法の制御性能に対する影響が最も大きい固有振動数の推定誤差に対するロバス

ト性向上法について検討した。まず、推定誤差が残留振動抑制に及ぼす影響を調べた後に、みなし外力の持つ固有振動数近傍の成分を低減することによるロバスト性向上を図って、みなし外力から複数の振動数成分を除去する条件と振動数成分の微分係数を零にする条件の2種類の条件を与えて台車軌道の設計を行った。得られた台車軌道のロバスト性や適用可能な制御時間の範囲について数値シミュレーションおよび実験によって検証し、2種類の条件の比較を行った。その結果、2種類の条件はほぼ同等のロバスト性向上効果を有するものの、新たな設計変数が不要な後者の条件の方が実用性の点で有利であることが明らかになった。

第4章では、搬送中に吊り荷の昇降を行うために台車と吊り荷をつなぐロープ長が時間的に変化する場合について検討した。まず、ロープ長の変化が残留振動抑制に及ぼす影響を調べた上で、ロープ長変化の影響をもみなし外力に含めて台車軌道を設計することを試みた。さらに、障害物を回避できる軌道の設計法として、ロープ長の変化に冗長性を持たせて最適化手法を適用する手法を示した。これらについて数値シミュレーションによりその有効性を確認するとともに、回避できる障害物の大きさについて検討を行った。

第5章では、天井走行クレーンをフックと吊り荷から成る二重振子型系でモデル化した場合について検討した。まず、単振子型系で台車軌道を設計した際に二重振子型系に生じる残留振動について調べた。次に、固有振動数成分除去法の二重振子型系への適用方法について述べ、数値シミュレーションによりその有効性を確認した。さらに、台車加速度に関して最適化を行うことにより、台車軌道の改善を図った。

第6章では、第2章から第5章までの内容を踏まえ、本論文を総括した。