

氏名	ぬえん すえん とあん NGUYEN XUAN THUAN
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第935号
学位授与の日付	令和元年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学位論文題目	Analysis and control of elevator ropes vibration in high-rise buildings (高層構造物におけるエレベーターロープ振動の解析と制御)
審査委員	(主査)教授 曾根 彰 教授 増田 新 准教授 射場大輔

## 論文内容の要旨

近年、都市化により、高層ビルの数が増加している。それに伴い、高層エレベーターも増加している。これらのエレベーターでは、非常に長いワイヤーロープを使用する必要がある。非常に長いケーブルを使用することにより、エレベーターシステムは、風や地震などの外力によって励起される建物の振動による影響を受けやすくなっている。従って、エレベーターロープの望ましくない振動を抑制し、エレベーターシステムのサービスレベルを向上させるために、振動低減装置が既に開発されている。

本論文では、時間変動するエレベーターロープの振動を制御する新しい方法を提案している。特に、コントローラーの安定性は、リアプノフ理論を使用して分析している。さらに、主ロープとコンペンロープを含むエレベーターロープの振動を、地震励起下の高層エレベーターシステムで同時に検討している。この研究では、エレベーターの運転中にロープの長さが変化することを考慮して、固有振動数、減衰比などのシステムパラメータを時変変数として扱っており。支配的な非定常非線形方程式を数値的に解いてロープのダイナミクスを分析している。ここでは、ロープの変位を最小化し、制御パラメータを最適化する遺伝的アルゴリズムを導入して、地震励起下の高層エレベーターロープに用いている。新しい制御パラメータは、標準偏差法によって求めている。この制御パラメータを使用することにより、提案された方法は、遺伝的アルゴリズムプロセスにおける地震とは異なる地震の場合の両方において、ロープの振動を制御することを目的としている。エレベーターロープの振動は、かごの上向きの動き、下向きの動き、最高層および最低層での停止を含む、4つのケースを検討している。提案された方法は、ケーブル誘導巻き上げシステムとして知られている別のエレベーターシステムで巻き上げロープの振動を制御するためにも適用している。シミュレーションの結果は、ロープの変位応答を減らすための提案された制御方法の有効性を示している。

本論文は6つの章から構成されている。第1章は序論であり、この章ではエレベーターロープシステム、文献レビューを紹介し、研究の目的を説明している。

第2章では、長さが変化するコンペンロープの振動の解析について説明し、振動を制御する新

しい方法を提案している。提案した方法の安定性は、リアプノフ理論を用いて証明している。

第 3 章では、地震励起下の高層ビルでの時間変化と同時にメインロープとコンペンロープの振動を解析する方法について説明している。

第 4 章では、最適な制御パラメータ探索する方法を説明している。これらのパラメータは、遺伝的アルゴリズム法によって探索している。さらに、制御パラメータの期待値は標準偏差法を使用して計算している。

第 5 章では、ケーブル巻き上げシステムの振動の解析について説明している。数値解析結果では、提案した制御方法が有効であることを示し、別のエレベーターシステムの巻き上げロープ振動を低減できることも示している。

第 6 章では、論文で得られた結論をまとめている。

### 論文審査の結果の要旨

本学位申請論文では、高層構造物におけるエレベーターロープ振動の解析と制御を論じており、時間変動するエレベーターロープの振動を制御する新しい方法を提案している。高層ビルでは、長さの異なる 2 本のロープを同時に振動制御を行った調査研究はほとんど見当たらない。そこで、この研究では、エレベーターシステムでの主ロープとコンペンロープの動的応答を同時に計算する方法と、長さが増える 2 本のロープの振動を制御する手法を提案している。

両方のロープにおける振動は、コンペンシーブに取り付けられたアクチュエータを使用して低減できることが示されている。さらに、リアプノフ理論に基づいて、2 つのロープを持つシステムの安定性を証明している。また、地震により励起される状態での高層エレベーターシステムのコンペンロープと主ロープの振動を同時に GA によって最適化し制御する研究は提案されていないので、この論文では、多くの実地震の下で、GA によって制御パラメータを最適化している。次に、標準偏差法を使用して、別の地震のもとで有効に制御が働くようにエレベーターシステムに使用される予測パラメータを求めている。かご室の上昇と下降の場合について、時変のコンペンロープと主ロープの奇跡を数値シミュレーションにより解析し、2 つのロープの振動を抑制する制御方法の有効性を明らかにしている。

以上の結果より、本論文の成果は工学的に価値があると認められた。なお、学位論文の基礎となった学術論文等は下記の 3 件であり、そのいずれも申請者が筆頭著者である。

- [1] Thuan Xuan NGUYEN, Nanako MIURA, Akira SONE, Analysis and Control of Compensation Rope Response in Elevator System with Time Varying Length, *2017 11<sup>th</sup> Asian Control Conference*, ASCC2017, pp. 905-910. DOI: 10.1109/ascc.2017.8287291
- [2] Thuan Xuan Nguyen, Nanako Miura, Akira Sone, Analysis and control of vibration of ropes in a high-rise elevator under earthquake excitation, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Vol. 18, No. 2, pp. 447-460, 2019. DOI: 10.1007/s11803-019-0514-9
- [3] Thuan Xuan NGUYEN, Nanako MIURA, Akira SONE, Optimal design of control device to reduce elevator ropes responses against earthquake excitation using Genetic Algorithms, *Journal of Advance Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 13, No. 2, pp. 1-18, 2019. DOI: 10.1299/jamdsm.2019jamdsm0038