

昇降機のシミュレーション技術

Simulation Techniques for Elevators

木村 弘之

KIMURA Hiroyuki

森下 明平

MORISHITA Mimpei

中垣 薫雄

NAKAGAKI Shigeo

付加価値の高い新型昇降機が続々と開発されている。新型昇降機を開発するうえで、シミュレーション技術は不可欠なものであり、昇降機の様々な分野に使われている。昇降機特有のシミュレーション技術として、制御・機械系の連成シミュレーション、ロープ横揺れ解析、アクティブ制振装置による走行振動低減技術などがある。

これらの技術は、昇降機の安全性や快適性を更に向上させるとともに、これまでにない機能を持った製品の開発や高速・大容量化におおいに役だっている。

New style elevators of high added value are being developed in succession. Simulation techniques are indispensable for the development of these elevators, and are used in various areas. This paper presents some simulation techniques specifically for elevators, focusing on complex simulation of control and mechanical systems, lateral vibration analysis of elevator ropes, and reduction of cage vibration using an active mass damper. Such simulation techniques are very useful for the development of new style elevators and high-speed/large-capacity elevators offering greater safety and comfort.

1 まえがき

21世紀に入り昇降機は大きく変ぼうしてきた。マシンルームレスエレベーターをはじめ、速度1010m/minの世界最高速エレベーター、ビル壁面を走行する屋外展望エレベーター、上下のかご間隔を自在に調整できる2階建てエレベーターなど、付加価値の高い新型昇降機が続々と開発されている。これら新型昇降機を開発するうえで、シミュレーション技術は不可欠であり、昇降機の様々な分野に使われている⁽¹⁾。

エレベーターは、昇降路上部の機械室に設置された巻上機でロープを駆動することで、かごとつり合いおもりをつるべに昇降させる。マシンルームレスエレベーターは、超小型巻上機を昇降路内に設置し、機械室を不要にしたものであるが、駆動の原理は同じである。

ここでは、昇降機特有のシミュレーション技術として、エレベーターの制御・機械系の連成シミュレーション、走行時の横振動シミュレーション、ロープ横揺れシミュレーションを中心に述べる。

2 制御・機械系の連成シミュレーション

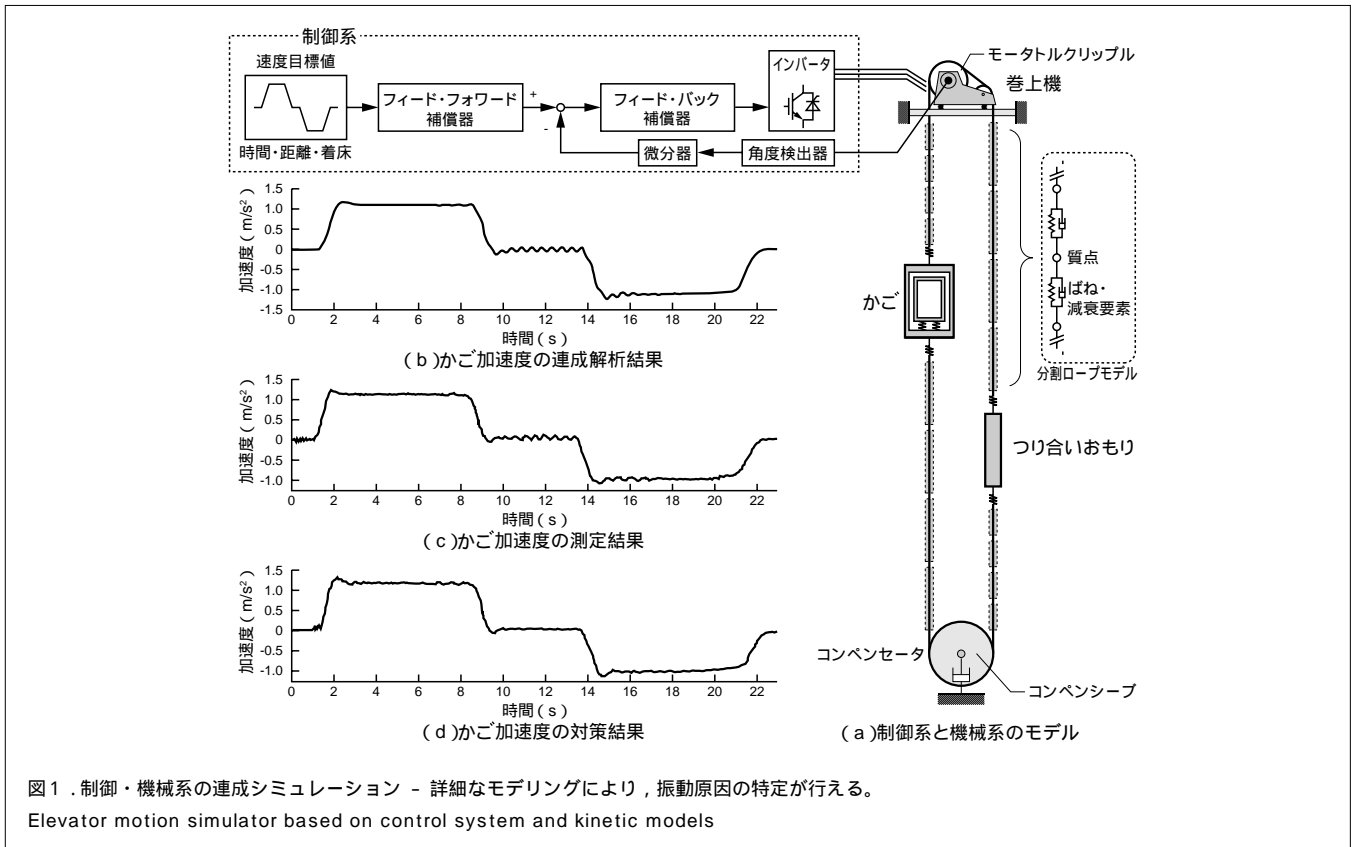
図1は、エレベーターの制御系と機械系を模式的に示したものである。かごを他階へ移動させるには、巻上機の回転角を検出し、回転速度と速度目標値との誤差からかごを

目標速度に追従させるための巻上トルクをまず計算する。計算結果はトルク指令値としてインバータなどの駆動装置に入力され、巻上機が発生するトルクが指令値に一致するよう駆動電流を調整する。トルク指令値を計算するまでが速度制御系、トルク指令値に一致したトルクが得られるまでが電流制御系である。これら速度制御系と電流制御系でエレベーターの制御系が構成される。

巻上機で発生するトルク脈動に機械系が共振すると、大きな上下振動がかごに発生する場合が多い。このため、制御系と機械系の相互の影響を考慮できる連成シミュレーションが必要となる。このシミュレーションでは制御系を忠実にモデル化するとともに、巻上機、ロープ、かご、つり合いおもりなどから構成される機械系を、減衰要素付きのばねと質量でモデル化している。また、このシミュレーションでは、かごの走行に伴いロープの長さが変化していく現象を、ロープのばね定数、減衰定数、質量を時々刻々変化させることで模擬している。

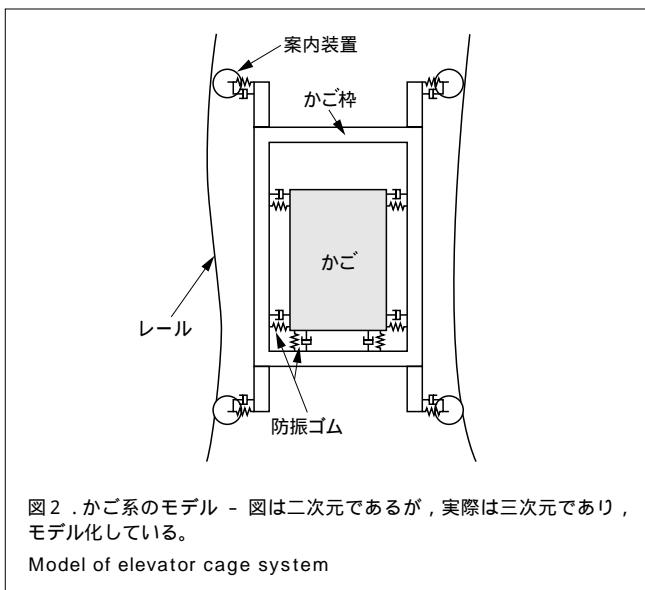
制御・機械系の連成シミュレーションの一例を図1(b)に示す。加速終了後の定速走行で生じている上下振動(図1(c))を連成シミュレーションで解析し、振動の原因を特定した。対策後は、図1(d)に示すかご加速度波形のように、上下振動の除去に成功している。

このほか、制御手法の検討や最適な制御定数の決定、発生するトルク脈動のキャンセル機能の開発に、このシミュレーションが利用される。

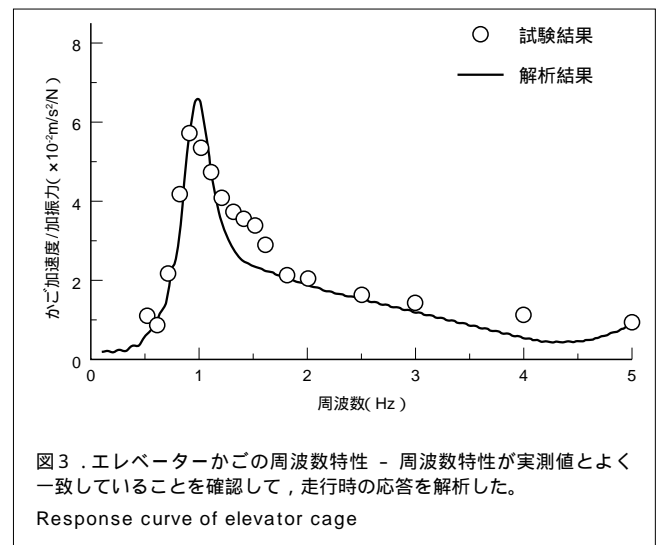


3 走行時の横振動シミュレーション

エレベーターにはガイドレールの微小なたわみによる強制変位が作用し，これがかごの横振動の原因となる。このような外乱に対してエレベーターの乗りごちを良くするためには，かご防振系の特性を最適に選ぶことが有効である。図2は，かごの振動特性を改善するための解析モデルで



あり，レール変位を入力することにより，かごの応答を計算することができる。図3と図4は，このモデルを用いてかごの周波数特性や走行時のかご振動について解析した結果と，試験結果とを比較したものであり，両者はよく一致している。これにより，かご防振系の最適化を図ることができる。かご防振系を最適化するだけでなく，アクティブマスダンパ(AMD)をかご下に搭載することによって，更に静かなエレベーターを実現することができる。



AMDの構成例を図5に示す。かご振動をセンサで検知し、アクチュエータ(図5の場合はサーボモータとボールねじ)で可動おもりを振動のキャンセルする方向に動かし、

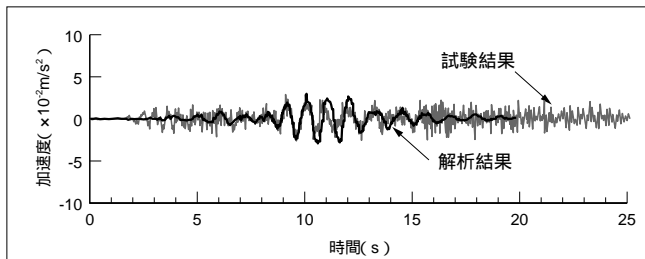


図4. 走行時のかご振動 - 解析結果は実測値とよく一致しており、防振系の最適化に利用できる。

Cage vibration while elevator is running

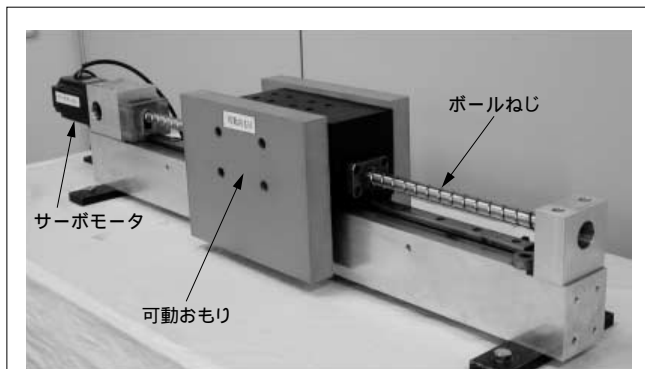


図5. アクティブマスダンパの構成 - おもりを駆動する反力により、かご振動を低減する。

Structure of active mass damper

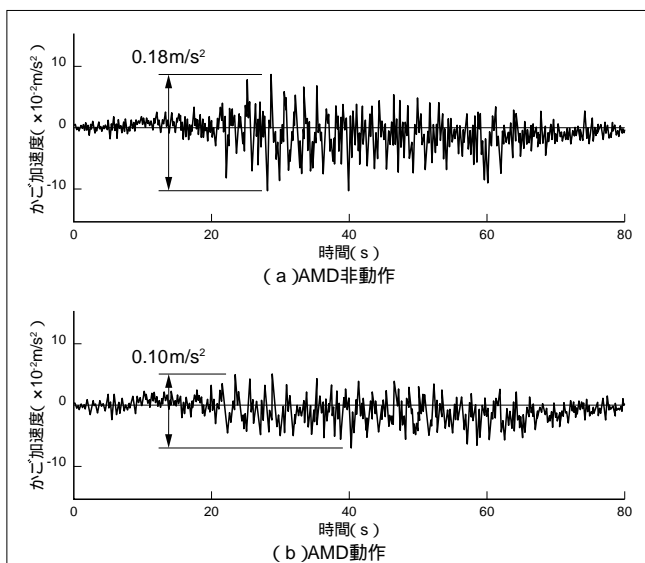


図6. エレベーターかご室の加速度 - AMDを動作させることにより、かご振動を約40%低減している。

Elevator cage floor vibration

その反力によりかご振動を低減する。図6は、このAMDの効果を実測した例であり、AMDを動作させることにより、かご振動を40%低減できている。AMDは世界最高速エレベーターに搭載されている。

4 ロープの横揺れ解析

超高層ビル用のエレベーターでは、強風時のビル揺れによってロープが加振される。エレベーターのロープは、かご走行中に長さが変化するため、その固有振動数は時々刻々変化する。ビル揺れの周波数とロープの固有振動数が一致すると、共振によりロープ変位が大きくなる。一方、屋外展望用エレベーターでは、風荷重(風圧によって作用する荷重)が直接ロープに作用するため、強風時にはロープ変位が大きくなる。いずれも、ロープ変位が大きくなると、昇降路内機器へのロープの絡まりや衝突が問題になる。

そこで、強風時のビルの揺れ又は風荷重によって加振されるロープの横揺れ解析を行い、この結果を基に、昇降路内機器へのロープの絡まり防止策(ロープ振れ止め装置の設置)や管制運転(強風時の減速運転、停止)などの安全対策をとっている。

図7は、かごの上昇に伴うロープ長さの変化を考慮して、強風時のビル揺れによるロープ変位を非線形的に解析した結果の一例である⁽²⁾。このような解析を行うことにより、ビルの揺れ量とロープ変位との関係が明らかになった。

また、屋外展望用エレベーターでは、図8に示すように、ロープ変位が大きくなるのを防止するため、振れ止め装置を

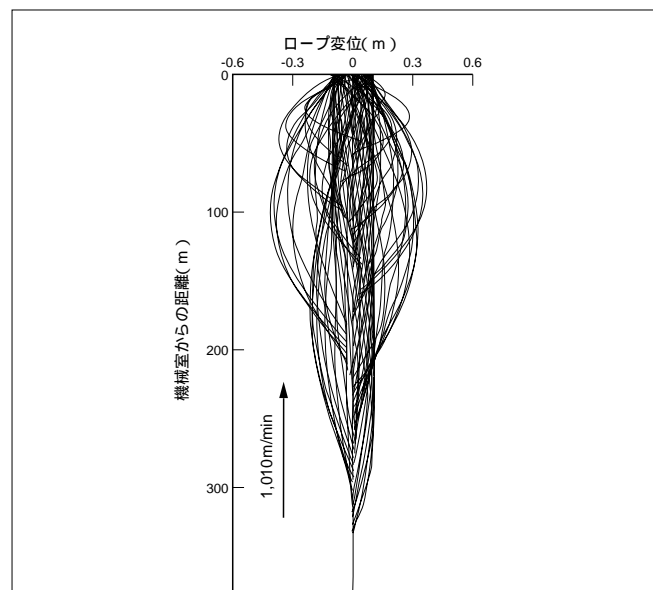
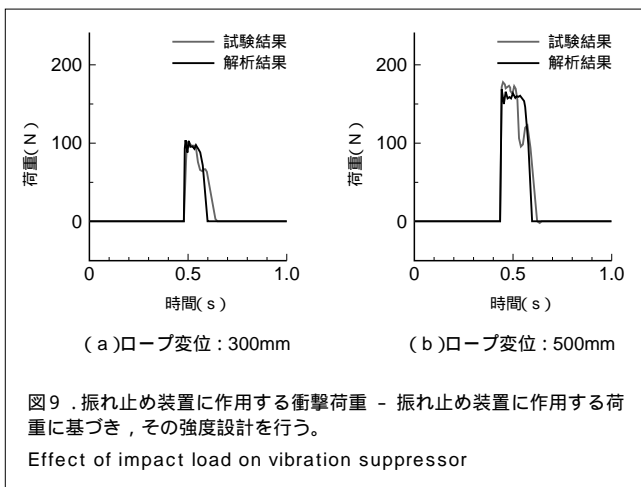
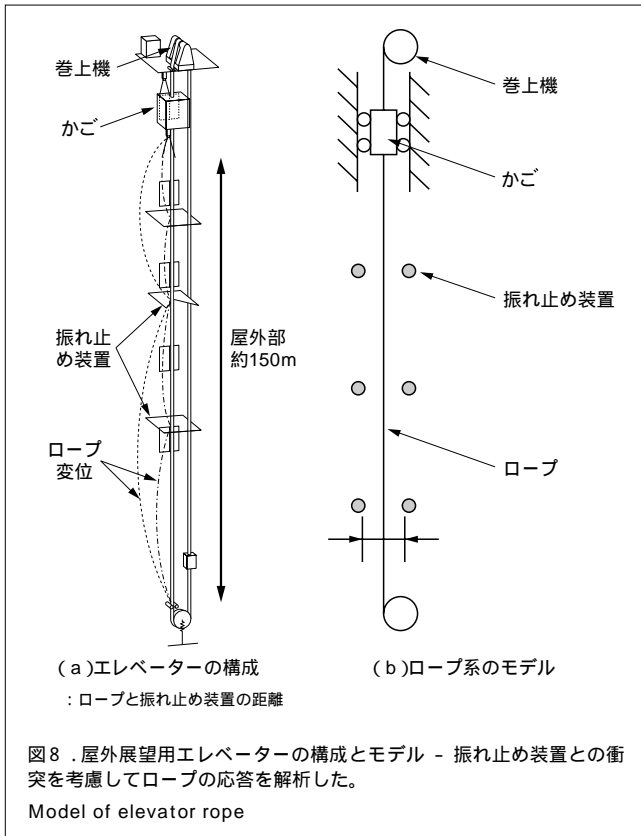


図7. ビル揺れ時のロープの挙動解析 - ロープ長さが変化することを考慮して応答を解析し、管制運転条件を設定した。

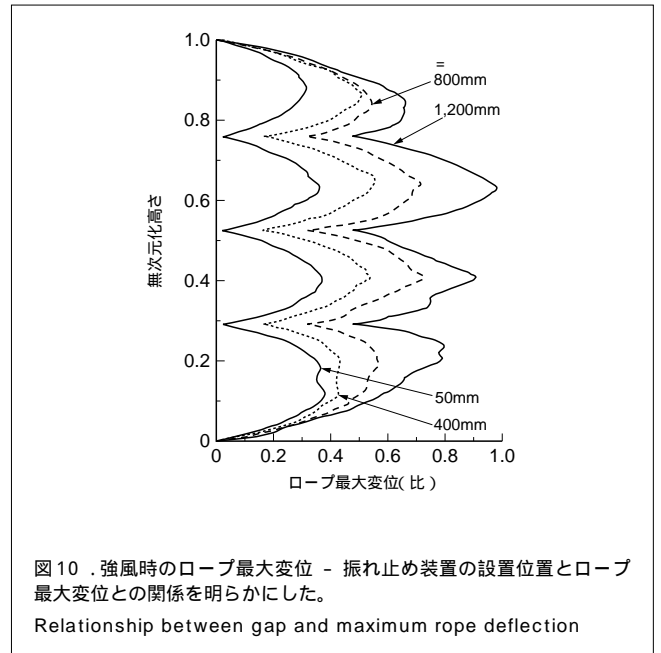
Analysis of elevator rope behavior



設置している⁽³⁾。図9は、ロープが振れ止め装置に衝突した時の荷重を解析と試験と比較したもので、両者はよく一致していることがわかる。また、図10は、ロープと振れ止め装置との間の距離()を変えた場合のロープの挙動を解析した例である。これらの解析により、枠に作用する荷重や必要な設置個数などを求め、枠の設計に反映させている。

5 あとがき

昇降機のシミュレーション技術の一端を述べた。今回は



言及できなかったが、有限要素法による振動・構造解析や機構解析、空力解析など、様々なシミュレーションを昇降機に適用している。これらは、昇降機の安全性や快適性を更に向上させるとともに、これまでにない機能を持った製品の開発や高速・大容量化におおいに役だっている。今後も、大学などの社外の研究機関と連携し、シミュレーション技術の高度化を図っていく。

文 献

- (1) 中川俊明, ほか. 世界最高速1,010m/minエレベーター. 東芝レビュー. 57, 6, 2002, p.58 - 63.
- (2) 木村弘之, ほか. “エレベーター・ロープの横振動解析”. 日本機械学会東海支部第50期総会・講演会 講演論文集. 2001-3, p.19 - 20.
- (3) 木村弘之, ほか. “屋外展望用エレベーター・ロープの横振動解析(ロープ振れ止め枠に作用する荷重について)”. 日本機械学会 第11回交通物流部門大会講演論文集. 2002-12, p.133 - 134.



木村 弘之 KIMURA Hiroyuki, D.Eng.
電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター
電機システム開発部主査, 工博. 昇降機の研究・開発業務に従事。日本機械学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



森下 明平 MORISHITA Mimpei, D.Eng.
電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター
電機システム開発部主査, 工博. 機械・電気制御システムの研究・開発業務に従事。電気学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



中垣 薫雄 NAKAGAKI Shigeo
電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター
電機システム開発部部長. 昇降機・交通機器・環境機器の開発業務に従事。日本機械学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center