

高層ビル用エレベータにおける運動制御のシミュレーション (高層ビル用エレベータにおける縦振動とその抑制)

金沢大学・工 ○滝沢真之, 神谷好承, 関啓明, 疋津正利, 松岡寛晃

Simulation of motion control in an elevator for high-rise buildings
Kanazawa University Saneyuki TAKISAWA, Yoshitugu KAMIYA,
Hiroaki SEKI, Masatoshi HIKIZU, Hiroaki MATUOKA

In the case of an elevator for high-rise buildings, an elevator rope gets longer. On the account, the expansion and contraction occurs on an elevator rope, and longitudinal vibrations occur with this. Such longitudinal vibrations make ride comfort of elevator bad. In this paper, we make a simple dynamic model of an elevator and examine longitudinal vibrations of an elevator and technique to restrain longitudinal vibrations.

1. 緒言

高層ビル用エレベータの場合,昇降距離が長くなり,エレベータロープも長くなる.このためエレベータロープに伸びが生じ,これに伴い縦振動が生じる.こうした縦振動はエレベータの乗り心地を悪くする.

そこで本研究では,エレベータの簡易な力学モデルを作成し,乗りかごの縦振動について調べ,縦振動を抑制する手法について検討する.具体的には,エレベータの巻上機を制御するサーボモータの制御と動吸振器の併用によりエレベータの縦振動を抑制できることを示した.

2. エレベータモデルの制御

2.1 力学モデルと運動方程式

エレベータは主に,モータと巻上機,メインロープ,乗りかご,つりあいおもりから構成されている.巻上機でメインロープを駆動することで,乗りかごとつりあいおもりを昇降させる.またメインロープは乗りかごの位置により剛性が変化する可変ばねと考えることができる.

エレベータの構成図を図1に示す.

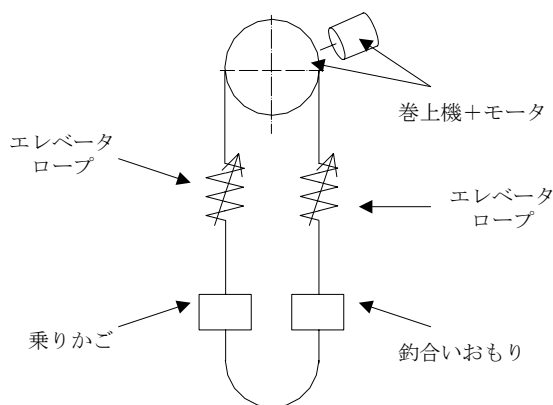


図1 エレベータのモデル

乗りかごの変位を x_1 [m], つりあいおもりの変位を x_2 [m], モータの回転角を θ [rad] とする. このモデルの運動方程式は次式で表される.

①乗りかご

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= m_1 g - F_1 \\ F_1 &= k_1 (x_1 - r\theta) \end{aligned} \quad \dots(1)$$

②つりあいおもり

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{x}_2 &= m_2 g - F_2 \\ F_2 &= k_2 (x_2 + r\theta) \end{aligned} \quad \dots(2)$$

③モータ+巻上機

$$J\ddot{\theta} = T_m + (F_1 - F_2) \times r \quad \dots(3)$$

ここで乗りかごの質量を m_1 [kg], 釣合いおもりの質量を m_2 [kg], メインロープのばね定数を $k_{1,2}$ [N/m], 巻上機半径を r [m], メインロープ張力を $F_{1,2}$ [N], モータトルクを T_m [Nm], モータ+巻上機の慣性モーメントを J [kgm²] とする

またメインロープは剛性が変化する可変ばねとして考える. メインロープのばね定数 $k_{1,2}$ は以下の式で表される.

$$k_{1,2} = \frac{k_0}{L_{1,2}} \quad \dots(4)$$

ここで, 1 mあたりのロープのばね定数 k_0 [(N/m)/m], ロープ長さ $L_{1,2}$ [m] である.

2.2 モータ制御

エレベータの力学モデルを元に位置制御系のブロック線図を作成する. ブロック線図を図2に示す.

PI制御の場合, 速度制御器 $G_v(s)$ は次式で表される.

$$G_v(s) = \frac{K_C}{s} + K_D \quad \dots(5)$$

入力(乗りかごの目標移動量)としてステップ関数を与え, 応答を調べた. しかし PI 制御の場合, 応答が振動的になりやすかった.(図3)

そこで, 吸振支持の文献[1]を参考に, 位置ゲイン K_P , 積分ゲイン K_G , 比例ゲイン K_D を以下の式で与え P 制御を行った.

$$\begin{aligned} K_P &= \frac{J\alpha}{K_D K_\tau} (2\pi f)^2 \\ K_C &= 0 \end{aligned} \quad \dots(6)$$

$$K_D = \frac{J\alpha}{T_G K_\tau} \times 2\zeta (2\pi f)$$

ここで f [Hz] はモータ部の固有振動数, ζ は減衰比, K_τ [Nm/A] はトルク定数, α [V/A] は電流フィードバック係数である.

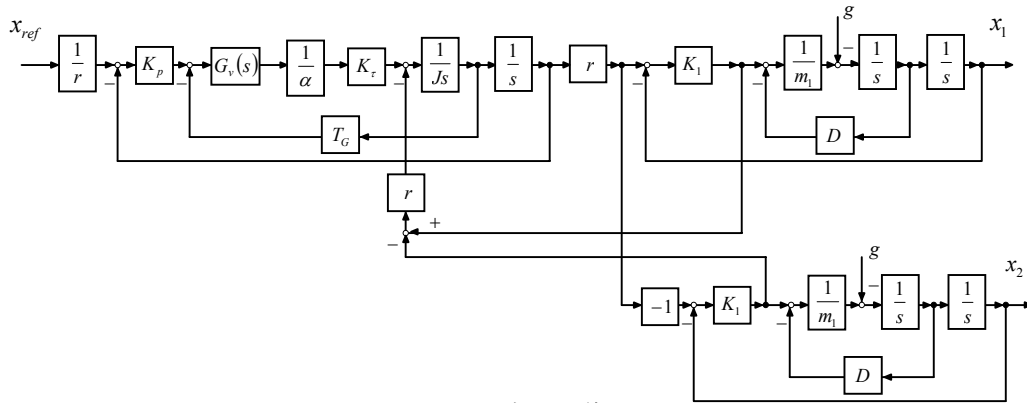


図2 エレベータのブロック線図

減衰比 ζ は文献²⁾より最適なパラメータが与えられ、モータ部の固有振動数 f [Hz]には任意の値を与える。

乗りかごにはロープ長により 1~10[Hz]程度の振動が生じるが、固有振動数 f には低い方の振動数に合わせて 2Hz 程度の値を与えることにより、乗りかごに生じる振動を抑制することができる。(図3) また、 f が小さいほどモータの剛性が小さくなる。シミュレーションの結果、エレベータの運動制御はモータの剛性を小さくする方が適していると考えられる。

しかし、乗りかごと釣合いおもりがほぼ同じくらいの高さとなり、2本のエレベータロープ長がほぼ同じ長さになる場合、乗りかごと釣合いおもりに互いに近い振動数の振動が生じる。このような場合、乗りかごと釣合いおもりには同期した振動が発生し、振動を抑制することができない。(図5)

こうした振動が生じた場合、モータの剛性だけでは振動を抑制することができない。そのため振動を抑えるための機構を付加する必要がある。

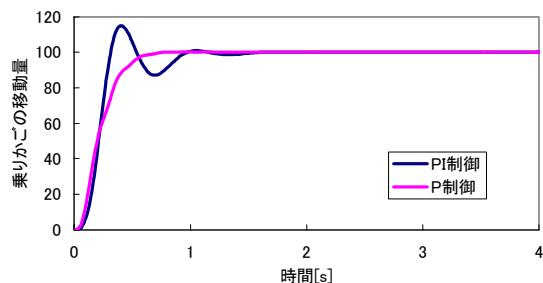


図3 PI制御とP制御

3. 動吸振器を取り付けたモデル

図4のように釣合いおもりを上下に分割し、その間に動吸振器を取り付けたモデルを作成した。

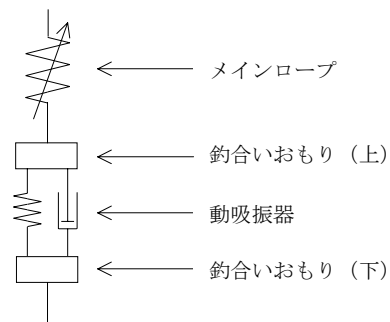


図4 動吸振器をつけた釣合いおもり

動吸振器は文献²⁾を参考に最適なパラメータを与えた。動吸振器を取り付けたモデルを用いてシミュレーションを行った。

エレベータロープに生じる振動数はロープの長さに応じておおよそ 1~10Hz の間で変化する。動吸振器のパラメータは乗りかごに生じる振動数のうち、低い方の振動数に合わせたほうが、吸振効果が大きい事が確かめられた。動吸振器と剛性の小さいモータを併用することにより、エレベータに生じる縦振動を十分に抑制することができる。(図6)

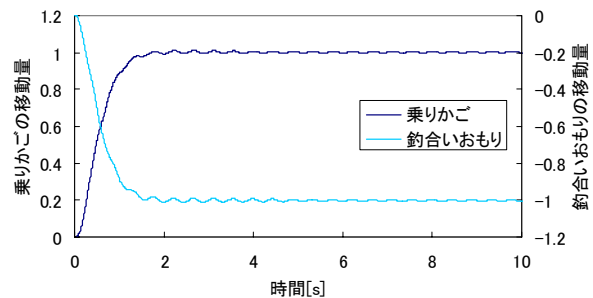


図5 乗りかごと釣合いおもりの移動

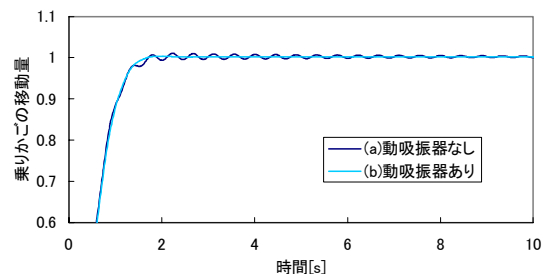


図6 乗りかごの移動

4. 結論

エレベータの力学モデルを作成することにより、運動制御のシミュレーションを行った。その結果、エレベータの制御にはモータの剛性が小さい方が適していることを明らかにした。

本研究では、文献を参考に P 制御についてシミュレーションを行ったが、剛性を小さくすれば PI 制御でもエレベータの運動制御を行うことができると考えられる。

また、剛性の小さいモータと動吸振器を併用することにより、乗りかごに生じる縦振動を十分に抑制できることを確かめた。

参考文献

- 1) 神谷 好承, 横山 恭男, 高野 政晴: ロボットアームの高速位置決め一問欠運動の高速化に関する研究一精機学会誌, 45, 2, 41~47 (1979-2)
- 2) 神谷 好承, 高野 政晴: 問欠運動の高速化に関する研究一動吸振器による残留振動の減衰一, 精機学会誌, 43, 9, 81~85 (1977-9)