

## 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 (エレベータの乗りかごの位置決め制御)

金沢大学 ○滝沢真之, 神谷好承, 関啓明, 正津正利, 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, we cannot ignore expansion and contraction to occur on an elevator rope. It changes by a rope length and the number of people to get on. A position of a cage of an elevator becomes the structure that it is difficult to measure it continually in all floors. For an elevator having such a condition, we suggest a control method of an elevator and examine technique of correct positioning.

### 1. 緒言

高層ビル用エレベータの場合、エレベータロープに生じる伸びを無視することができない。この伸びはロープ長および乗る人数によって変化する。

またエレベータの乗りかごの位置は、すべての階において連続的に計測することが難しい構造となっている。これらの点が通常の位置決め制御とは異なる点である。

こうした条件を持つエレベータに対して、位置制御ベースのエレベータの制御方法を提案し、目標階への正確な位置決めの手法を検討する。

### 2. エレベータの位置制御

エレベータは、モータと巻上機、メインロープ、乗りかご、釣合いおもり及び動吸振器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により、乗りかごと釣合いおもりを昇降させる。メインロープは乗りかごおよび釣合いおもりの位置により剛性が変化する可変ばねとして扱う。エレベータに生じる振動は、剛性の小さいモータと動吸振器により抑制することができる。エレベータの構成図を図1に示す。

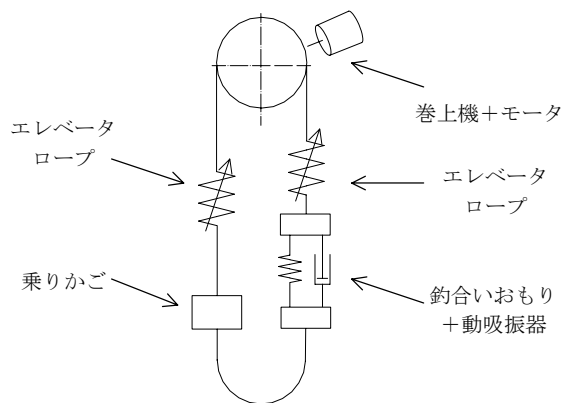


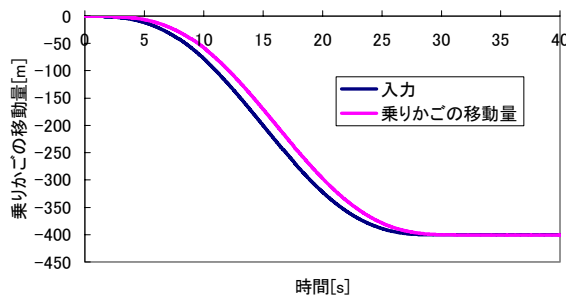
図1 エレベータの構成

入力 $X_1$ (乗りかごの目標移動量)として、以下のサイクロイド曲線を与える。

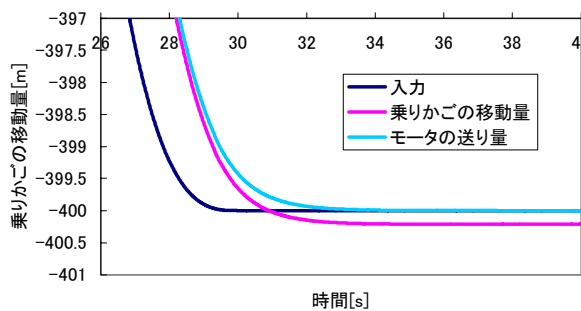
$$X_1 = \frac{A_1}{B_1}t - \frac{A_1}{B_1^2} \sin B_1 t \quad \dots(1)$$

$$\left( \because B_1 = \frac{2\pi}{T_1} \right)$$

ここで $A_1$ は定数、 $T_1$ [s]は目標階までの到達時間である。乗りかごの目標移動量 $X_1$ を下方向に 400m、目標階までの到達時間 $T_1$ を 30sとする入力を与えた場合の応答を図2に示す。



(a) 全体図



(b) 目標階付近

図2 乗りかごの移動量

図2(a)より入力と出力(乗りかごの移動量)の間には、遅れが生じている。また図2(b)より、モータの送り量は目標の移動量(400m)に問題なく到達しているが、乗りかごは目標の移動量よりもおよそ0.2m行き過ぎている。この原因としてはエレベータロープの伸びが考えられる。

エレベータロープのバネ定数 $k_l$ は以下の式(2)で表される。

$$k_l = \frac{k_0}{L_l} \quad \dots(2)$$

ここで $k_l$ (N/m)/mは1mあたりのバネ定数、 $L$ [m]はロープの長さである。

ロープのバネ定数はロープ長に依存する。乗りかごが下に移るほどロープが長くなり、ロープの剛性は小さくなるため伸びが生じる。また乗りかごが上に移動する場合は、剛性は大きくなり縮みが生じる。この様なロープの伸縮は乗りかごの位置決めに影響を与える。

したがってモータに取り付けたエンコーダの情報だけでは、乗りがごの位置を正確に計測することができない。乗りがごの位置決めを行うためには、位置の補正を行うための装置を付け加える必要がある。

図3にエレベータの構成を示す。各フロアには位置センサを設置する。乗りがごが各フロアに取り付けられた位置センサを通過するごとに、乗りがごの位置を検出する。また目標階付近に乗りがごが到達した時、目標階に設置された位置センサの情報を下に目標階まで必要な距離を計算し、乗りがごの位置決めに補正を加える。

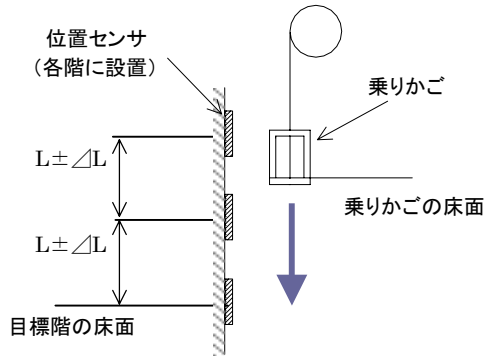


図3 エレベータの構成

一般的な位置制御の場合、対象物の位置を連続的に検出できるが、高層ビル用エレベータの場合、乗りがごの昇降距離が長大となるためすべての区間で位置を正確に計測することが難しい。そこで、各階に取り付けた位置センサの情報をもとに乗りがごの位置決めを行う制御法について考える。

図2(b)は乗りがごが下方向に400m移動するように入力を与え、乗りがごが目標階付近に到達したときの乗りがごの位置、モータの送り量および入力を表している。

ここで乗りがごの位置からモータの送り量を引いたものがロープの生じる伸縮量である。ロープの伸縮量は乗りがごが位置センサを通過した時に計測できる。図2の条件でシミュレーションを行った場合のロープの伸縮量のグラフを図4に示す。

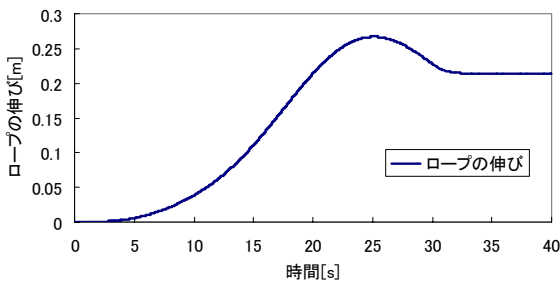


図4 ロープの伸び量

図4より目標値付近に到達する前にロープの伸びが最大となる。これは乗りがごが減速する際、乗りがごに慣性力が働くことにより、このように一時的に伸びが大きくなると考えられる。ロープの伸びが最大となった後、伸びはほぼ一定の値に収束する。この収束した値が最終的なロープの伸びであり、乗りがごの行き過ぎの原因である。

位置センサではロープの伸びを計測することにより、目標階までの必要距離を算出し、入力に補正を加えて乗りがごを目標階に精度良く位置決めを行う。

そこで以下のようなエレベータの位置制御法を提案する。まず始めに1回目の入力として、前述の式(1)のサイクロイド曲線を与える。ただし、1回目の入力の目標移動量  $Xc_1[m]$  は目標階までの距離  $X_1[m]$  よりも少なめに与える必要がある。これはメインロープの伸びによる行き過ぎを防ぐためである。

1回目の入力で乗りがごを目標階に取り付けられた位置センサの位置まで移動させ、そこでロープの伸縮量を検出し、目標階までの必要距離  $Xc_2[m]$  を算出する。そして2回目の入力として、目標移動量  $Xc_2[m]$  のサイクロイド曲線を入力し、乗りがごを目標階まで移動させる。

この制御法を用いて、乗りがごを下方向に400m移動させる場合のシミュレーション結果を以下に示す。

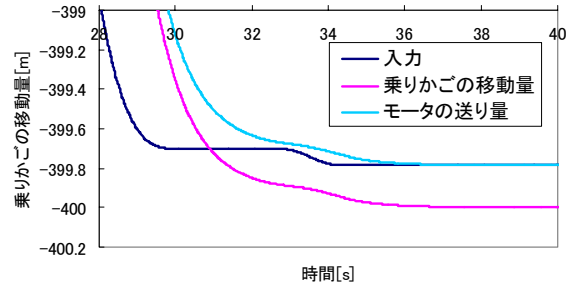


図5 乗りがごの移動の例

乗りがごを上方向に200m移動させる場合のシミュレーション結果を図6に示す。

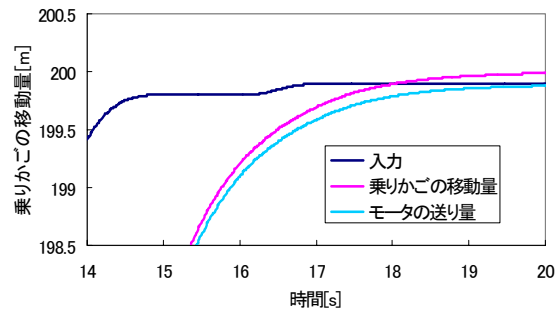


図6 乗りがごの移動の例

位置補正を行うことにより、乗りがごの移動方向、移動量、エレベータに乗る人数を変えても、乗りがごを目標階の位置に移動させることができる。またモータの剛性と動吸振器の効果により乗りがごに生じる縦振動を十分に抑制できる。

ただし乗りがごの移動量に応じて、目標階までの到達時間  $T_1[s]$ 、1回目の入力の目標移動量  $Xc_1[m]$  などを変えてやる必要がある。 $T_1[s]$  を小さくすると、乗りがごは目標階に早く到着するが、乗りがごに生じる加速度が大きくなり、エレベータの乗り心地に影響する。また  $Xc_1[m]$  はロープの伸縮を考慮して与えないと、乗りがごの移動に行き過ぎが生じるなどの問題が起こる。こうした各条件におけるパラメータの設定については今後検討する必要がある。

### 3. 結言

エレベータ特有の問題として、エレベータロープの伸縮および乗りがごの位置を連続的に計測できないという事が挙げられる。こうした問題は乗りがごの位置決めに影響を与える。

この様なエレベータの特徴を考慮したうえで、エレベータの位置制御の検討を行った。エレベータはできる限り速く、正確に、かつ乗り心地を損なわないなどの条件を満たす様にパラメータを設定する必要がある。

### 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—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—動吸振器による残留振動の減衰—, 精機学会誌, 43, 9, 81~85 (1977-9)