

飯島 厚  
IJIMA Atsushi

藤田 善昭  
FUJITA Yoshiaki

佐々木 宏忠  
SASAKI Hirotada

建物の高層化・大規模化を背景に、縦の交通機関として主要な位置を占めるエレベーターシステムにも高速化や輸送力向上の技術が求められている。当社は、このような社会の要請にこたえるべく150m級のエレベーター新研究塔を建設し、これを利用して研究開発に取り組んでいる。ここでは新研究塔での研究成果を基に、速度1,000m/分を目ざした超々高速エレベーターや、かごが2階建て構造のダブルデッキエレベーターの高速化・大容量化について、そのドライブ技術および振動抑制技術、特殊合金を使用した非常止め装置などの安全装置、さらには気圧制御技術などについて述べる。

As increasing numbers of high-rise and large-scale buildings are constructed, there is growing demand for technologies to improve the speed and transportation capacity of elevator systems as the vertical traffic engine of such buildings. In response to this demand, Toshiba has built a new 150 m-class elevator research tower and is using this facility for research and development of elevator systems.

This paper introduces advanced technologies for ultra-high-speed elevators and double-deck elevators, including safety devices such as emergency stopping equipment, drive technology, vibration-suppressing control technology, and air-pressure control technology.

## 1 まえがき

エレベーターを速度と積載により分類すると、速度600m/分を超える領域のエレベーターを超々高速エレベーターと呼び、積載2,000kgを超える領域のエレベーターを大容量のエレベーターと呼んでいる。

これらの領域のエレベーターには、従来技術の延長線上の取組みでは解決できないいくつかの技術課題がある。ここでは、これらの技術課題に取り組む当社技術の一端について述べる。

## 2 高速化・大容量化ドライブ技術

### 2.1 高機能MPUの採用

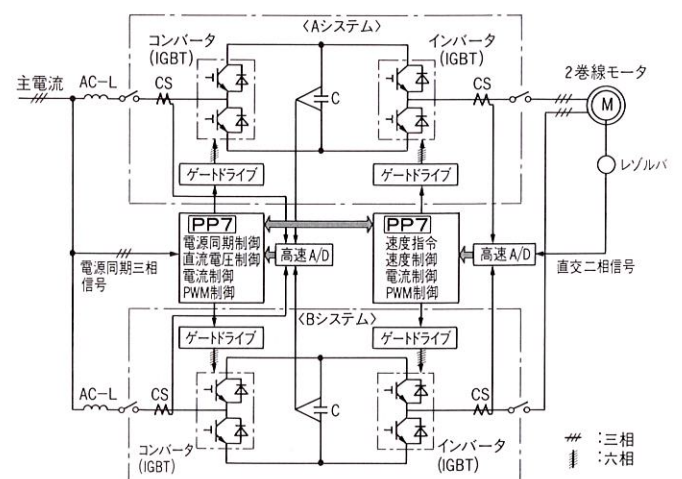
エレベーターのドライブ装置には、現在インバータ制御が広く用いられている。これらの制御用ハードウェアはアナログ、デジタルの混用回路からCPU、ASIC(用途特定IC)などを用いた全デジタル制御へと変遷してきており、高機能化が図られている。

今回パワーエレクトロニクス専用に開発した高性能のMPU(Micro Processing Unit)PP7を高速エレベーターに適用することで、32ビットCPUと周辺機能、パワーエレクトロニクス専用多機能デジタル回路を一体化することができ、制御システムの小型・簡素化が達成できた。さらにより高速で大容量のシステムへの展開が容易になった。

### 2.2 ツインインバータシステム

速度1,000m/分級の超々高速エレベーターや、かごが2階建て構造のダブルデッキエレベーターでは、100kWを超える大容量の電動機をドライブする必要がある。

図1にPP7を用いた大容量ドライブシステムの構成を示す。このシステムは、絶縁された二つの巻線をもつ大容量



AC-L:AC-reactor C:Capacitor CS:Current Sensor A/D:Analog/Digital IGBT:Insulated Gate Bipolar Transistor M:Motor PWM:Pulse Width Modulation

図1. 大容量ドライブシステムの構成 ツインインバータシステムにより大容量化を実現した。

Configuration of large-capacity drive system

電動機を使用し、おのおのの巻線は独立したコンバータ／インバータでドライブされるツインインバータシステムである。

このツインインバータシステムは二つのPP7で制御される。一方のPP7で二つのコンバータを制御し、もう一方のPP7で二つのインバータを制御するシステム構成を採用している。この構成は、速度センサ・電流センサなどのセンサ入出力構成が容易で、PP7間の同期制御も不要という利点がある。なお、コンバータ制御では電源同期制御を含む直流電圧制御、電流制御、正弦波PWM制御を、インバータ制御ではベクトル制御を含む速度制御、電流制御、正弦波PWM制御の全デジタル化を実現している。

図2にツインインバータシステムの走行波形を示す。

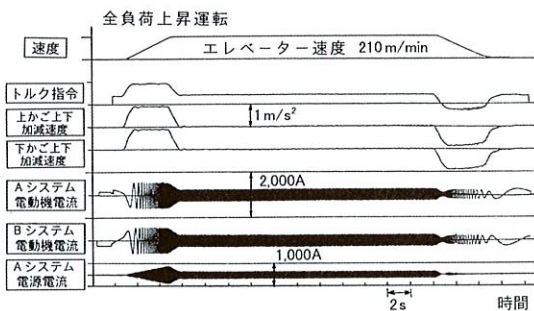


図2. ツインインバータシステムの走行波形 二つのPP7により安定した制御と高信頼性を実現した。

Running waveforms of twin-inverter system

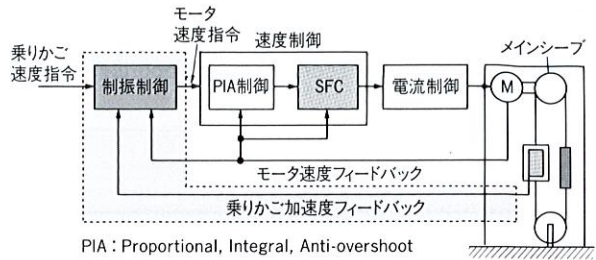


図3. 新制振制御の構成 従来の速度制御ループの外側に新たなループを追加したことで、振動を低減させた。

Block diagram of new vibration-suppressing control system

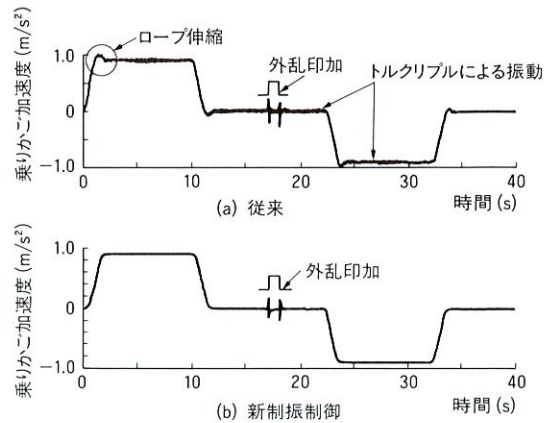


図4. 新制振制御の効果 ILQの適用により、かごの振動が大幅に改善された。

Effects of new vibration-suppressing control system

### 3 振動抑制技術

#### 3.1 縦振動抑制技術

従来の高速エレベータードライブシステムは、エレベーター機械系と制御系との共振によって発生するかご内の振動を改善するために、振動を抑制するための制御演算処理SFC (Simulator Following Control) を追加した。すなわち、シミュレーション演算により得られた理想的な速度信号を実速度信号と比較することで、実速度内に含まれる振動成分だけを抽出し、トルク指令値を補正することで振動を抑制した。

今回、高層化・高速化に適した新しい振動抑制技術を最適制御設計理論であるILQ (Inverse Linear Quadratic) を適用し開発した。ILQは目標とする速度制御性能を指定し、それを達成する装置を設計する理論である。これは、ドライブ系に与える基準を操作することで、振動原因となっている共振周波数および減衰係数を容易に振動しにくい状態に移行させることができる特長をもっている。この理論を採用した制御装置は、かごの加速度信号をフィードバックすることで、ロープの弾性に起因した低周波の振動を低減

できた。図3に新制振制御の構成を示す。点線で囲った部分が新制振制御で付加したブロックである。

上記のSFCおよびILQの性能は速度制御演算のサンプリングタイムに大きく依存している。今回PP7を用いることで、従来の1/5のサンプリングタイムを実現し制御性能の向上を達成できた。

図4に、新制振制御の効果をシミュレーションにより確認した結果を示す。

#### 3.2 横振動制御技術

エレベーターの乗りごちを大きく左右するかごの横揺れは、かごをガイドするレールの曲がりによってかごが強制変位させられるものである。したがって、かごの走行速度が大きくなればなるほど、横揺れの加速度は大きくなる。

**3.2.1 新型ローラガイド** レールの曲がりによる強制変位をかごに伝えるのは、かごをレールに係合させているローラガイドである。従来からローラガイドは、レバー機構とばねによりレールの変位を吸収する構造となっているが、その効果をより高めるために、新型のローラガイドではレバーの支点を中心にした反ローラ側にバランスウェイトを取り付けた構造とした(図5)。

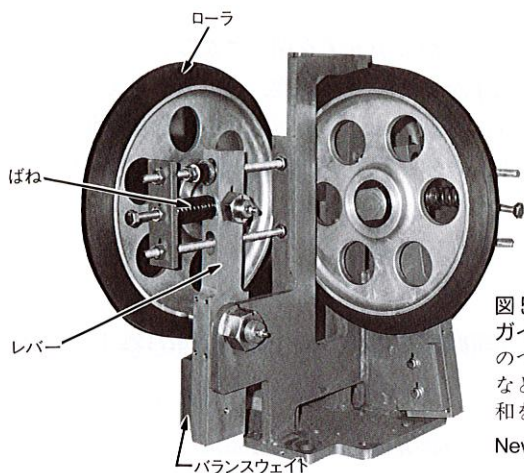


図5. 新型ローラガイド レバーのつり合いおもりなど、加振力の緩和を図っている。  
New roller guide

これによって、ローラがレールから受ける衝撃力がかごへ伝わりにくくなった。

また、かごがレールから変位を受けやすい原因として、かご位置によるバランスの崩れ(カーバランス)や積載状態のバランスの崩れ(偏荷重)によるかごの傾きがあるが、これを抑えるために案内装置にスタビライザを取り付けた。図6にその概略を示す。

これによってかごの上下左右に取り付けられたローラガイドのうち、対角に位置するものの変位をリンクさせ、かごが傾きにくい支持機構となっている。

図7に新型と従来型のローラガイドにおける、振動の伝達特性の比較を示す。10 Hz以下の周波数帯域で約25%伝達特性が改善されているのがわかる。

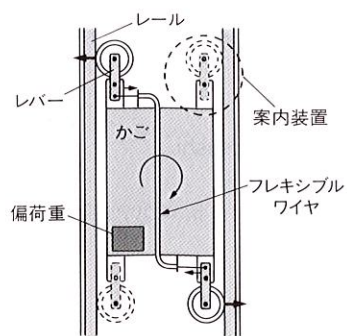


図6. スタビライザの概略 対角にあるローラの動きをフレキシブルワイヤでリンクさせることで、かごを傾きにくくしている。

Outline of car stabilizer

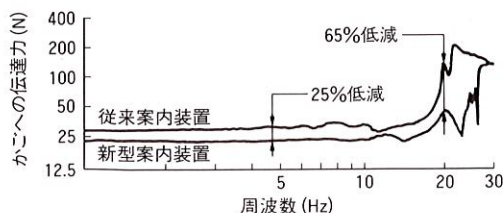


図7. 振動伝達特性の比較 乗りごこちに影響する10 Hz以下の領域で、25%の振動低減が図られている。

Characteristics of vibration transmission

3.2.2 アクティブマスダンパ (AMD) 前項で記載した新型ローラガイドは、パッシブにかごの振動抑制を図るものであるが、超々高速の走行においてはそのようなパッシブ系の振動抑制では不十分な場合がある。

このため、当社は振動の状態を検出しそれをアクティブに制振するAMDを開発した。かごの振動を慣性力で打ち消すウェイトとそのウェイトを動かす駆動装置、かごの振動を検出する加速度センサとその信号を利用して駆動装置を制御するコントローラからなっている。

図8に示す振動波形は、かごにレールから強制加振を加えてかご振動を測定し、AMDのON/OFFによる効果を比較したものである。

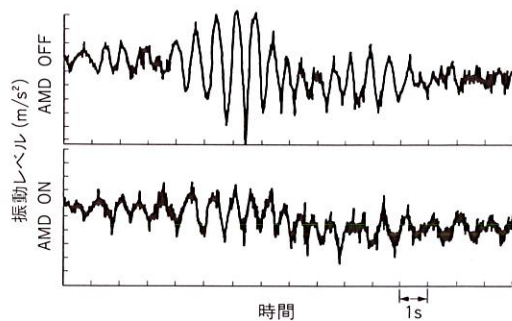


図8. AMDの有無によるかごの振動比較 AMDの効果によりかごの横振動が1/2以下に低減した。

Comparison of vibration levels with and without active mass damper (AMD)

#### 4 非常止め装置

速度1,000 m/分級の非常止め装置は、制動時に発生する熱によりシュー材の表面温度が1,000°Cを超えるため、シュー材にセラミックスを採用した。図9に今回開発した非常

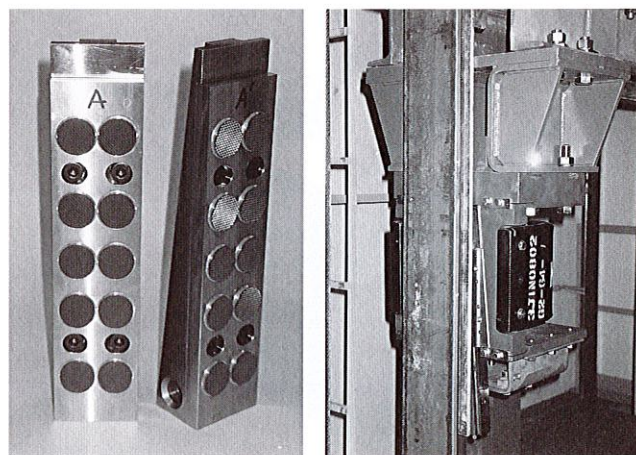


図9. 新型非常止め装置 定格速度1,000 m/分、最大適用質量22,700 kgで、シュー材にセラミックスを使用している。

New safety device

止め装置を示す。セラミックスのシュー材は割れ対策として、チップ状のものをプレートに複数埋め込む構成としている。

図 10 に、実機相当の落下試験装置による 1,000 m/分での落下試験結果を示す。

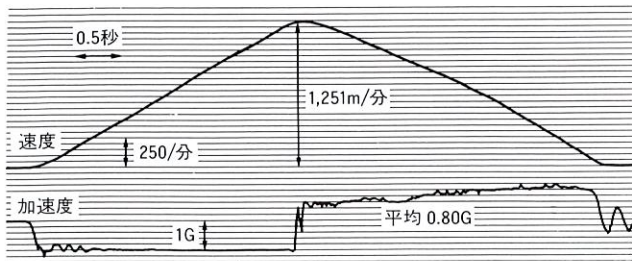


図 10. 1,000 m/分での非常止め装置の動作波形 定格速度 1,000 m/分における落下試験時のかごの速度および加速度を示す。

Results of new safety device operation

## 5 気圧変化緩和策

昇降行程 600 m を 1,000 m/分 で走行する場合、その気圧変化は総変化量が約 72 hPa、最大変化率で約 2 hPa/s である。この気圧変化は通常の人には、耳詰まりを少々頻繁に感じる程度であるが、耳管内の気圧調整をスムーズに行えない耳管閉塞者にとっては、耳痛や聴覚障害を引き起こすことがある。

これに対して、当社は高压のプロアを用いかご内の気圧を変化させるシステムの開発に取り組んでいる。図 11 はその概略システム構成を示す。加圧用プロアと減圧用プロア

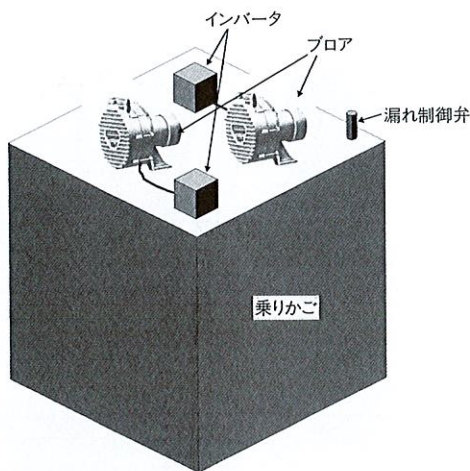


図 11. かが室気圧制御システムの概要 吸気と排気の二つの高压プロアによって、かが内の気圧を変化させる。

Air-pressure control system

の回転数を制御し、かががドアを閉じてからドアを開くまでの気圧の変化率が加速、定常速度、減速を通じてつねに一定になるようにする。これによって気圧の総変化量は変わらないが、変化率を 1.3 hPa/s 程度に低減することができる。これによって、より乗客に優しい超々高速エレベーターを提供することができる。

## 6 永久磁石同期電動機 (PMSM) 採用の巻上機

現在、エレベーターに使われている電動機は誘導電動機が主流である。この誘導機を励磁成分電流とトルク成分電流を独立に制御するベクトル制御で駆動している。

エレベーターの高速化・大容量化に当たっては電動機の小型・軽量化さらには高効率化が望まれる。当社では、誘導電動機に代わる新しい電動機として希土類永久磁石を用いた PMSM を開発した。

巻上機としては回転子とシーブ (綱車) 一体のアウトロータ型としてブレーキには電磁式ディスクブレーキを採用し、小型化とともに当社従来比約 40 % の軽量化を実現した。

## 7 あとがき

以上、当社の超高層、大規模ビルディング向けエレベーターシステムの技術課題への取組みの一端を述べた。今後は新設の研究塔をさらに活用し検証を重ね、早期に商品化へ結びつける予定である。

## 文 献

- (1) 関 義朗, 他, “ロープエレベーター縦振動シミュレータの開発”, 日本機械学会第 96-5 講演会講演論文集, 日本機械学会, 1997, p.5-8.



飯島 厚 IIJIMA Atsushi

府中工場 昇降機開発設計部主査。  
エレベーター制御装置の開発に従事。電気学会会員。  
Fuchu Works



藤田 善昭 FUJITA Yoshiaki

府中工場 昇降機開発設計部主務。  
エレベーターの開発・設計に従事。日本機械学会会員。  
Fuchu Works



佐々木 宏忠 SASAKI Hirotsada

府中工場 昇降機開発設計部。  
エレベーター機械装置の開発に従事。  
Fuchu Work