

# 世界最高速 1,010 m/min エレベーター

World's Fastest Elevator (1,010 m/min)

松尾 繁憲

■ MATSUO Shigenori

平井 正昭

■ HIRAI Masaaki

水野 末良

■ MIZUNO Sueyoshi

台湾の台北市に世界一の高さ 508 m を誇る超高層ビル“TAIPEI101”が、2004年12月にオープンした。東芝エレベータ(株)は、このTAIPEI101に世界最高速である 1,010 m/min エレベーターをはじめとして、エレベーター 61 台、エスカレーター 50 台、合計 111 台を納入した。

中でも世界最高速の 1,010 m/min エレベーターについては、振動と騒音の問題を含め、高速かつ快適な乗りごちを重点課題として解析シミュレーションを重ねながら開発を進め、その結果を踏まえて、現地で実機によるデータ検証を行った結果、満足のいく性能が得られた。

The Taipei 101 Building, the tallest building in the world with a height of 508 m, was opened on December 31, 2004. Toshiba Elevator and Building Systems Corp. supplied 61 elevators for this building, including the world's fastest elevator with a speed of 1,010 m/min, as well as 50 escalators, making a total of 111 elevators and escalators.

In designing these elevators we placed particular emphasis on realizing a high-speed yet comfortable ride, including solving the issues of vibration and noise. The main technique employed in the elevator development process was numerical simulation, followed by verification through acquisition of data at the site using actual machines. Good performance was obtained as a result.

## 1 まえがき

エレベーターの高速化の追求は、ここ数年の間に目覚ましく進歩している。このほど東芝エレベータ(株)は、これまで経験したことがない 1,010 m/min で昇降するエレベーターの開発を完了した。このエレベーターは、台湾の台北市内に世界一の高さ 508 m を誇る TAIPEI101 に据え付けられ、2004年12月31日に部分オープンした(図1)。地上から 89 階に設けられた展望台まで直行するエレベーターとして、世界最高速 1,010 m/min で昇降し、わずか 39 秒で展望台に到達する。1,010 m/min は、2004年12月16日にギネス世界記録にも認定登録された。

このエレベーターには、かご内気圧制御システムや AMD (Active Mass Damper) など、これまででない新技術が盛り込まれている。

1,010 m/min の高速エレベーターの基本仕様を表1に示す。主な新規開発内容は、次のとおりである。

- (1) 大容量の巻上機とツインドライブ制御装置から成る駆動システム
  - (2) 高速走行時でも快適な乗りごちのかごシステム
- 新たに開発したエレベーターの先端技術について以下に述べる。



図1. 超高層ビル“TAIPEI101” — 1,010 m/min の高速エレベーターが据え付けられた、世界一の高さ 508 m を誇る TAIPEI101 である。

View of Taipei 101 Building

表1. 1,010 m/min 高速エレベーターの基本仕様  
Basic specifications of ultrahigh-speed elevator (1,010 m/min)

項目	仕様
乗車定員	24 人
積載質量	1,600 kg
定格速度	上昇：1,010 m/min, 下降：600 m/min
昇降行程	382.2 m

## 2 駆動システム

### 2.1 構成概要

駆動システムは、大型の二巻線式永久磁石同期電動機 (PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor) を使用した高速巻上機と、大容量のインバータを並列に構成した制御装置から成っている。

巻上機は、最大出力が1,186 kW、定格出力が168 kWの大型であり、最大77tの軸荷重に耐える。また、電磁振動を回避するため五角形の特種フレーム構造とした。更に、磁石形状を最適化することにより共振を回避し、1,010 m/minでの定格速度運転及び加減速の領域でも、静かな運転を可能とした。

制御装置は、高速巻上機をドライブするために、独立したA系及びB系のコンバータ/インバータを2系統制御するツインドライブ方式を採用している。制御には、パワーエレクトロニクス専用開発されたCPUによる全デジタル制御を採用している。また、主回路変換装置は1,200 V - 600 A級のIGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ) 素子を6並列接続構成とし、1系統当たり最大650 kWまでの出力を可能とした<sup>(1)</sup>。

### 2.2 シミュレーションによる巻上機の防振設計

1,010 m/minで走行しても隣接居室の振動・騒音が大きくならないような防振構成を振動解析により決定した。振動解析では、建屋の梁 (はり) の動剛性の検討の代わりに、巻上機で発生した振動により建屋の梁へ伝達される力を評価した。まず600 m/min走行試験を実施し、建屋振動と建屋へ伝達される力の関係を求めた後、1,010 m/minでの建屋の梁の振動が所定の値になるように、防振構成を決定した<sup>(2)</sup>。

### 2.3 巻上機による建屋振動の測定結果

巻上機による建屋の梁の振動を計測した結果を図2に

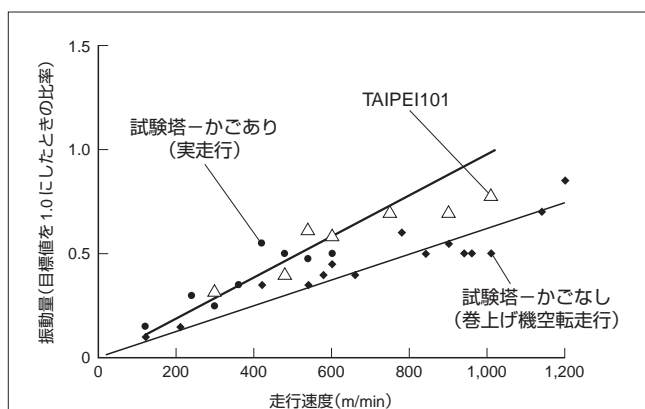


図2. 巻上機駆動時の建屋梁の振動量 — 事前の予測値と、TAIPEI101 現地での実測値はよく一致している。

Transfer of traction machine vibration to beam in machine room

示す。巻上機単体で1,010 m/minまで回転させたところ、建屋の梁の振動は巻上機の回転数 (走行速度) にほぼ比例した。実走行時は巻上機にかごやカウンタウェイトなどのつり下げ荷重や回転負荷が作用するため、建屋の梁の振動は1.6倍程度に増加する。実際の600 m/minでの建屋の梁の振動は目標値の0.6倍となる良好な防振性能が得られた。現地で実測したところ、ほぼ予測値に近い値となった。図2に示すとおり、1,010 m/minまでの範囲においては、建屋の梁の振動は巻上機の回転数 (走行速度) に比例すると考えられる。実際の1,010 m/minでの建屋の梁の振動は、目標値を下回り、良好な防振性能を実現できた。

## 3 走行時のかご横振動防止技術

1,010 m/min走行でも、かごの横振動量を最良レベルとみなせる  $10 \text{ cm/s}^2$  (p-p) 以下を目標とした。このため、かごへの振動伝達量を低減させる案内装置 (新形ローラガイド) を開発するとともに、突発的な外乱によるかごの振動を低減するAMDを搭載した。AMDは加速度センサで検出したかごの振動に応じて、可動おもりをモータで駆動し、かごの揺れを能動的に抑制するものである。制御方法として、制振性能と制御の安定性を考慮して、スカイフックダンパ制御を採用すると同時に、変位振幅を低減させるために、おもりの位置制御を行っている (図3)。なお、AMDが実際に突発的な外乱振動に対し、25%程度の振動低減効果を持つことを確認した。

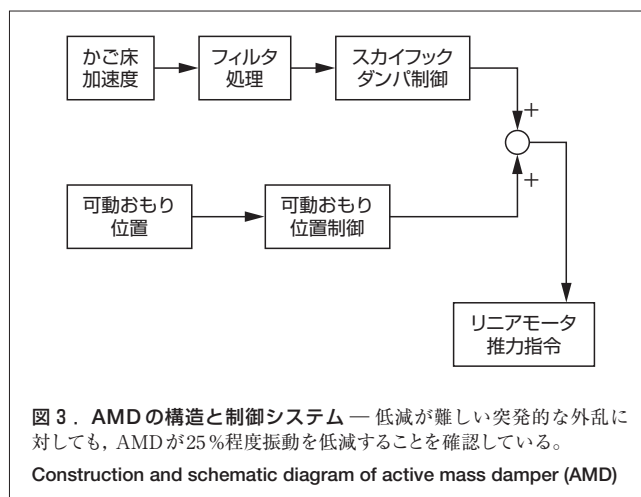


図3. AMDの構造と制御システム — 低減が難しい突発的な外乱に対しても、AMDが25%程度振動を低減することを確認している。

Construction and schematic diagram of active mass damper (AMD)

現地にて、1,010 m/min走行時のかごの横振動 (左右方向) を実測した結果 (図4)、かごの横振動は、 $10 \text{ cm/s}^2$  (p-p) を下回り、乗客が横揺れをほとんど感じないレベルであった。

これは、ガイドレールの据付精度によるレール変位の抑制と、前述の新形ローラガイドやAMDによる効果とみられる。

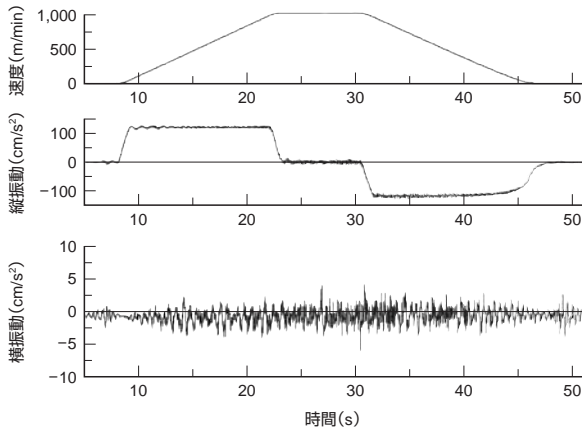


図4. 1,010 m/min 走行時のかご床振動測定結果 — 床に立てた10円硬貨が倒れないほど揺れが小さい。

Car floor lateral and horizontal vibration at speed of 1,010 m/min

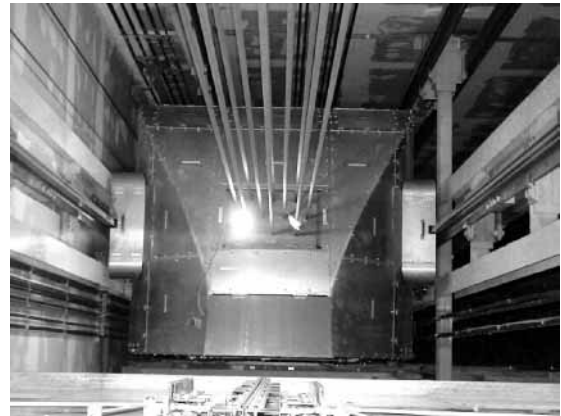


図5. 上部整風カプセルの外観 — 昇降路内から見たかごの上部でかご上部全体をカプセルが覆っているのがわかる。かご下部にも同様のカプセルを設置している。

Upper aerodynamic capsule

## 4 乗りかご内の騒音

エレベーター乗りかご内部で聞かれる騒音は、主に巻上機の振動やレール案内装置からの加振による固体伝播(でんぱ)音と、エレベーターの走行風により生じる風切音から生じる。今回、乗りかご内騒音を低減するために以下の対策を実施した。

### 4.1 整風カプセル

流体解析を基に、エレベーター乗りかごの上下端部に流線形状の整風カプセルを設置した。また、整風カプセルの設置位置は、可能な限り乗りかごから離して設置した。これにより、整風カプセルの湾曲部と乗りかごの直線部の接続部付近で生じる空気流れの剥離(はくり)に伴う騒音を、できるだけ乗りかごに届かない構造とした(図5)。

### 4.2 乗りかごの気密化

かご室の外で発生している風切音は、主に乗りかご壁面からの透過と出入口扉のすき間から侵入する。このエレベーターでは、乗客の耳詰まり緩和を目的に、気圧制御システムを採用しているため、かご室の出入口扉は密閉化されている。乗りかごの気密化により、乗りかご内に侵入する騒音が大幅に低減された。

### 4.3 走行時の乗りかご内の騒音

整風カプセル取付け前の乗りかご内の騒音は、かご室外での騒音が走行速度により増大するが、走行速度600 m/minまでは速度の影響を受けず、ほぼ暗騒音レベルで一定となった。これは、気密かご構造による効果と考えられる。

走行速度600 m/minを超え1,010 m/minまでの速度領域においては、乗りかご内の騒音は、走行速度により増加する傾向が見られ、エレベーターの走行速度に対し約5~6乗に比例して増大する。

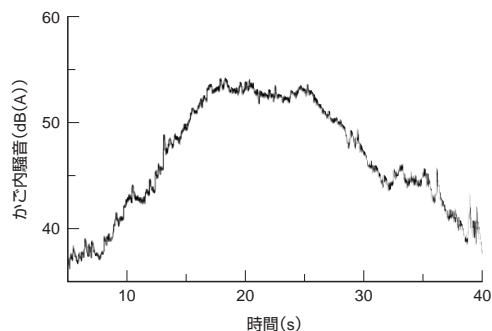


図6. 1,010 m/min 走行時のかご内騒音測定結果 — かごの上下に設置した整風カプセルの整流効果によって風切音が低減され、かご内騒音が10 dB近く低減された。

Sound level in car at speed of 1,010 m/min

整風カプセルを取り付けた状態では、エレベーター速度1,010 m/min 走行時に発生する乗りかご内の騒音(図6)は、整風カプセル取付け前と比べて、大幅に低減した。これは、前述の整風カプセルによる風切音の抑制効果であると考えられる。

前述の対策により、1,010 m/min 走行時の乗りかご内の騒音性能を予測範囲内にすることができた。

## 5 かご内気圧制御システム

非常に高揚程の建物を高速のエレベーターで昇降すると、乗客はそれに伴う急速な気圧変化によって生じる耳詰まりを不快に感じるだけでなく、耳に痛みを感じる場合もある。これを少しでも和らげるための一手法として、かご室内の気圧を、エレベーターのスタートから停止まで一定の気圧変化率で制御することが有効である<sup>(3),(4)</sup>。

### 5.1 気圧制御システムの仕様

気圧制御に関連する仕様は次のとおりであり、システムの構成は図7に示す。高圧ブロアをインバータ制御し、かご内の空気量を変化させることで、かご内外に差圧を発生させるシステムである。

- 運転所要時間 : 上昇39s, 下降49s
- 気圧変化量 : 48.03 hPa (地上階～最上階)
- 最大かご室内外気圧差 : 5.60 hPa (上昇時)
- 気圧変化率 : 1.27 hPa/s (上昇時)

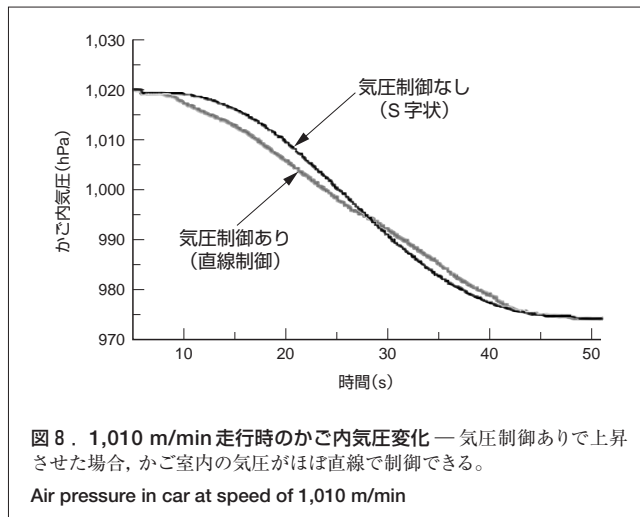
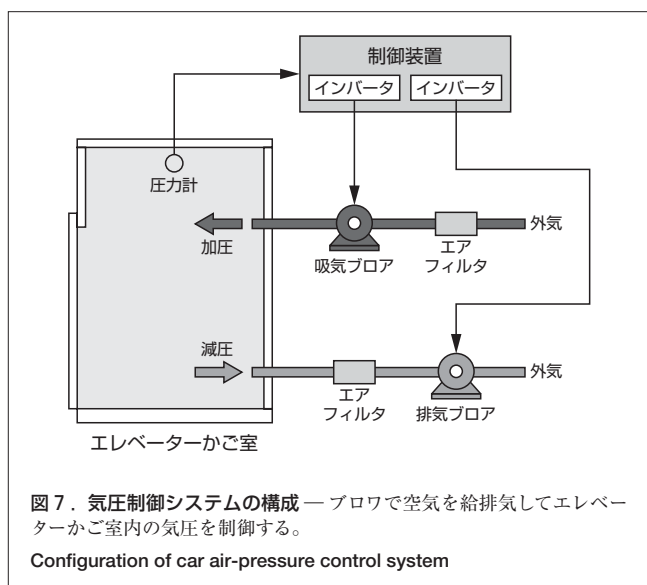
### 5.2 気圧制御方法

最下階からスタートし、最上階で停止する場合の乗りかご室内の気圧は、エレベーターの加減速に応じたS字状の曲線となる。気圧制御システムは、気圧の変化に伴う耳詰まりなどの不快感を感じないように、エレベーターの昇降スピードにかかわらず気圧変化率が一定(直線パターン)になるよう制御するものである。

すなわち、ランニングパターンに応じて外気圧によるフィードフォワード制御と、乗りかご内の気圧によるフィードバック制御を組み合わせ、一定の気圧変化率でかご室内の気圧制御を行っている。

現地にて、速度1,010 m/minで走行したときの乗りかご内の気圧を実測した(図8)。この結果、無制御状態での乗りかご内の気圧変化は、S字状の気圧変化となり、乗客の快適度に影響を及ぼす気圧変化率は、1,010 m/min 上昇走行時で最大1.92 hPa/sとなった。これに対し、気圧制御システムを動作させた場合、ほぼ指令値どおりの一定の気圧変化率での気圧制御を実現できた。

これにより、1,010 m/min 上昇時のかご内気圧変化率は、およそ1.27 hPa/sと大幅に低減することができ、かご内の急速な気圧変化を和らげ、不快感を低減させることができた。



## 6 あとがき

昇降機事業のグローバル化が進むなかで、建物の高層化は必至の状況にあり、昇降機についてもますます高速・高揚程化の要求が強まってくることが予想される。当社は、TAIPEI101向けの世界最高速エレベーターの開発で得られた経験と技術を生かし、今後も、安全性と快適さと利便性を備えたエレベーターを提供していく。

## 文献

- (1) 中川俊明, ほか. 世界最高速1,010 m/min エレベーター. 東芝レビュー, 57, 6, 2002, p.62-67.
- (2) 藤田善昭, ほか. 台北101向け速度1010 m/min エレベーター. 日本機械学会, 01-58, 昇降機・遊戯施設等の技術と進歩技術講演会講演論文集, 2005-1, p.31-34.
- (3) 藤田善昭, ほか. エレベーター用気圧制御システムの開発. 日本機械学会, 01-58, 昇降機・遊戯施設等の技術と進歩技術講演会講演論文集, 2002-1, p.29-32.
- (4) 水野末良, ほか. エレベーターかご内気圧制御システムの開発. 日本機械学会, 03-53, 昇降機・遊戯施設等の最近の技術と進歩技術講演会講演論文集, 2004, p.21-24.



松尾 繁憲 MATSUO Shigenori

東芝エレベーター(株) 品質保証部 開発検証担当。  
超々高速エレベーターのシステム開発検証に従事。  
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



平井 正昭 HIRAI Masaaki

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  
電機応用システム開発部主務。昇降機の乗りごち向上に関する研究・開発に従事。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center



水野 末良 MIZUNO Sueyoshi

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  
電機応用システム開発部主務。エレベーター及び交通システム分野の研究・開発に従事。電気学会会員。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center