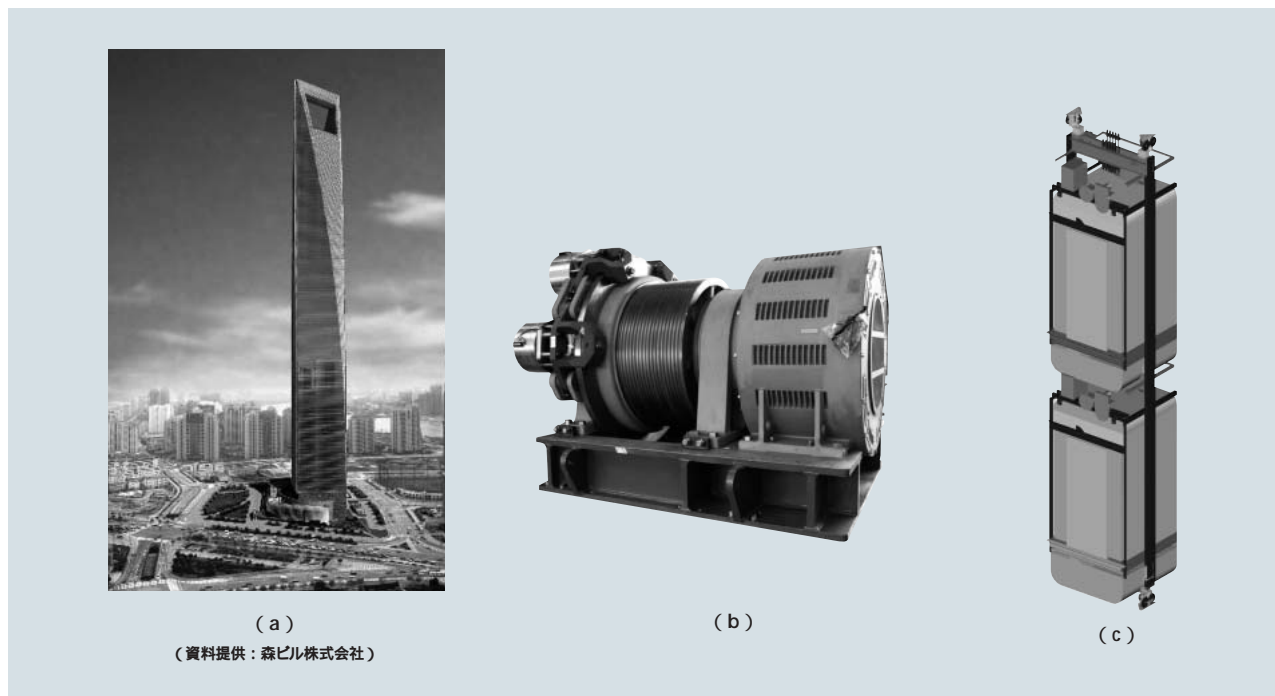


# 大容量・超高速エレベーターの開発

Development of Large Transportation and High Speed Elevator

松岡 秀佳 Hideka Matsuoka  
岸川 孝生 Takao Kishikawa

森 和久 Kazuhisa Mori  
佐藤 五郎 Goro Sato



(a)  
(資料提供：森ビル株式会社)

(b)

(c)

注:略語説明 PM(Permanent Magnet)

図1 上海環球金融中心の完成イメージ a と、大容量・超高速エレベーターの主要機器「240 kW PMモータ巻上機 (b)」、および「ダブルデッキ乗りかご (c)の外観イメージ

中国上海市に建設中の超高層ビル「上海環球金融中心」は、地上101階、高さ492 mであり、エレベーター昇降行程は465 mとなる。

## 1.はじめに

近年、国内・海外で建設されるビルにおいては大容量化と長大化が進んでいる。これらの大規模ビルは事務所、ホテル、商業エリアに加え、観光を目的とした展望スペースで構成されており、ビル内人員の効率のよい大量輸送が必要不可欠となる。大規模ビルの建設増加を受け、ビル内の縦の交通機関であるエレベーターも大容量化や超高速化が求められている。このような背景の中、日立グループは巻上機、制御盤、安全装置、乗りかごについて、モデル試験や高度なシミュレーション技術を用いた評価検証によって世界最大級の大容量・超高速エレベーターの開発を行った。

ここでは、大容量・超高速エレベーターの市場ニーズと、それに対応する主要機器の開発技術について述べる。

## 2.大容量・超高速エレベーターの市場ニーズ

国内再開発事業による巨大ビル群の建設や海外の急速な発展による高層ビルの建設ラッシュにより、高さ250 mを超えるような大規模ビルの建設が2004年ごろから急速に増加している。大規模ビルにおいては、ビル内空間の有効活用を目的に、大容量輸送を目的としたダブルデッキエレベーターの需要が増えている。ダブルデッキエレベーターは、乗りかごを上下2段に配置することにより、通常のエレベーター昇降空間でありながら2倍の人員を輸送することができるエレベーターである。最近、このダブルデッキエレベーターの超高速化に対する市場ニーズが高まっている。

このような市場ニーズを受け、日立グループは、以下の仕様の大容量・超高速エレベーター技術を開発した。

(1) 積載質量:5,000 kg

近年の国内における再開発事業や、急速に発展する海外市場で建設される大規模ビルにおいて大容量・超高速エレベーターの需要が高まっている。

このような大規模ビルではビル内人員の大量輸送が不可欠となり、ビル空間の有効利用という面からも大容量・超高速エレベーターへのニーズが高まっている。日立グループは、世界最大級の大容量・超高速エレベーター技術を確立し、森ビル株式会社から上海環球金融中心のダブルデッキエレベーターを受注し、製品開発を行った。

この開発は巻上機、制御盤、非常止め装置、乗りかごの多岐にわたり、400 mを超える長行程エレベーターにおける乗客の快適性および安全性の提供のため、シミュレーションや等価試験装置を駆使した性能の検証をしている。

(2) 速度:600 m/min

(3) 昇降行程:400 m級

この技術を用い、今回製品開発を行った上海環球金融中心向けダブルデッキエレベーター(積載質量3,600 kg/速度480 m/min)について、次に述べる(図1参照)。

### 3. 大容量・超高速エレベーターの開発

#### 3.1 大容量PMモータ巻上機

大容量・超高速エレベーター巻上機は、機械室設置時の省スペース化を図るため、PM(Permanent Magnet)モータ(永久磁石方式同期電動機)を採用した。PMモータは、従来の誘導電動機と比べ、モータ体積当たりの発生トルクが高く、省スペース化に有利なモータである。PMモータの採用により、今回開発の大容量・超高速エレベーター用巻上機の軸方向寸法は従来技術比-20%を達成した。モータ特性については、行程400 mを超える大容量エレベーターの負荷を模擬した地上等価試験装置により、モータパワーやトルクリップルの評価を行い、1%pp以下の低トルクリップル性能であることを確認した(図2参照)。

ブレーキは、電磁コイルを4個並列に設置したディスクブレーキを開発し、巻上機全体の小型化を図った。大容量・超高速エレベーターを安全に制動するために、4個並列の電磁コイルを最適に制御する制御方式を確立した。また、高面圧・高周速化に対応するためブレーキ制動材の開発を行うことによって

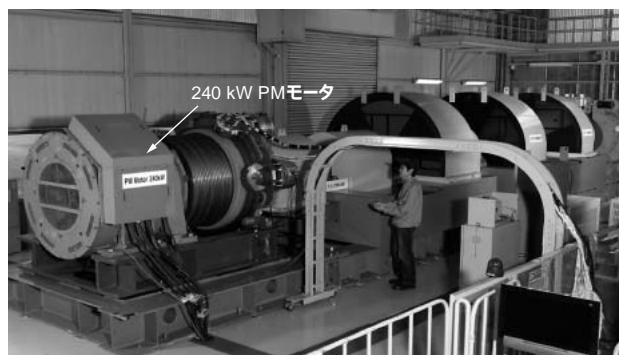


図2 大容量巻上機と地上等価試験装置  
行程400 m級のエレベーターの負荷を模擬してモータ特性を評価する。

安全、かつ、確実に乗りかごを制動するブレーキシステムの確立を図った。

巻上機の省スペース化を図るため、主ロープにはIWRC(Independent Wire Rope Core)樹脂被覆ロープを採用した。ロープが高破断荷重になることにより、ロープ本数が削減、エレベーターシステムが軽量化され、機器の小型軽量化に有利となる。IWRC樹脂被覆ロープの採用にあたり、綱車材質も耐摩耗性の高い材質を採用した。

#### 3.2 大容量制御盤

##### (1) 主変換器

開発した主変換器は、最大1,100 kVAを出力し、PMモータ巻上機を最大トルク300%で加減速制御できる。システム構成は、2台のコンバータ/インバータ装置を、以下の手法を用いて並列に接続(セツトパラレル化)して、三相一括給電することで、一般的な三相モータ駆動を可能としている。

##### (a) 和差電流制御<sup>1)</sup>

2台のインバータ電流を、和分(モータ電流)と差分(循環電流)に分割し、おのおの電流制御演算を行う方式

##### (b) 同期PWM(Pulse Width Modulation)パルス演算

2台のインバータ電流制御演算を1個のマイコンで行い、制御演算からパルス出力まで同期させる方式

##### (c) 結合リアクトル

インバータの和分電流にはインピーダンス(交流抵抗)がなく、差分電流にはインピーダンスを有するリアクトル

##### (2) 制御回路

昇降行程400 mを超えるエレベーターでは、見かけ上の主ロープばね定数が大きく低下するため、ロープ伸縮を原因とする停止位置誤り、乗客乗り降り時のかご床レベルずれ、低周波数成分のかご振動発生などが問題となりうる。これに対し、今回開発した制御回路では、速度・位置制御マイコンに新型SHマイコン<sup>2)</sup> SH7085を採用し、高精度・高応答の制御演算を可能として、行程200 m級のエレベーターと同等の制御性能を実現している。

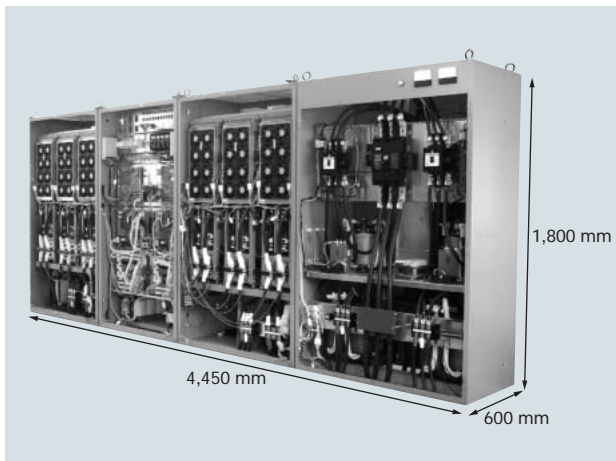


図3 制御盤の外観  
左から、A系主回路盤、信号盤、B系主回路盤、受電盤の構成になる。結合リアクトルは、モータ近傍に設置する。

### (3) 盤構成

制御盤は、製作作業性と機械室への搬入・据付け性を考慮して、機能ごとの4分割構成としていく(図3参照)。

また、主要機器は量産下位機種との統合を図り、コスト圧縮および部品調達の安定性に配慮した。

### 3.3 非常止め装置

ロープ式エレベーターの場合、万が一、巻上機に異常が生じた際、下降方向に動いている「かご」または「つり合おもり」を安全に停止させる「非常止め装置」が装備される。この非常止め装置は、エレベーターの速度オーバーを検出する調速機の動作速度において制動子がガイドレールを掴(つか)み、制動が確保されるものである。非常止め装置は安全装置の一つに位置づけられ、製品適用にあたっては納入されるそれぞれの国に合致した規格(認定)を取得する必要がある。欧州規格EN(European Norm)および中国国家標準GB(Guo jia Biao zhun)の場合、その平均減速度は0.2 g以上1 g以下と規定されている。さらにこの認定試験では、同一制動子を2回(速度240 m/min以上の場合)用いなければならない。

今般、大容量・超高速エレベーター用非常止め装置を開発するにあたり、その検討課題は海外認定試験を取得するうえでの制動力の確保、つまり「耐摩耗性」と「耐熱性」に優れた制動子材の開発であった。

開発時間の短縮と製品コスト、安全・性能面を考慮し、過去の試験データから蓄積された摩擦特性データベースによる設計検討を開始するとともに、要素試験装置を用いた材料テストピースによる摺(しゅう)動・摩擦特性試験を行った。

その結果、今回製品開発を行ったエレベーターの制動子は、耐摩耗・耐熱に優れ、かつ、高摩擦係数が期待できる材料として、従来の鋳鉄材に対し耐磨耗成分を見直したものを開発した。非常止め装置の制動力を決めるものは、ガイドレール

を掴むうえでの弾性力と摩擦であるため、従来一段であった非常止めを二段並列に配備し対応を図った(図4参照)。さらに、この二段構造による速度480 m/min、質量26 tの実機落下試験を行い、海外規格を満足する制動特性を得た。

この開発を通じて得た知見、知識を展開することで、さらなる大容量・超高速領域への対応が可能となった。

### 3.4 乗りかご

#### (1) かご構造

大容量の積載仕様を満足するために、ダブルデッキかご構造とし、上下に設置する内側のかご枠を連結する外かご枠構造を開発した。その中で、かご枠の上枠、下枠に鋼板曲げ部材を使用することで、かご質量の軽量化を図った。

#### (2) アクティブガイド装置

エレベーターの超高速化・長行程化に伴って、乗りかごの振動は大きくなる。乗りかごの横振動に影響を与える要素は、ガイドレールの曲がり、段差とガイド装置による乗りかごの防振性能が挙げられる。しかし、エレベーターを高速にすればするほど、同じガイドレールであってもレールからの横揺れ外乱は大きくなるので、ガイド装置による制振が必要となる。

そこで、ガイド装置での効果的な制振のために、アクティブガイド装置を開発した(図5参照)。この装置は、最少数のアクチュエータとセンサ、コントローラで構成する。乗りかごの振動モードのうち、乗り心地に影響の大きい振動モードを対象に振動を抑制する手法とした。このアクティブガイド装置により、速度480 m/minのエレベーターにおいても、乗りかご内の横振動を半減できることを、地上走行試験装置で確認した(図6参照)。

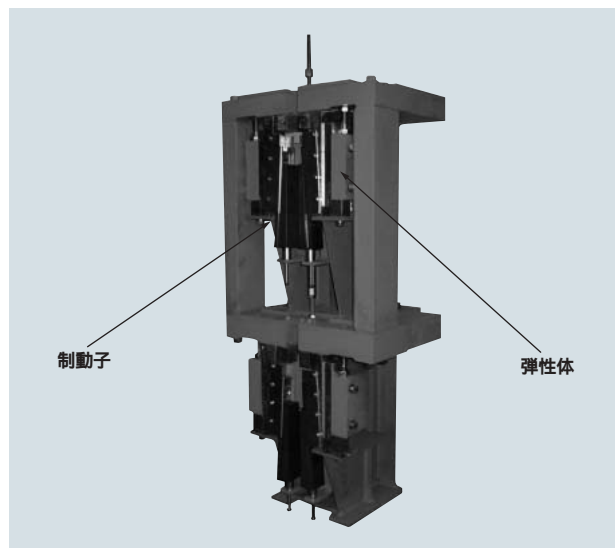


図4 二段非常止め装置の外観  
大容量・超高速の制動を確保するために、上下二段に配備される非常止め装置の外観を示す。

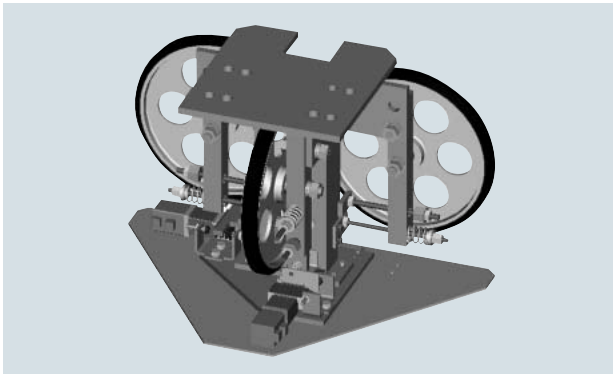


図5 アクティブガイド装置の構成  
 乗りかご内の加速度をフィードバックして、ガイド装置のローラ押し付け力を制御するアクティブガイド装置の構成を示す。

### 3.5 走行性能

大容量・超高速エレベーターの開発において、実際に400 mを超える試験設備による評価試験は困難である。

日立グループは、従来の超高速エレベーター開発の中でエレベーターの乗り心地をシミュレートする技術を確立した。今回開発した、400 mを超えるようなエレベーターシステムの評価において、シミュレーションは開発期間の短縮、試験条件の多様化に有効である。エレベーター全体の性能評価は、モータのトルクリップル、アクティブガイド装置の特性、ロープ特性などの各装置の評価結果をパラメータとしてシミュレーションを行い、良好な乗り心地性能が得られる見通しを得た。

## 4 .おわりに

ここでは、大容量・超高速エレベーターの市場ニーズと、それに対応する主要機器の開発技術について述べた。

大容量・超高速エレベーターは、大規模ビル建設の増加の中で、ますます需要が増えていくものと考えられる。日立グループは、今後も、大容量・超高速エレベーターの開発で培った技術を生かし、より安全で快適なエレベーターを提供していく考えである。

### 参考文献

- 1) 吉川 ,外:Analysis of Parallel Operation Methods of PWM Inverter Sets for an Ultra-High Speed Elevator , APEC 2000( 2000.2 )

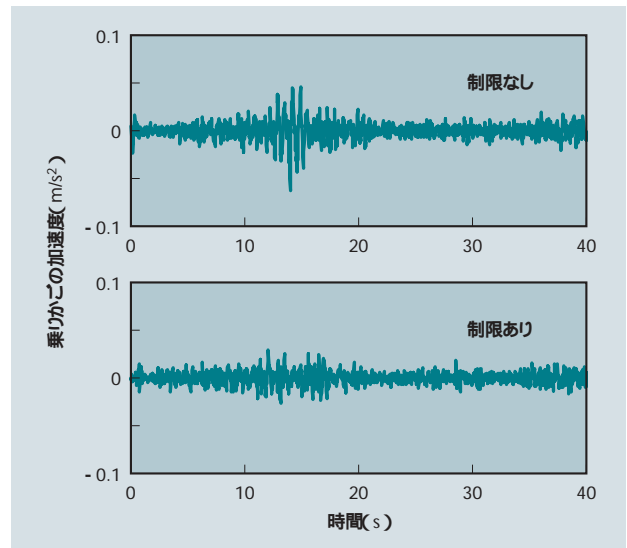


図6 地上走行試験装置での乗りかごの横振動加速度  
 速度480 m/minのエレベーターにおける、乗りかご内の横振動を半減できることを、地上走行試験装置で確認した。

### 執筆者紹介



松岡 秀佳  
 1993年日立製作所入社、都市開発システムグループ 水戸ビルシステム本部 開発設計センター 所属  
 現在、主にエレベーター製品の巻上機開発に従事



岸川 孝生  
 1990年日立製作所入社、都市開発システムグループ 水戸ビルシステム本部 開発設計センター 所属  
 現在、主にエレベーター製品の制御盤開発に従事



森 和久  
 1990年日立製作所入社、日立研究所 インバータイノベーションセンター 所属  
 現在、エレベーター用電力変換器の研究開発に従事  
 電気学会会員



佐藤 五郎  
 1984年日立製作所入社、機械研究所 第三部 所属  
 現在、昇降機の研究開発に従事  
 日本機械学会会員