

超大型・超高速昇降機の更なる展開

Further Development of Super-Sized, Super-High-Speed Elevators

田中 和宏

■ TANAKA Kazuhiro

高崎 一彦

■ TAKASAKI Kazuhiko

山田 尚史

■ YAMADA Hisashi

海外、特に中国を中心としたアジア地区では超高層ビルの建設が続いており、今後もその勢いは継続すると思われる。

東芝エレベータ(株)は、泉ガーデンタワー、六本木ヒルズ、TAIPEI 101などで示した技術力が海外でも広く認められており、今回、“上海ヒルズ”向けエレベーター群を受注した。これらは、TAIPEI 101などで得た技術を投入して開発し、中国の法規にも適合させた階間調整機能付きダブルデッキエレベーターと超高速エレベーターである。

今後、大規模ビルでは、これらのエレベーターとともに、群管理システムが重要になると思われる。

Skyscraper construction continues with unabated vigor in Asia, especially in China.

Toshiba Elevator and Building Systems Corporation. (TELC) has received an order for the installation of elevators in the Shanghai Hills project, by virtue of its world reputation in the construction of high-technology and high-speed elevators for such high-rise buildings as Izumi Garden Tower, Roppongi Hills, and the Taipei 101 Building.

TELC has developed two types of elevators based on the elevator technologies developed for Taipei 101. One is a powerful double-deck elevator with two cars whose pitch distance is adjustable and can be aligned to the floors, and the other is a super-high-speed elevator. Both of these elevators comply with Chinese regulations. They are run by a group control system (GCS) that will be indispensable for future elevators in large-scale buildings.

1 まえがき

2008年の北京オリンピック及び2010年の上海万博を控えた中国では、公共インフラ整備や大型建築プロジェクトがめじろ押しで、エレベーター市場も拡大の一途をたどっている。

そのような状況のなか、東芝エレベータ(株)は国内の泉ガーデンタワー、六本木ヒルズ、海外のTAIPEI 101などで示した高い技術力が評価され、上海浦東のZ4開発地区に建設予定の超高層ビル“上海ヒルズ”(図1)向けに2種類のエレ



図1. 上海ヒルズ— 上海ヒルズには、階間調整機能付きダブルデッキエレベーターのほか、速度600 m/minの高速エレベーターが据え付けられる。

Shanghai Hills

表1. 上海ヒルズ向けエレベーターの主な仕様

Main specifications of elevators for Shanghai Hills

項目	低層オフィス向け	高層オフィス向け	ホテル向け
乗車定員 (人)	18/18 ^(*)	18/18 ^(*)	18
定格積載量 (kg)	1,350/1,350 ^(*)	1,350/1,350 ^(*)	1,350
定格速度 (m/min)	210	300	600 (上昇) 480 (下降)
昇降行程 (m)	74.15 (1, 3号機) 78.95 (2, 4号機)	121.25 (1, 3号機) 116.45 (2, 4号機)	399.48 (1, 2号機) 409.53 (3号機)
台数 (台)	4	4	3 (1台単独昇降路)

* 2階建ての上かご/下かごの仕様を示す。

ベーターを受注した。

(1) オフィス用階間調整機能付きダブルデッキ エレベーター

(2) ホテル用超高速エレベーター

これらのエレベーターの主な仕様を表1に示す。

2 大規模ビル用エレベーターの開発概要

ここでは、上海ヒルズ向けエレベーターの概要について述べる。オフィス用は、上下2階建てのかごと、その階間距離(上かごと下かごの床面距離)を建物に合わせて自動調節する機能(以下、階間調整機能と記す)を持つ点が特徴であり、

国内では六本木ヒルズに納入実績があるが、中国では今回が初物件となる。

また、ホテル用は速度：600 m/min, 昇降行程：409 m, 1台単独昇降路、及びシャトルエレベーターという仕様であり、超高速と高階床の仕様において安全性と快適性を満足させるために、様々な技術課題を解決する必要がある。

更に、それぞれ中国のエレベーター関連法規への対応も必要となる。

このため、当社の現地法人である東芝電梯瀋陽有限公司のエレベーター試験塔に、この物件と同仕様の試作機を設置した。更に、当社が過去の大容量・超高速特殊物件で培ってきた技術を水平展開するとともに、東芝電梯上海有限公司と共同で中国法規に適合させるための技術開発を行うことで、これら技術課題を解決してきた。

また、このような大規模ビルに設置されるエレベーターでは、時間的、空間的に効率よく運行するための群管理システムが必須となる。当社では、AI技術を応用したCommand-AIや、ファジィ、ニューラルネットワークを応用したEJ-1000シリーズを商品化してきた。近年、マイクロコンピュータの性能が飛躍的に向上し、高機能な計算資源を利用して、より複雑な演算が行えるようになってきている。そこで、将来のエレベーターシステムに使用するハードウェアの高度化を想定した、次世代のエレベーター群管理システムを開発した。

3 超大型・超高速エレベーター

3.1 階間調整機能付きダブルデッキ エレベーター

階間調整の基本構造について図2を用いて述べる。外かご枠の中にかごを上下二つ設置し、一つのボールネジでこれらを結合する。上かごの結合部には右ネジが、下かごの結

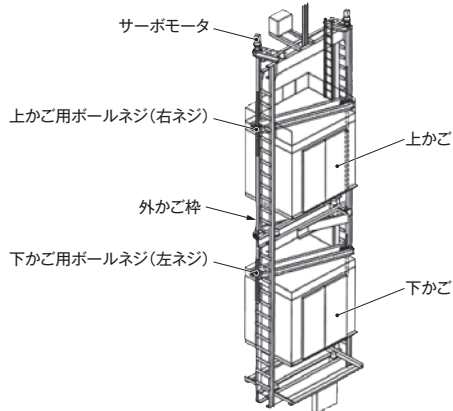


図2. 階間調整の基本構造 — ボールネジの回転により、上下のかご間隔を変化させ、階ごとに異なる階間に適合するように調整する。

Principle of double-deck elevator with adjustable-pitch-distance cars

合部には左ネジが切られており、ボールネジをモーターで回転させると上下のかご間距離が変化する構造である。

今回は、これに中国のエレベーター関連法規への対応を追加したことが特徴である。

中国法規(GB)への対応が要求される内容を以下に示す。

- (1) GB7588-2003 Safety rules for the construction and installation of electric lifts
- (2) GB/T10058-1997 Specification of lifts
- (3) 電梯型式試験細則
- (4) 電梯監督檢驗規定
- (5) 中国強制認證制度(CCC)

これらは主に安全性や信頼性に関する要求であり、回路の二重化やスイッチの安全接点化を実地するとともに、中国認定機関による安全装置や指定部品の型式認定を取得した。

これらの要求事項以外にも、エレベーターシステムの型式認定が要求されており、今後、試作機で認定を取得していく。

この機種の中国法規への対応例を図3に示す。

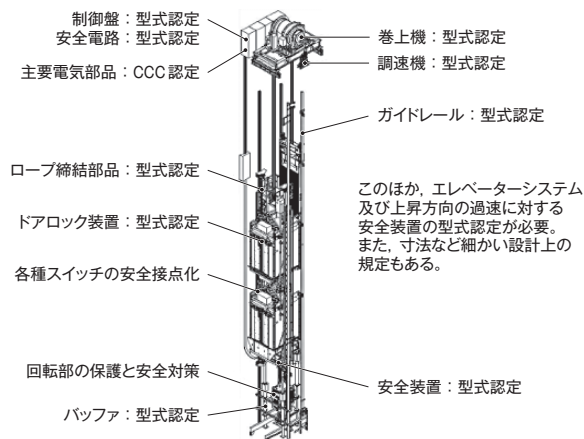


図3. 階間調整機能付きダブルデッキエレベーターの中国法規への対応例 — 中国認定機関による安全装置や指定部品の型式認定を取得した箇所である。

Example of points where Chinese regulations apply

3.2 超高速エレベーター

超高速エレベーターでは、中国のエレベーター関連法規への対応に加え、以下の課題を解決する必要がある。

- (1) 単独昇降路によるかご内騒音の増大の抑制
- (2) 建物の風揺れによるロープ類の揺れや引っ掛かりの防止
- (3) かごの軽量化

これらの課題に対して実施した対策の概要を図4に示す。また、各開発アイテムの詳細を次に示す。

3.2.1 単独昇降路への対策 1台単独の昇降路の中をエレベーターが超高速走行すると、昇降路内の空気は逃げ

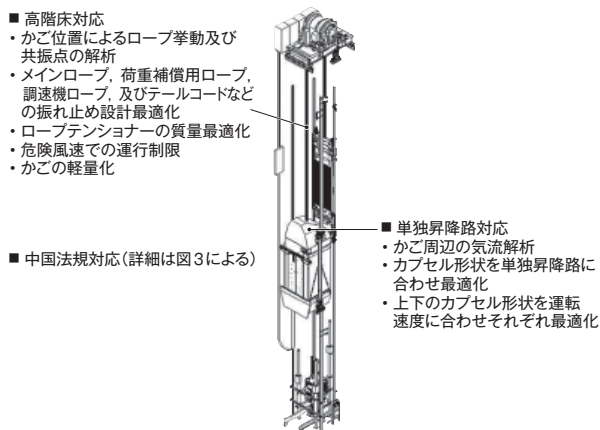


図4. 超高速エレベーターの課題と対策 — 高階床と単独昇降路の課題に対して対策を実施した箇所である。
Points in super-high-speed elevator where Chinese regulations apply

場を失い、かご周囲を高速で通過しようとする。このとき、かご内に大きな騒音が発生する。

この課題への対策として、TAIPEI 101に納入した世界最高速エレベーターの整風カプセルをベースに、単独昇降路における気流解析を実施し、カプセル形状を最適化した。この結果、かご内の騒音値を通常昇降路と同等の55 dBに抑えた(図5)。また、このエレベーターは上昇と下降で運転速度が異なるため、上下のカプセル形状をそれぞれの速度に合わせて最適化し、軽量化を実現した。

また、空気を逃がすための通風口を昇降路上下に設けるなど、昇降路側の対策も併せて実施した。

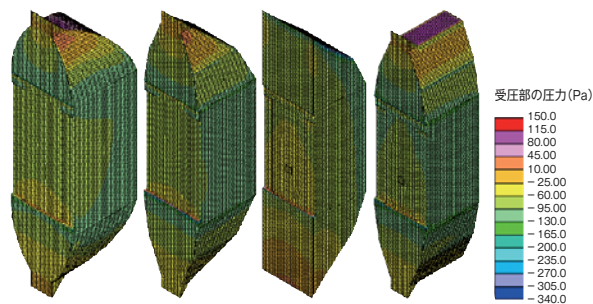


図5. カプセル形状最適化のための解析結果 — かごのカプセル形状を空力解析により求め、形状の最適化を図った。
Results of wind noise analysis to determine optimum car shape for super-high-speed elevator

3.2.2 ビルの風揺れによるロープ類の共振や引っ掛かり対策 超高層ビルは、風により1 Hz以下の超低周波で横揺れが発生し、それに伴いエレベーターのロープ類も揺動する。

エレベーターの昇降路内には図6に示すように多数のロープがあり、ビルとロープの共振によりこれらの揺れが大

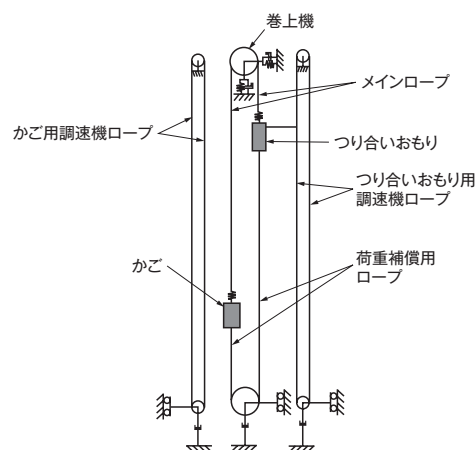


図6. エレベーター昇降路のロープ類 — エレベーター昇降路内には多数のロープがある。
Deployment of elevator ropes

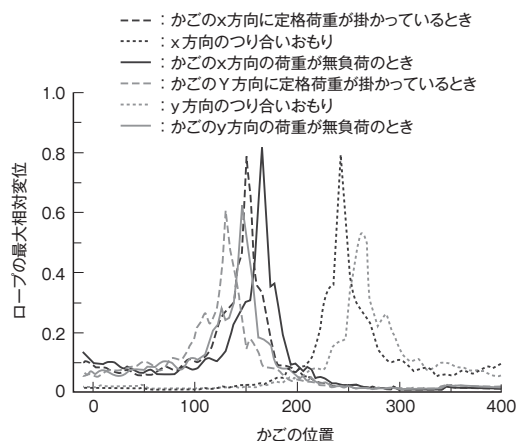


図7. ロープ挙動解析結果の一例 — 強風などによって発生するビルの揺れに対する、エレベーターロープの揺れ解析と共振の有無確認により、ロープ制振装置の最適配置を行う。
Results of vibration analysis to determine elevator rope deflection

きくなる場合がある。一般的に、この現象はロープ スウェイ (Rope Sway) と呼ばれている。

ロープスウェイ対策として、泉ガーデンタワーやTAIPEI 101で開発したロープ挙動解析技術を更に発展させ、風速やかご位置による共振の有無及びロープ横揺れ量の定量解析を実施した。結果の一例を図7に示す。

この結果を踏まえ、ロープ制振装置の配置最適化による安全性の確保、及びロープ共振を防止するためのロープテンショナー質量の最適化などを実現している。

また、風速によりビルやエレベーターロープの挙動が変化するため、ビルに設置した風速計と連動し、危険風速ではエレベーターの運行を制限する管制運転機能も併せて装備している。

3.2.3 かごの軽量化 昇降行程400 mクラスの超高層ビルでは、かごをつるメインロープの自重が数トンから10トン程度にもなり、これを補償するための荷重補償用ロープ^(注1)も同様に増大する。その結果、巻上機には数十トンものロープ自重が掛かり、巻上機への負荷の増大を招く。

これを回避するため、かごの構成材料にハニカム材を多用し、高剛性を維持しながらかごを約20%軽量化した。その結果、メインロープと荷重補償用ロープをそれぞれ1本ずつ削減でき、巻上機に掛かる荷重が約10%低減した。

4 制御システム及び安全回路

駆動システムには、定格出力140 kW級の大型二巻線式永久磁石同期電動機(PMSM)と、ツインインバータ駆動制御方式を採用した。制御装置には、モータ制御専用に開発した32ビットの高性能プロセッサ PP7を搭載したエレベーター専用コントローラーを用い、インバータはスイッチング素子にIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)を採用し、一つの制御盤で二つのインバータを駆動させる方式を適用して大容量制御を実現した(図8)。

また、中国法規に適合した安全回路構成のための強制隔離機能付きスイッチや、絶縁電圧と接点距離を満足する低電圧機器の開閉容量に関する用途カテゴリであるAC-3級やDC-3級の安全接点の適用、異常時には、コンタクト及びブレーキ回路への電源を遮断させる機能を持たせている。更に、CCC認証品の用品選定を行い、保守性についても十分に考慮している。

5 次世代群管理システム

5.1 従来の群管理システムの問題点

エレベーター群管理システムは、ビル内のエレベーター乗り場で発生するホール呼びに対し、サービスを受ける乗客の待ち時間や乗車時間などを考慮して、適切なエレベーターかごの配車(割当て)を決定することが主な機能である。群管理システムは、発生したホール呼びに対して適切に配車するために、現時点だけでなく将来のエレベーターサービスへの影響を考慮する必要がある。

従来の群管理システムでは、現時点のサービスはほぼ正確に扱うことができるが、将来のサービスについては正確に

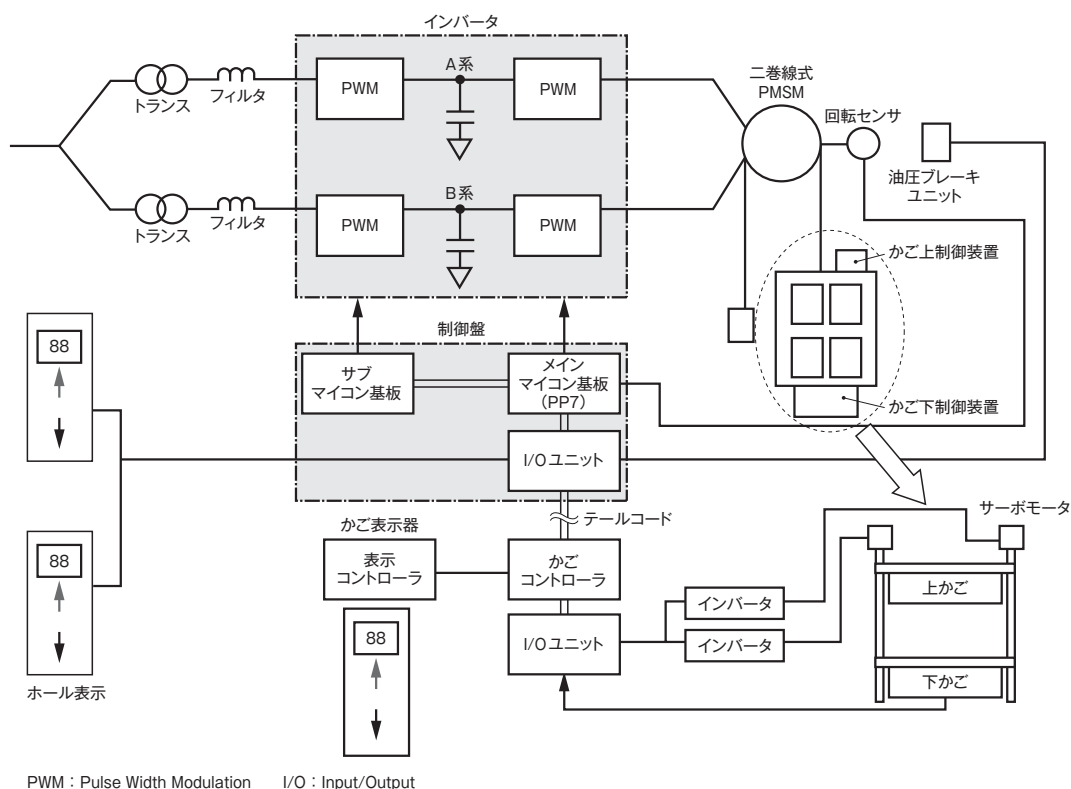


図8. 制御ブロック図 — モータ制御専用開発されたプロセッサ PP7を用い、2系統のインバータを駆動させる方式により、大容量モータを制御する。
Block diagram of driving motor control

(注1) 重量バランスをとるために、かご下に取り付けられているロープ。

は扱えていないため、長待ち乗客の発生や複数のエレベーターかごが集中する団子運転の原因となる可能性があった。

5.2 次世代群管理システムの特長

前節で述べた問題点に対して、将来のエレベーターサービスへの影響までを見通してエレベーターかごの配車を決定する、次世代の群管理制御方式を開発した。この方式は、将来のホール呼びを仮想的に複数個発生させて、どのかごを配車させるかという組合せの中から、適切な配車パターンを見いだして、将来まで見通した階床巡回スケジュールリングをリアルタイムに行うことが特長である。

過去に発生した未配車のホール呼びに対する階床巡回スケジュールは、配車するかごが既に割り当てられているため、割当て変更がないかぎり一意に決定される。しかし、将来に発生するホール呼び(仮想ホール呼び)については、どのかごを配車するかによって、階床巡回スケジュールがそれぞれ異なる。

そこで、過去に発生した未配車の階床巡回スケジュールを探索の基点(根)とし、複数個の仮想ホール呼びに対して、どのかごを配車するかという場合分けを行って、待ち時間や乗車時間がもっとも短くなるような階床巡回スケジュールリングを行う。

エレベーターかご2台が稼働している図9を例にとると、過去に発生して1号機に割り当てられている1階の上方向ホール呼びと、2号機に割り当てられている7階の上方向、10階の下方向ホール呼びの階床巡回スケジュールが基点となる。

この基点から発生時間順に、4階で発生する下方向の仮想

ホール呼びに対して、1号機を割り当てる場合と2号機を割り当てる場合の2通りの階床巡回スケジュールが考えられる。更に、10階の下方向の仮想ホール呼びまでで4通り、1階の上方向の仮想ホール呼びまでで8通り、というように四つの仮想ホール呼びに対して16通りの階床巡回スケジュールが考えられる。

これらを比較して最適なスケジュールを発見することで、配車を決定する。

5.3 次世代群管理システムの効果

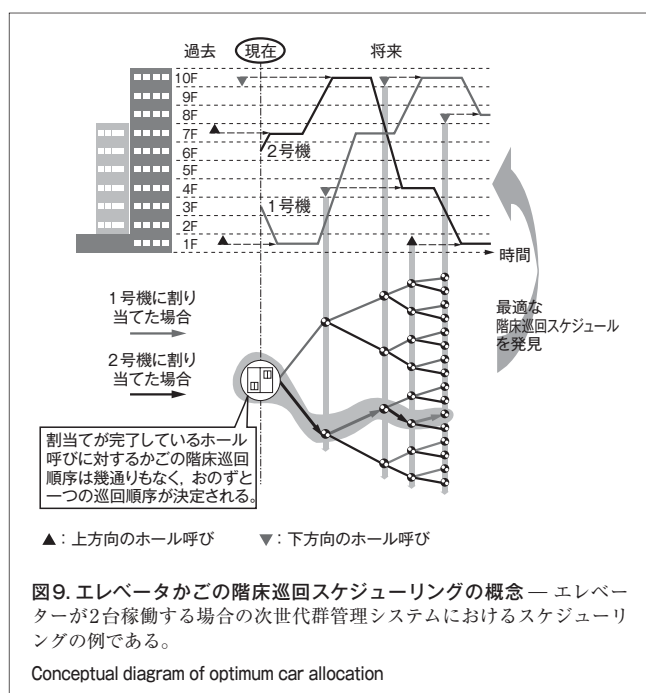
この群管理制御方式により、高需要のビルでは、待ち時間で10～15%、最大待ち時間で最大40%の性能向上を、更に、今後のエレベーター事業で重要視されている高階床ビルについては、待ち時間で10～20%、最大待ち時間では最大45%の性能向上が見込めることを、シミュレーションにより確認した。

また、将来のホール呼びも含めたかご割当て制御であるため、長待ち抑制のための割当て変更回数を大きく削減でき、団子運転の防止や特定階床間へのサービス向上といった副次的な効果も期待される。

6 あとがき

以上述べてきたように、過去の超高速エレベーターや大容量エレベーターの技術を継承しながら、いっそうの安全性と快適性を上海ヒルズ向けエレベーターで実現した。

今後も当社は、群管理制御に代表される基礎研究を継続していくとともに、このような開発によって培われた技術を生かし、日本だけでなく中国をはじめとするアジア地域の旺盛(おうせい)な市場ニーズに応えられるエレベーターを提供していく。



田中 和宏 TANAKA Kazuhiro

東芝エレベーター(株) 開発部 システム開発担当主任。超高速・大容量・オーダー形エレベーターのシステム開発・設計に従事。

Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



高崎 一彦 TAKASAKI Kazuhiko

東芝エレベーター(株) 開発部 システム開発担当主任。超高速・大容量・オーダー形エレベーターのシステム開発・設計に従事。電気学会会員。

Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



山田 尚史 YAMADA Hisashi

研究開発センター システム技術ラボラトリー。知的制御システム・スケジュールリングの研究・開発に従事。System Engineering Lab.