

高層ビル用エレベーターの高速・大容量化技術

Technologies Realizing High-Speed Large-Capacity Elevators Required for High-Rise Buildings

菅野 豊明 小泉 潤 佐々木 俊太

■KANNO Toyoaki

■KOIZUMI Jun

■SASAKI Shunta

近年、建築技術の発展により、アジア・中東地域を中心としたインフラ整備と並行して、国内外で建物の高層化が進んでいる。それに伴い、エレベーターには、一度により多くの利用者を移動させるための高速・大容量化に対するニーズが高まってきている。

東芝エレベータ(株)は、2004年12月に開業した台湾のTAIPEI101に、定格速度1,010 m/minという当時世界最高速のエレベーターを納入したが、利用者に掛かる身体的負荷の関係から高速化は限界に近づいていると考えられる。そのため、高速領域で大量輸送を実現できる大容量化へのニーズが高まっており、当社は、2016年10月に開業した住友不動産六本木グランドタワーに、国内最大^(注1)の定員となる90人乗りの超大容量シャトルエレベーターを納入した。その実現にあたって、当社は、エレベーターの基本要素である巻上機や、ロープ、制御システムなどを中心に、高速・大容量化に対応するための基盤技術を確立した。

In line with the progress of architectural technologies in recent years, high-rise buildings are increasingly being constructed in Japan and other countries, especially Middle Eastern and Asian countries in which infrastructure is being newly developed in parallel. Accordingly, there is growing demand for high-speed large-capacity elevators to safely and efficiently carry more passengers at one time.

With regard to ultrahigh speed, Toshiba Elevator and Building Systems Corporation released the world's fastest elevators for the TAIPEI 101 building, which opened in Taiwan in December 2004. These elevators achieved a rated speed of 1,010 m/min. However, the physical burden on passengers due to high-speed travel is close to reaching a limit. This has led to the need for increased capacity to enable high-speed mass transportation. In response to this trend, we have supplied large-capacity shuttle elevators with Japan's largest capacity of up to 90 passengers to the Sumitomo Fudosan Roppongi Grand Tower, which opened in October 2016. From the results obtained, we have established core technologies for the basic elements comprising the motor, rope, and control system in order to realize high-speed large-capacity elevators required for high-rise buildings.

1 まえがき

2000年代以降のビルの高層化は、建築技術の進化とともに発展を続けており、特に中国や中東地域では高さが300 mを超える高層ビルの建築や計画が活発に進められている。

ビルの高層化に伴い、縦の交通手段であるエレベーターに対して、一度により多くの利用者を目的階に移動させる大容量化のニーズが高まっており、国内・海外市場ともに、高速・大容量タイプのエレベーターが採用されるケースが増えている。

東芝エレベータ(株)は、2016年10月に開業した住友不動産六本木グランドタワー(図1)に、乗用タイプでは国内最大の定員となる90人乗りで、定格速度300 m/minの超大容量シャトルエレベーター4台を含む、合計43台のエレベーターを納入した。

この住友不動産六本木グランドタワーは、オフィス棟の他に住宅棟、カンファレンスセンター、及び店舗が隣接する、六本木の新しいランドマークプロジェクトで、東京地下鉄(株)南北

(注1) 2016年10月現在、当社調べ。



図1. 住友不動産六本木グランドタワー — 大規模複合開発が進められている六本木エリアに建設された、地上43階の新たな高層オフィスビルである。

Sumitomo Fudosan Roppongi Grand Tower

線の六本木一丁目駅に直結した地上43階、地下2階の高層オフィスビルである。利用者が多い大規模高層ビルの輸送効率を上げるために、90人乗りの超大容量シャトルエレベーター

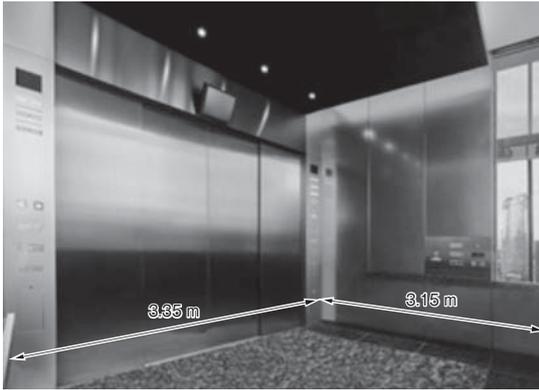


図2. 住友不動産六本木グランドタワーに納入した超大容量シャトルエレベーターのかご内 — 床面積は10.55 m²、定員は90人であり、これを4台運行することで、10分間に約1,000人の利用者を上層階に運ぶことができる。

Interior view of large shuttle elevator car at Sumitomo Fudosan Roppongi Grand Tower

4台を設置し(図2)、ステーションロビーがある1階、アトリウムロビーがある4階、スカイロビーがある29階、すなわち、利用者の多い主要階だけを往復することで、ビル内の効率的な大量輸送を可能にした。

ここでは、これまでの高速・大容量エレベーターにおける技術開発の経緯、及び90人乗りの超大容量シャトルエレベーターに採用した、巻上機や、ロープ、制御システムなどの各要素技術の概要について述べる。

2 高速・大容量エレベーターにおける技術開発の経緯

これまで当社は、2002年に泉ガーデンタワーのエレベーター(75人乗り、定格速度240 m/min)や、2003年に六本木ヒルズの階間調整機能付ダブルデッキエレベーター(22人乗り×2、定格速度360 m/min)、2004年に台湾 台北市にあるTAIPEI101の当時世界最高速のエレベーター(24人乗り、定格速度1,010 m/min)などを納入してきた。建物の高層化に伴って、エレベーターに求められる性能は輸送能力の確保であるが、高速領域(定格速度360 m/min以上)の技術を用いて昇降時間を短縮化することで、それを実現してきた。しかし、高速領域での単純な速度増加は、利用者の身体的負担を増加させる他、安全性確保の観点からも限界に近づいている。

そこで当社は、高速領域において利用者の身体的負担の少ない大容量化へのシフトチェンジを推進している。2012年5月に開業した、自立式電波塔として世界一の高さを誇る東京スカイツリー®のエレベーター(40人乗り、定格速度600 m/min)や、2014年3月に開業して国内でもっとも高いビルとなった、あべのハルカスのエレベーター(60人乗り、定格速度240 m/min)など、国内ランドマーク物件へ高速・大容量エレベーターを納

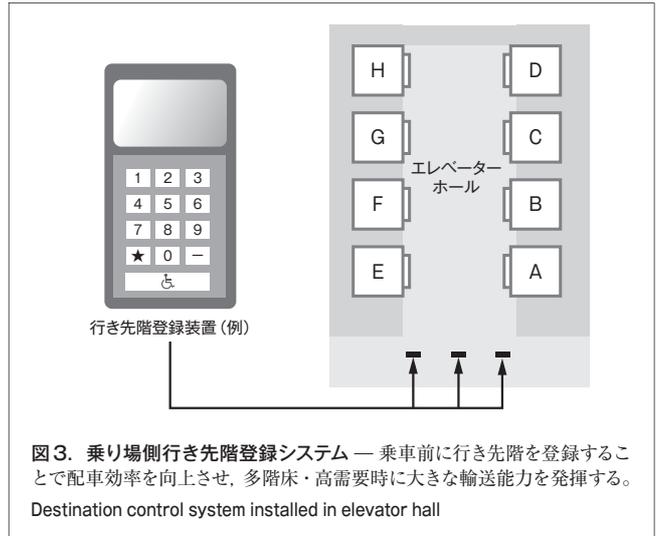


図3. 乗り場側行き先階登録システム — 乗車前に行き先階を登録することで配車効率を向上させ、多階床・高需要時に大きな輸送能力を発揮する。
Destination control system installed in elevator hall

入してきた。そして、2016年には住友不動産六本木グランドタワーに国内最大となる90人乗りの高速・超大容量シャトルエレベーターを納入するなど、これまで高速・大容量領域に対する市場ニーズに应运ってきた。

更にその他の輸送能力の向上策として、“乗り場側行き先階登録システム”(図3)をインド及びマレーシア向けの機種に採用している。このシステムは、利用者が乗り場の行き先階登録装置で自分の行き先階のボタンを押し、そのときに表示された号機のエレベーターに乗り込んで行き先階まで移動するもので、従来の群管理システムに比較してピーク時の輸送能力を約40%向上させた。

最近では、更なる高速・大容量化に対するニーズが高まってきている。国内にとどまらず、中国や、マレーシア、シンガポール、アラブ首長国連邦(UAE)などアジア・中東地域では高層ビルの建設が盛んであり、今後もますますそのニーズは高まる傾向にある。

3 高速・大容量化に向けた課題と技術開発

3.1 課題

一般に高速・大容量エレベーターでは、以下の三つの課題が挙げられる。

- (1) アンバランストルク及びつり下げ質量の増大
- (2) つり素材の強度不足
- (3) 各コアコンポーネントの大型化と、それに伴うシステム構成の困難性

これらの課題について、当社における経緯と技術開発について述べる。

3.2 コアコンポーネントの技術開発

3.2.1 巻上機及びブレーキ 1970年代の高層ビル時代の幕あけとともに、高速エレベーターが求められるように

なった。当社は、高速エレベーターにギアレス巻上機を採用することで、それまでギアード巻上機を高速化した際に問題となっていた振動と騒音を低減させるとともに、ギアのメンテナンスを不要にした。一方ギアがなくなると、アンバランストルクが電動機にダイレクトに伝達されるため、出力に応じて電動機が大型化することになった。

当初は、直流電動機や交流誘導電動機を巻上機に採用してきたが、1998年にPMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) を開発したことでモーター効率が飛躍的に向上し、従来に比べて巻上機の質量が約40%軽量化した。これにより、巻上機の大規模な小型・高出力化が可能になった。住友不動産六本木グランドタワーの超大容量シャトルエレベーターは、高トルク出力のため、PMSMに加えて2系統の巻線を備えた大容量巻上機を採用した。現在では当初の数倍以上の電動機出力を標準として、巻上機のラインアップをそろえている。

従来の巻上機では、安全にエレベーターを制止させるためのブレーキにドラム式電磁ブレーキを用いていたが、アンバランストルクがモーターにダイレクトに伝達されるので、制動半径を大きくしてブレーキトルクを増加させる必要があり、電動機出力に比例してブレーキ本体が大型化するという問題がある。そこで、現在の巻上機では、1個当たりのブレーキが数十kgと小型なものを複数個使用したキャリパー式電磁ブレーキを採用することで、小型・軽量化とメンテナンス性の向上を実現した。

3.2.2 メインロープ エレベーターを支える技術の一つである、かごと釣合おもりをつるべ式につなぐメインロープの開発も進めている。高速エレベーター初号機の納入当時は、JIS G 3525 (日本工業規格G 3525) に規定された直径12mmのエレベーター用ワイヤロープを採用した。このワイヤロープは芯綱に麻芯を用い、その外周を鋼製のストランドで構成したものである。建物の高層化に伴い、大量輸送が求められた2000年代になると、大荷重に耐えうる芯綱に鋼芯を用いた大径の樹脂被覆ロープ (IWRC: Independent Wire Rope Core) を採用するようになった。

3.2.3 安全装置 エレベーターのロープが万一切れても、かごに設置している非常止め装置がガイドレールをつかむことで、かごを安全に制止させることができる。通常、エレベーター1台に対して非常止め装置2個を1セットとして設置しているが、エレベーターの大容量化に伴い非常止め装置自体が大型化すると、かごへの配置も検討が必要になる。そこで、従来の非常止め装置をかごの上下に1セットずつ、合計2セット設置することで、非常止め装置のサイズを大きくせずに約2倍の制動力を確保した。

3.2.4 かご 乗客が乗り込むかごは、エレベーターの大容量化が進むにつれて、大きくなるとともに重くなる。かごの床パネルだけで数百kgから数tの質量になり、更には、かご

枠強度を確保するためにかご全体の質量が膨れ上がる。また、高層ビルでは、かごをつるメインロープの自重だけで数tにも達し、これを補償するためのコンペンロープも同様に増大する。その結果、巻上機には数十tものつり下げ荷重が掛かり、巻上機への負荷は増大する。

そこで、かごを構成する材料にハニカムコアから成るハニカム床パネルを採用することで、高い剛性を維持しながらかご全体の軽量化を実現し、巻上機への負荷を軽減している。住友不動産六本木グランドタワーに納入した90人乗りの大型かごでもハニカム床パネルを採用しており、鉄製の床パネルに比べて1/5の軽量化を実現した。また、床面積10.55m²の広さを一体パネルで構成すると、かご組立て時に昇降路の中への床パネル搬入ができないため、床を分割構成とした。

3.2.5 制御システム 2系統の巻線を備えた大容量巻上機を制御するため、2系統の独立したコンバーターとインバーターを制御するツインドライブ方式を採用している。また、リラクタンストルクを利用するd-q軸制御により高効率の制御が可能になり、更なる省エネやインバーター容量の低減を実現した。

4 更なる大容量化に向けた課題と今後の展望

今後、更なる大容量化に向けては、以下の二つを解決することが課題として挙げられる。

- (1) 巻上機の出力向上による、構成部品の大型化と質量の増大
- (2) ロープつり本数の増加による、ロープ自重の増加
それぞれの課題の対応策について、次に述べる。

4.1 巻上機

これからのエレベーターでは、定格速度を600m/min級に保ったままで定員を60~80人に増大させるなどの、更なる輸送能力の向上が求められると考えている。現在の当社ラインアップで輸送能力の向上を図ろうとすると、巻上機の質量が従来の約1.5倍に増大してしまう。また、従来のシステム構成の考え方では、巻上機の製造性、可搬性、据付性、及び保守性が著しく低下することが予想される。

そこで今回、巻上機のシーブにロープを2回巻き付けるダブルラップ方式から、巻上機のシーブにロープを1回巻き付けるシングルラップ方式に変更することを検討した。その結果、軸荷重を1/2に低減でき、軸受のランクダウンとシーブ幅の削減により、軸周辺のサイズダウンが図れた。これにより巻上機の質量を、現在の標準ラインアップ巻上機と同等レベルまで低減できる見込みが得られた。

4.2 ロープ

エレベーター機器の中でかごを安全につり下げるロープの強度は、非常に重要である。建物の高層化に伴いエレベーター

ターの昇降行程も高くなり、高強度かつ大径の樹脂被覆IWRCでも1本当たりの質量が1tを超えることがある。巻上機にエレベーター機器の全荷重が掛かるため、つり下げ荷重を減らすためにもロープ自体の軽量化が不可欠であるが、ロープの安全率は確保しなければならない。そこで、ロープの芯綱構成を変更することを検討した。従来、鋼製の芯綱を用いていたが、特殊な軽量材を採用することで軽量化が可能になる。外側の素線強度を上げつつ芯綱を軽量化することで、従来よりも軽くて強いロープを実現できると考えられる。

5 あとがき

当社が昇降機事業を創業してから、2016年で50周年という一つの節目を迎えた。創業初期のエレベーターから、TAIPEI101への超高速エレベーターの納入、住友不動産六本木グランドタワーへの90人乗りエレベーターの納入と、これまで実現することが難しいと考えられていた領域までエレベーター技術を発展させ、その市場を拡大させてきた。今後も、この50年間にわたって培ってきた技術をベースに、それらを更に進化させるような、新しいエレベーターシステムの考え方や最先端技術を取り込み、輸送能力の向上に対する需要の増加や、新たな市場ニーズに伝えていく。

また、昇降機事業100周年を目指して、従来の常識を打ち破るような、将来技術を活用した近未来のエレベーターの実現についても取り組んでいく。

・東京スカイツリーは、東武鉄道(株)及び東武タワースカイツリー(株)の商標。



菅野 豊明 KANNO Toyoaki

東芝エレベータ(株) 技術本部 商品企画部主任。
エレベーターの商品企画に従事。
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



小泉 潤 KOIZUMI Jun

東芝エレベータ(株) 技術本部 開発部主任。
エレベーター電気系の設計・開発に従事。
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



佐々木 俊太 SASAKI Shunta

東芝エレベータ(株) 技術本部 開発部。
エレベーター機械系の設計・開発に従事。
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.