

超高層大規模ビルに対応する エレベーターの研究開発

大宮 昭弘
Omiya Akihiro

関根 英則
Sekine Hidenori

日本の超高層建築の先駆けとして1968年に竣工した霞が関ビルディングに、日立は当時の国内最速である分速300 mのエレベーターを納入した。日立はこのために研究塔を建設し、超高速エレベーターの開発を始動させた。1993年には当時の世界最速となる分速810 mのエレベーターを開発し、現在に至るまで、日立は世界最先端の

エレベーター開発を継続してきた。脈々と受け継がれてきた伝統の中で、2010年に新研究塔G1TOWERを竣工し、2016年には分速1,200 mの超高速エレベーターを実現させた。

本稿では、日立のエレベーター研究開発の経緯を振り返る。

1. はじめに

2016年5月、中国・広州市の超高層複合ビル「広州周大福金融中心」に納入し、調整作業を進めていた超高速エレベーターが、ついに定格速度である分速1,200 m（時速72 km）を達成した¹⁾。世界最高速のエレベーターの実現である^{*1)}。これはまさに日立のエレベーター開発に受け継がれてきた、先端技術開発に懸ける思いを実現したものである。

日立の超高速・大容量エレベーター開発の歴史は、1960年代後半まで遡ることができる。本稿では、さまざまな技術的課題を解決し、超高速・大容量エレベーターの実現に向けた研究開発の経緯を振り返り紹介する。

2. 超高速時代の始まり

日本での超高層ビルの建設は、1963年の建築基準法改正により、建築物の高さ制限が緩和されたことによって可能となった。それと同時にビル内の交通インフラであるエレベーターに対して輸送能力向上が求められ、超高速エレベーターの開発が始まった。

超高層ビルに適した高速のエレベーターを開発するには、相応の高さのエレベーター専用研究塔が必要であった。日本初の超高層ビルである霞が関ビルディング(以下、

「霞が関ビル」と記す。)に納めるエレベーターの受注が決まったことで、エレベーター研究塔(以下、「旧研究塔」と記す。)が建設された²⁾([図1](#)参照)。



図1 | 旧研究塔

高さ90 mの旧研究塔の外観を示す。1967年に竣工した。現在でもエレベーター開発用に使用している。

*1) 2016年5月時点、日立製作所調べ。

霞が関ビルでは、当時の日本最速のエレベーターが分速150 mであるのに対し、倍となる分速300 mが要求された。そのため、精密なモータ制御を行う速度制御技術の開発、非常時に安全に停止させる非常止め装置の開発、快適な乗り心地の実現のための騒音対策や振動対策、複数のエレベーターを効率的に制御する群管理技術の開発など、解決すべき課題が多く、旧研究塔の利用率は非常に高かった³⁾、⁴⁾。日本では超高層ビルの時代が始まると同時に、エレベーターのスピード競争が始まった。

3. 超高速エレベーター開発の成長期

3.1 省エネルギー化の流れ

霞が関ビルの後も、日立は次々に速度記録を塗り替えていき、1974年には当時の世界最速となる分速540 mの超高速エレベーターを新宿住友ビルに納入した。

ところが、1970年代の二度の石油危機によって世の中は省エネルギー化の流れとなり、エレベーターもスピード競争から省エネルギー化へ舵(かじ)を切ることとなった。日立のエレベーター開発においては、エレベーターの駆動装置が直流モータから誘導モータへ変わるとともにインバータ化され、かつ、制御装置にマイコンが採用されるようになり、劇的に省エネルギー化が進んだ³⁾(図2参照)。1991年、東京都庁舎に納入した分速540 mのインバータ制御超高速エレベーターで全機種インバータ化が完了し、省エネルギー化が図られた。

3.2 シミュレーションの導入と試験装置

この時代のもう一つの流れとして、コンピュータを使ったシミュレーション技術(CAE: Computer-aided Engineering)が急速に発達し、現実世界のさまざまな物理現象をコンピュータ上で表すことができるようになった。すなわち、実際にエレベーターを据付けし、実機試験でのデータ集めをせずに、実機の一部機能を取り出した要素試験装置と、CAE解析を組み合わせることが可能となった。

例えば高さ500 mクラス(100階建て相当)の超高層ビルを想定した場合、そこに設置されるエレベーターの試験のためには実際のビルに近い高さが必要となり、速度も分速540 mを超える実機が必要とされる。しかし、旧研究塔の高さはこの速度を出すには十分ではないため、実機検証できない速度などのさまざまな条件をCAE解析上で模擬することが求められた。こうして、解析によって強度、駆動制御、騒音、振動など広範囲な検討を行い、モータの速度制御やブレーキ性能、非常止め制動性能などの単機能を要素試験装置で確認することで、さらなる新しいエレベーターの研究開発を進めることができるようになった。

このような背景の下、100階建てクラスの超高層ビルの建設に備えて、次世代超高速エレベーターの開発を実施し、1993年に分速810 mの超高速エレベーターを開発した⁵⁾。この開発に用いた主要要素試験装置を図3に示す。

これらの要素試験装置により、駆動制御においては次の各項目を達成した。

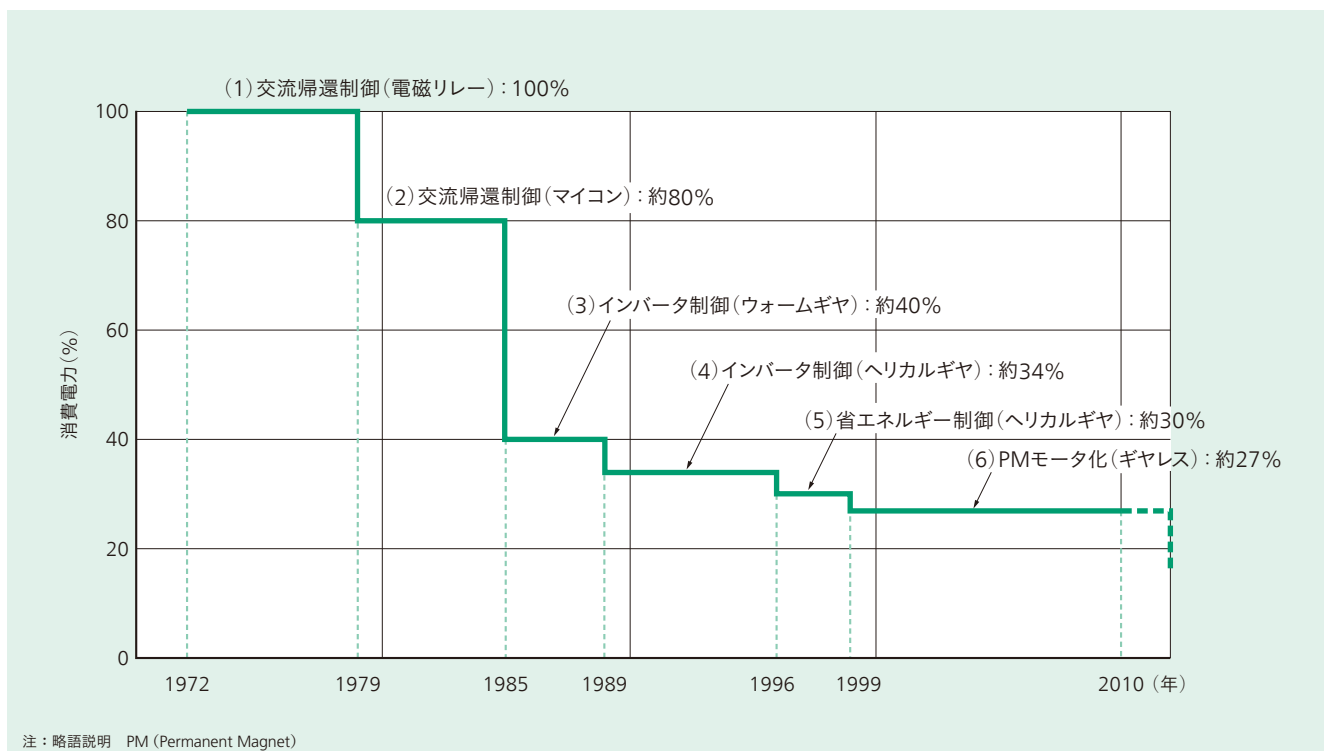


図2 | 日立エレベーターの省エネルギー化の変遷

中低速エレベーターにおける消費電力の改善状況を示す。

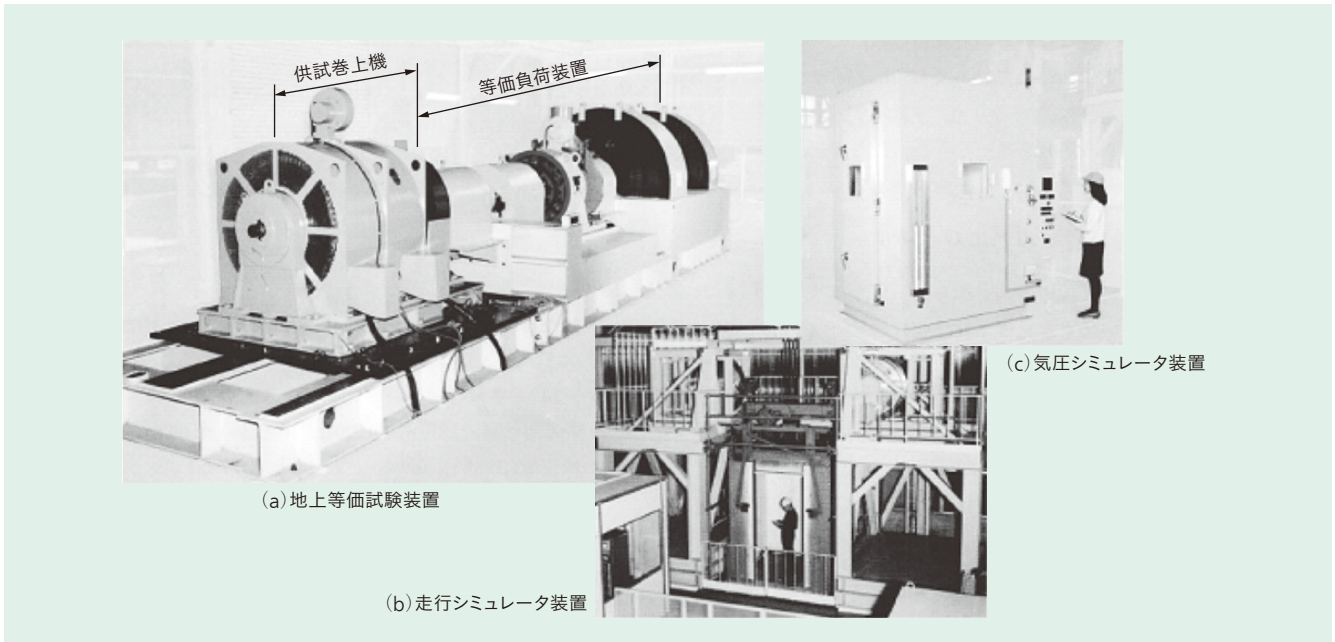


図3 | 分速810 m超高速エレベーター開発時の試験装置

(a) 巻上機の軸に負荷装置を直結し、駆動制御用インバータで巻上機を駆動する「地上等価試験装置」を示す。開発目標とするエレベーターの定格速度で巻上機を駆動し、速度制御やブレーキの性能を確認した。(b) 吊り下げた乗りかごと、その左右に取り付けたガイド装置と、ガイドレールの代わりに設置した円盤を持った「走行シミュレータ」を示す。円盤をモータで回転させることで、エレベーターの走行状態を模擬し、円盤を揺らすことでガイドレールの曲がりによる乗りかごの振動を再現し、乗り心地向上技術を検討可能とした。(c) 大きな高低差を高速で移動したときのビル内の気圧差によって生じる耳づまり（耳閉感）を研究するための「気圧シミュレータ」を示す。

- (1) タンデムモータ式巻上機とマルチインバータによる分速810 mを実現した。
- (2) 乗りかご上下振動の原因の一つであるモータから発生するトルク脈動は、一般的にモータ出力に比例して大きくなるが、(1)の巻上機とインバータにより、分速540 mクラスと同等レベルに抑制した。
- (3) 乗りかご横振動は速度に比例して大きくなるが、磁気および粘性ダンパを用いたガイド装置により、分速540 mクラスと同等レベルに抑制した。
- (4) 分速810 mかつ行程500 mでの耳づまりが、行程200 mのそれと大差ないことを確認した。

従来速度を大幅に超えた開発は、エレベーターの各種基礎技術に他にも多くの成果をもたらした。

4. 超高速エレベーター開発の発展

2000年代に入り、アジア・中東各国で経済が急速に拡大し、巨大な市場を形成するようになった⁶⁾。特に中東・中国市場においては超高層ビルの建設ラッシュが続き、第二のエレベータースピード競争の時代に突入している。

1,000 m級の超高層ビルの計画や、分速1,000 mを超えるエレベーターが出現する中、日立は世界市場における競争力強化を目的として、2010年に新しいエレベーター研究塔G1TOWERを建設した⁷⁾(図4参照)。G1TOWERを建設した最も重要な理由は、安全装置の一つである非常止め装置に関し、目標速度が大きいほど試験に必要な落下行

程が長くなる、すなわち、より高い塔が必要となることである。

また、未到達な速度・積載量での研究を行うため、CAE解析と実機試験との乖(かい)離を最少化する目的もあった。例えば、分速1,000 mの超高速走行時の乗りかご内騒音・振動値をCAE解析で正確に予測するには、基になる試験データが分速360 mのみであることに比べ、分速600 m、800 mなどのデータを測定できるほうがより誤差が少なくなる。



図4 | G1TOWERの外観と内部の様子

高さ213 mのG1TOWERの外観と内部の様子を示す。試験用昇降路は9本設置されている。2010年4月に竣工した。竣工から約1年後に東日本大震災に遭遇したものの、地震入力は建築設計値以下だったため、被災を免れた。

乗り心地は人間の感性によるため、より目標速度に近い実機が必要である。これらにより、塔の高さは高いほど望ましく、世界一高い研究塔^{※2)}を建設することにした。

こうして、G1TOWERや要素試験装置、CAEを用い、蓄積した超高速エレベーター研究開発のデータやノウハウを生かし、新しい領域に踏み込んだことで、分速1,200 mの超高速エレベーターを実現することができた。

5. おわりに

本稿では、日立の超高速エレベーター研究開発の歴史について、試験装置を中心に説明した。

霞が関ビルのエレベーターリニューアルに伴い、約50年もの間活躍してきた分速300 mのエレベーター巻上機第一号機をG1TOWERに展示している(図5参照)。大先輩方の苦勞が詰まった巻き上げ機を目の前にすると、半世紀前に始まった日立の超高速エレベーター研究開発の歴史

※2) 2010年4月当時、日立製作所調べ。

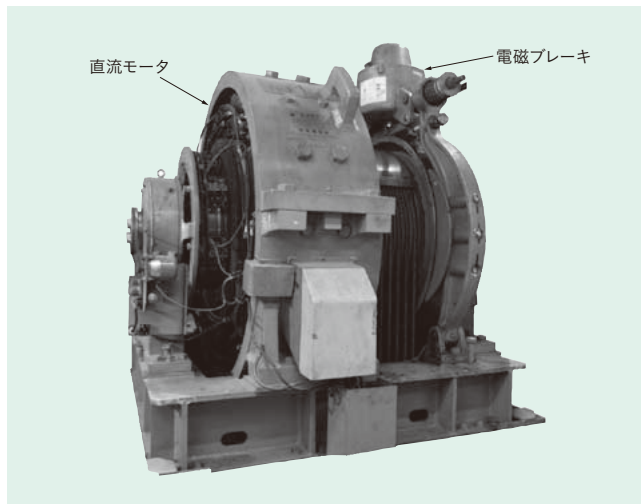


図5 | 霞が関ビル納め分速300 m超高速エレベーターの巻上機
直流モーターと電磁ブレーキを組み合わせたギヤレス巻上機を示す。重量約9 t、定格出力60 kWである。

に思いを馳せることができ、とても感慨深いものがある。

今後も世界一のエレベーターをめざして研究開発に臨み、課題解決に挑戦していく。

謝辞

霞が関ビルのエレベーター巻上機の展示については、三井不動産株式会社にご協力いただいた。深く感謝の意を表する。

参考文献など

- 1) 日立ニュースリリース、超高速エレベーターが分速1,200mの世界最高速を達成(2016.5)、<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2016/05/0527.html>
- 2) 超高層ビル用エレベーター特集、日立評論、50、9(1968.9)
- 3) 荒畑：安全・安心、快適・便利な移動をめざす昇降機、日立評論、90、11、870～875(2008.11)
- 4) Stories of Technology「果敢なる挑戦 日立エレベーターの系譜」、HitachiBrandChannel、https://www.youtube.com/watch?v=VliRV55X_Y
- 5) 重田、外：速度810m/min超高速エレベーターの開発、日立評論、75、7、437～442(1993.7)
- 6) 三井：ロープ式エレベーター技術発展の系統化調査、技術の系統化調査報告 第9集、独立行政法人国立科学博物館(2007.3)
- 7) 大宮、外：都市の次世代縦移動インフラを築く世界一の研究塔とエレベーター新技術、日立評論、92、11、859～863(2010.11)

執筆者紹介



大宮 昭弘

日立製作所 ビルシステムビジネスユニット
グローバル昇降機事業部 グローバル開発本部 エレベーター開発部
所属
現在、主にエレベーター制御システムの開発業務に従事



関根 英則

日立製作所 ビルシステムビジネスユニット
グローバル昇降機事業部 グローバル開発本部 エレベーター開発部
所属
現在、主にエレベーター制御システムの開発業務に従事