

高速ギヤレスエレベーター時代を先導するインバータ制御技術

Inverter Control Technology Playing Leading Role in Era of High-Speed Gearless Elevators

中島 豊

■ NAKAJIMA Yutaka

東芝は、高速で快適なエレベーターの実現を目指して、いち早くインバータ制御技術を高速エレベーターに適用し、更に高速化の主流となるギヤレス巻上機化を進め、1983年10月に世界で初めてインバータ制御高速ギヤレスエレベーターを開発した。その後インバータ制御技術の適用が急速に進み、現在の高速エレベーターはインバータ制御ギヤレス駆動方式が世界の主流となった。

東芝エレベータ(株)は、この技術を更に発展させて、世界最高速エレベーターをはじめ、大量輸送化や、小型化、中低速エレベーターへの展開などに拡大させてきた。近年、時代とともに変化するエレベーターへの要求に応じて、エレベーターの快適性、省エネ性、及び利便性を実現する技術開発を進めている。

Toshiba Elevator and Building Systems Corporation took the initiative in applying inverter control technology to high-speed elevators and in developing a gearless traction machine to effectively increase speed. We released the world's first inverter-controlled high-speed gearless elevator in 1983. Since then, inverter control technology has been rapidly progressing and inverter-controlled gearless elevators have been expanding into the mainstream of high-speed elevator systems.

We have enhanced this technology and offered various products ranging from the world's fastest elevator to large-capacity, downsized, and medium- and low-speed elevators. In response to the evolving needs of global markets, we are continuing to focus on the technological innovation of elevators aimed at maximizing comfort, ease of use, and energy saving.

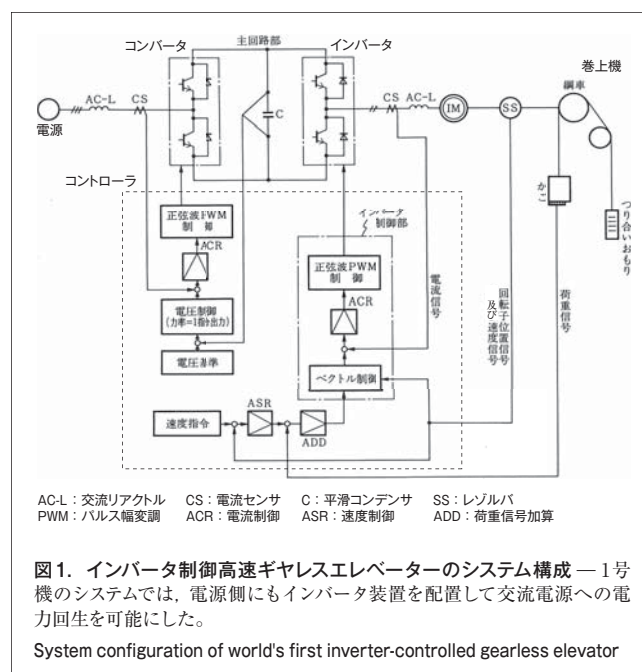
1 まえがき

東芝が1966年に昇降機事業を創業して、1983年に世界初のインバータ制御高速ギヤレスエレベーターを開発し⁽¹⁾世に送り出したのを起点とし、東芝エレベータ(株)は、世界最高速機種をはじめとして、数多くの高速エレベーターを提供してきた。ここでは、東芝の高速ギヤレスエレベーター技術の変遷、及び最新の技術について述べる。

2 インバータ制御高速ギヤレスエレベーター 1号機

東芝初の高速エレベーターは、直流電動機と、減速機を用いないギヤレス巻上機をワードレオナード制御したものであり、1970年に虎ノ門17森ビル(20人乗り、定格速度150 m/min)に1号機を納入した。

1980年になると、直流電動機の制御には半導体電力変換素子(サイリスタ)を用いたサイリスタレオナード方式を採用し、性能向上とともに従来に比べ25%の省エネを実現した。初号機のサイリスタレオナード制御高速ギヤレスエレベーター(24人乗り、定格速度180 m/min)を小田急第一生命ビルに納入し、1984年にはサイリスタレオナード方式として最高記録となる超高速ギヤレスエレベーター(25人乗り、定格速度



480 m/min)を東芝ビルディングに納入した。

しかし、直流電動機の制御では、力率改善に大容量の電源設備が必要とされ、電源の歪み(ひずみ)が大きくなることや直流電動機自体の保守性などに課題があった。これらの課

題に対して、1983年にインバータ技術と誘導電動機(IM)を高精度に制御するベクトル制御技術による可変電圧可変周波数(VVVF)制御を行うインバータ制御高速ギヤレスエレベーターを、世界で初めて製品化し(図1, 図2, 図3), 1985年には初号機のインバータ制御高速ギヤレスエレベーター(17人乗り, 定格速度120 m/min)2台を東邦ガス(株) 総合技術研究所に納入した。

インバータ制御は、従来のワードレオナード方式やサイリスタレオナード方式などに代わり、大容量パワートランジスタ(GTR素子)を使ってコントロール部にベクトル制御を採用することにより、停止制御を含む安定なトルク制御、及び超微速から定格速度まで自由自在な巻上機の実現する速度制御を実現する方式である。これにより、制御性能の向上に併せて、10%の省エネと30%の電源設備容量の低減も実現した。ベクトル制御技術と16ビットCPUを使った制御技術によって、特に交流電動機を高精度に制御する技術、及び減速時や全負荷下降時の電力回生制御など高度な制御技術を開発した。

これらの技術により、現在の高速エレベーターは、インバータ制御ギヤレス駆動方式が世界の主流となっている。

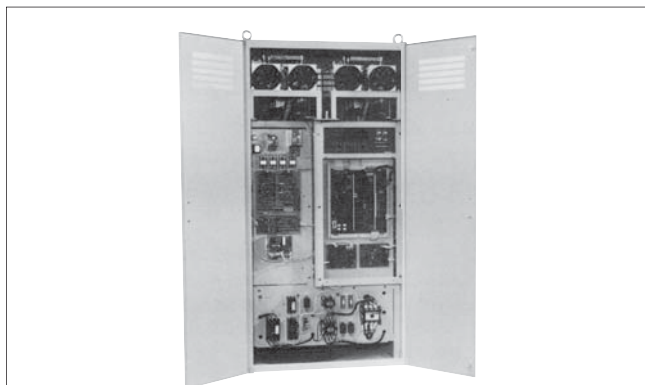


図2. インバータ制御高速ギヤレスエレベーター制御装置 — 1号機の制御装置では、16ビットCPUによるデジタル制御を採用した。
Control panel of world's first inverter-controlled gearless elevator

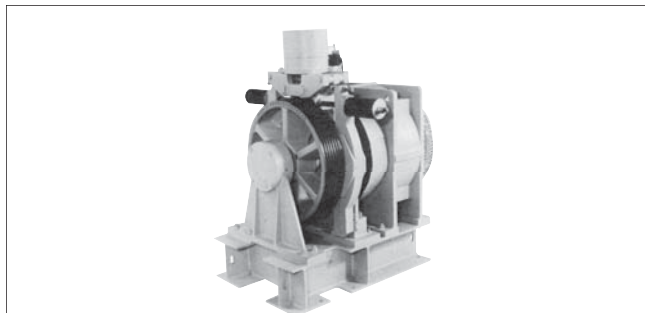


図3. 交流ギヤレスエレベーター用巻上機 — 1号機の巻上機には、電動機回転子軸に綱車が直結されたギヤレス駆動用巻上機を採用した。
AC gearless traction machine of world's first inverter-controlled gearless elevator

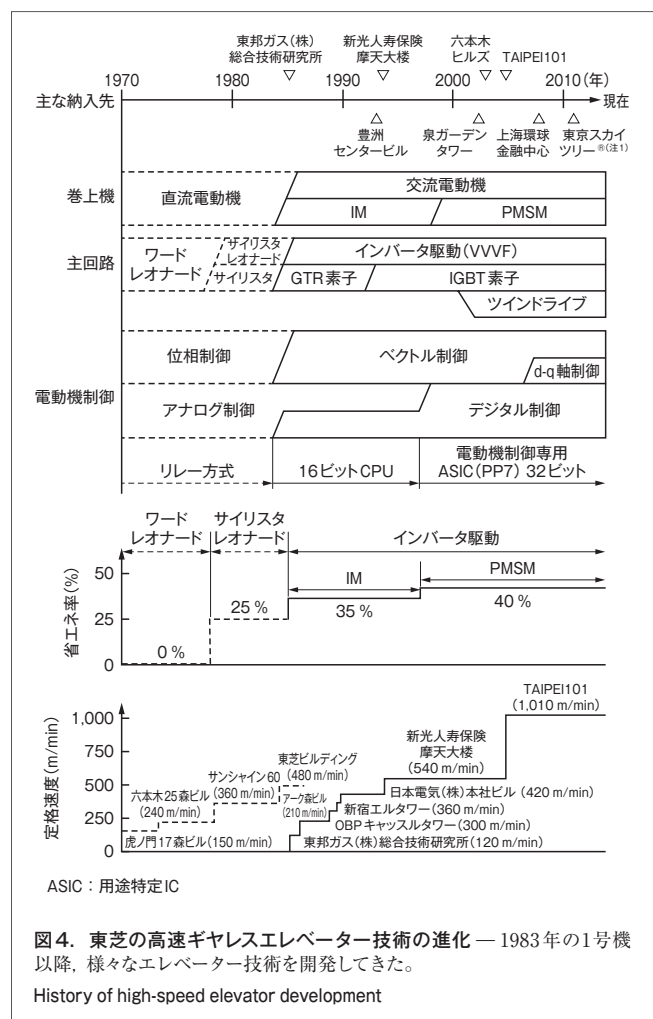
3 高速ギヤレスエレベーターの発展

東芝の高速ギヤレスエレベーター技術の進化を、図4に示す。インバータ制御技術の導入後もしばらくはサイリスタレオナード方式が先行したが、数年でインバータ方式に移行した。

最初に進化したのは、インバータ制御に使用される半導体電力変換素子の分野であり、1980年代後半には、スイッチング性能を大幅に改善したIGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)の採用により、システムの小型化を実現した。

この技術を採用した1号機は、1992年に豊洲センタービル(24人乗り, 定格速度420 m/min)に納入した。

高速化では、1994年に東芝の最高速度となるインバータ制御超高速ギヤレスエレベーター(20人乗り, 定格速度540 m/min)を台湾 台北市の新光人寿保険摩天大楼に納入した。ここでは、IGBTのスイッチング周波数を高めて、交流電動機から発生する電磁騒音を低減した。これにより交流リアクトル(AC-L)回路などが不要になり、いっそうの小型化が実現した。



(注1) 東京スカイツリー・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。

この技術開発により、インバータ方式はサイリスタレオナード方式の速度記録を抜き、更なる高速化にチャレンジする転換点となった。

コントローラ部については、1993年に電動機制御専用の高速プロセッサを開発し、高速の専用処理により小型・高集積化した高性能全デジタル制御装置を実現し、1993年にDNタワー 21 (27人乗り、定格速度360 m/min) に納入した。

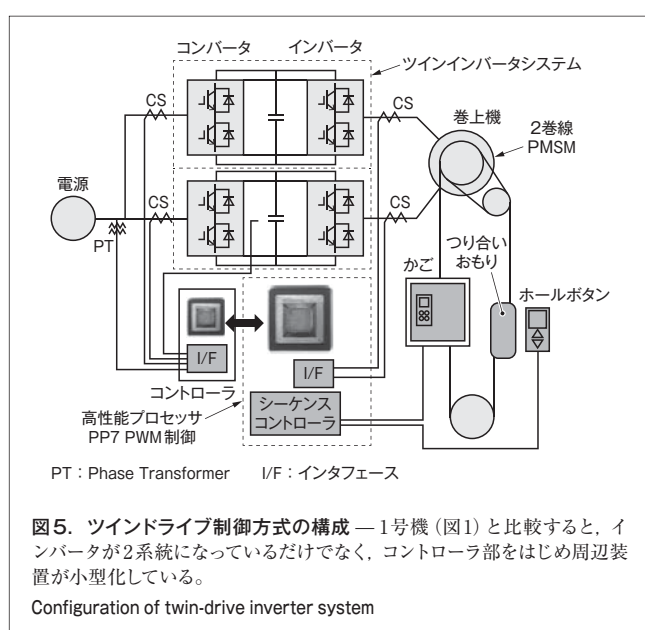
1995年には大阪ワールドトレードセンタービルディングに西日本地区で最高速となるエレベーター (27人乗り、定格速度540 m/min) を納入した。

1998年になると巻上機の技術が進化し、永久磁石同期電動機 (PMSM) を使用したギヤレス巻上機を開発した。PMSMは、従来のIMに比べ、大幅な小型・軽量化を実現した。また永久磁石の採用により、高効率の制御が可能になり、更に10%の省エネを実現した。

2002年に、大型の2巻線式PMSMを使用した巻上機を駆動するために、2系統の独立したコンバータとインバータを制御するツインドライブ方式を業界で初めて採用した (図5)。このツインドライブ方式を採用した国内最大級の大容量・高速ギヤレスエレベーター (75人乗り、定格速度240 m/min) の1号機を泉ガーデンタワーに納入した。

このツインドライブ方式の確立により、高速で大容量のエレベーターへの展開が加速されることになった。

2004年には、世界最高速の超々高速エレベーター (24人乗り、定格速度1,010 m/min) を台北市の高さ508 mの超高層ビル TAIPEI101に納入した。このエレベーターは、世界最高速エレベーターとして2004年12月16日にギネス世界記録に認定された。超々高速を実現するために、巻上機は180 kW級の大型機となり、制御にはツインドライブ方式、主回路には



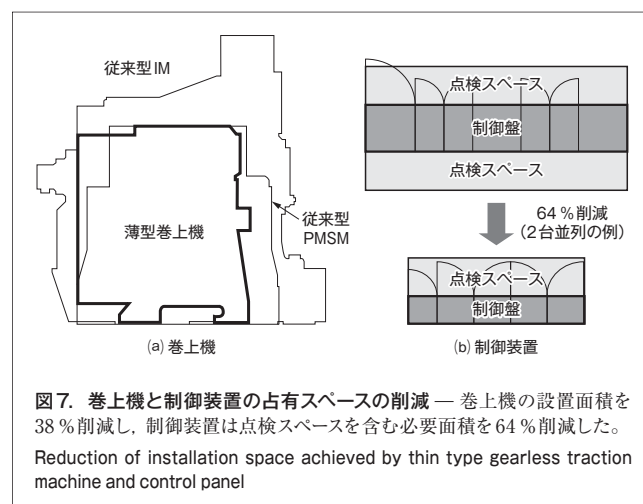
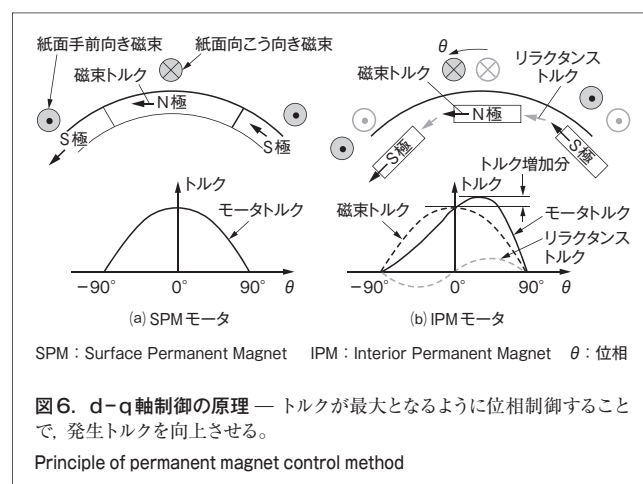
600 A級のIGBTを6個並列接続した構成を採用している。また、最高速というだけでなく、万一の緊急時にかごを停止させる安全装置や利用者の快適性を追求し、世界初のかご内気圧制御システムを搭載したほか、アクティブ制御装置 (AMD: Active Mass Damper) を設けるなど、振動や騒音を抑え、快適性や安全性を確保するための新技術が盛り込まれている。

これらの新技術にも電動機制御で蓄積したインバータ技術を応用して、きめ細かな運転を実現している。

4 最新の技術

4.1 小型・省スペース化

2003年に、PMSM巻上機の制御にリラクタンストルクを利用するd-q軸制御を採用したことにより、巻上機の小型化及びインバータ容量の低減を実現した⁽²⁾。PMSM巻上機の制御は、磁石による磁束トルクと、突極性によるリラクタンストルクで制御しており、両方のトルクの和が最大となるように位相を進み方向にずらし、制御するものである (図6)。d-q軸制御は、発生トルクの向上に効果があり、かつ誘起電圧の抑制も



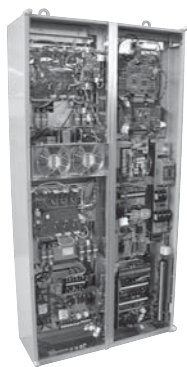


図8. 薄型化した制御装置 — デジタル制御化を進め、1号機(図2)と比較して、設置スペースを削減した。

Thin type gearless control panel

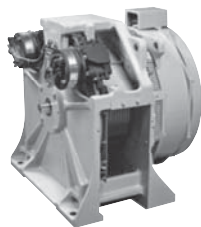


図9. 薄型化した巻上機 — 1号機(図3)と比較して、奥行と高さを縮小した。

Thin type gearless traction machine

図れ、高速化対応にも有効である。この技術の適用により、巻上機の設置面積を38%削減し、制御装置は点検スペースを含む必要面積を64%削減できた(図7、図8、図9)。この技術を用い、2005年にd-q軸制御を用いた高速ギヤレスエレベーターをトヨタ自動車(株) 事務本館(27人乗り、定格速度210 m/min)に納入した。

4.2 高速・大容量化

2012年に東京スカイツリー®に2種類のエレベーターを納入した⁽³⁾。一つは、大容量タイプとして国内最高速のエレベーター(40人乗り、定格速度600 m/min)であり、入口フロアと高さ350 mの東京スカイツリー天望デッキを結ぶシャトルエレベーターである。もう一つは、国内最長の走行距離(昇降行程)464.4 mの業務用エレベーター(27人乗り、定格速度540 m/min(非常運転時)/240 m/min(通常時))である。

東京スカイツリー®のエレベーターは、TAIPEI101納入のエレベーターよりも積載質量及び昇降行程がともに大きいため、超高速大容量の巻上機として220 kW級を開発し、適用している。これにより、インバータ制御高速ギヤレスエレベーター1号機と比較すると、6倍以上の大容量化となった。

4.3 大量輸送化

超高層建築物における更なる高速かつ大量輸送の要求に応

えるために、かごが2階建てとなったダブルデッキエレベーターも1998年にダブルデッキエレベーター1号機(20人乗り×2、定格速度210 m/min)を中国の恒生銀行大厦に納入した。

2003年に階間が異なる建物にも適用できるように、上下のかご間隔を変動させる機構に独自のボールネジ方式を採用した階間調整付きダブルデッキエレベーター(22人乗り×2、定格速度360 m/min)を六本木ヒルズに納入した。この技術は海外向けにも適用しており、2008年には中国大陸初の階間調整付きダブルデッキエレベーター(18人乗り×2、定格速度300 m/min)を上海環球金融中心に納入した。

その後も超高層建築物におけるシャトルエレベーターの要求に応えるため、高速・大容量化を進めている。

4.4 中低速エレベーターへの展開

インバータ制御はギヤレス高速エレベーターに採用しただけでなく、中低速エレベーターにも展開しており、1998年に登場したマシルームレスエレベーター SPACEL™では従来ビルの屋上にあったエレベーターの機械室をなくし、昇降路内に巻上機や制御装置など全ての装置と機器を配置している。

この実現には、PMSMを採用した小型巻上機とともに、半導体電力変換素子にIPM(Intelligent Power Module)を採用し、電力素子、ドライブ回路、及び保護回路を一体化した半導体電力変換素子技術が重要な役割を果たしている。

5 あとがき

今後も、国内外で超高層建築物が計画されている。国内では利用者の高齢化や、建築物の過密化とバリアフリー化に対する取組みなど、縦の交通手段であるエレベーターへの要求が時代とともに変化し、エレベーターはこれに応えながら進化している。また、平常時の安全・安心だけでなく、地震や停電などの災害時にも対応できる技術が求められており、よりいっそうの快適性、省エネ性、及び利便性を備えた“人と環境により配慮したエレベーター”を提供していく。

文 献

- (1) 北川 博 他. インバータ制御エレベーター. 東芝レビュー. 39, 9, 1984, p.757-762.
- (2) 大坪 亮 他. これからのビル昇降機設備. 東芝レビュー. 59, 10, 2004, p.31-34.
- (3) 田中和宏 他. 東京スカイツリー®向けエレベーターの最新技術. 東芝レビュー. 67, 11, 2012, p.16-19.



中島 豊 NAKAJIMA Yutaka

東芝エレベータ(株) 技術本部 開発部主幹。
エレベーターシステムの開発に従事。
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.