

**MITSUBISHI**  
*Changes for the Better*

家庭から宇宙まで、エコ changes



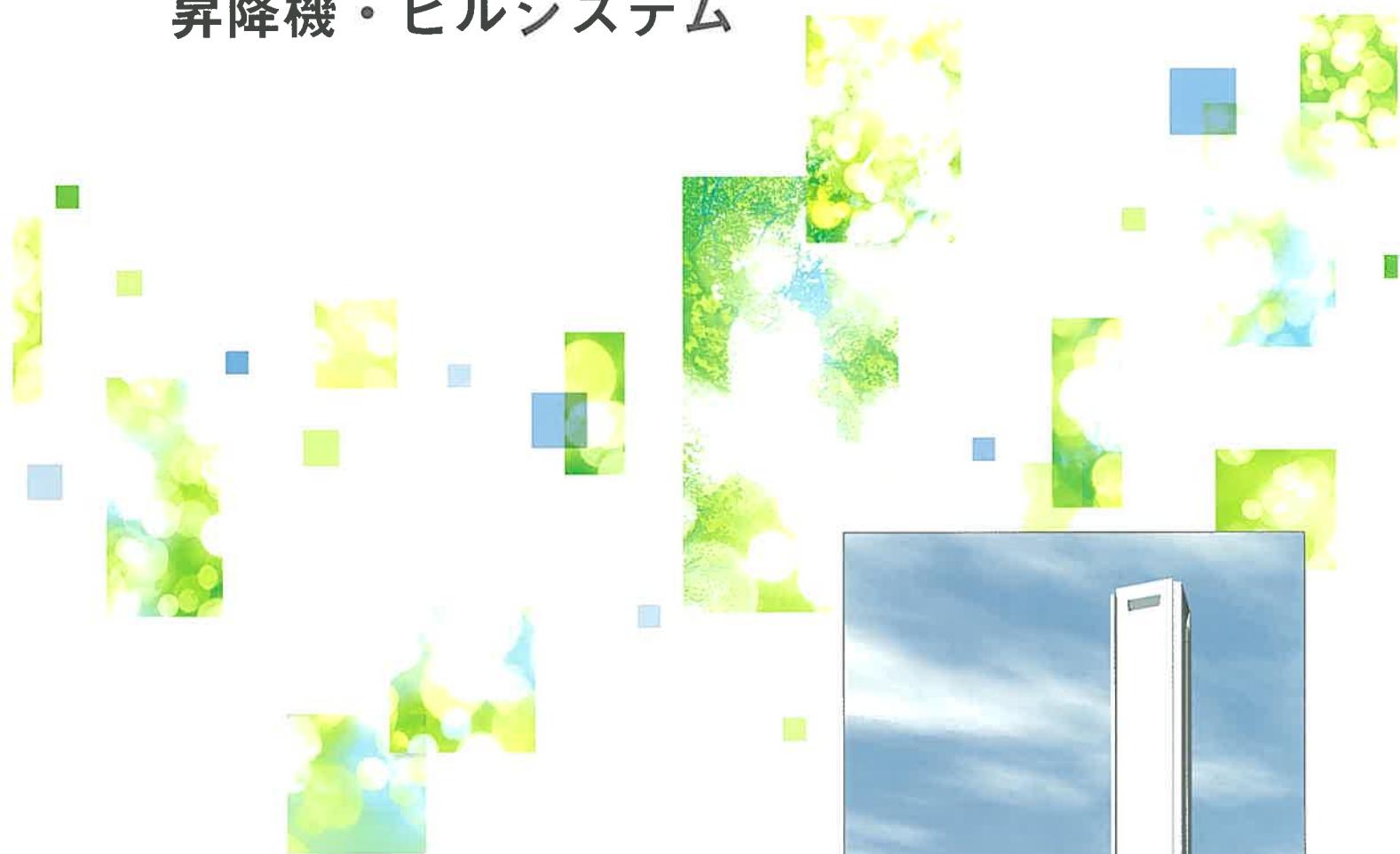
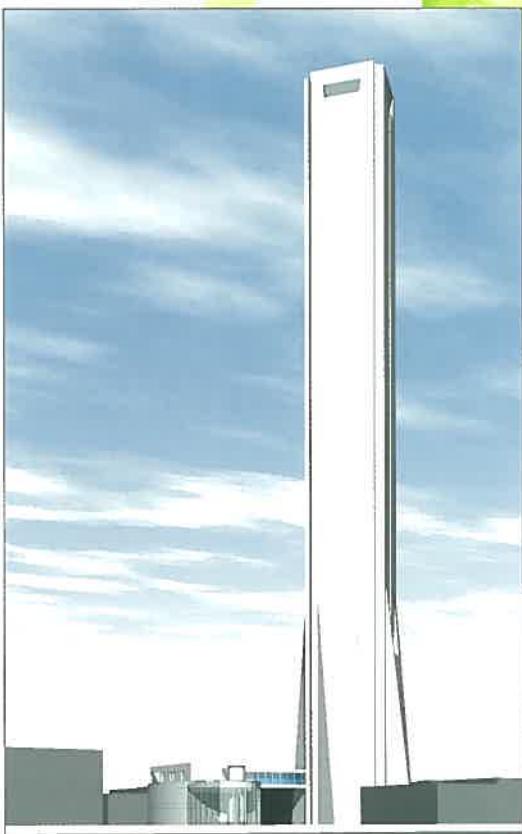
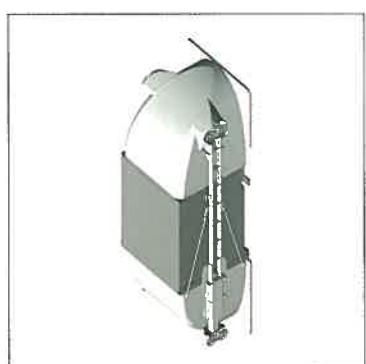
# 三菱電機技報

8

2012

Vol.86 No.8

## 昇降機・ビルシステム



## 目 次

### 特集「昇降機・ビルシステム」

昇降機・ビルシステム特集号に寄せて	1
吉川正巳	
超高速エレベーターの駆動制御システム	2
加藤 覚・小松孝教・宮本浩成・平林一文	
超高速エレベーターの安全装置	7
井村光芳・新川岳史・白石直浩・釣谷琢夫・小林 孝	
超高速エレベーターの快適性	11
飯田真司・佐久間洋一	
エレベーターの超高揚程化対応技術	15
東中恒裕・福井大樹・毛利一成・奥中孝剛・石川雅洋	
エレベーターの省エネルギー技術	19
石川純一郎・坂野裕一・山下桜子	
エレベーターの新デザイン・新機能	23
湯浅英治・永田鉢子・額頬雅彦	
エスカレーターの省エネルギー技術	27
西岡良太・吉田浩二・砂田哲也	
エレベーターモダニゼーション技術	
—新旧群管理システムとエレベーター行先予報システム—	31
吉村 丘・小場由雅	
油圧エレベーター「モダニゼーション "EleFine"」	35
兵藤英一・中根道雄・高橋良直・佐々木一浩	
セキュリティと照明設備の省エネルギー連携	39
桑原直樹・小早川浩之・安田晃久・近藤純司・星野一郎	
データセンター向けセキュリティソリューション	43
大庭寿康・井上智善	
ハンズフリー入退室管理システム	47
星野一郎・大橋岳洋・近藤純司	
"Facima Lite-system"の省エネルギー機能	51
水野裕正	

### 特許と新案

「エレベーター乗場装置」「乗客コンベアの安全装置」	55
「不審者通報システム」	56

### Elevators Escalators and Building Systems

Contribution to Special Issue on Elevator, Escalator and Building System	
Masashi Yoshikawa	

### Driving Control System of Super High-speed Elevators

Satoru Kato, Takanori Komatsu, Kosei Miyamoto, Kazufumi Hirabayashi

### Safety Device for Super High-speed Elevators

Mitsuyoshi Imura, Takeshi Niikawa, Naohiro Shiraishi, Takuo Kugiyama, Takashi Kobayashi

### Passengers' Comfort in Super High-speed Elevators

Masaji Iida, Yoichi Sakuma

### Technologies for Super High-rise Elevators

Tsunehiro Higashinaka, Daiki Fukui, Kazunari Mori, Takayoshi Okunaka, Masahiro Ishikawa

### Energy Saving Technologies for Elevators

Junichiro Ishikawa, Kazuhiro Banno, Sakurako Yamashita

### New Design and Technologies for Elevators

Eiji Yuasa, Ayako Nagata, Masahiko Kouketsu

### Energy Saving Technologies for Escalators

Ryota Nishioka, Koji Yoshida, Tetsuya Sunada

### Elevator Modernization Technology

—Group-control System for Mixture of New and Old Elevators with Destination Oriented Prediction System—  
Chikashi Yoshimura, Yoshimasa Koba

### "EleFine" : Modernization for Hydraulic Lift

Eiichi Hyoudou, Michio Nakane, Yoshinao Takahashi, Kazuhiro Sasaki

### Lighting Control System using Human Location Data for Energy Saving

Naoki Kuwahara, Hiroyuki Kohayakawa, Akihisa Yasuda, Junji Kondo, Ichiro Hoshino

### Security Solution for Data Center

Toshiyasu Oba, Tomoyoshi Inoue

### Handsfree Access Control System for Entering and Leaving Room

Ichiro Hoshino, Takehiro Ohashi, Junji Kondo

### Energy Saving Function of "Facima Lite-system"

Hiromasa Mizuno

### スポットライト

#### 三菱標準形エレベーター新AXIEZ(アクシーズ)の紹介

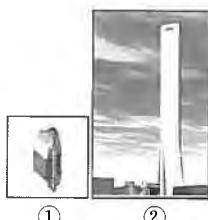
### 表紙

近年の建築物の高層化に伴い、より高速で、より大人数を一度に運べるエレベーターが求められるようになってきている。他方、高速化や大型化したといえども、乗り心地や騒音が大きくなることは許されず、従来通りの品質が求められる。

これらの要請に応えるべく、開発や検証を進めている。

- ①超高速エレベーターの外観、高速で運転中に生じる風きり音を抑制するために、風の流れを整えて、音を小さくする。
- ②三菱電機稻沢製作所の試験塔(SOLAE)

エレベーターの開発時には、実機を用いた試験で性能や品質を確認している。近年の建築物の高層化に伴い、より高速でより大形のエレベーターの検証にも対応すべく SOLAEを建設した。



## 巻/頭/言

## 昇降機・ビルシステム特集号に寄せて

Contribution to Special Issue on Elevator,  
Escalator and Building System

吉川正巳  
*Masami Yoshikawa*



世界的な人口増加、都市化が進む一方で持続可能な社会を目指し、省エネルギーで高効率な都市機能、そしてより安全で安心な都市空間の実現が求められている。社会が求める全ての人々にとって働きやすく、暮らしやすい街づくり／都市づくりの一翼を担うために、昇降機・ビルシステム業界が果たすべき役割と責任には大きいものがある。2011年の東日本大震災では改めて昇降機の持つ社会的役割の大きさを再確認したところでもあった。快適で利便性の高い都市生活を実現する重要なインフラとしての昇降機は、ビルの高層化、大規模／多様化に対応した高速大容量化への技術開発と共に安全性、信頼性に裏づけされた安心への提供が求められる。昇降機の高速化と快適性を高いレベルで両立、また大震災を機会にこれまでの耐震性能や広域災害時における復旧システムの再評価が行われ、より一層の安全と安心の提供、その管理・保守サービスの機能を高める機会となるよう業界を挙げて努力をして行く必要がある。

三菱電機は総合電機メーカーならではの総合力で昨今の社会的ニーズに対応、ビルの価値を創造し、それを高める開発・提案に積極的に取り組んでいる。また、広く安全性、利便性の向上、及び省エネルギーなどの社会ニーズに応えるには市場で稼働している多くの既設昇降機のリニューアルを進めていくことが重要でかつ効果的である。最新の昇降機では大幅な省エネルギー性の向上はもちろん、安心を提供する遠隔監視、地震時管制運転、万が一の際の遠隔救出や地震時の自動復旧などの機能を実現している。当社はこれら最新技術をリニューアル製品に展開して、部分改修から一括改修まで多様な改修メニューを用意し、顧客のニーズに応えている。

2011年の大震災以降、節電、省エネルギーに関する対応が喫緊の課題、社会的責任としてクローズアップしてきている。これらのニーズに応えるソリューションは多様化、高度化し、その対象もビル、工場から住戸に至るまで裾野は極めて広くなっている。さらに個別最適から全体最適へと広い視点でより良い答えを創出し、具現化するための技術力の向上が求められる。ビルの中央監視システムは従来のビル設備の監視／管理の領域から消費エネルギーの見える化による電力のデマンド制御やピークカット制御、さらには発電、蓄電側と需要家側との最適な制御によって経済活動や快適性を犠牲にしない省エネルギーの実現に向け、開発が進められている。省エネルギーのニーズは新規ビルだけでなく、既存ビルの付加価値を向上させる手段としてもその市場は大きく、今後更なる成長が見込まれる。また、都市化による人口集中や情報の高度化がもたらす社会不安／生活不安を解消し、安全で安心な経済活動や社会生活を実現するためのセキュリティには高い防御性能と不自由を感じさせない利便性を両立させていくことが求められる。ビル内の動線を扱うセキュリティと昇降機やビル内設備群を省エネルギーの切り口で連携することで新たな付加価値の創出も可能である。

災害に強く、安全で安心、そして環境にやさしい街づくりのあり方が改めて問われている。

当社はセキュリティ、省エネルギー関連の技術、製品のみならずビル設備の運営・管理、保守サービスにおける独自の全国インフラ網を持っており、社会が抱える新たなニーズに総合的な視点で応え、現代社会に貢献していく。

# 超高速エレベーターの駆動制御システム

Driving Control System of Super High-speed Elevators

Satoru Kato, Takanori Komatsu, Kosei Miyamoto, Kazufumi Hirabayashi

加藤 覚\* 平林一文\*  
小松孝教\*  
宮本浩成\*

## 要 旨

都市部での建物の高層化に伴い、縦の交通手段であるエレベーターの超高速化が求められている。三菱電機では、これに対応する高速で安全かつ快適に走行する超高速エレベーター技術を開発した。

本稿では、超高速エレベーターの駆動制御システム技術について述べる。

### (1) 大容量巻上機と並列駆動制御装置

大容量巻上機のモータには、省エネルギー性に優れた永久磁石(Permanent Magnet: PM)モータで、2つの三相巻線を持つ二重三相モータを採用し、低騒音・低振動・高効率な運転を実現した。また、2台の制御盤による並列駆

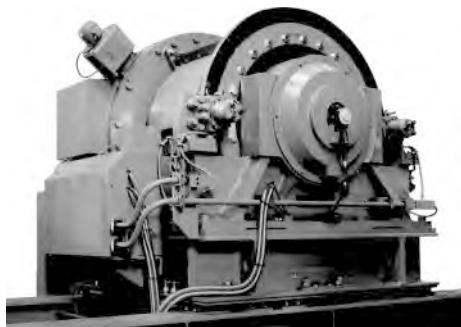
動システムを構築し、機械室レイアウトの自由度を向上させた。

### (2) 巷上機ブレーキ装置

巷上機の安全装置であるブレーキには、ダブルブレーキ構造、油圧開放方式のクランプ式ディスクブレーキを採用し、安定した制動能力を確保した。

### (3) 評価試験結果

当社の高さ173mのエレベーター試験塔SOLAÉと、地上負荷試験装置を用いて試験を行い、エレベーター速度1,080m/minでの良好な走行性能を確認した。



大容量巻上機



並列駆動制御盤



エレベーター試験塔 SOLAÉ

## 超高速エレベーターを支える駆動制御システム技術

速度1,080m/minの超高速エレベーターの駆動制御システムは、二重三相巻線方式の永久磁石(PM)モータを採用した大容量巻上機と、並列駆動制御盤の組合せによって構成している。また、巻上機の安全装置であるブレーキには、ダブルブレーキ構造、油圧開放方式のクランプ式ディスクブレーキを採用し、安定した制動能力を確保した。

## 1. まえがき

当社は、1978年に当時世界最高速度となる600m/minのエレベーターを開発、納入した。1993年には速度750m/minのエレベーターを開発、納入することによって世界最高速エレベーターの記録を塗り替えてきた。

近年、中国や中東地区等で、300mを超える超高層ビルの建築が盛んとなり、更なる超高速のエレベーター、ダブルデッキエレベーター等の大容量エレベーターの需要が増加している。このような状況の下、当社では速度1,000m/min級の超高速エレベーターの技術開発を進めてきた<sup>(1)</sup>。

そして、今回、現在ギネス世界記録となっている速度1,010m/minを超える1,080m/minの超高速エレベーターの製品化開発を完了した。

また、一般的に超高層ビルでは、ダブルデッキエレベーター、昇降行程が極めて長いエレベーター等、大容量、高揚程のエレベーターが設置され、これらを実現するため様々な技術も必要である。主な技術とその概要は次のとおりである。

### (1) 駆動・制御システム

巻上機には省エネルギー性に優れた永久磁石(PM)モータを採用し、低騒音・低振動な運転を実現、ブレーキはダブルブレーキ構造で、油圧開放方式を利用したクランプ式ディスクブレーキを採用し、超高速・大容量エレベーターに相応(ふさわ)しい安定した制動能力を確保した。

また、モータ1台に2つの三相巻線を持つ二重三相モータ、及び2台の制御盤による並列駆動システムを採用した。

### (2) 安全装置

高速化に伴うかごの運動エネルギーの飛躍的増大に対し、万が一のロープ切れの際にも安全にかごを制動停止させる非常止め装置や、昇降路最下部でかごを受け止める緩衝器を新規に開発した。

かご速度を機械的に監視する調速機は、超高速・高揚程に対応するため新機構を開発し、高負担荷重に耐え、安定した速度検出が行えるようにした。

### (3) 乗り心地(快適性)

高速走行に伴って増大するレールからの加振力や風加振力に対して、良好な乗り心地を実現するために、超高速走行に対応した新しい制振装置を開発した。

かご内騒音を低減させるため、走行時のかご周りの気流の整流を図ることによって、かご周りで発生する風音そのものを低減させる流線型整風カバーと、かご室内への風音の伝播(でんぱ)を抑える高遮音かご室構造を開発した。

さらに、高度差に伴う気圧差によって生じる耳閉感を緩和する気圧制御装置を開発した。

### (4) 超高揚程対応

長周期地震動、強風等によるビルの長周期振動に起因するロープ類の揺れ対策として、昇降路に配置したセンサによる直接的なロープ揺れ検出装置を用いて、ロープ類の昇降路機器への引っ掛けなどの発生防止を図る管制運転システムを開発した。

また、かごへ電力と制御信号を伝送する制御ケーブルは、材質改善によって軽量化と動作特性の安定化を実現した。

さらに、1台あたりの輸送人員数を倍増させたダブルデッキエレベーターに適した群管理を適用することで輸送効率を向上させた。

このような様々な技術の中で、本稿では、駆動制御システムについて述べる。

## 2. 巻上機

### 2.1 構造

今回、エレベーターの走行速度は1,000m/minを超え、かつ昇降行程も500m以上を想定したエレベーターシステムに対応できる超高速エレベーター用巻上機を開発した(図1)。

想定しているエレベーターシステムの仕様から巻上機は、軸荷重が1,000kNを超える対応可能な設計としており、かつエレベーターの速度が1,000m/minを超えた領域での適用を考えていることから、次の対応を行った。

- ・重荷重、高速回転に対応可能な大型軸受の採用
- ・安定かつ大きな制動力の発生が可能な油圧開放式のクランプ式ディスクブレーキの採用
- ・大出力を得られる二重三相モータの採用

### 2.2 ブレーキ

通常、エレベーターを高速走行している状況から緊急停止させた場合、制動時に発生する摩擦熱によってブレーキディスク及びブレーキパッドの温度は急激に上昇する。近年建築が盛んな超高層ビルでは、エレベーターの昇降行程が長くなることから主ロープやその他ケーブル類の質量が大きくなり、かごやおもりの質量も大きいことから、シス

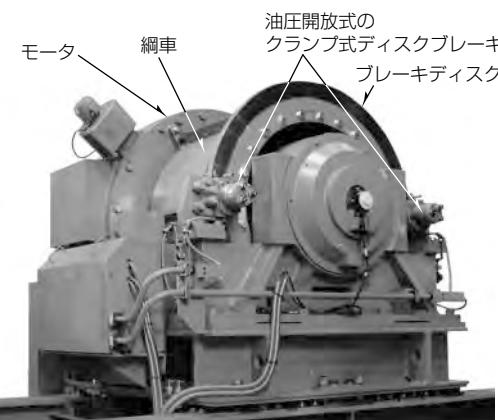


図1. 巻上機の外観

テム全体の慣性モーメントは膨大なものとなる。また、ビルの超高層化に伴うエレベーターの超高速化によって巻上機制動時の回転速度も上がり、緊急停止時のブレーキディスクの温度は更に上昇し、ブレーキの制動能力へも影響を与える可能性がある。今回、想定されるエレベーターシステム相当の慣性量を大容量負荷試験装置で模擬し、緊急停止時のブレーキディスク及びブレーキパッドの温度上昇と制動能力の相関を検討、検証した。その結果からブレーキディスクの温度上昇を抑えるブレーキディスクの形状を設計し、安定した制動能力を得られることを実機試験で確認した。

### 2.3 二重三相モータ

超高速エレベーターに適した二重三相モータを実現するために、設計に当たっては次の条件に配慮した。

#### (1) 単純三相モータと同等のサイズであること

二重三相のためにサイズアップすると、機械室レイアウトが悪化するためである。

#### (2) 制御性が良いこと

特殊な制御を必要とすると、試験設備の新設によるコストアップ、現地での運転方法の制約増加が懸念されるためである。

代表的な二重三相方式の構造を図2に示す。

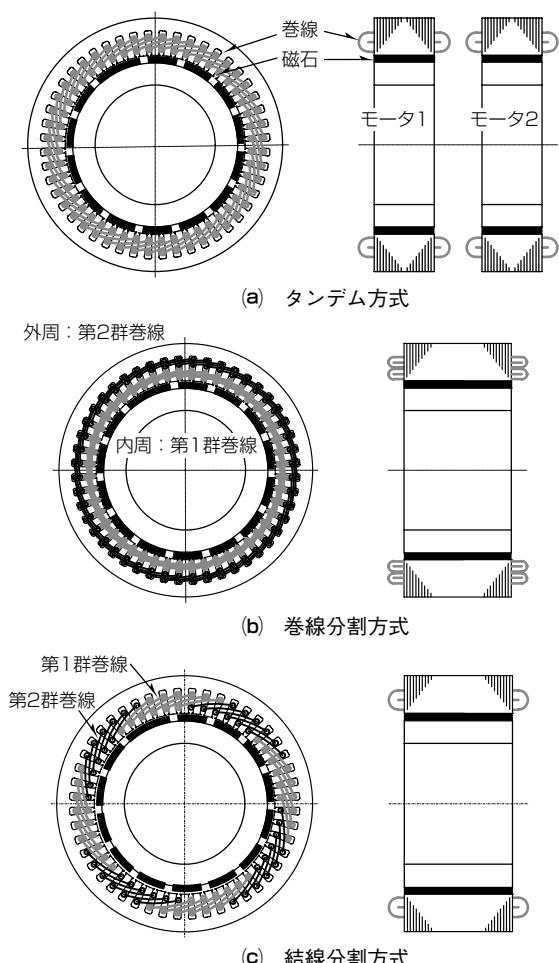


図2. 代表的な二重三相方式の構造

タンデム方式は同軸にモータを直列接続する方式である。モジュール化可能なため、設計省力化、量産時の生産性向上等の利点があるが、大幅な質量及びサイズの増加となるため、今回の条件では不適である。

巻線分割方式は単純三相とほぼ同サイズとなり、片群のみで単純三相として制御可能である。しかし一方、巻線数は単純三相の2倍でコスト増加となり、2群運転時には群間の相互干渉によって制御性が悪化する問題がある。

結線分割方式は結線のみで二重三相を実現するため、単純三相との違いが少なく製造が容易で、コスト増加が最も少ない。さらに、結線方法を工夫すれば、第1群と第2群の群間での電流アンバランスによる振動を抑えることができる。

したがって、最も利点の多い結線分割方式を適用することにした。

結線分割方式の中でも扱いやすさを考慮し、両群の電気角位相をそろえるようにした。その結果、両群の誘起電圧が同じ波形となり、同じ電流に制御すれば単純三相モータと同じ特性が得られる。副次的な効果として、両群の各相を並列接続すれば完全な単純三相モータとして使用することもできる。

このモータは、大電流のため内部結線は多くの並列回路で構成している。したがって、結線の分け方に自由度がある。そこで制御性と群間の電流アンバランスによる振動を考慮して結線分割方法を検討した。

群間の相互インダクタンス、つまり相互干渉が最も小さくなるのは、各群を半円ずつに分ける場合である。しかしこの場合は群間の電流アンバランスによる振動が発生しやすい。そのため、群間の電流アンバランスがあってもそれによる振動が抑えられ、しかも群間相互インダクタンスが小さく制御性の良い適切な結線分割方法を選定した。

この二重三相モータの結線分割方法を図3に示す。同群の巻線を円周上に分散配置することによって、振動の発生を防いでいる。図ではU相の第1群(U1)、第2群(U2)とも円周方向等ピッチに各4個の巻線を配置している。

誘起電圧の実測波形を図4に示す。先に述べたとおり第1群(U1, V1, W1)と第2群(U2, V2, W2)には同じ波

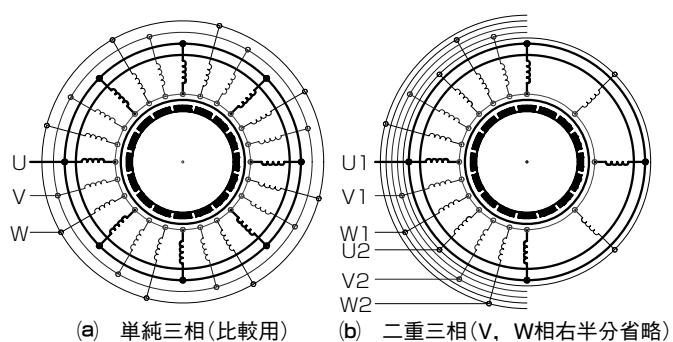


図3. 今回開発した二重三相モータの結線分割方法

形が得られている。また、表面磁石型のPMモータとして巻線設計を工夫することで、ひずみのない波形となっている。このことから脈動のない滑らかなトルクを出力できることが分かる。

### 3. 並列駆動制御盤

#### 3.1 全体構成

超高速エレベーターの駆動制御システム構成を図5に示す。独立したコンバータ・インバータを持つ駆動制御装置を2台用いる並列駆動制御方式を採用し、二重三相モータを駆動する。

駆動制御装置を内蔵した並列駆動制御盤の外観を図6に示す。

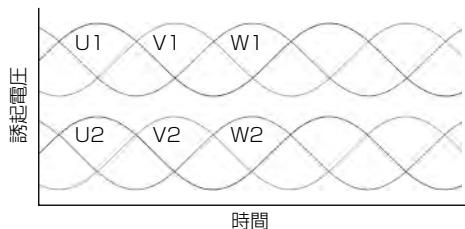


図4. 誘起電圧の実測波形

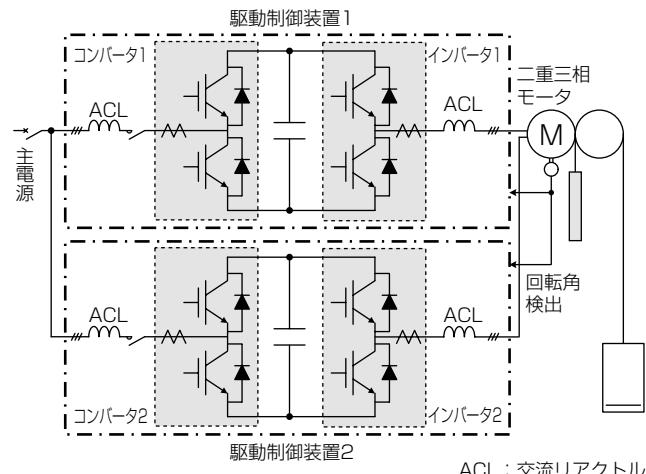


図5. 超高速エレベーターの駆動制御システム構成



図6. 並列駆動制御盤の外観

駆動制御盤を組み合わせる構成によって、次に示すメリットを持たせながら、大出力化を実現した。

- ・機械室内レイアウト設計の自由度向上
- ・製作作業性や、輸送・搬入、据付作業性の向上
- ・主要機器を量産機種と共通化し、部品入手性の安定性向上

電力変換装置には、定格電流600AのIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュールを6個並列接続して使用した。この駆動制御装置単体で、定格速度540m/min、積載量4,000kgのエレベーターを動かす能力を持っている。

#### 3.2 制御系の構成

超高速エレベーターの駆動制御系の構成を図7に示す。

規範モデル型<sup>(2)</sup>の2自由度制御で速度制御を行い、算出されたトルク指令値をトルク分配器によって各電流制御器に分配し、独立に電流制御を行うことで、モータ速度とトルクを高精度に制御し、快適な乗り心地を実現した。

超高速エレベーターでは、昇降行程の高揚程化によるロープ質量の増加や、かご質量の増加等によって、システム全体の慣性モーメント(システムイナーシャ)が大きくなる。その結果、かごの微小動作の制御にも従来より大きなトルクが必要になり、微速運転(例: 乗客乗降時のかご床レベルずれを補正する再床合わせ運転)時に、巻上機がかご振動を励起する現象が懸念される。そこで、巻上機速度制御系の詳細解析に基づき、巻上機振動の振幅を低減しながら位相遅れを小さく保つ最適化を行い、さらに、条件に応じて特性を可変にする制御系を構成することで、大慣性システムを安定かつ高精度に制御する方式を開発した。

また、速度規範演算や速度制御ゲイン演算等の速度制御性能の向上に重要な役割を果たす、システムイナーシャの学習機能も充実させた。システムイナーシャ学習機能は据付調整時に学習運転を行うことで、エレベーター仕様ごとのシステムイナーシャを同定する機能である。今回、現地での据付調整時間を短縮可能、かつ同定精度を向上させたシステムイナーシャ高速学習機能を開発した。システムイナーシャ学習時の学習推移の結果を図8に示す。エレベーターを特殊走行パターンで運転することによって、数十秒間でシステムイナーシャ学習値を真値の±5%以下に学習できるアルゴリズムを構築し、乗り心地の向上を実現した。

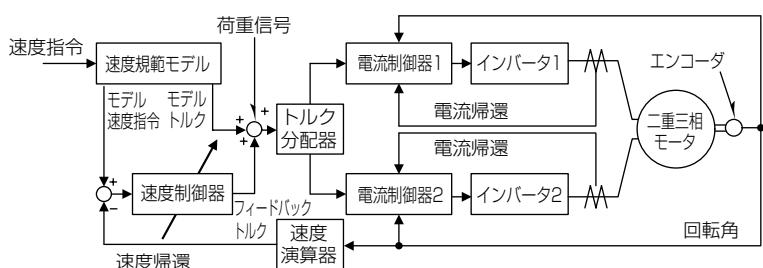


図7. 超高速エレベーターの駆動制御系の構成

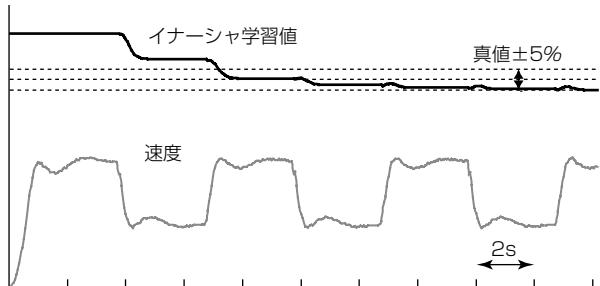


図8. システムイナ-シャの学習波形

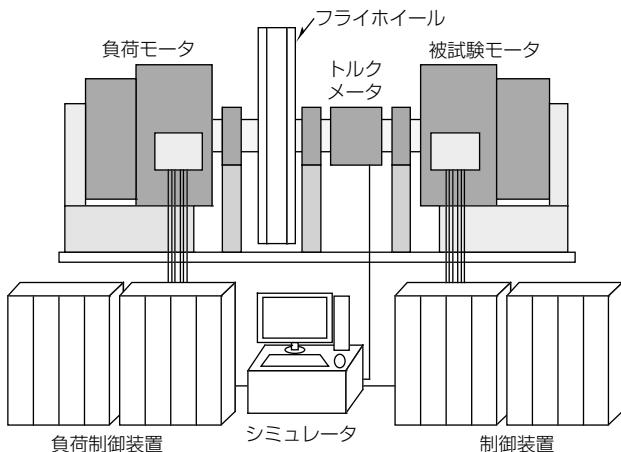


図9. 地上負荷試験装置の構成

そのほかに、二重三相モータの群間巻線の相互干渉を無視できるほど小さく設計したこと、電流制御器の制御性能を従来の三相モータと同等にすることができた。

コンバータ制御は、各駆動制御装置の直流母線電圧を一定値に制御し、かつ電源電圧の位相を検出して入力電流の力率を力行運転時には1にすることで電源電流を必要最小限に抑え、回生運転時には-1に制御することで回生電力を有効活用し、省エネルギーを実現した。

#### 4. 評価試験結果

##### 4.1 試験環境

超高速エレベーターの駆動制御装置を評価する試験サイトと評価内容について述べる。

評価試験は、当社の高さ173mのエレベーター試験塔SOLAÉと、図9に示す地上負荷試験装置で行った。エレベーター試験塔SOLAÉでは実際にかごを走行させて、駆動・制御性や乗り心地の評価を行った。一方、地上負荷試験装置では、実負荷試験やモータのトルクリップルの評価を行った。

地上負荷試験装置のシステム構成は、昇降行程500m超のエレベーター慣性を模擬したフライホイールを介して被試験モータと負荷モータを直結しており、その間にはトルクメータを挿入している。各モータには実際のエレベーターに使われる並列駆動制御装置を接続し、被試験モータに

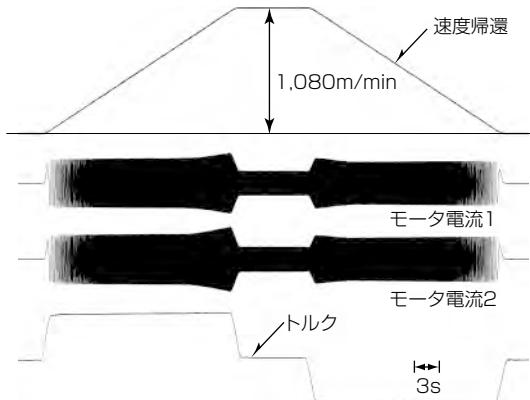


図10. 走行波形(最高速度1,080m/min)

は、制御盤からエレベーターの速度指令に応じた電圧・電流を供給する。一方、負荷モータは、かご内乗客に応じた負荷トルクを発生させるように制御する。このような構成によって、実際のビルのエレベーター仕様(昇降行程、かご質量等)に応じた条件での試験を可能にした。

今回は、想定される超高速エレベーター仕様を模擬し、各種試験を実施した。

##### 4.2 走行試験

地上負荷試験装置によって、並列駆動制御装置を用いたシステムでエレベーター速度1,080m/minで走行させた際の走行波形を図10に示す。トルク波形に脈動がなく、各モータ電流も指令通り制御されており、良好な走行性能を確認した。

##### 4.3 ブレーキ制動試験

大慣性モーメントかつ、超高速回転時におけるブレーキ制動能力を確認するため、地上負荷試験装置で、エレベーター速度1,080m/minからのブレーキ制動能力試験を実施した。その結果、エレベーター緊急停止時でも安定かつ良好なブレーキ制動能力が得られることを確認した。

#### 5. むすび

超高速エレベーターの駆動制御システム技術について述べた。今後も、安全でかつ優れた乗り心地を可能にするために、当社のこれまでの高速エレベーター開発によって得られた技術の蓄積と、世界最高速エレベーター開発で培った技術を活用して、高層化の進むビル需要に対応する高速エレベーターの実現に貢献していく所存である。

#### 参考文献

- (1) 加藤 覚, ほか:世界最高速エレベーター, 三菱電機技報, 75, No.12, 791~795 (2001)
- (2) 小山正人:サーボモータの適応制御, 計測と制御, 32, No.12, 1010~1013 (1993)

# 超高速エレベーターの安全装置

井村光芳\* 釘谷琢夫\*\*  
新川岳史\* 小林 孝\*\*\*  
白石直浩\*

*Safety Device for Super High-speed Elevators*

Mitsuyoshi Imura, Takeshi Niikawa, Naohiro Shiraishi, Takuo Kugiyama, Takashi Kobayashi

## 要 旨

近年、建築技術の進歩とともに従来の高さを上回る500mを超える超高層ビルが計画されるようになり、その移動手段であるエレベーターで輸送能力向上のニーズが高まっている。輸送能力を向上させるには、1つはエレベーターの速度を上げる、もう1つはエレベーターの積載量を増やすという2つの方法がある。

三菱電機は、速度、積載量とも最大クラスの仕様で、超高层ビルにおける輸送能力向上のニーズに応える世界最高速<sup>(注1)</sup>1,080m/minエレベーター(上昇方向1,080m/min、下降方向600m/min)及びダブルデッキとしては世界最高速かつ世界最長昇降行程<sup>(注2)</sup>となるエレベーターの開発を行った。

本稿では超高速エレベーター用の安全装置である非常止

(注1) 2011年9月1日現在、当社調べ

(注2) 2011年9月1日現在、当社調べ

め装置、油入緩衝器及び調速機の開発と、その設計及び評価技術について述べる。

### (1) 非常止め装置

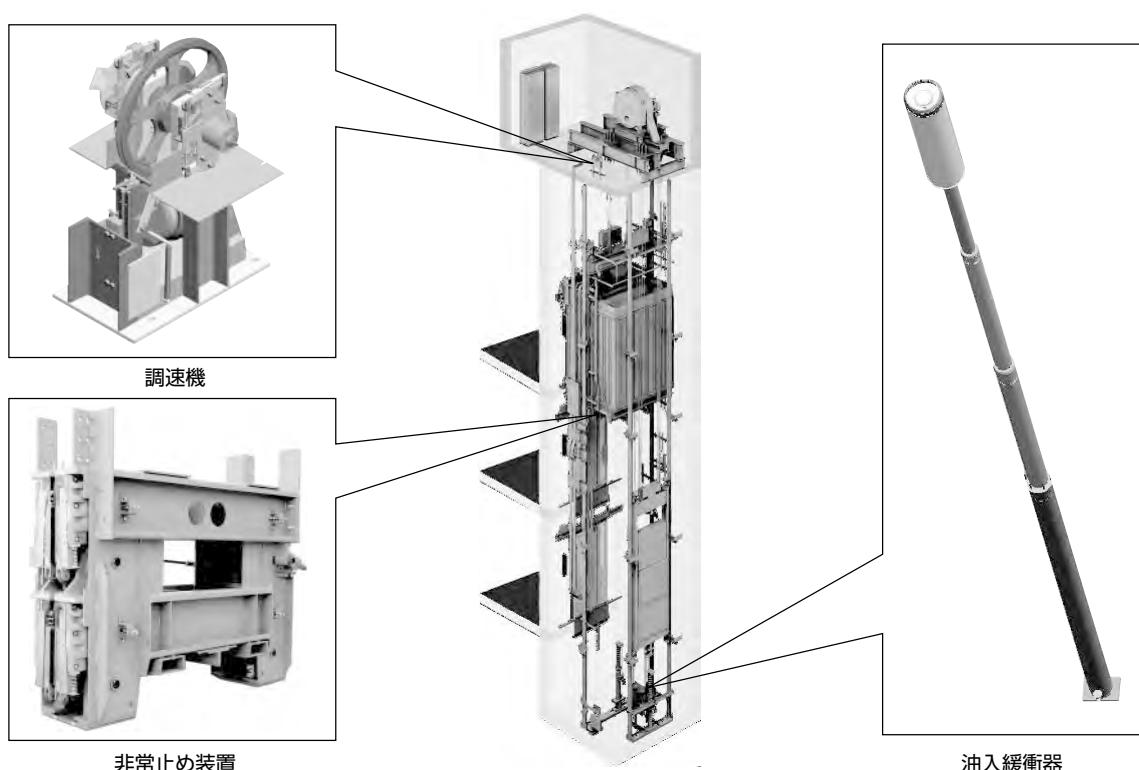
高摩擦・低摩耗特性を持ち、かつ耐熱衝撃性に優れる制動片の開発を行うとともに、非常止め装置を上下2段に配置するデュプレックス形構造とし小型化を図った。

### (2) 油入緩衝器

従来の単段式で構成した場合、緩衝器全高は約20mに達するため、プランジャを3段化することによって、約25%の小型化を達成した。

### (3) 調速機

かごの上昇速度(1,080m/min)と下降速度(600m/min)が異なるため、かごの走行方向に応じて異常検出速度を機械的に切り換えられる新構造を採用した。



## 超高速エレベーターの安全装置

超高速エレベーターの安全装置として、非常止め装置、油入緩衝器及び調速機を新規に開発した。

非常止め装置：ブレーキシュー(制動片)に耐摩耗性や耐熱衝撃性に優れるファインセラミックを採用し安定した制動性能を実現。

油入緩衝器：昇降路最下部でかごを受け止める緩衝器はプランジャを3段で構成し全高の短縮化を実現。

調速機：かご速度を機械的に監視する調速機に新機構を採用し昇降異速度に対応。

## 1. まえがき

エレベーターでは、ロープの破断などによってかごが自由落下したときや異常増速したときに、かごを安全に減速停止させるための安全装置として非常止め装置、緩衝器及び調速機の設置が各国法規・規格に規定されている。

超高速エレベーター用の安全装置で、実機相当の試験を実施するにはその規模が大きく評価に時間を要するため、その開発には基礎試験とシミュレーション技術の確立が不可欠となる。

本稿では非常止め装置、油入緩衝器及び調速機の開発の概要と、その設計及び評価技術について述べる。

## 2. 安全装置の構成

超高速大容量エレベーターの安全装置の構成を図1に示す。

かごの異常増速を検出し、かごを停止させる装置が調速機と巻上機のブレーキである。また、万が一かごを吊(つ)る巻上ロープが切断した場合でも、かごを落下させず、停止させる装置が調速機と非常止め装置である。一般に調速機は機械室に設置される。

調速機の綱車に調速機ロープが掛けられており、昇降路下方に設置されている張り車によって張力が与えられている。調速機ロープは、かご下部に設置されている非常止め装置のレバーに固定されており、かごが昇降すると調速機ロープもかごと同じ速度で昇降し、調速機の綱車を回転させ、かごの速度を機械的に監視している。

非常止め装置は、エレベーターのかごの下部に設置されている。エレベーターのかごの速度が定格速度の1.2~1.4倍になると調速機が動作して、非常止め制動片が持ち上げられレールを挟み込む。この制動片とレールの間の摩擦力

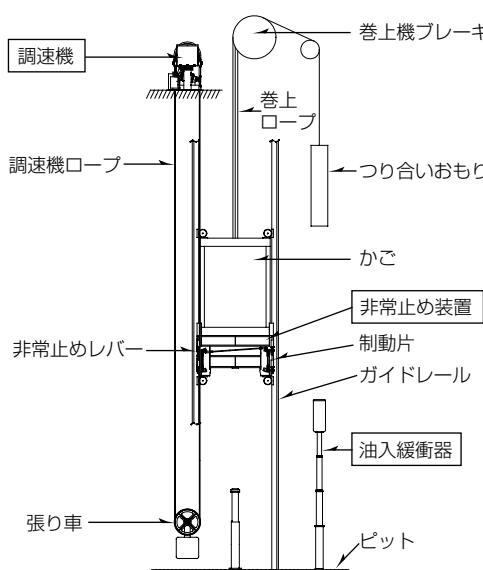


図1. 安全装置の構成

によってかごを減速停止させる。

油入緩衝器は、昇降路のピットのかご及びつり合いおもりの下方に設置されている。エレベーターのかごが非常止め装置の作動速度に達しない状態で最下階を行き過ぎた場合及びかごが最上階を行き過ぎた場合に、かご又はつり合いおもりを受け止めて緩衝停止させる。

今回のように上下方向の定格速度が異なるエレベーターシステム(上昇方向1,080m/min, 下降方向600m/min)に対応させる安全装置としては、上昇方向すなわち最大かご速度に応じて安全装置を構成させることもできるが、非常止めの負担エネルギーを下げ、かご側緩衝器の長さを短縮するために、非常止め装置は下降方向速度、緩衝器は上昇方向速度、調速機はかごの走行方向に応じて動作速度を切り換える可能な仕様で新規開発を行った。

## 3. 非常止め装置

### 3.1 非常止め装置の仕様と技術課題

今回開発した非常止め装置の仕様を表1に示す。表には横浜ランドマークタワー向けの非常止め装置の仕様を併記した。横浜ランドマークタワー向けに比べて、停止エネルギーは約1.5倍となる。図2に非常止め装置の外観を示す。

横浜ランドマークタワー向けでは、非常止め装置の制動片にセラミックを適用した<sup>(1)</sup>。制動時に発生する熱は制動エネルギーに比例し大きくなるため、この高温条件下でも安定した高摩擦・高耐摩耗性が確保できるようにするためである。今回の非常止め装置では、更に安定した高摩擦・高耐摩耗性を持ち、かつ耐熱衝撃性に優れた制動片の材料選定が重要となる。また、非常止め装置の構造では、適用質量の増大に対して制動片の押付力を増加させると非常止

表1. 非常止め装置の仕様

項目	横浜ランドマークタワー	今回開発品
最大動作速度	937 m/min	750 m/min
最大適用質量	13,000kg	30,000kg
負担エネルギー	1.59 MJ	2.34 MJ
減速特性	平均減速度0.2~1.0G (制動距離12.4~62.2m)	平均減速度0.2~1.0G (制動距離7.9~39.9m)

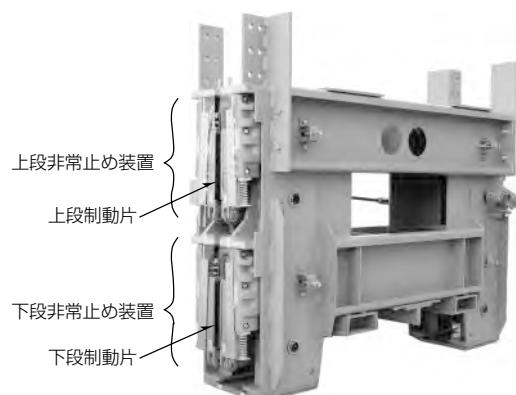


図2. デュプレックス形非常止め装置の外観

め装置が大型化するため、図2のような非常止め装置を上下2段に配置するデュプレックス形非常止め構造を採用した。

### 3.2 制動片の選定試験

制動片の材料選定試験を行う場合、実機相当の試験装置では規模が大きく、試験効率が悪く試験時間と費用を要する。したがって、非常止め装置の動作を模擬した円盤試験装置を用い、制動片の摺動(しゅうどう)特性について評価した。円盤試験装置の外観を図3に示し、その結果を図4に示す。

従来の制動片に比べ、新規開発したファインセラミック製制動片は、①摩擦係数が約25%高く、制動片の摩耗量は約1/10であった。②耐熱衝撃性に優れ、制動後も制動片に

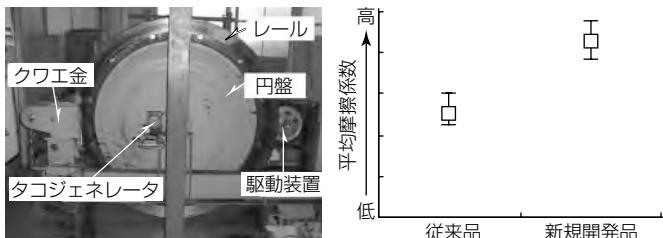


図3. 円盤試験装置の外観

図4. 円盤試験結果

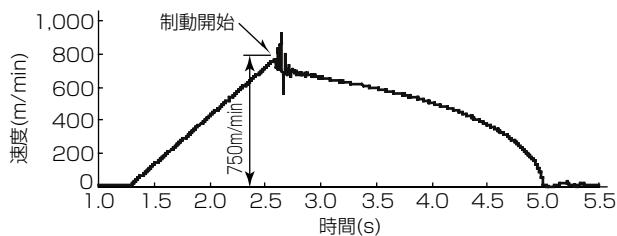
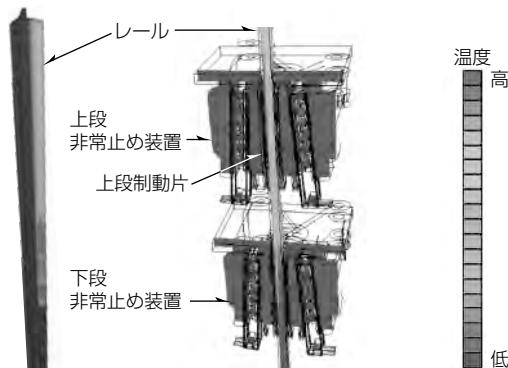
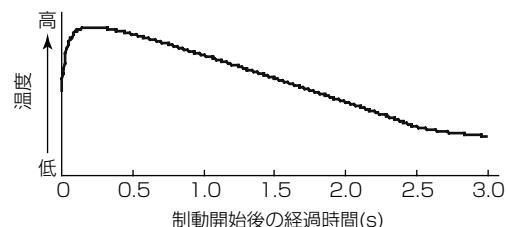


図5. 非常止め装置の制動試験結果



(a) レールと非常止め装置の温度解析結果



(b) 上段制動片の摩擦部表面近傍の温度推移

図6. 非常止め装置の制動時の温度解析結果

欠けや割れが生じないことが確認できた。その結果、今回新規開発した制動片が高摩擦・高耐摩耗性を持ち、かつ耐熱衝撃性に優れていることが明らかになった<sup>(2)</sup>。

### 3.3 非常止め装置の実機試験と温度シミュレーション

非常止め装置の実機試験は、おもりを積載して最大適用質量相当にした落下体の下部に非常止め装置を設置し実施した。試験方法は各国法規・規格に準拠し制動時の速度及び減速度を測定した。さらに、制動片の摩擦熱による温度変化も同時に測定した。

図5は新規制動片を用いた非常止め装置の制動試験結果の一例を示す。速度約750m/minで制動を開始し平均減速度約0.7Gで減速・停止し、法規・規格の仕様を満足した。また、制動片の摩耗はほとんどなく、摺動後も複数回再試験を実施して、同様の制動特性が得られることを確認した。

なお、実験で計測しきれない熱挙動の詳細把握には非定常三次元熱解析を適用した(図6)。熱解析では固定されたレール部と移動する制動片を移動境界問題として連成し、減速・停止に伴って時間変化する摺動面摩擦による摩擦面発生熱密度 $q(t)$  [W/m<sup>2</sup>]は式(1)から時間過渡関数として摩擦面に与えた。

$$q(t) = P\mu V \quad \dots \dots \dots (1)$$

P: 制動面圧 [N/m<sup>2</sup>]

$\mu$ : 摩擦係数

V: 瞬時移動速度 [m/s]

制動試験時の温度測定結果とシミュレーションを活用した総合分析・検証から、新規制動片の摺動面最高温度は十分な裕度を持つことを確認した。

これまで述べたように、非常止め装置の評価を実施し、超高速エレベーターに対して安定した制動特性を持つ非常止め装置の技術を確立した。

## 4. 油入緩衝器

### 4.1 油入緩衝器の仕様と技術課題

今回開発した油入緩衝器の仕様を表2に示す。表には横浜ランドマークタワー向けの油入緩衝器の仕様を併記した。横浜ランドマークタワー向けに比べ、ストロークは約1.8倍、油入緩衝器の吸収エネルギーは約1.5倍であり、これまでの最大のものとなる。図7に油入緩衝器の外観を示す。

ストロークが7,300mmともなると、従来の単段式で構成した場合、緩衝器全高は約20mに達する。このような長尺

表2. 油入緩衝器の仕様

項目	横浜ランドマークタワー	今回開発品
ストローク	4,000mm	7,300mm
最大衝突速度	530m/min	717m/min
最大適用質量	10,000kg	8,000kg
減速特性	平均減速度1.0g以下 2.5Gを超える時間が0.04s以下	
プランジャ復帰時間		90s以内

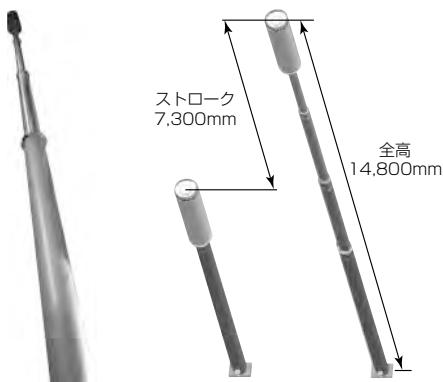


図7. 油入緩衝器の外観

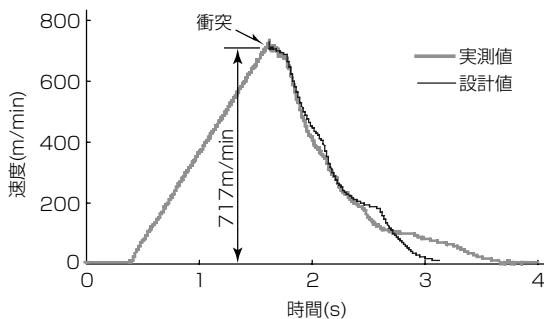


図8. 油入緩衝器の減速試験結果と設計値

の緩衝器の製造、運搬及び設置するピットを掘削するコストを考えると、複数段化によって緩衝器全高を短縮することは大きなメリットとなる。今回、プランジャを三段化することによって、約25%の小型化を達成した。

#### 4.2 減速特性のシミュレーション

油入緩衝器にかごが衝突したときに、法規・規格で定められた減速特性でかごを緩衝するためには、油入緩衝器のオリフィスの設計が重要である。このため、油入緩衝器の構造と作動油の動特性のシミュレーションモデルを構築し、最適な減速度を得るためのオリフィス設計を実施した。

#### 4.3 油入緩衝器の実機試験

油入緩衝器の試験方法は欧州EN(European Norm)規格及び中国GB(Guo jia Biao zhun)規格に準拠し、最大衝突速度になる自由落下高さからおもり枠を落下させ、油入緩衝器に衝突させたときの減速度を測定した。図8は減速試験結果とシミュレーションによる設計値との比較を示す。速度717m/minで衝突後、平均減速度0.62Gで減速停止し、法規・規格に準拠した減速特性の仕様を満足した。

また、ほぼ設計通りの結果が得られ、複数段のプランジャを持つ緩衝器の設計手法を確立するとともに、十分な安全性を持つ油入緩衝器を実現できた。

### 5. 調速機

#### 5.1 調速機の仕様

今回開発した調速機の仕様を表3に示す。表には横浜ランドマークタワー向けの調速機の仕様を併記した。また、図9に調速機の外観を示す。

表3. 調速機の仕様

項目	横浜ランドマークタワー	今回開発品
定格速度	750m/min	かご上昇側: 1,080m/min かご下降側: 600m/min
昇降路全高	400m以下	
形式	フライボール形	フライウェイト形
綱車直径	500mm	
ロープ直径	12mm	

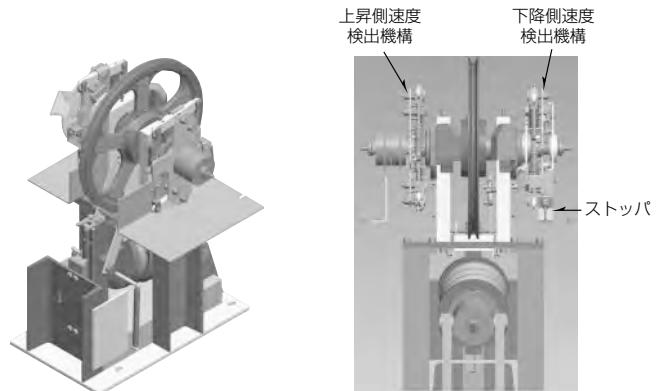


図9. 調速機の外観

図10. 速度検出機構

#### 5.2 技術課題と解決策

一般的に調速機は遠心力をを利用して過速検出動作を実施するが、遠心力には回転方向依存性がないため、従来構造のままかごの走行方向に応じて動作速度を切り換えることは難しい。そこで、上昇側と下降側それぞれの定格速度に合わせて設計した速度検出機構を綱車の両側面に配置した。また、かご上昇時に下降側速度検出機構が動作しないよう、かごの走行方向に応じて下降側速度検出機構の動作を制限するストッパーを設けた。図10に速度検出機構を示す。

### 6. むすび

超高速エレベーター用安全装置の開発と評価方法、結果について述べた。開発した安全装置は種々のシミュレーション及び試験によって確認し、十分な安全性能を持つものである。この開発によって、昇降機の歴史に残る世界最高速度、最大適用質量の乗用エレベーターを実現するとともに、超高速エレベーターの安全装置の技術を確立した。今後も、市場のニーズにこたえるエレベーターの実現に貢献していく所存である。

### 参考文献

- 1) 山崎真治, ほか: 横浜ランドマークタワー向け速度750m/minエレベーターの安全装置, 三菱電機技報, 67, No.10, 944~948 (1993)
- 2) 加藤 覚, ほか: 世界最高速エレベーター, 三菱電機技報, 75, No.12, 791~795 (2001)

# 超高速エレベーターの快適性

飯田真司\*  
佐久間洋一\*

Passengers' Comfort in Super High-speed Elevators

Masaji Iida, Yoichi Sakuma

## 要 旨

近年、海外における建築物の高層化は著しく、その高さが800mを超える例もあり、また、1kmを超える建築物も計画されている。この建物の高層化に併せてエレベーター運行速度の高速化への需要が高まり、それに応えるために、三菱電機では過去に手がけた速度750m/minを大幅に上回る速度1,080m/minの超高速エレベーターを開発した。

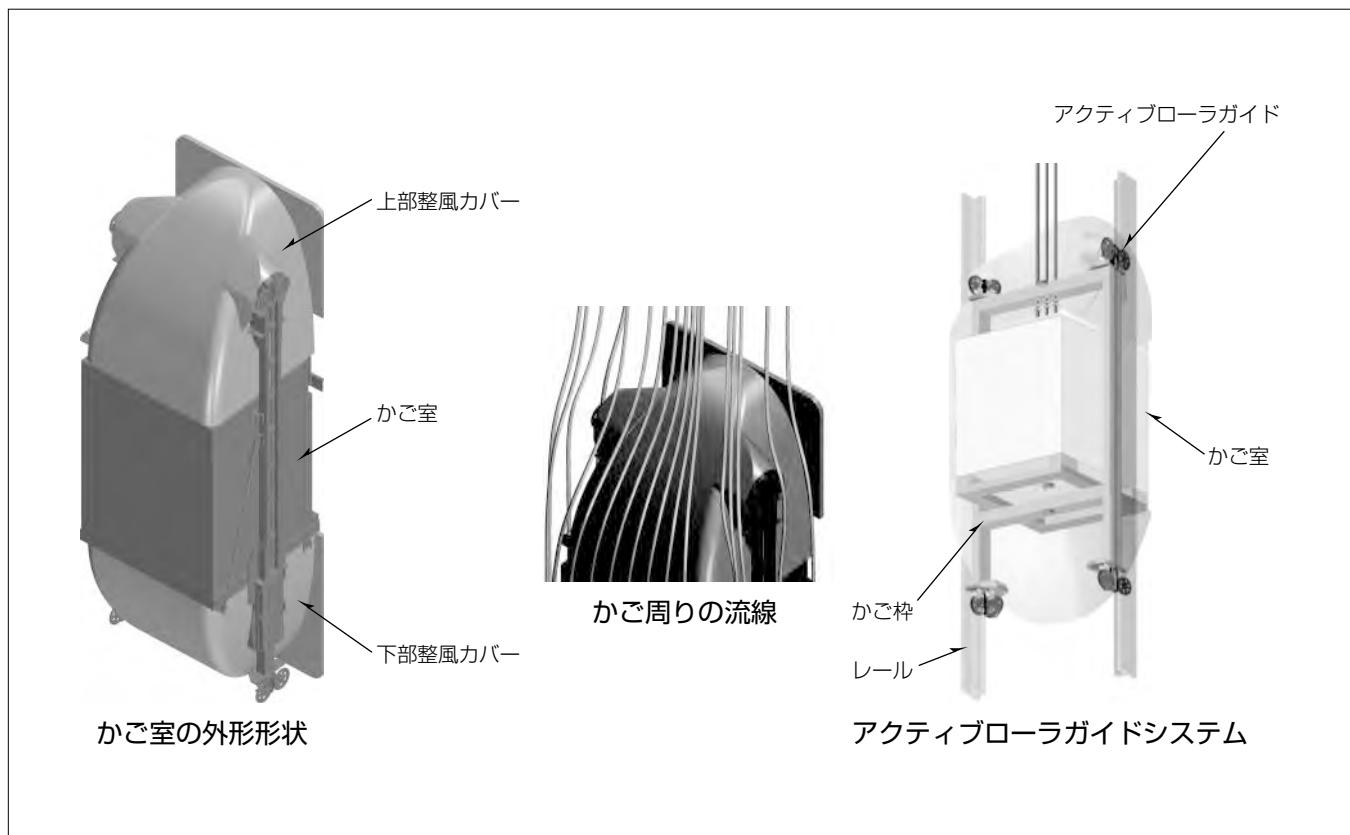
エレベーターを高速化する過程で、従来の速度領域では発生しなかった課題や、超高揚程となることによる課題に多く直面した。それらの課題はエレベーターの機器やシステムのみならず、かご室内の乗客の快適性についても同様に存在した。なお、かご室内の快適性に影響を与える因子

としては次の3つが該当する。

- (1) 高速走行中に発生するかごの振動モードに起因したかご室内振動
- (2) 高速走行中に発生するかご室内騒音
- (3) 高揚程エレベーター乗車時に発生する乗客の耳閉感

この開発では、最適化設計、数値解析や実機評価を実施することで、どちらの因子に対しても、従来の当社高速エレベーターと同等、又はそれ以上の快適性を提供可能とする製品開発を実施した。

本稿では、上記因子に関する技術課題と、それらを克服するための要素技術開発について述べる。



## 超高速エレベーターの快適性

超高速エレベーターかご室内の快適性に焦点を当て、かご室内振動の抑制、かご室内騒音低減対策について開発した。かご室内振動の抑制技術として、かご室とかご枠の両方に加速度センサを設け、かご室を可観測の状態で制振可能とすることによって、従来構造と同等の乗り心地を提供することが可能となった。また、かご室内騒音低減対策として、整風カバーの形状最適化、かご周りの騒音低減策、遮音かご室の開発を実施し、速度1,080m/minで目標としていたかご室内騒音値を満足するかご室を開発した。

## 1. まえがき

近年、海外における建築物の高層化は著しく、その高さが800mを超える例もあり、また、1kmを超える建築物も計画されている。この建物の高層化に併せてエレベーター運行速度の高速化への需要が高まり、それに応えるために、当社では過去に手がけた速度750m/minを大幅に上回る速度1,080m/minの超高速エレベーターを開発した。エレベーターを高速化する過程で、従来の速度領域では発生しなかった課題や、超高揚程となることによる課題に多く直面した。

本稿では、超高速エレベーターの快適性に焦点を当て、かご室内振動の抑制、かご室内騒音低減対策、エレベーター乗車時の乗客の耳閉感緩和策について述べる。また、それらの技術に関する超高速エレベーター特有の技術課題と、それらを克服するための要素技術開発について述べる。

## 2. かご室内振動の抑制技術

### 2.1 高速エレベーターの制振技術

エレベーターは昇降路に設けられたレールにガイド装置が追従しながら走行するため、レール単体の微小曲がりや、レール継ぎ目の微小な“くの字”曲がりが、かごに対する加振力として作用する。過去の高速エレベーターでは、レール単体の加工精度向上、据付け精度の管理、パッシブダンパ等を併用することで、良好な乗り心地を達成していた。また、2003年にアクティブローラガイドが登場すると、レールの加振力をアクチュエータで相殺することで、従来の高速エレベーターを上回る乗り心地を提供可能となった。

今回開発した超高速エレベーターにもアクティブローラガイドを採用するが、更なる高速化に伴いかごの振動モードが課題となった。従来のアクティブ制御は、かご枠とかご室が同位相で動く速度領域の制御であり、かご枠に設けた加速度センサで振動を検知し、かご枠に設けたアクティブローラガイドで制振制御を行うシステムであった。しかし、超高速のアクティブ制御は、かご枠とかご室が逆位相で動く速度領域に達するため、従来の手法の延長では対応できず、新たな制御システムの構築に至った。次に、個々の課題と対応について述べる。

### 2.2 超高速化による課題(1)

エレベーターがレールから受ける加振周波数は、表1のとおり、速度とレール長さの相関( $V/L$ )で決定される。従来は2.5Hz程度の加振周波数を中心であったが、速度の増

加に比例して3.6Hz程度まで高周波側へ推移する。この値はレールが“S”のように反っている場合の加振周波数であり、“S”や“W”等複雑な形状に反っているレールを走行するケースでは、更に高周波側の加振が作用することを想定しなければならない。

エレベーターのかごの構成を見ると、レールに対してかご枠が防振支持されており、かご室は防振ゴムを介してかご枠に支持されているため、複雑な振動モードを持つことが知られている。図1に解析結果の一例を示すが、かご枠とかご室の関係は、低速領域では同位相、超高速では逆位相の振動モードとなる。従来の制振技術は、かご枠の振動を観測・制振することで、同位相に動作するかご室の振動を抑える手法である。よって、効果的に制振制御を行うためには、かご室の振動検知が必要である。

### 2.3 超高速化による課題(2)

エレベーターが高速で走行すると、3章に述べるとおり、かご室内騒音が増加するだけではなく、風圧による加振力が作用する。単独走行の条件では大きな影響はないが、隣接号機と高速で走行する場合は、千数百Nとなる風圧がかご室の側面に作用するため、単発横振動に対する配慮も必要である。

### 2.4 超高速用アクティブローラガイド

超高速エレベーター用のアクティブローラガイドは、かご室とかご枠の両方に加速度センサを設けており(図2)，かご室を可観測の状態で制振可能としている。よって、低

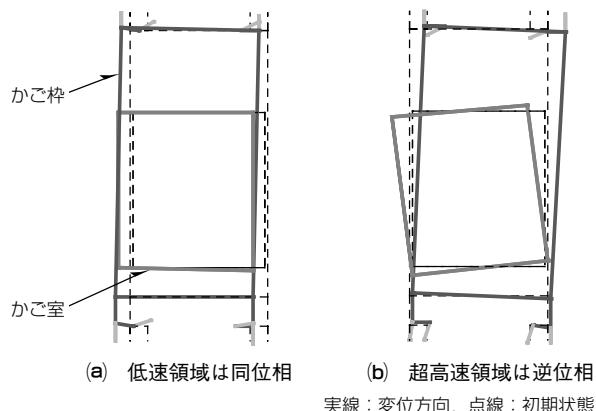


図1. 振動モード解析例

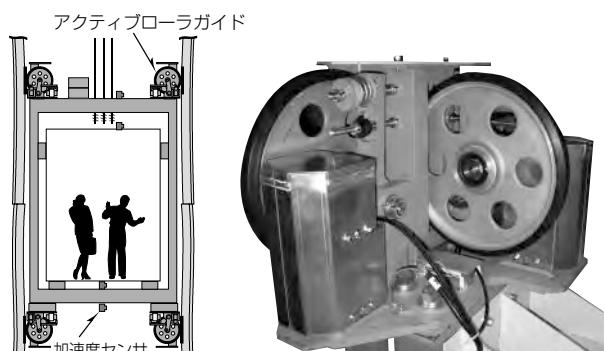


図2. 超高速アクティブローラガイド

表1. レールからの加振周波数

	速度V(m/s)	レール長L(m)	加振周波数(Hz)
超高速(従来)	12.5	5.0	2.5
超高速(開発品)	18.0	5.0	3.6

速から超高速にかけて変化するかご室の振動モードの影響や、かご室に直接作用する風加振力についても制振制御が可能となっている。また、ローラガイド本体やリニアモータ式アクチュエータも超高速化に併せて最適設計を行っている。

このシステムの導入によって、速度依存によって大幅に悪化する乗り心地を、加減速並びに最高速となる1,080m/minの走行時で、従来のアクティブ制振と同程度まで制振することが可能となった。

### 3. かご室内の騒音低減技術

走行中のエレベーターかご室内の騒音レベルは、速度増加に伴って増大する。かご室内騒音は、主にロープやレールからの加振による固体伝播(でんぱ)音と、かご室周りで発生する流体騒音(風切音)が空気を伝わる空間伝播(でんぱ)音に分類され、エレベーターの速度が超高速(速度750m/minを超える速度)の領域へ上がるにつれて、かご室内騒音は流体騒音が支配的となる傾向にある。また、この流体騒音は速度の5~6乗に比例すると言われており、当社の既設エレベーターの中で最高速度となる、速度750m/minで走行するエレベーターのかご室を、仮に、速度1,080m/minで走行させた場合に、かご室内騒音は約10dB(A)近くの増加と予測する。この約10dB(A)の騒音増加分をどのように低減させるかが、今回の超高速エレベーター開発の技術的課題であった。

この超高速エレベーターのかごの騒音低減技術としては次の2つがテーマとなる。

(1) かご周りの騒音源の低減策

(2) かご室構造の遮音性向上

次に、これらのテーマに関する技術課題とその解決に向けた開発内容について述べる。

#### 3.1 かご周りの騒音発生メカニズム

一般的に、騒音源となるのは圧力変動が大きいところである。そのため、かご周りの圧力変動をできるだけ小さくなるような外形容形状を検討することが、この開発の第1歩であった。具体的には、高速走行時に、かご室の上部にある整風カバーの先端部に当たる空気が、整風カバーやかご室表面からの流れの剥離を最小限に抑えながら、かご室の後方に流れていくような理想的な流線形状の検討である。従来の構造では、上部整風カバーの外形容形状は先端部を水平面とする曲面形状であり、さらに、かご枠の上梁(じょうりょう)部が突出していたために、かご室よりも上流部で流れが乱れやすい構造になっていた。そこで、この開発では、整風カバー先端部の流線形状を最適にすることと、かご周りの突起部分を最小限にすることに重点を置き、理想的な外形容形状を検討することにした。

#### 3.2 かご周りの音源探査

かご周りには大小含め、数多くの突起部分が存在する。エレベーター走行中に、かご周りを流れる空気流が突起部分で剥離して渦が発生すると、その場所で大きな圧力変動が発生して騒音源となる。そこで、大きな騒音源となる場所を特定して、あらかじめ対策を講じておく必要があった。かご周りの流れ場で圧力変動の大きな場所を、流体の数値シミュレーションによって見つけ出し、かご室の縮小模型を用いた風洞試験によって、その圧力変動が発生している場所近傍の騒音レベルを確認した。それらの結果から、かご室周囲で大きな音源となっている位置は、かご枠の上端に取り付けられたアクティブローラガイド近傍であることが特定された。

#### 3.3 かご周りの騒音低減策

先に述べたように、かご周りの騒音低減策としては流れを整流化させる流線形状の整風カバー取付けが主体となるため、その流線形状の最適化を実施した。また、超高速の領域で騒音源になると特定されたアクティブローラガイド近傍への対策も検討した。整風カバーの流線形状検討には流体の数値シミュレーションを使用し、整風カバーの長さや先端部の形状、曲面部の曲率半径等を変化させた数パターンのかご形状モデルで計算を行った(図3)。

その結果、突出していたかご枠の上梁部を始めとする、かご室上部にある機器を整風カバーで覆うことに最も整流効果があることが分かった。また、整風カバー先端部に作用する圧力を分散させるために、先端を尖(とが)った形状に変更した。そのため、整風カバーの長さは従来構造と比較して延長が必要となったが、理想的な流線形状を決定した。また、アクティブローラガイド近傍の対策としては、その機器を覆う小型のアクティブローラガイドカバーを新規開発した。上部整風カバーに付加する構造にすることで、走行中のアクティブローラガイド付近の流れを上手(うまく)後方に流し、騒音源をなくすことが可能となった。

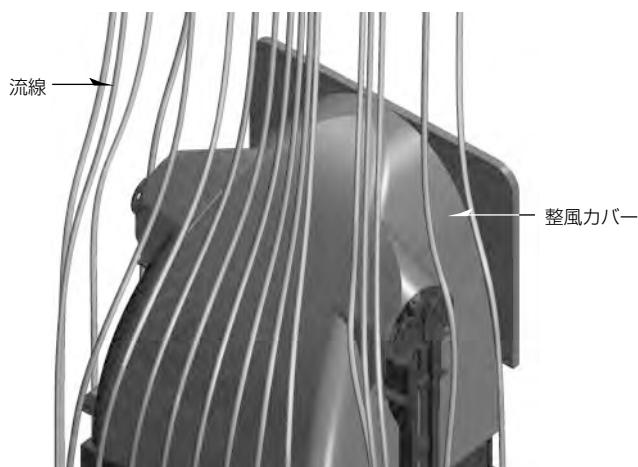


図3. かご周りの空気の流れ

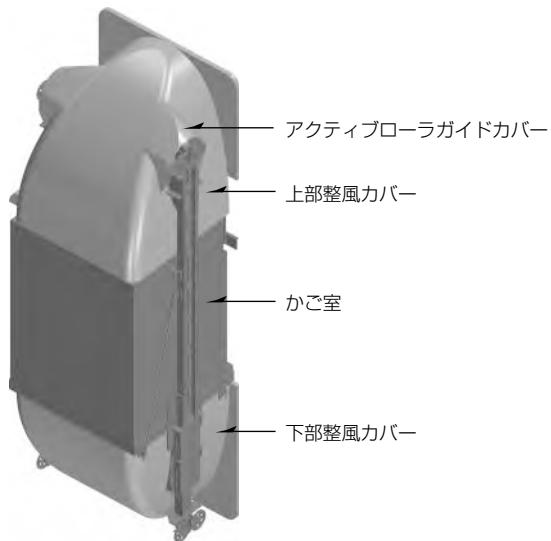


図4. かごの外形形状

このように、整風カバーの外形形状の最適化、及び、かご周囲の音源対策から、図4に示すような超流線形の形状が完成した。かご室上部の機器を整風カバーで覆うことで突起部分を最小限にする形状として、新規アクティブルーラガイドカバーを上部整風カバーと融合させる形状にすることで、かご周りを理想的な流線形状にしたことが最大の特徴である。最適化された整風カバーは、長さが従来構造の約1.4倍になるが、かご周囲の圧力変動を従来構造と比較して大幅に低減できた。

### 3.4 遮音かご室の開発

エレベーターが高速走行中に、かご周りで発生している騒音が、かご室内へ侵入するのをどのように遮音するのかによって、かご室内の乗客の快適性(かご室内騒音)は大きく左右されてしまう。その対策技術としてかご室の遮音性向上がある。速度増加によってかご室外騒音は増加するため、超高速エレベーター向けとしては更なる遮音性の向上が必要となった。一般的に、遮音性を向上させるには構造部材の板厚増加などによって重量を増加させる方法があるが、かご室の重量増加はエレベーターシステムに影響が出るため実施が難しかった。そこで、かご室壁の2重構造を構成する板間の距離(空気層)に着目して、その距離の拡大による遮音性向上を検討した。この空気層拡大検討によって、重量を増加させずにかご室の遮音性を向上させることに成功した。また、かご室壁の遮音性向上の他に、かごの戸周りの気密対策を従来構造よりも強化するなどして、かご室全体の遮音性を向上させている。これらの構造を適用したかご室での実機評価から、速度1,080m/minで目標としていたかご室内騒音値を達成した。

### 4. 耳閉感の緩和

超高層ビルやタワー向けのエレベーターでは、耳閉感と呼ばれる乗車時の耳の不快感を無視することができない。耳閉感とは、周囲気圧の変動によって周囲気圧と中耳内の圧力との間に圧力差が生じ、鼓膜が膨張することによって発生する不快感のことである。エレベーターは縦方向の移動手段であるため、昇降時の耳閉感は標高差による気圧変化から発生する。例えば、高さ500mのビルでは、下層階と上層階の気圧差は約6,000Paになる。耳閉感は気圧差によって生じるため、昇降行程(建築物の高さ)に大きく依存するが、発生する不快感を完全になくすることはできない。そこで、不快感を少しでも緩和させるために、エレベーターかご室内の気圧変化を制御する方式(気圧変化曲線)を独自に開発した。また、その気圧変化曲線に沿って、かご室内気圧を制御するために気圧制御装置を新規開発し、耳閉感の緩和策として製品化につなげた。

### 5. むすび

超高速エレベーターの快適性に焦点を当て、かご室内振動の抑制、かご室内騒音低減対策、エレベーター乗車時の乗客の耳閉感緩和策について開発し、次のような結論を得た。

- (1) かご室内振動の抑制として、超高速エレベーター用のアクティブルーラガイドを開発し、従来のアクティブ制御と同等の乗り心地を提供することが可能となった。
- (2) かご騒音低減対策として、整風カバーの形状最適化、かご周りの騒音低減策、遮音かご室の開発を実施し、速度1,080m/minで目標としていたかご室内騒音値を達成した。
- (3) エレベーター乗車時の乗客の耳閉感緩和策として、当社独自の気圧変化曲線、及び、気圧制御装置を開発し、製品化につなげた。

### 参考文献

- (1) 寺園成宏, ほか:エレベーターハイテク技術~世界最高速度への挑戦~, オーム社, 95~99 (1994)
- (2) 宇都宮健児, ほか:消費電力低減を考慮した高速エレベーター用アクティブ制振装置の開発, 日本機械学会論文集C編, 72, No.719, 2048~2055 (2006)
- (3) 船井 潔, ほか:超高速エレベーター走行時の耳閉感と鼓膜挙動, 昇降機・遊戯施設等の最近の技術と進歩, No.04-57, 技術講演会講演論文集 (2005)

# エレベーターの超高揚程化対応技術

東中恒裕\* 奥中孝剛\*  
福井大樹\*\* 石川雅洋\*  
毛利一成\*

Technologies for Super High-rise Elevators

Tsunehiro Higashinaka, Daiki Fukui, Kazunari Mori, Takayoshi Okunaka, Masahiro Ishikawa

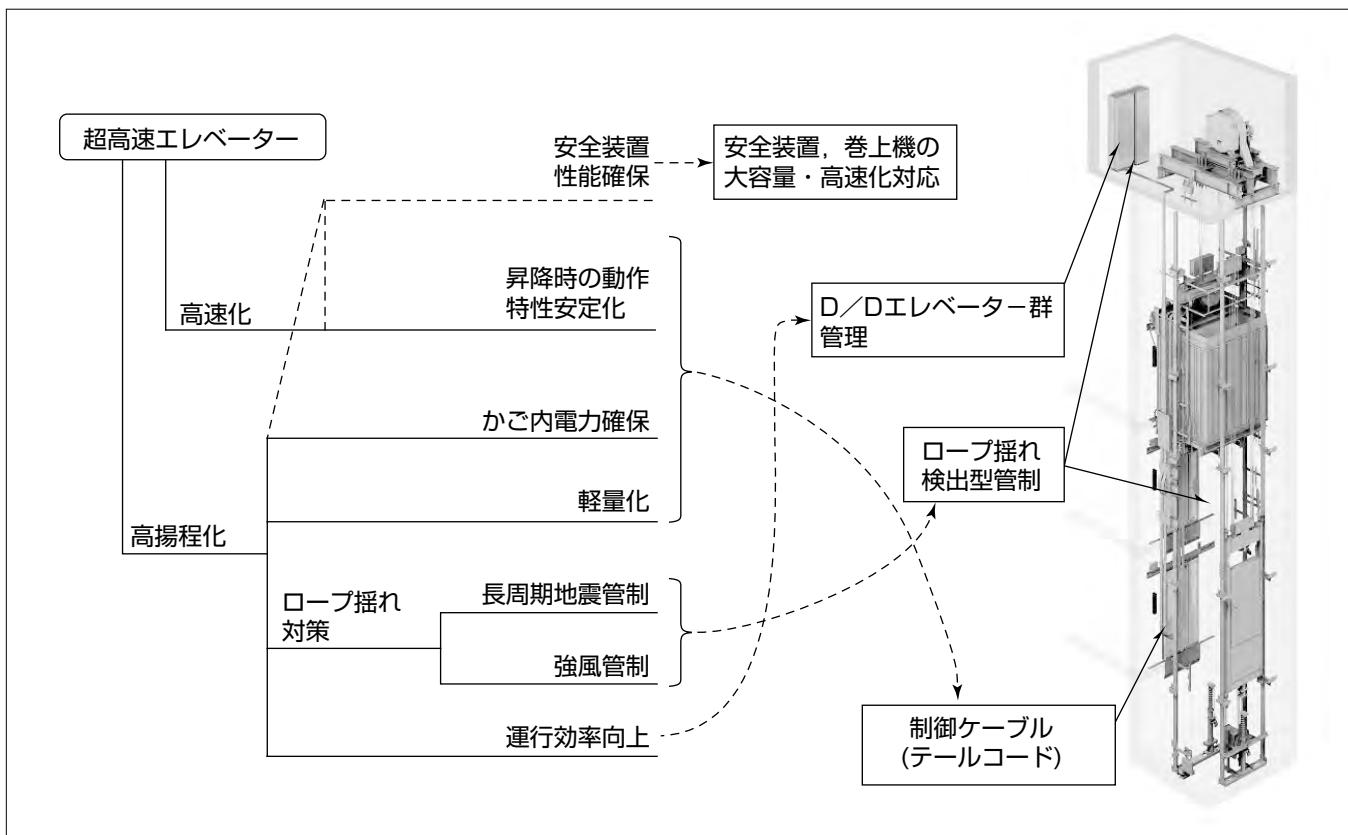
## 要 旨

相次ぐ超高層ビル建設に伴い、エレベーターの超高揚程化が進んでおり、同時に短時間で移動できる超高速化のニーズが高まっている。しかし、超高揚程・超高速エレベーターの実現には、駆動機器、安全装置、案内装置等の高速化及び大容量化への対応の他、建物揺れによるエレベーター長尺物（ロープ、ケーブル類）の振動対応、高速昇降時の懸垂機器の安定動作、モニュメンタルな建物にふさわしい付加仕様への対応、そして超高揚程化に伴い増大する需要に対応した縦方向交通円滑化等の検討課題がある。三菱電機では、次に述べる開発を行い、これらの課題を解決した。

- (1) 長周期地震動、強風等によるビルの長周期振動に起因するロープ類の揺れ対策として、昇降路内に配置したセ

ンサによる直接的なロープ揺れ検出装置を用いて、サービスの低下を最小限にしつつロープ類の昇降路機器への引っ掛けによる機器被害の発生防止を図る管制運転システムを開発した。

- (2) かごへ電力と制御信号を伝送する制御ケーブル（テールコード）では、付加仕様にも対応できるだけの導体数と光ファイバ、ツイストペア線を確保しつつ、材質改善による軽量化と動作特性の安定化を実現した。
- (3) 2つのかごを上下に連結させたダブルデッキ（D/D）エレベーター、及びこのエレベーターに適した群管理を適用することで輸送能力を増加させ、エレベーターの必要設置台数の削減及び建物有効面積比率の向上を実現した。



## 超高速エレベーターの超高揚程化に伴う検討課題

超高揚程化に伴いこの図に示すような検討課題が生じるが、制御ケーブル、ロープ揺れ検出型管制、D/Dエレベーター群管理システムを開発することでこれらの課題を解決した。

## 1. まえがき

近年、世界各地、特に中東やアジアで超高層ビルの建築が増加している。アラブ首長国連邦の“ブルジュ・ハリファ（高さ828m、2010年竣工（しゅんこう））”，中華人民共和国の“上海中心大厦（高さ632m、2014年完成予定）”はその好例である。昨今の景気減速の影響によって、開発プロジェクトの凍結や中止が伝えられる案件もあるものの、現在でも100棟近くの300m超の超高層ビルが建設中と言われており、今後も超高層ビル建設のトレンドは継続することが予想される。

超高層ビルでは、縦方向の移動手段として、超高揚程を超高速で走行するエレベーターが要求される。この実現には、かごやそれを動かすための巻上機、制御盤といった主要機器の他、超高層建築の長周期振動に起因する問題への対応、かごが移動する昇降路に設置された機器（昇降路用機器）、及び輸送効率向上化のための運行管理（群管理システム）でも、超高速・超高揚程対応の設計が必要となる。

本稿では、超高速エレベーターの特に超高揚程化を実現するためのシステム、機器の開発について述べる。

## 2. ロープ揺れ検出型管制運転システム

### 2.1 概要

超高層ビルではビルの固有周期とエレベーターロープ類の固有周期が近接することが多く、建物揺れ発生時に共振によってエレベーターロープが大きく揺れ、エレベーター昇降路内機器への接触・引っ掛け等による被害発生の可能性がある。日本国内では特に長周期地震動の発生に伴う事例でその影響が知られている。当社ではこれまでロープ揺れ量推定型の管制運転を投入する<sup>(1)</sup>などして、この課題に対応してきた。現在、海外では500mを超えるクラスの建物が建設中・計画中である。このような建物では、地震に比べて発生頻度の高い風による建物揺れの発生時にもエレベーターロープが建物揺れと共振して大きく揺れる可能性がある。そこで、強風や地震に対してエレベーターの安全性を確保しつつ、管制動作によるサービス低下を抑制するため新たな対応として、昇降路に配置した光センサによるロープ揺れの直接検出機能と退避運転機能によって、ロープ揺れを抑制する管制運転システムを開発した。

### 2.2 ロープ揺れ検出方式

ロープ揺れを確実に検出するために、図1のように光センサを昇降路内に配置する。ここで、最小のセンサ数でロープ形状が正確に推定できるように、建物揺れ周波数とエレベーターのかご位置ごとのロープ周波数から鉛直方向のセンサ配置を最適化している。また、平面内のセンサ配置によってロープ揺れの成長レベルを段階的に検出し、エレベーターの走行が可能かどうかの安全走行判断を行う。

光センサはエレベーターの他機器で使用実績のあるセンサを用いることによって、導入コストを抑えたシステムになっている。

### 2.3 管制運転

ロープ揺れが検出されると、ロープの揺れ量に応じた管制運転を実施する。ロープ揺れが小さい場合、エレベーターは乗客の安全を確保したあと、ロープが揺れにくい非共振階へ退避する退避運転を行う（図2）。これによってロープ揺れの増大による昇降路内機器の被害を低減することができる。非共振階への退避後は、ロープ揺れ状態の継続的な監視によって、エレベーターが通常走行できる揺れ幅に収束していることを自動判断し、早期に通常運転に復帰することで利便性を向上させている。一方、ロープの揺れ幅が大きい場合は、乗客の安全を確保したあと、運転休止す

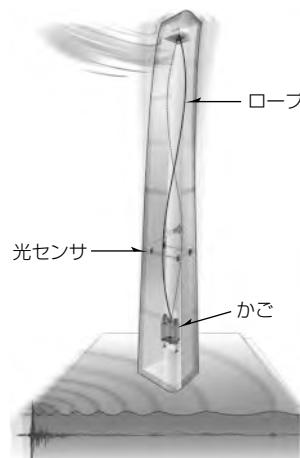
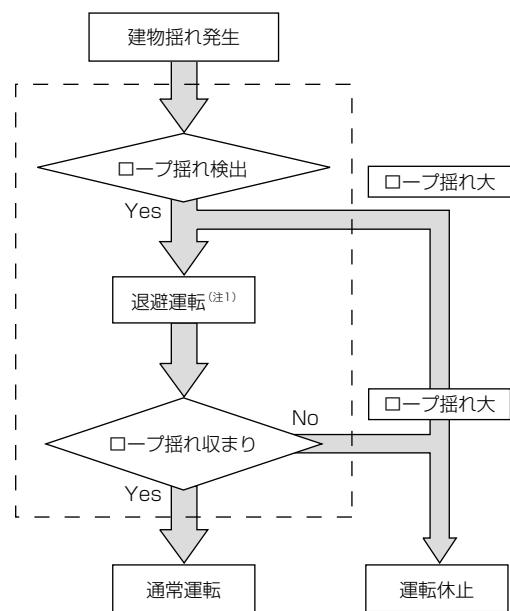


図1. ロープ揺れの検出



（注1） ロープが揺れにくい階へかごを自動的に移動させること  
（注2） 2012年2月3日現在、当社調べ

図2. ロープ揺れ検出型管制運転動作フロー

る。この場合、ロープ揺れによって昇降路内機器が損傷している可能性があるため、通常運転への復帰には専門技術者の点検を必要としている。このシステムは、従来のロープ揺れ量推定型管制運転に対して、直接的監視に基づくロープ揺れ検知方式を採用することで、管制動作が頻出することによるサービス低下を抑制した、より適切な運行サービスを行うことができる。

### 3. 制御ケーブル(テールコード)

制御ケーブルは昇降路の中間部とかごの下に設けられた懸架器具(吊(つ)り手)によってU字形状に懸垂支持されており、かごと連動して昇降する構造となっている。超高速エレベーター用の制御ケーブルでは、次の項目に留意した最適設計を行った。

#### 3.1 導体構成

超高速エレベーターはモニュメンタルな建物に据え付けられるため、かごにエアコンや防犯カメラ、カードリーダー等の付加仕様機器が付く場合が多い。そこで、照明やドア等の標準仕様の機器に加えて、付加仕様の機器の電力や駆動・制御信号を不足なく伝達できるよう、導体(断面積0.75mm<sup>2</sup>)や光ファイバ、ツイストペア線を合計100本以上複合した構成を採用した(図3)。

#### 3.2 軽量化

超高速エレベーターは高揚程になる場合が多いため、制御ケーブルの吊り下げ長さも大きくなること、また先に述べたように多心化の必要性があることから、制御ケーブルの重量は増加する傾向になりやすく、重量増は他の機器に与える影響が大きいので注意を要する。例えば、かごには非常止めと呼ばれる、かごの速度が何らかの原因で下方向に著しく増速した場合や巻上ロープが切断した場合にガイドレールを掴(つか)み、減速・停止させる安全装置が設けられているが、制御ケーブルの重量増によって負担荷重が増大すると、非常止め装置が大型化するといった例が挙げられる。

そこで、重量増を抑制するため、制御ケーブルの外装



図3. 制御ケーブルの一例<sup>(2)</sup>

(シース)及び絶縁体に、それぞれ従来材質(ビニル材)より軽量な耐熱弾性ポリオレフィン、エチレンプロピレンゴムを採用した。これによって、従来のビニル材に比べ約20%の軽量化を実現し、先に述べたような他機器への悪影響を防止した。

#### 3.3 特性の安定化

一般に、シース及び絶縁体は温度によってその特性が変動し、制御ケーブルの曲がりやすさに影響を与える。特に影響が大きいのは低温時で、シース及び絶縁体が硬くなることで曲げ特性が悪化すると、かごの昇降に伴う曲げ伸ばしに制御ケーブルが追従せず、動作特性が悪化する(揺れが大きくなる)傾向にある。また、超高速エレベーターではかごが高速で昇降するので、ケーブルの曲げ伸ばしも高速となり、動作特性は悪化傾向となる。このケーブルでは、温度による特性変動が小さい材質を採用し、この点に対処している。すなわち、シース及び絶縁体の材質改善によって、特性安定化と軽量化の両方を実現している。

### 4. ダブルデッキエレベーターの群管理

#### 4.1 概要

近年のビルの高層化に伴う、ビル内の垂直方向の効率的な移動を実現するエレベーターの例として、ダブルデッキエレベーターがある。ダブルデッキエレベーターは、図4のようにシャフト内に2つかごを上下に連結させることによって、一度に輸送できる人数を増加させることを目的としている。ダブルデッキエレベーターのロビー階は常に上下2階床となり、上下のロビー階を行き来するにはエスカレーターや階段を利用しなければならないが、出勤時などの混雑時ならば単純にシングルデッキエレベーターと比べると約2倍の大容量輸送が可能となる。また、複数台のエレベーターによって運行を行うマルチカーでは、シング



図4. ダブルデッキエレベーター

ルデッキエレベーターと比較する同じ昇降路面積で大容量の輸送ができるので、昇降路面積を削減させることができる。よって、シングルデッキエレベーターでは輸送能力が不足している場合や、物件仕様によって昇降路面積に制限がある場合などには、非常に有効なシステムである。

#### 4.2 動 作

ダブルデッキエレベーターの基本的な動作としては、“ダブル運転”“セミダブル運転”“シングル運転”的3つの運転モードがあり、交通状況に応じて使い分けを行う。各モードの特徴は次のとおりである。

##### (1) ダブル運転

常に上かごを偶数階だけ、下かごを奇数階だけに停止させる運転方式であり、主に特定階だけを行き来するシャトルエレベーターや、ロビー階での乗降者が多い出勤時間帯及び退勤時間帯に適用される。

1周回あたりの停止階床数の減少と大容量輸送によって、乗り場での待ち時間及び乗車時間を減少させることが可能である。

##### (2) セミダブル運転

一般階(ロビー階以外)から乗り込んだ利用者に対しては全行き先階に対してかご呼び登録が可能となる運転方式(ただし、ロビー階からの運転だけダブル運転と同様の運行方式)である。階間交通の多く発生する時間帯に適用され、階間利用者の利便性を向上させることが可能となる。

##### (3) シングル運転

上下2つかごのうち、どちらか一方のかごだけを利用可能としてサービスを行う運転方式であり、ダブルデッキをシングルデッキのエレベーターとして運行させる。閑散時間帯に片方のかごだけを使用することが多いが、2つかごを用途に応じて使い分けることもある。

また近年、ダブルデッキエレベーターと、従来のシングルデッキエレベーターを組み合わせて群管理を行い、それぞれの特徴に合わせた運行管理を行っている例もある。

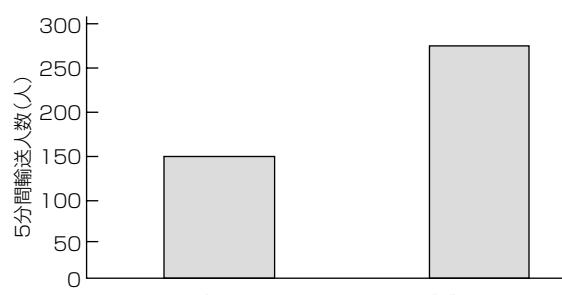


図5. 5分間輸送人数比較

#### 4.3 効 果

シングルデッキエレベーターとダブルデッキエレベーターの交通計算による輸送人数の比較結果を図5に示す。エレベーター6台、20階床のオフィスビルを対象とした。ダブルデッキエレベーターを適用することで、昇降路面積を約30%削減可能であり、混雑時ロビー階では最大約2倍となる輸送能力の向上が得られる。

#### 5. む す び

超高層ビルは今後も増加が予想され、それらに必要不可欠である超高速・超高揚程のエレベーターのニーズも高まっていくものと考えられる。本稿では、超高速エレベーターの特に超高揚程化に関わる技術課題を解決する開発項目として、ロープ懸垂検出型管制運転、制御ケーブルの材質改善及び特性安定化、ダブルデッキエレベーターの群管理について述べた。今後、これらの開発を製品に反映して、この事業を推進していく所存である。

#### 参 考 文 献

- (1) 石川雅洋, ほか:超高速エレベーターの昇降路用機器, 三菱電機技報, 85, No.2, 111~114 (2011)
- (2) (株)フジクラ:ノンハロ難燃軽量型超多心エレベータケーブル初納入, フジクラニュース, No.345 (2010)

# エレベーターの省エネルギー技術

石川純一郎\*  
坂野裕一\*  
山下桜子\*

Energy Saving Technologies for Elevators

Junichiro Ishikawa, Kazuhiro Banno, Sakurako Yamashita

## 要 旨

近年の国内外における省エネルギーに対する関心の高まりの中で、建築分野でも、省エネルギー性能評価方法の標準化、省エネルギー性能の届出義務化や省エネルギー性能改善設備の設置義務化など、低炭素社会を見据えた社会体系づくりが本格化している。このような環境変化の中で、多くの分野で“省エネルギー”をキーワードに新デバイス・新技術の開発競争が繰り広げられている。

エレベーターの製品開発でも省エネルギー性能は過去から重要視され、新機種開発のたびに性能改善が進められてきた。

エレベーターの消費エネルギーは仕様及び利用状況に応じて大きく変化するため、標準的なパターンでの性能評価が難しい面を持っている。

本稿では、エレベーターの省エネルギー技術の変遷と消費電力特性について述べるとともに、2011年6月にモデル

チェンジした標準形エレベーター“AXIEZ(アクシーズ)”に採用した省エネルギー技術とその効果について述べる。

### (1) LED照明

全天井にLED(Light Emitting Diode)照明を採用し、照明単体の消費電力を1/2~1/8に削減した。

### (2) 回生コンバータシステム

機械室レスエレベーター用の回生コンバータシステムを開発し、システム全体の消費エネルギーを35%<sup>(注1)</sup>削減した。

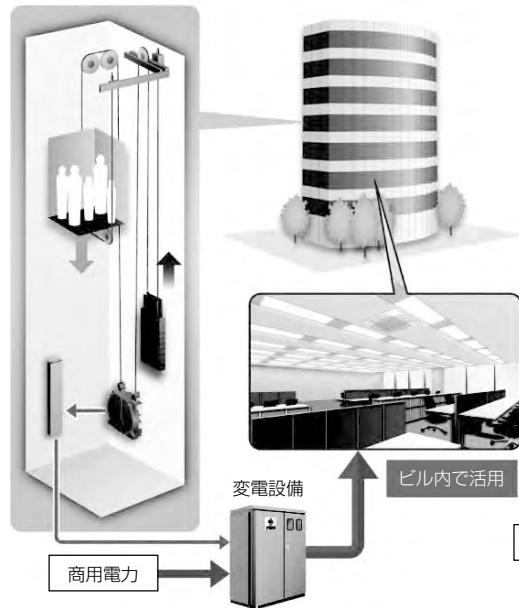
### (3) 回生電力蓄電システム

回生電力を電気二重層キャパシタに蓄え、走行時に再利用するシステムを開発することで、小規模ビルにも適用可能な回生利用システムを実現した。これによって、システム全体の消費エネルギーを25%<sup>(注1)</sup>削減した。

(注1) 基本仕様との比較。効果はエレベーターの仕様や使用条件によって変わる。



LED照明



回生コンバータシステム



回生電力蓄電システム

## 三菱新機械室レスエレベーター“AXIEZ”の省エネルギー技術

AXIEZに投入した主な新規省エネルギー技術は、①LED照明、②回生コンバータシステム、③回生電力蓄電システムで、これらの技術によって①では消費電力を1/2~1/8に削減し、②では消費エネルギーを35%<sup>(注1)</sup>、③では25%<sup>(注1)</sup>削減した。

## 1. まえがき

近年の国内外における省エネルギーに対する関心の高まりの中で、建築分野でも、省エネルギー性能評価方法の標準化、省エネルギー性能の届出義務化や省エネルギー性能改善設備の設置義務化など、低炭素社会を見据えた社会体系づくりが本格化している。このような環境変化の中で、多くの分野で“省エネルギー”をキーワードに新デバイス・新技術の開発競争が繰り広げられている。

エレベーターの製品開発でも省エネルギー性能は以前から重要視され、新機種開発のたびに性能改善が進められてきた。

エレベーターの消費エネルギーは仕様及び利用状況に応じて大きく変化するため、標準的なパターンでの性能評価が難しい面を持っている。

本稿では、エレベーターの省エネルギー技術の変遷と消費電力特性について述べるとともに、2011年6月にモデルチェンジした標準形エレベーターAXIEZに採用した省エネルギー技術とその効果について述べる。

## 2. 省エネルギー技術の変遷

表1にトラクション式エレベーターにおける駆動制御方式と消費エネルギーの変遷を示す。

速度が分速120m以上の高速エレベーターでは、1970年代後半に、MG(Motor Generator)セット(電動機・発電機)をサイリスタレオナード方式に変更し、また制御回路をマイクロプロセッサに置き換えて電子化した結果、制御性能が大幅に向上するとともに、約40%の省エネルギーを達成した。

速度が分速105m以下の低速エレベーターでは、減速機付きの誘導モータを用い、中低層ビルの標準形エレベーターとして広く普及した。1970年代前半に、サイリスタを用いて誘導モータの一次電圧を制御することで、速度がおおむね連続的に制御でき、乗り心地がかなり改善されるとともに、加速・減速時のモータ効率が改善され、制御回路の

表1. 駆動制御方式と消費エネルギーの変遷

機種	年代	1970	1980	1990	2000	2010
高層エレベーター	モータ制御方式	ワードレオード	サイリスタレオード	VVVF(インバータ)		
	制御回路	リレー回路		マイクロプロセッサ		
	卷上機(モータ)	一般	ギヤレス(直流モータ)	はすば歯車式(誘導モータ)	薄型・集中巻き構造	
	超高速		ギヤレス(直流モータ)	ギヤレス(誘導モータ)	ギヤレス(永久磁石式同期モータ)	
	消費エネルギー(%)	100	95	72	62	57
					54	52
低速エレベーター	モータ制御方式	交流二段速度制御	一次電圧制御	VVVF(インバータ)		
	制御回路	リレー回路		マイクロプロセッサ		
	卷上機(モータ)	ウォーム歯車式(誘導モータ)		はすば歯車式(誘導モータ)	ギヤレス(永久磁石式同期モータ)	ギヤレス(永久磁石式同期モータ)薄型・集中巻き構造
	機械室	機械室あり			機械室なし	
	消費エネルギー(%)	100	93	74	37	32
					30	29

マイクロプロセッサ化を含めて、従来タイプから効率を20%程度向上した。

その後、制御特性の優れたパワートランジスタが出現し、これを利用した可変電圧可変周波数(Variabile Voltage Variable Frequency:VVVF)制御方式、すなわちインバータ制御方式の技術が飛躍的に進歩した。

三菱電機は世界に先駆けて、エレベーター用インバータ制御技術を開発し、1983年に高速エレベーターで実用化に成功した。インバータ制御方式は、高効率に加え、電源効率を改善する特性を備え、約10%の高効率化と、約20%のビル電源設備容量の低減も図ることができた。また、優れた制御性能によって、誘導モータでもきめ細やかな制御による優れた乗り心地と効率の良い加速・減速が可能となり、特に低速エレベーターでは、従来の一次電圧制御方式に比べ約50%と、大幅な高効率化を達成することができた。

1990年にはウォーム歯車式巻上機に代わって、効率の良い“はすば歯車式巻上機”を実用化した。これによって伝達効率の高効率化と、更なる乗り心地の向上を達成できた。

1990年代の半ばには、永久磁石同期モータを内蔵したギヤレス巻上機(以下“PMギヤレス巻上機”という。)を高速(速度が毎分120m以上)・超高速(速度が毎分300m以上)に実用化し、永久磁石によって誘導機に比べ多極化・小型化と高効率化を実現した。

1998年に当社が市場投入した機械室レスエレベーターでは、巻上機や制御盤を昇降路内に納めるために、静肅性に優れたPMギヤレス巻上機を低速エレベーターに採用した。制御盤は、薄型化のために、駆動部と電源部を高集積化し、制御電源をスイッチング電源化して電源電圧の安定化と変換ロス低減による消費電力の削減を実現した。

2001年には、さらに省スペース性・レイアウト性で優れている薄形PMギヤレス巻上機を開発し、急速に機械室エレベーターが普及した。モータ径を上げて薄型化し、集中巻き構造の採用による大幅な銅損低減を達成することで、省エネルギーへの貢献を図っている。現在では超高速から低速までの全領域でPMギヤレス巻上機が主流となっており、省エネルギー化の高まりによって高速エレベーター巻上機でも同様に薄型化し、集中巻き構造を採用することで、省エネルギー化している。

このようにモータドライブにおける最近数十年の技術進歩は、エレベーターの快適な乗り心地の実現や省スペース化の実現とともに、省エネルギーの点でも大きな役割を果たしてきた。

## 3. エレベーターの構成機器とその消費エネルギー

エレベーターの構造図を図1に、巻上機モータの電力波形を図2に示す。エレベーター機器の中で瞬時消費電力が最も大きいのはかごとつり合いおもりを昇降させる巻上機

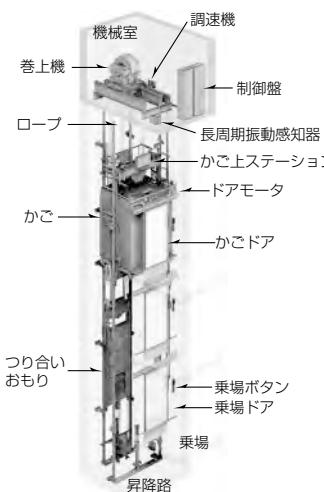


図1. エレベーターの構造

モータなどである。これらの機器は走行時にのみ使用されるため、走行時間が短いエレベーターでは消費エネルギーにあまり寄与していない。

図3にエレベーターの起動頻度と機器の消費エネルギーの関係を示す。多くの低速エレベーターは低い起動頻度で使用されている。このような条件では絶対量は小さいが、継続的に電力を消費し続ける制御機器の消費エネルギーの全体に占める割合が大きい。照明は走行中及び走行停止後一定時間点灯する関係上、低い起動頻度で連続点灯する。そのため、起動頻度が低い領域で割合が大きい。巻上機モータは起動頻度の高い領域で割合が大きい。

このように起動頻度に応じて、全消費エネルギーに対して影響を与える機器が変化する。また、起動頻度以外では機器の仕様や乗車率などによっても消費エネルギーは変化する。これらの条件はビルごとに大きく異なり、随時変化するため、異なるビル用途の省エネルギー性能を特定の代表パターンで評価するのは難しい。また、様々な条件で効果的に消費エネルギーを削減するには、起動頻度に応じて複数の手段を組み合わせる必要がある。

#### 4. AXIEZの省エネルギー技術

##### 4.1 LED照明

先に述べたようにエレベーターのかご照明は停止後自動消灯機能によって電力消費を抑制している。そのため、一般的な照明と比較して投入回数が非常に多いのが特徴である。

これまで、エレベーターのかご照明には白熱電灯又は蛍光灯が一般的に使用してきた。これらの照明の寿命は投入回数への依存性が高い。そのため、走行停止後も一定時間点灯し続けることで、投入回数を抑制し、寿命を延ばしている。この方法では、実際に必要な点灯時間より長く照明を点灯するため、自動消灯機能による省エネルギー効果には一定の限界がある。一方、近年、価格の低下とともに普及しつつあるLED光源の寿命は主に点灯時間に依存し

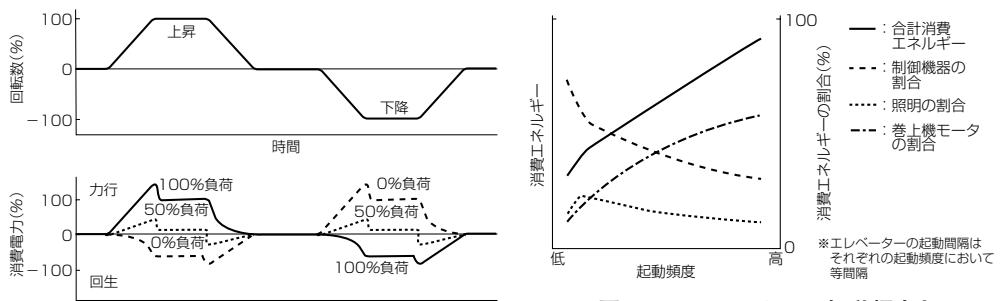


図2. 巷上機モータの電力波形

図3. エレベーターの起動頻度と消費エネルギーの関係

ており、投入回数による影響が少ないので特徴である。

標準形エレベーターAXIEZでは全ての天井にLED光源を主照明として採用した。その結果、LED照明天井の消費電力は、従来の蛍光灯タイプ天井との比較で1/2、白熱灯ダウンライトとの比較で1/8に削減できた。また、自動消灯に移行するまでの時間を短縮することで待機電力を削減することができた。さらに、照明器具の寿命を蛍光灯比で約3.3倍、白熱灯比で約26倍となり、照明器具交換回数を削減することができた。

このように、照明器具の長寿命化と省エネルギー化によって、エレベーターのライフサイクルコストの低減と環境負荷の低減を実現した。

##### 4.2 回生利用技術

###### 4.2.1 回生コンバータシステム

エレベーターはかごと“つり合いおもり”をロープを介して吊(つ)っており、ロープをモータで駆動することによってかごを昇降させている。つり合いおもりは定格定員数の約半分でかごとの重量バランスが取れる。この重量バランスが崩れた場合、モータは重い方に引っ張られ、重い方を持ち上げる際に重量物に位置エネルギーが蓄積される。逆に引っ張られる方に動いた場合にはモータを発電機として利用でき、位置エネルギーを回生エネルギーとして回収できる。このようにエレベーターは構造上、速度エネルギーに加え、位置エネルギーから大きな回生電力を得ることができる。

高速エレベーターでは古くから、回生コンバータを利用して、回生エネルギーを有効活用してきた。回生コンバータは図4に示すように、モータから返された回生電力をコンバータを介してビルの電源系統に直接返す構造になっている。そのため、高い効率で回生電力を再利用できる。

低速エレベーターについてはその多くが小規模ビルに設置されるため、回生電力を消費する設備が十分に確保できない場合が多いことや、サイズ・コスト制約の面から回生電力を抵抗で消費する方式が一般的である。

しかし、中～大規模ビルでは、十分な設備を持つにもかかわらず、これに対してソリューションが提供されていないのが現状である。そこで、機械室レス形エレベーターAXIEZでは、回生コンバータの小型化を図り、昇降路内

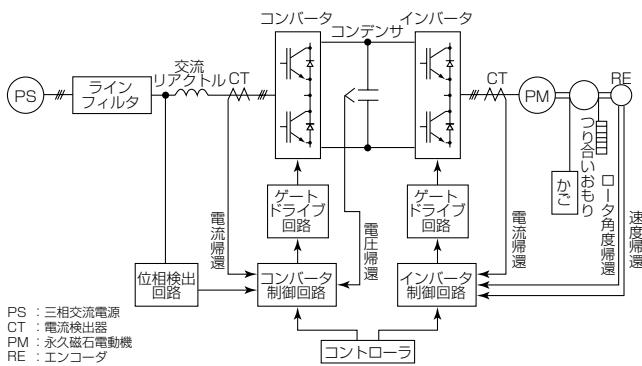


図4. 回生コンバータ付きエレベーターの駆動システム

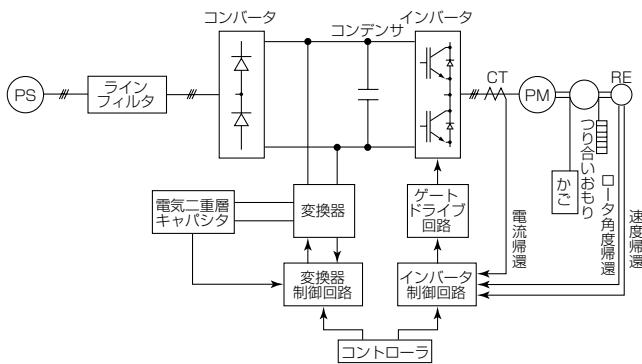


図5. 回生電力蓄電システム

に配置できるサイズを実現した。今後、低速エレベーターの省エネルギー化に貢献することが期待される。

#### 4.2.2 回生電力蓄電システム

先に述べたとおり、小規模ビルでは回生コンバータを利用できない場合が多い。当社が2001年に発売した“エレセーブ”はニッケル水素バッテリーを備え、停電時に10分間の自動運転を可能とした。また、回生電力をバッテリーに蓄え、これを走行時に再利用することで、約20%の省エネルギー化を実現し、小規模ビルでの回生電力利用を可能とした<sup>(1)</sup>。

近年のパワー用途向け蓄電デバイスの開発競争によって、短期間でエネルギー密度、出力密度、充放電耐久性や充放電効率が向上している。これらの蓄電デバイスの中でも、電気二重層キャパシタは優れた充放電耐久性、高い充放電効率を持ち、環境に優しいデバイスとして知られている。当社が発売した回生電力蓄電システム“エレチャージ”では、電気二重層キャパシタを蓄電デバイスとして採用した。電気二重層キャパシタは先に述べた利点がある一方、エレベーターに組み込むには、高温通電による劣化対策やキャパシタの長所を活用する回路構成と制御方法が課題であった。

そこで、エレチャージでは回路の最適化とキャパシタ温度や電圧の監視制御技術を新規開発することで、二次電池の倍以上の交換周期を実現し、約25%の省エネルギー効果を達成した(図5)。

### 4.3 省エネルギー効果

これまでに述べた省エネルギー技術について、それらを適用した消費エネルギーのシミュレーション評価を行った。

表2. AXIEZの消費エネルギー改善率

用途	階床	消費電力量削減率
住宅：9人乗り	5階	20%
	9階	18%
オフィス：11人乗り	5階	17%
	10階	13%
オフィス：15人乗り	5階	13%
	10階	11%

表3. 回生利用技術による消費エネルギー改善率

用途	階床	回生コンバータ システム改善率	回生電力蓄電 システム改善率
住宅： 9人乗り	5階	5 %	2 %
	9階	14%	10%
オフィス： 11人乗り	5階	19%	12%
	10階	30%	21%
オフィス： 15人乗り	5階	30%	25%
	10階	35%	20%

結果を表2, 表3に示す。シミュレーションはエレベーターの交通流の実測データを基にした時系列での起動条件で実施した。

表2はAXIEZの従来機種に対する消費エネルギー改善率を示している。LED照明などの省エネルギー技術を取り入れることによって従来機種に対して、消費エネルギーが最大20%削減される。消費エネルギーの中で大きなウェイトを占める照明にLED照明を適用することで自動消灯を最適に行うことが可能となり、特に起動頻度の低いビルで大きな省エネルギー効果を得られる。

表3は回生コンバータシステム及び回生電力蓄電システムの適用有無による消費エネルギー改善率を示している。回生コンバータシステムは適用なしに比べて消費エネルギーが最大35%削減、回生電力蓄電システムは適用なしに比べて消費エネルギーが最大25%削減される。また、いずれも乗客数が多くなり起動頻度が高くなるほど消費エネルギーの改善率は大きくなる傾向にある。

このようにAXIEZではLED照明、回生利用技術などによって、幅広い仕様と用途で高い省エネルギー性能を実現した。

## 5. む す び

エレベーターの省エネルギー技術の変遷と消費電力特性について述べるとともに新型AXIEZに採用した新技術及びその効果について述べた。

今後、回生利用技術の普及に努めるとともに、個々の機器の更なる消費エネルギー低減に努め、地球温暖化防止に貢献していく所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 池島宏行, ほか: 三菱省エネルギー形停電時自動運転装置“エレセーブ”, 三菱電機技報, 75, No.12, 782 ~785 (2001)

# エレベーターの新デザイン・新機能

New Design and Technologies for Elevators

Eiji Yuasa, Ayako Nagata, Masahiko Kouketsu

## 要旨

エレベーターの“待ち時間短縮”及び“乗車時間の短縮”という基本的なニーズに加え、昨今“省エネルギー”“デザイン性”に対するニーズが非常に高まっている。

2011年6月に発売した三菱標準形エレベーター“AXIEZ(アクシーズ)”は、昨今の市場ニーズに応えるため“省エネルギー”“デザイン”“利便性”を製品コンセプトの基軸に据え、従来のAXIEZの機能・性能を更に進化・拡張させ、LED(Light Emitting Diode)化した全天井、新デザイン操作表示器具、タッチレスコール、スーパー可変速システム等を新たに製品ラインアップに加えた。

本稿では機能・性能を更に進化・拡張させた部分に的を絞って述べる。

新デザインは、省エネルギーの観点から天井照明に

LED光源を採用した。また、より美しく、建物と調和する新しいエレベーターの顔づくりとして、高級感のあるグレードを引き出すために新たな素材を駆使して、新規設計した機器を組み合わせることで新デザインを具現化し製品化した。

タッチレスコールは、音声認識技術と人感センサを使用し、利用者を限定せず、ボタンに触れることなくエレベーターの呼び登録が可能となるように開発した。

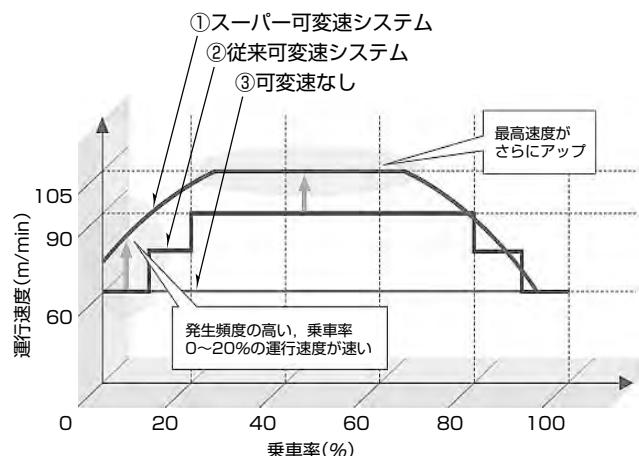
スーパー可変速システムは、エレベーターの運行速度を乗車率に応じて速めることが可能な従来の可変速エレベーターシステムと同じく、駆動機器の能力を最大限に生かしつつ、発生頻度が80%以上占める乗車率(0~20%)の最高速度を大幅にアップすることで、移動性能を更に向上させた。



新AXIEZのかご室デザイン



タッチレスコール



スーパー可変速システム(定格速度60m/minの例)

## 新AXIEZのかご室デザイン・新機能(タッチレスコール・スーパー可変速システム)

省エネルギー、デザイン、利便性を製品コンセプトの機軸に、機能・性能を更に進化・拡張させた。デザイン面は、シンプルかつ精度感のある天井と金属質感にこだわった操作表示器具で高品質で上質感を実現し、また、全天井照明をLED化し省エネルギーも実現した。新機能としては、人感センサと音声認識技術を使用したタッチレスコール、及び駆動機器の能力を最大限に生かして発生頻度の高い乗車率での最高速度を大幅にアップし、移動性能を向上させたスーパー可変速システムを開発した。

## 1. まえがき

エレベーターの“待ち時間短縮”及び“乗車時間の短縮”という基本的なニーズに加え、昨今“省エネルギー”“デザイン性”に対するニーズが非常に高まっている。

2011年6月に発売した三菱標準形エレベーターAXIEZは、今まで以上に市場ニーズに応えるため“省エネルギー”“デザイン”“利便性”を製品コンセプトの基軸に据え、従来のAXIEZの機能・性能を更に進化・拡張させ、天井の全LED化、新デザイン操作表示器具、タッチレスコール、スーパー可変速システム等を新たに製品ラインアップに加えた。

本稿では機能・性能を更に進化・拡張させた部分に的を絞って述べる。

## 2. 新デザイン

### 2.1 デザイン

“インテリジェンス=才知を感じさせる精度感”“エレガント=上品で洗練された空間演出”“ディグニファイド=品位あるたたずまい”“ハーモニー=建築／インテリア／嗜好(しこう)性との調和”の4つをデザインコンセプトとし、中でも新AXIEZの開発では品位あるたたずまいに力点をおき、高品質で上質感のあるエレベーターを開発した。高品質な上質感を表現するために“ノイズレス”に心掛け、シンプルで洗練されたデザインの中で素材や表示方法によって品位あるたたずまい、上質感をアピールした。また、このコンセプトを実現するために、LEDの使用や、新たな素材を採用し、新デザインを具現化した。

また、より多くの利用者が使いやすくなるよう、操作ボタン、インジケータの視認性の評価を実施し、ユニバーサルデザインにも配慮した製品とした。

#### 2.1.1 天井

建築トレンドに調和し、シンプルかつ精度感あるデザインとし、多様な空間演出にマッチする天井として6種類のラインアップ構成とした。また、天井照明の点灯色を2色(白色、電球色)から選択可能とし、空間演出効果を向上させるとともにLED光源を採用し、従来の蛍光灯光源と比較して寿命は、約3.3倍、消費電力は約50%削減し(図1)、デザイン性だけでなく、省エネルギーも実現した。

#### 2.1.2 操作表示器具

かご内の操作盤は、フェースプレートを袖壁に面一に埋め込んだシンプルなデザインを採用した。また、フェースプレート及びボタンの表面素材をステンレスで統一し、インジケータ部は新規に金属調成形品を開発適用することで質感を高め、現代建築に調和するデザインとして刷新した。また、ボタンは周囲にリフレクタ効果を持つ樹脂リングを配し、点灯時は階床文字とともに照光し、非点灯時は金属



	従来	モデルチェンジ後
寿命	CA1(円形蛍光灯) 約12,000時間	CL1(フラット照明(LED)) 約3.3倍 約40,000時間
消費電力	65W	約1/2 33W
CO <sub>2</sub> 排出量	78kg/年	-38.4kg/年 39.6kg/年

図1. 天井LED化による省エネルギー効果



図2. 新操作表示器具

調に光沢感を出すことで発見性にも優れたボタンとした。また、ボタンの凸文字では、従来のAXIEZでは視覚障がい者の判読性に重きをおき、凸形状を作り込んでいたが、新AXIEZではユニバーサルデザインの観点を深め、誰もが使いやすいように凸形状の見直しを実施し、視覚障がい者だけでなく、健常者も対象にユーザービリティ評価を実施し、ボタンの押し心地が良く、かつ誤判読しにくい文字形状へ改良した(図2)。

## 3. タッチレスコール

公共性の高い交通手段であるエレベーターで、様々な利用者がより快適に使用できる操作環境を提供するため、ボタンに触れずにエレベーターの呼び登録が可能な操作システム“タッチレスコール”を開発した。タッチレスコールではボタンの操作が不要なため、目が不自由でボタンを探すのが大変、車いすを使用しているので操作盤に近づいてボタンを操作することが難しいといった利用者も便利にエレベーターが使用できる。

ボタンに触れずにエレベーターの呼び登録ができるものとして、非接触ICタグを使用したものが知られているが、ICタグを使用した場合、システムを使用できる利用者が限定される。タッチレスコールでは利用者を限定せず、ボタンに触れずにエレベーターの呼び登録が可能な環境を提供するため、音声認識技術と人感センサを使用した。

### 3.1 かご内音声行き先登録

かご内での行き先登録には音声認識技術を使用した。利用者は次の手順で発話することで、行きたい階を声で登録することができる。

- (1) エレベーターに乗ったら“音声操作”と発話する。
  - (2) “ピッピッ”と音がしたら、行きたい階を“8階”的に階を付けて発話する。
  - (3) 認識した行き先階を音声アナウンスする。
  - (4) 約1秒経(た)つと“ピッ”と音がして行き先階の登録が完了する。音声アナウンスされた階と異なる階に行きたい場合は、もう一度行きたい階を発話することで再度認識が行われる。

音声認識のためのマイク、認識処理装置はかご操作盤内に実装している。機能、技術詳細について次に述べる。

### 3.1.1 タッチレスコール表示報知機能

操作状況や音声認識結果は、アナウンスと液晶インジケータへのメッセージ表示(図3)で利用者に通知する。アナウンスは先に述べた動作フローに記載した電子音(“ピッピッ”や“ピッ”)で応答するものの他に、タッチレスコールに不慣れな利用者向けに音声アナウンスで応答するものも用意している。また、液晶インジケータへの表示については、メッセージだけではなく、音声入力の受付状態を示す“発話アイコン”も合わせて表示することで、発話タイミングを分かりやすく提示する。

### 3.1.2 エレベーター向け音声認識技術

音声認識は近年急速に応用分野が広がり、世の中に浸透しつつある。音声入力インターフェースを使用する際、音声認識性能はシステム全体の使いやすさを大きく左右するが、従来の音声認識方式を用いてエレベーター内で音声認識を行った場合、残響音(壁に反射して響く音)で音声が歪(ひず)み十分な認識精度が得られないという問題があった。

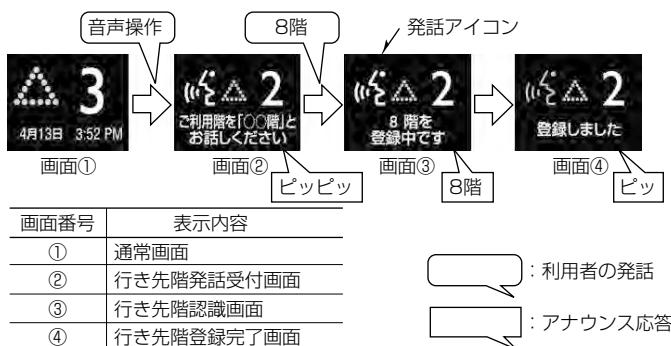


図3. 音声行き先登録時液晶インジケータの画面遷移例

この問題に対応するため、エレベーターかご内の使用に適した音声認識方式を開発した。この方式では、拡散音場理論に基づき残響音の減衰特性をモデル化することで、かご内の残響音を自動推定し抑圧する。この独自技術の開発によって、従来方式と比較して誤認識を半減し、エレベーターのかご室内で実用的な認識性能を達成した。この方式では、残響音を自動推定して抑制するため、かごの大きさが異なるエレベーターでも、その効果を得ることができる。

### 3.2 乗り場自動呼び登録

乗り場での呼び登録は人感センサを使用することで、ボタンを操作せずにエレベーターを呼ぶことができる。乗り場自動呼び登録の使い方を次に示す。

- (1) 乗り場ボタン付近(通常は乗り場ボタンの下)に設置されたセンサの前30cm以内に手や体を近づける。
  - (2) センサが人を検出して約0.5秒経つと呼び登録が完了し, “ピッ”と音が鳴る。

#### 4. スーパー可変速システム

## 4.1 概要

エレベーターの運行速度を乗車率に応じて速めが可能な“可変速エレベーターシステム”を進化させた，“スーパー可変速システム”を開発し市場投入した。

スーパー可変速システムでは、可変速エレベーターシステムと同じく駆動機器の能力を最大限に生かしつつ、発生頻度の高い空かご付近の最高速度を大幅にアップすることで、移動性能を更に向上させた(図4)。

## 4.2 スーパー可変速システムの特長

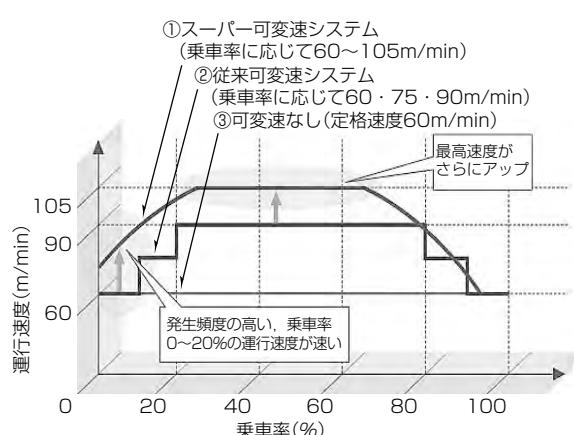


図4. スーパー可変速システム(定格速度60m/minの例)

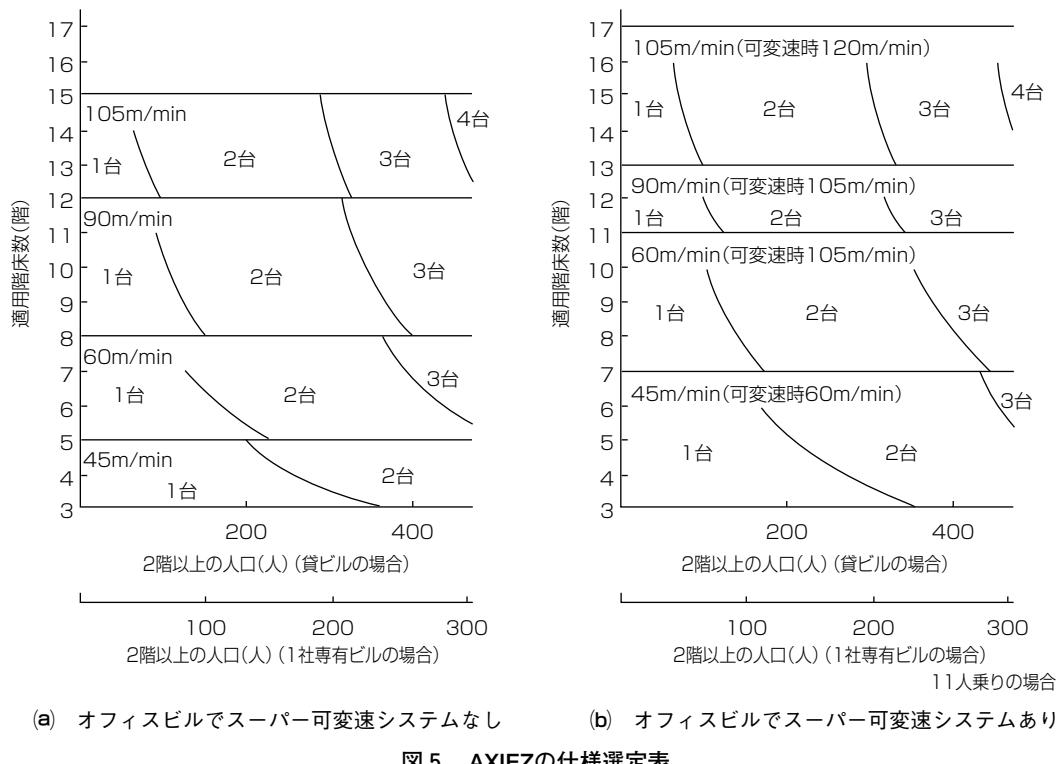


図5. AXIEZの仕様選定表

つり合いおもりの質量の差が小さいときほど、速度を上げることが可能となる。従来の可変速エレベーターシステムでは乗車率に応じて最高速度を2段階又は3段階に設定していたが、スーパー可変速システムでは乗車率に応じて連続的に最高速度を決定することで、駆動機器の能力を最大限に活用し、移動性能を向上させる。これを実現するためには、このシステムでは、乗車率を確定したのち、それに応じてリアルタイムに最適な速度指令値を演算し、走行を行う。また、駆動機器の負荷状態を走行中も常時監視し、電圧変動などの外的要因で負荷が規定値以上となった場合は、エレベーターの速度を最高速度から即時定格速度まで下げるなどの安全機能を備えることで、システムの信頼性を確保している。

#### (2) 可変加速度の採用

速度と同じく、乗車率に応じて加速度も可変とした。加速度を上げることによって、走行距離が短い移動でも乗車時間を短縮することが可能となった。

#### (3) かごとつり合いおもりのバランス最適化

かごとつり合いおもりのバランス率を50%よりも小さくすることで、乗車率が低い場合(乗車率0~20%)の最高速度を高めることが可能となる。通常の使用状況では、エレベーターは乗車率が低い場合が、80%以上を占めるため、飛躍的に移動性能を向上させることが可能となる。

#### (4) 60→105m/min可変速システムの採用

定格速度60m/minの場合、最高速度を従来の90m/minから105m/minまでアップした。

#### 4.3 スーパー可変速システムの効果

このシステムを適用することで、次の効果が得られた。

- ・平均速度を最大47%向上
- ・待ち時間を最大22%向上
- ・平均速度を最大33%向上

これによって仕様選定に際して、スーパー可変速システムを適用することで、同じ定格速度であっても従来より高い階床まで対応することが可能となった(図5)。

### 5. むすび

三菱標準形エレベーターAXIEZの機能・性能を更に進化・拡張させた“デザイン”“タッチレスコール”“スーパー可変速システム”を中心に主な機能・特長を述べた。このエレベーターは、2011年6月から発売を始めている。

昇降機が建築物の一部として重要な役割を担う中、建築トレンドに合った理想のエレベーターを目指し、快適で美しい上質な空間を創出していきたい。

### 参考文献

- (1) 仮屋佳孝, ほか:可変速エレベーターシステム及び電子化安全装置, 三菱電機技報, 79, No.10, 637~640 (2005)
- (2) スーパー可変速エレベーターシステム, 三菱電機技報, 86, No.1, 56 (2012)

# エスカレーターの省エネルギー技術

Energy Saving Technologies for Escalators

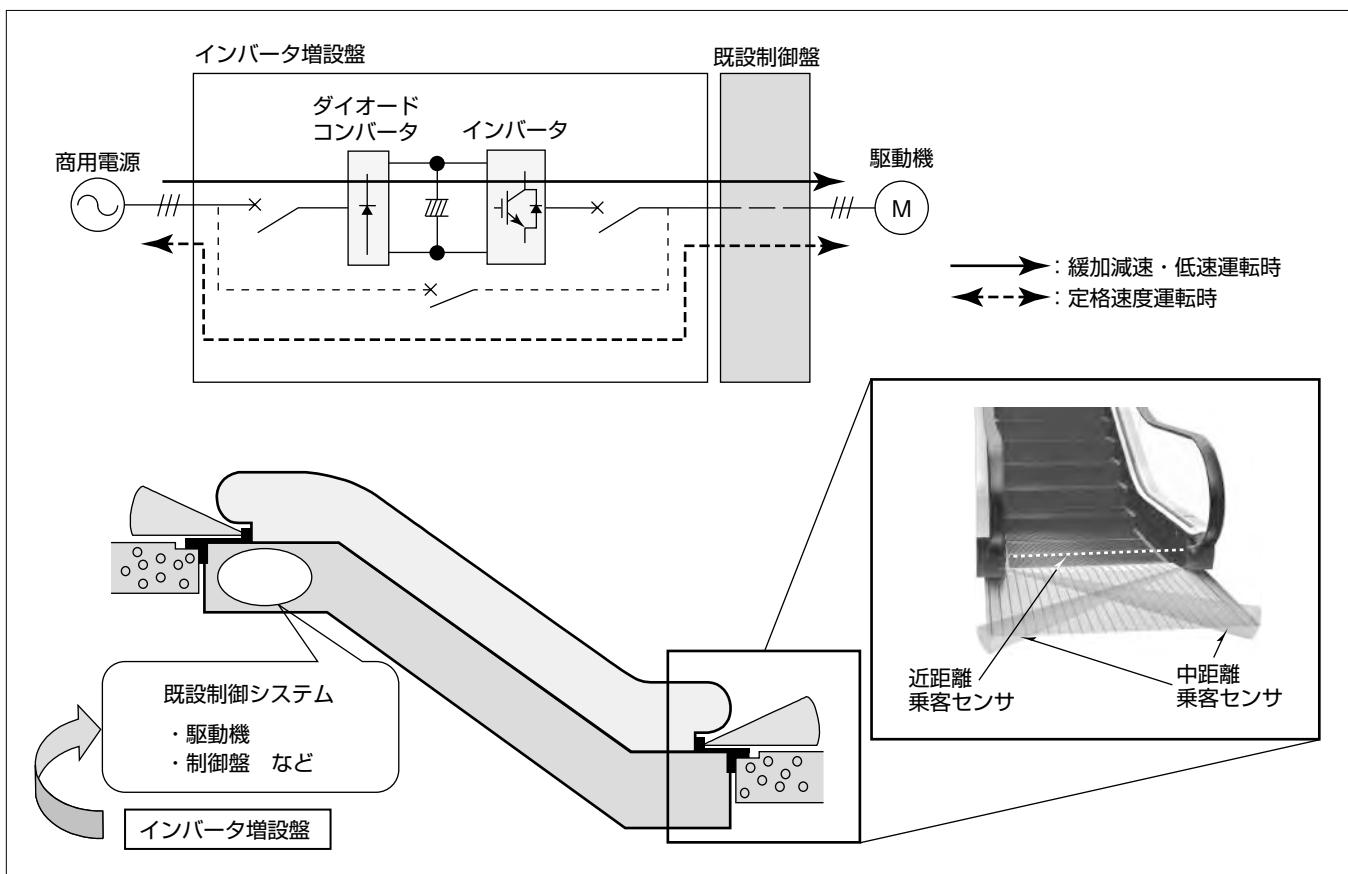
Ryota Nishioka, Koji Yoshida, Tetsuya Sunada

## 要 旨

近年、昇降機に対する省エネルギー性向上の要望が高まっている。エスカレーターでは消費電力の大部分がモーターで消費されるため、乗客のいない時間に停止又は減速する自動運転機能が省エネルギー性向上に効果的である。自動運転機能は接近する乗客を検出して、待機状態から定格速度へ加速するため、乗客センサが必要である。また、商用電源駆動の場合は、乗客が乗り込むまでに加速を完了させるために、乗り降り口の手前に乗客センサを内蔵したポストを設置する必要がある。また、省エネルギー性は待機状態に低速運転しているよりも停止している方が優れているが、停止待機中でも乗客に運転方向が分かるように運転方向表示器を設置する必要がある。

そこで、乗客センサの追加が不要である省エネルギー運転機能と既設エスカレーターに対して自動運転機能を追加可能なインバータ増設盤を開発した。省エネルギー運転機能では乗客の検出を乗客センサではなくモータ電流値で行い、乗客が少ない時にはわずかに減速させる。これによって、機器の追加なしで省エネルギー化を実現した。インバータ増設盤ではインバータ制御機能付の盤を追加することによって、緩加減速や待機状態での低速運転が可能になり、ポストや運転方向表示器の設置が不要となった。

これらの機能によって、既設エスカレーターに対しても省エネルギー化が可能で、要望の効果や費用に合わせた省エネルギー化の提案が可能になるとを考えている。



## インバータ増設盤

既設エスカレーターの制御システムにインバータ増設盤を追加することによって、緩加減速や低速運転を実現し、運転方向表示器やポスト等の追加改造を行わずに自動運転機能の追加が可能である。また、エスカレーターに乗り込む人を検出する近距離検出センサに加えて、乗客を早めに検出し、加速を開始するために中距離検出センサを設けている。定格速度になるとインバータ駆動から商用電源駆動に切り換えている。

## 1. まえがき

近年、エスカレーターなど昇降機に対する省エネルギー性向上の要望が高まってきている。エスカレーターで省エネルギー性向上は減速することによって実現することが効率的である。その理由は、エスカレーターにおける消費電力の大部分がモータで消費されるからである。モータで消費される電力は主に摩擦などの機械ロス、制御回路、乗客負荷によって変動する。機械ロスはエスカレーターの速度によって変化し、乗客負荷は利用する人数によって変化する。そのため乗客負荷をコントロールすることは難しく、エスカレーターの省エネルギー性を高めるためには、減速し機械ロスによる電力消費を減らすことによって実現している。ただし、機器の追加が必要で、既設のエスカレーターに対しての追加が困難という問題があった。

本稿では従来の省エネルギー技術の一つである乗客のいない時間に速度を減速する自動運転機能、今回開発した乗客センサを使用せずに電流によって乗客の少ない時にエスカレーターをわずかに減速させる省エネルギー運転機能、及び既設の改造時に自動運転機能とインバータ制御機能を追加することが可能なインバータ増設盤について述べる。

## 2. 自動運転機能

自動運転機能では乗客がいない状態が一定時間継続すると自動的に停止又は減速する。このときの停止又は減速している状態を待機運転状態と呼び、待機運転状態の速度の違いから大きく2種類に分類される。一つは停止待機自動運転と呼び、もう一つは低速待機自動運転と呼ぶ。どちらの自動運転機能も乗客を検出するためのセンサなど、機器の追加が必要である。

### 2.1 停止待機自動運転

停止待機自動運転は待機運転状態の速度が0m/分であり、ステップは停止している。この自動運転機能が最も省エネルギー性が高くなる。しかし、ステップが停止しているため乗客にとっては故障中の区別ができない、利用可否の判断が難しい。また、エスカレーターの運転方向に対して逆側から乗り込み、予期しない方向に運転を開始することで転倒する可能性がある。そのため、停止待機自動運転を行うためには運転方向を示す運転方向表示器が必要である。

停止待機自動運転はインバータ制御ではなく商用電源駆動でも実現可能である。しかし、商用電源駆動では加速度を制御できないため、待機運転状態から定格速度(一般的には30m/分)まで加速するために十分な距離が必要である。そこで乗り降り口の手前に乗客を検出するためセンサを内蔵したポストを設置し、誘導柵などを用いて横から乗り込むことができないようにするために、建物の意匠性に制約が

生じる。

ポストの間を乗客が横切ると、ポストに内蔵のセンサが乗客を検出してエスカレーターが起動する。乗客がいなくなり、乗客センサの未検出時間が続くと、待機運転状態に移行する(図1)。

### 2.2 低速待機自動運転

低速待機自動運転は待機運転状態でも低速(一例として10m/分)で運転している。停止待機自動運転に比べて省エネルギー性では劣るが、乗客にとってステップが動いていることを認識できるという利点がある。そのため、運転方向の逆側から乗り込む可能性は少なく、運転方向表示器の設置が不要である。また、低速で運転するためにはインバータ制御が必須であるため、緩やかに加減速が可能である。つまり、加速中に乗客が乗り込んでも転倒の危険性が少なく、乗り降り口の手前にポストを設置し、加速するために十分な距離をとらなくても良い。そのため、建築側への影響が少ない。乗客を検出するセンサはエスカレーターに乗り込む人を検出するため近距離乗客センサと、前方の乗客を検出可能な中距離検出センサを設置している。万が一に中距離乗客センサで検出できなかった場合でもステップに乗り込む直前に近距離乗客センサで検出しエスカレーターが起動する(図2)。

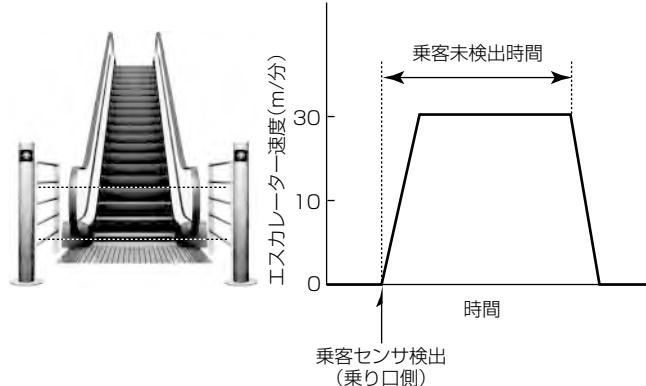


図1. ポストあり停止待機自動運転

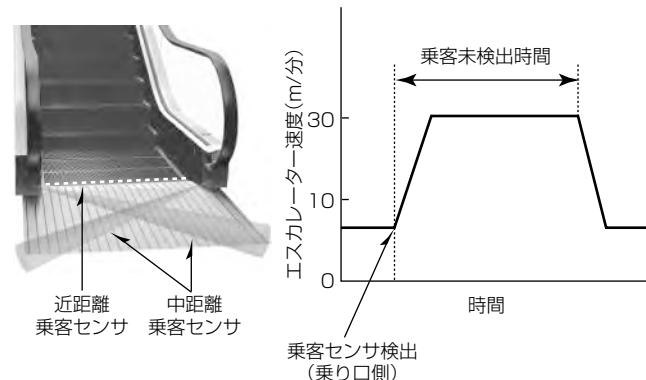


図2. ポストなし低速待機自動運転

### 3. 省エネルギー運転機能

#### 3.1 省エネルギー運転機能の概要

自動運転機能を追加するためには乗客センサの設置が必要であった。そのため、初期費用が高くなってしまう。乗客の有無を検出するためには乗客センサなどの検出装置が適切であるが、乗客の多寡を判断するため検出装置は他にも考えられる。その一つが電流検出である。エスカレーターのモータ電流は負荷が多くなると電流が大きくなり、負荷が少なくなると電流が小さくなる。そのため、乗客の多寡をモータ電流によって判断することによって、乗客センサを不要にした。電流検出回路はインバータ制御では新たに追加する必要がないため、機器の追加が不要である。乗客の少ない時にはエスカレーターをわずかに減速することで、省エネルギー性を高め、乗客が増えてくると定格速度まで加速し、運搬能力を上げて利便性を上げている。これによって、自動運転機能に比べて省エネルギー性では劣るが、機器の追加なしで省エネルギー化を実現した。

#### 3.2 省エネルギー運転機能の判定方法

省エネルギー運転機能の判定フローを図3に示している。負荷が高い時はエスカレーターが定格速度で運転している間であり、電流値が一定以上の値になっている。そのときに、電流値が基準以下の状態が既定時間以上継続すると軽負荷時速度に減速する。負荷が軽い時は軽負荷時速度で運転している。このとき、電流値が基準以上の状態が既定時間以上継続すると定格速度に加速する。電流値はばらつきがあるため、瞬時の値だけでなく、既定時間の判定時間を設けて、十分負荷が変動したことを確認してから速度を変更している。また、定格速度に加速するため判定時間を短めに、軽負荷時速度に減速するため判定時間を長めに設定することで、利便性を下げないようにし、乗客が利用中に頻繁に加減速を繰り返さないようしている。

### 4. インバータ増設盤

#### 4.1 インバータ増設盤の概要

2章で述べた自動運転機能を実現するには、

①乗客センサ

②ポスト・運転方向表示器(低速待機自動運転は不要)

が必要である。しかし、既設の商用電源駆動のエスカレーターに自動運転機能を追加する時に、建築の変更が伴う可能性のあるポストや運転方向表示器の設置が難しい場合がある。また、ポストや運転方向表示器の設置を不要とするために、インバータ制御機能を追加しようとすると、制御システム又はエスカレーター全体の交換が必要であった。制御システムやエスカレーターを交換することは長期間の改修が必要となり、エスカレーターを使用できない期間が長くなってしまうという問題点がある。

そこで、インバータ増設盤は、マイコンを使用していない旧式の機種に対してインバータ制御機能と、乗客センサの取り込み等自動運転機能を追加できるようにした。これによって、インバータ制御機能が追加されるためポストや運転方向表示器が不要となる。また、制御システムやエスカレーターの交換に比べて、費用を抑えることが可能である。さらに、既設の制御システムを流用できるため、回路改造が簡単になり短時間で改造が可能となった。つまり、インバータ増設盤を既設の制御システムに追加することによって、回路改造を簡単にし、短期間での改造が可能であり、制御システムを取り替えるよりも安い費用で低速での自動運転機能を可能にした。

#### 4.2 インバータ増設盤の改造範囲

インバータ増設盤を既設のエスカレーターに追加した場合に必要となる改造範囲を図4に示す。従来は既設エスカレーターの制御盤からモータへと動力ケーブルでつながっていた。その間にインバータ増設盤を追加することによつ

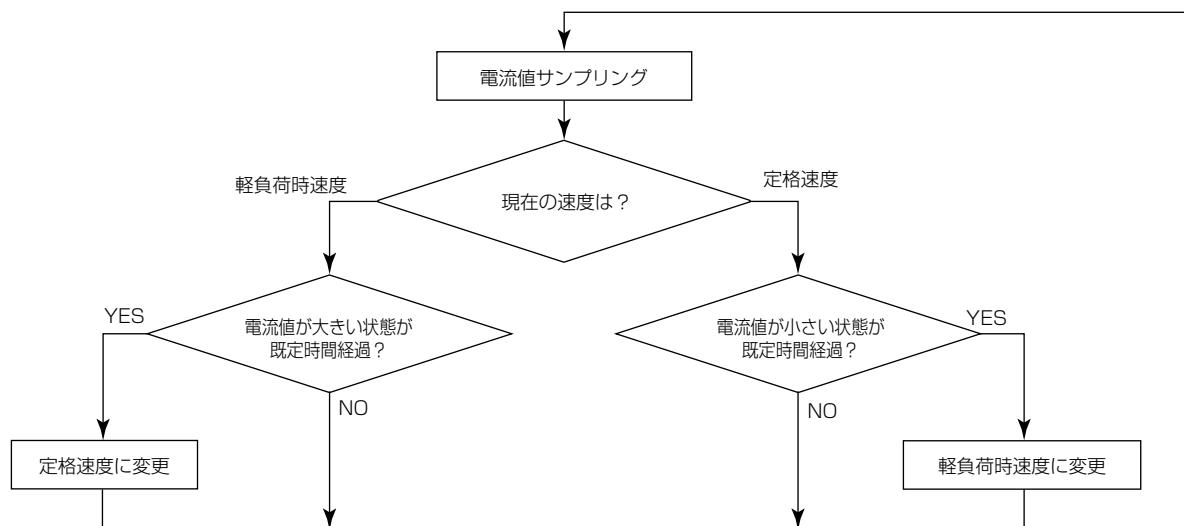


図3. 省エネルギー運転機能の判定フロー

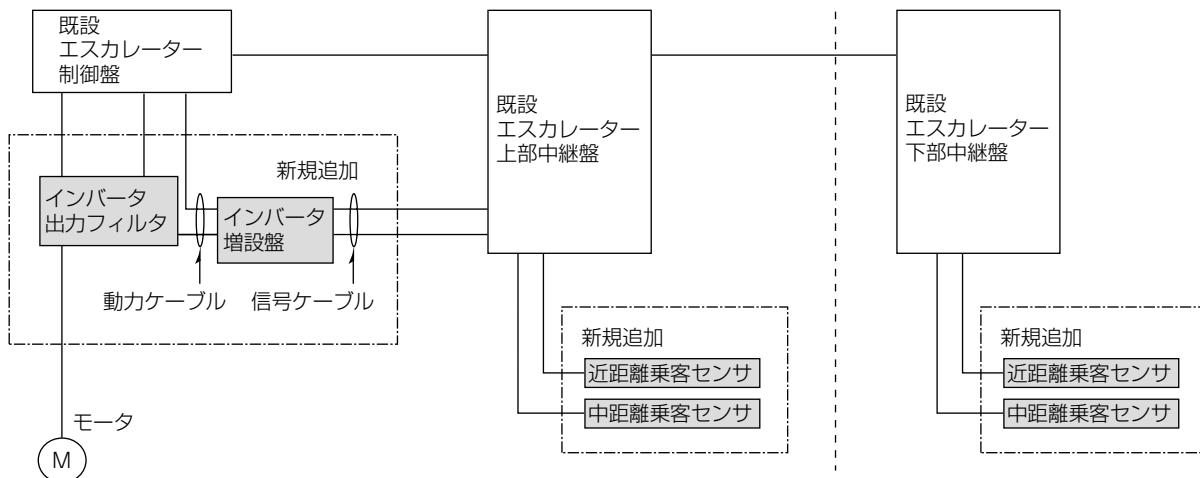


図4. インバータ増設盤の改造範囲

て、低速待機自動運転が可能となっている。また、乗客センサを上下乗り降り口に追加する必要がある。乗客センサの信号は上下部の機械室内に設置している中継盤からインバータ増設盤へと送られる。

既設改造の場合は新たな機器を設置できるスペースが限られてくるため、インバータ増設盤をできるだけ小さく設計する必要があり、インバータ制御機能は加減速中と低速待機中に制限している。加減速中と低速待機中だけにインバータ制御を限定することで、インバータサイズを小さく抑えることが可能である。また、これらのインバータ制御を使用する状態は乗客がほとんどないため、回生エネルギーの処理が不要になるという利点がある。エスカレーターでは下り運転中に乗客が一定数以上乗り込むと、電源からモータへと流れていたエネルギーの流れが逆転し、モータから電源側へとエネルギーが流れる。これを回生エネルギーと呼び、インバータ増設盤で使用しているインバータでこの回生エネルギーが発生すると、エネルギーを消費するため回生電力消費用の抵抗が必要になる。しかし、この抵抗を設置するスペースが限られているため、エスカレーターの傾斜部などに設置する必要があり、設置やケーブル等の追加によって、費用や改造期間が長くなる。これらの理由によって、インバータ増設盤ではインバータ制御は加減速中と低速待機中だけとし、費用と改造期間を抑えている。定格速度まで加速するとインバータ制御から商用電源駆動へと切り替わるため、下り運転でも回生エネルギーを抵抗で熱として消費する必要がなく、効率的にエネルギーを使用できる。

## 5. 省エネルギー性

表1に自動運転機能と省エネルギー運転機能に対して、実現可能な制御システムや実現するために必要な機器、そ

表1. 各機能比較

機能	制御システム	必要機器	省エネルギー性 <sup>(注1)</sup>
停止待機自動運転	商用電源駆動インバータ	乗客センサ運転方向表示器	高(約26%)
低速待機自動運転	インバータ	乗客センサ	中(約16%)
省エネルギー運転	インバータ	-	低(約7%)

(注1) 階高5m、乗客500人/時間、15時間駆動で算出、算出条件によって効果は異なる。

して省エネルギー性の効果をまとめた。省エネルギー性は停止待機自動運転が最も優れている。これはエスカレーターの速度を定格速度から下げる幅が最も大きいためである。また、インバータ制御だけでなく商用電源駆動でも利用できるといった利点がある。一方で乗客センサや運転方向表示器を追加する必要があり、商用電源駆動の場合、ポストの設置が必要など制約もある。低速待機自動運転と省エネルギー運転機能はインバータ制御が必要となる。運転方向表示器は不要となるが、定格速度からの下げ幅が小さいため、省エネルギー性は停止待機自動運転に比べて劣る。省エネルギー運転機能は自動運転機能に比べて省エネルギー性は劣るが機器の追加が不要という利点がある。

## 6. むすび

今後ますます省エネルギー性向上の要望が高まってくることが想定されるが、これらの技術によって新設だけではなく、既設のエスカレーターに対しても省エネルギー性向上が行え、要望の費用や効果に合わせた省エネルギー化の提案が可能になるとを考えている。

# エレベーター モダニゼーション技術 —新旧群管理システムとエレベーター行先予報システム—

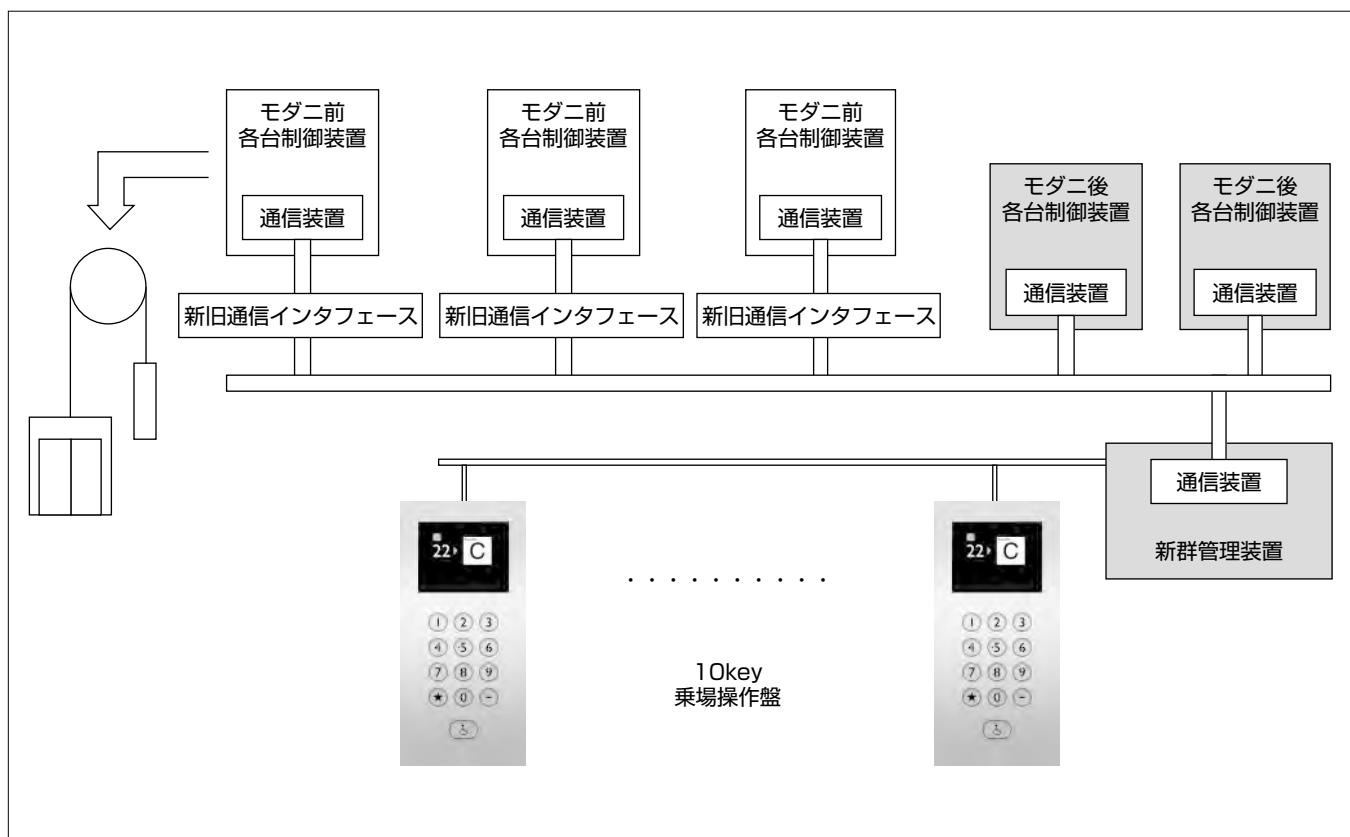
吉村 丘\*  
小場由雅\*

*Elevator Modernization Technology—Group-control System for Mixture of New and Old Elevators with Destination Oriented Prediction System—*  
Chikashi Yoshimura, Yoshimasa Koba

## 要 旨

高層ビルに収められている複数台のエレベーターをグループコントロールしている高速エレベーターのモダニゼーション(以下“モダニ”という。)の要求が高まっている。この高速エレベーターをモダニする場合、一般的には価格やエレベーター1台当たりのモダニ工事期間の長さからグループ内の全台数を同時にモダニせず、1台ずつ1年以上を費やしてモダニしていく。その結果として長いモダニ工事期間中は利用できるエレベーターの台数が減少するとともに、モダニ前の群管理装置でグループコントロールするモダニ前エレベーターと新しい群管理装置でグループコントロールするモダニ後エレベーターの2つのグループに分かれ、運行効率が下がることになる。

そこで、モダニ前とモダニ後のエレベーターを一括してグループコントロールし、モダニ前とモダニ後の2つのグループに分割することなく乗場呼びに対して最適なかごを利用者に提供する“新旧群管理システム”を開発するとともに、乗場操作盤を設置し同じ行先階に向かう利用者を極力同じかごに乗車してもらうように乗り分け制御を行い、1台のかごに割り当てる行先呼びの数を制限する“エレベーター行先予報システム”をモダニ工事期間中から採用することによって、1台少ないモダニ工事期間中でも高層ビルの特に混雑する朝の出勤時でも垂直方向の移動効率を下げないことを実現した。



## 新旧群管理システムとエレベーター行先予報システム

新旧群管理システムは、新群管理装置とモダニ前エレベーターの通信を可能とし、モダニ前エレベーターとモダニ後エレベーターを一括してグループコントロールすることを可能とした。さらに、乗場操作盤で行先階を登録することによって、同じ行先階別に配車するエレベーター行先予報システムをモダニ工事期間中でも採用可能とした。

## 1. まえがき

高層ビル設備の老朽化、垂直方向の移動効率の改善を求めて、グループコントロールされている高速エレベーターのモダニが始まっている。このグループコントロールされている高速エレベーターのモダニは、価格や工事期間の長さからグループ内の全台を同時にモダニせず、1台ずつ1年以上を費やして全台をモダニするのが一般的である。この結果、モダニ工事期間中は、利用できるエレベーターの台数が減少するとともに、モダニ後のグループとモダニ前のグループに分かれるためにエレベーターの運行効率が落ちる。

そこで、三菱電機エレベーターの最新の群管理システム“Σ AI-2200C”によって、モダニ前とモダニ後のエレベーターを一括してグループコントロールする“新旧群管理システム”を開発するとともに、Σ AI-2200Cシステムで採用している“エレベーター行先予報システム”を適用することによって、利用できるエレベーター台数が減少するモダニ期間中で、特に混雑する朝の出勤時でもモダニ前の運行効率を下げるこことないシステムを海外で初めて供給した。

本稿では新旧群管理システムの機能・特長及び、導入結果について述べる。

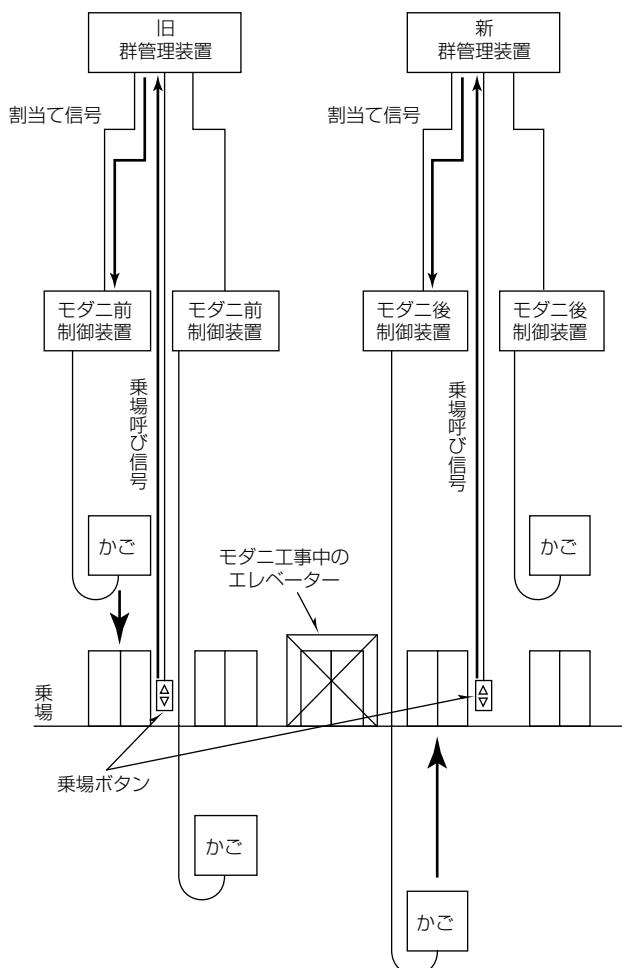


図1. 新旧群管理システムなしでのモダニ工事中の状態

## 2. 新旧群管理システムと行先予報システム

## 2.1 新旧群管理システムの必要性

図1は、新旧群管理システムなしでのモダニ工事中の状態を示している。新旧群管理システムなしでは、モダニ前のグループとモダニ後のグループは、一括してグループコントロールできないため、両グループの乗場呼びを同時に発生することが可能であり、両グループの呼びが発生すると両グループから合わせて2台のエレベーターが応えるため、エレベーターは無駄な動きをすることとなる。また、片方の乗場呼びを発生させた場合でも、かご位置と走行方向等で決まる最適なエレベーターを乗場呼びに対し配車できない場合もあり、さらに、無駄な動きをすることとなる。したがって、モダニ前とモダニ後のエレベーターを一括してグループコントロールするシステムが必要である。

## 2.2 新旧群管理システム

図2は、新旧群管理システム及び、行先予報システムを採用したモダニ工事中の状態を示している。

新旧群管理システムは、通信インターフェースで新群管理装置と通信可能となったモダニ前のエレベーターとモダニ後エレベーター全てを一括してグループコントロールする

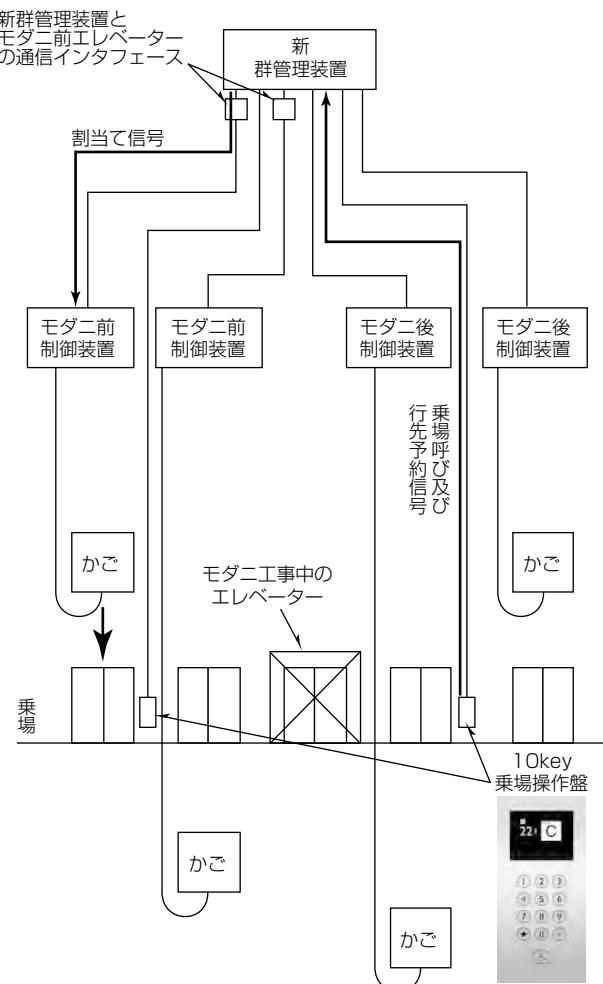


図2. 新旧群管理システムを適用したモダニ工事中の状態

システムであり、新群管理装置に取り込んだ乗場呼び信号や乗場操作盤信号に対し、モダニ前とモダニ後のエレベーター全ての中で最適なかごの配車を行う。

### 2.3 通信インターフェース

エレベーターと群管理装置間の通信方式はエレベーターが開発された当時の技術によって様々であり、通信インターフェースは通信方式変換及び、群管理と各台管理間データをモダニ前エレベーター側、新群管理装置側の各々使用できるフォーマットへの変換を行っている。

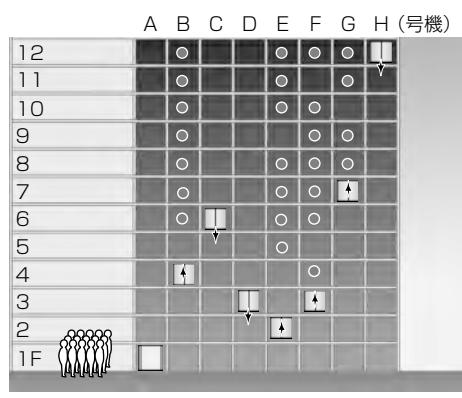
- ・新群管理側通信方式：イーサネット<sup>(注1)</sup>（独自プロトコル）
- ・モダニ前エレベーター通信方式：パラレル信号方式、RS422方式、光シリアル方式等

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス株の登録商標である。

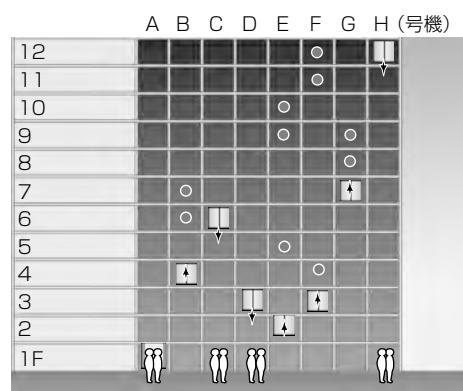
### 2.4 行先予報システム

行先予報システムは、乗場に行先階の登録が可能な乗場操作盤を設置し、行先階に応じて最適なエレベーターを割り当て、その号機を乗場操作盤上に表示する。このシステムでは同じ行先階に向かう乗客は極力同じかごに乗車してもらうように乗り分け制御を行い、1台のかごに割り当たられる行先呼びの数を制限することでUP/DOWN方式に比べて利用者の乗車時間を短縮し、輸送能力の向上を図っている。

例を図3に示す。朝の出勤時間帯などの混雑時には、エレベーターに多くの利用者が乗車し、従来のUP/DOWNボタン方式(左)では、利用者各自がかご内で任意の行先階を指定するため、エレベーターが多くの階に停止することに対し、行先予報システム(右)では、行先階ごとに利用者を振り分けるため、停止階数が少なくなっている。加えて乗車後は、行先階が自動登録されるため、混雑したかご内の行先階ボタン操作が不要となり、利用者の利便性が向上する。



(a) 行先予報システムなし



(b) 行先予報システムあり

図3. 行先予報システムの特長と乗場操作盤

### 3. 平均待ち時間のシミュレーションと導入結果

#### 3.1 平均待ち時間のシミュレーション

図4と図5は、乗場呼びに対する平均待ち時間のシミュレーションである。モダニ前グループとモダニ後グループの2つのグループの新旧群管理を採用しないモダニ工事中よりも、新旧群管理システムを採用した方が、明らかに平均待ち時間が短く効率的にサービスを提供できること、さら

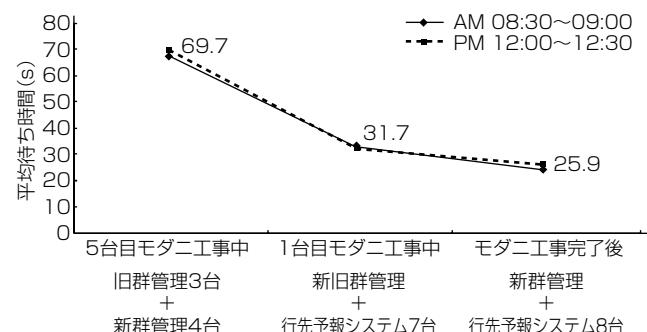


図4. シミュレーション結果  
2つのグループコントロールと新旧群管理システム  
+行先予報システムの平均待ち時間

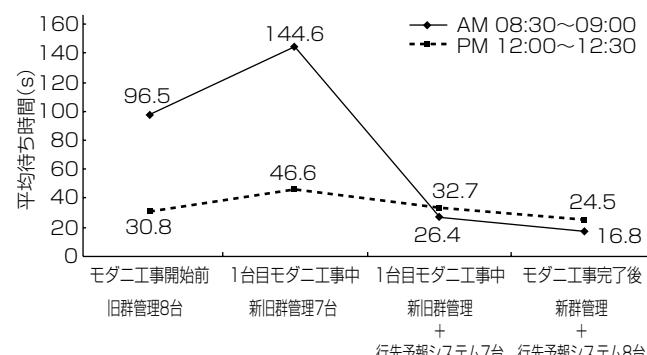
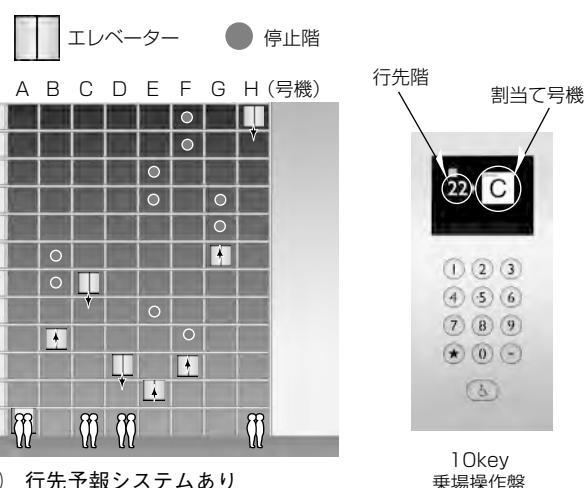


図5. シミュレーション結果  
台数変化時と行先予報システム適用時の平均待ち時間



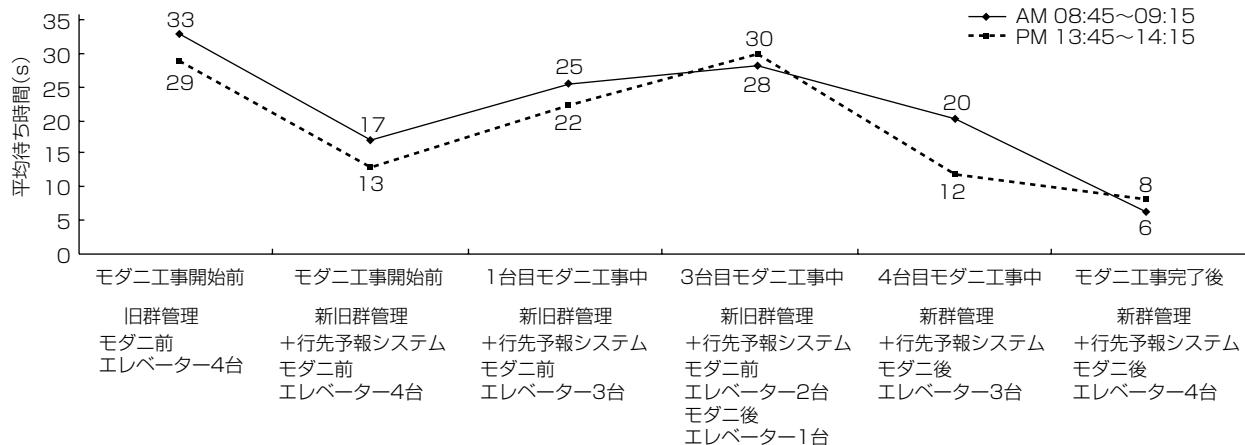


図6. 新旧群管理システム導入結果  
モダニ工事タイミングごとの平均待ち時間

に、行先予報システムを採用することによって、モダニ工事期間中のサービスするエレベーターが1台少ない状態でも、サービスが低下しないことが期待できる。

### 3.2 新旧群管理システム導入結果

図6は、高速モダニ物件の工事期間中に新旧群管理システム及び行先予報システムを適用した平均待ち時間の結果である。グループコントロールしている台数が減少しているモダニ工事のどのタイミングでもモダニ工事前の平均待ち時間より少なく、モダニ工事中の利便性を損なうことのない結果となった。また、実測値のため多少の誤差があるものの全体として工事が進むにつれて平均待ち時間が減少する傾向にある。

### 4. むすび

新旧群管理の実現は、新群管理装置とモダニ前エレベーターの通信がキーとなっている。今までに、モダニ前群管理方式“OS-75<sup>(注2)</sup>”と“OS-2100C<sup>(注3)</sup>”でグループコントロールされたエレベーターを新群管理システムΣAI2200Cと通信する技術を開発した。今後は、別の群管理方式でグループコントロールされたエレベーターとも通信可能な技術を開発し、新旧群管理システムを適用できる機種を拡大し、モダニ工事中のサービス低下を防ぎ、エレベーター利用者に不便をかけない製品を開発していく。

(注2) OS-75: 1976年～簡易型割当て方式の群管理システム

(注3) OS-2100C: 1982年～乗場呼び単位の割当て方式、即時予報、学習機能を特徴とする群管理システム

### 参考文献

- (1) 山下桜子, ほか: 新群管理システム“ΣAI-2200C”, 三菱電機技報, 81, No.11, 735～738 (2007)

# 油圧エレベーターモダニゼーション “EleFine”

兵藤英一\* 佐々木一浩\*\*\*  
中根道雄\*\*  
高橋良直\*\*\*

“EleFine” : Modernization for Hydraulic Lift

Eiichi Hyoudou, Michio Nakane, Yoshinao Takahashi, Kazuhiro Sasaki

## 要 旨

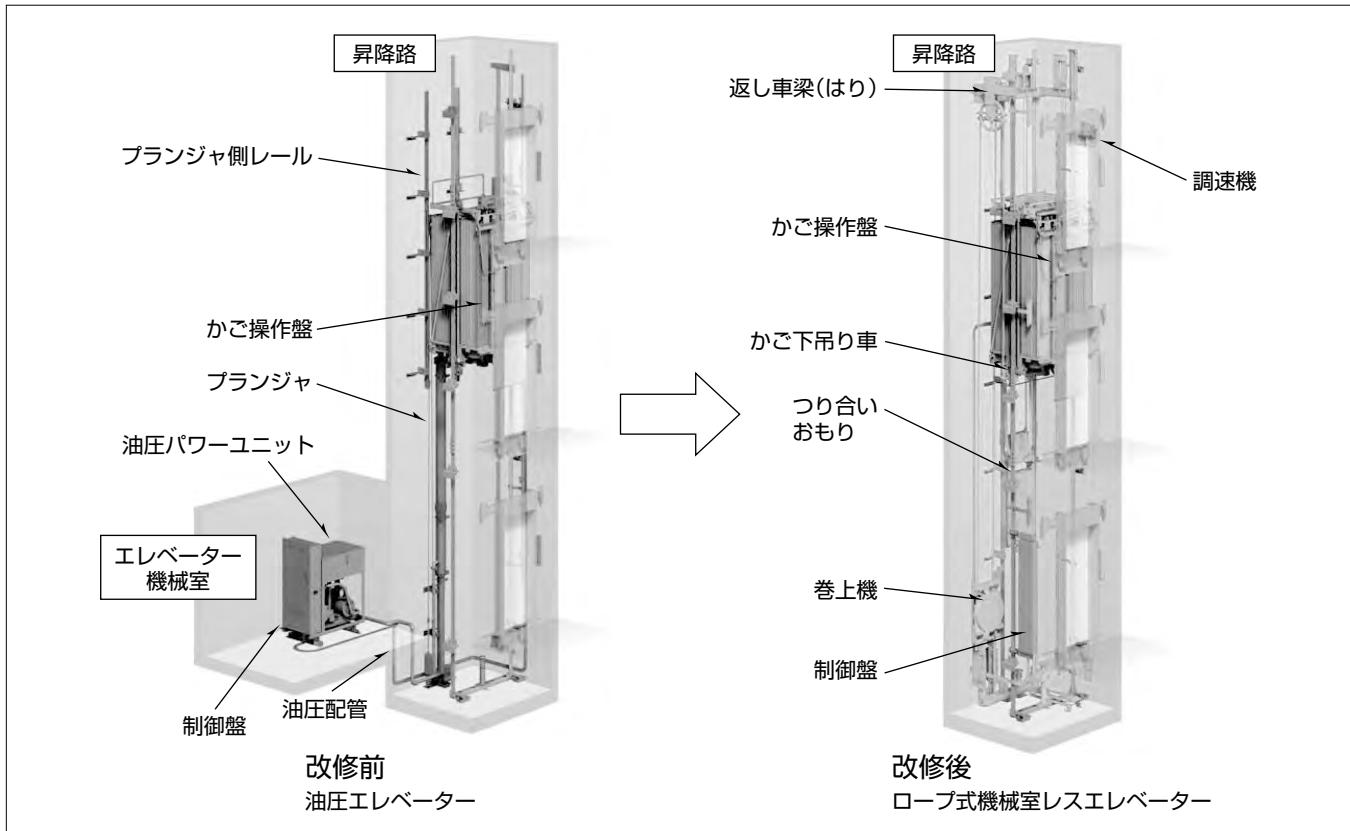
油圧エレベーターは、油圧ジャッキで駆動するため、顧客が、動きが遅い、電気代が掛かるといった不便を感じることがある。また、1999年のロープ式機械室レスエレベーターの市場投入以降、新設台数が大幅に減少しており、現在ではほとんど新設されていない。そのため、保守部品・技術を維持するコストが大きくなってきていている。

これまで既設油圧エレベーターを完全撤去し、ロープ式機械室レスエレベーターを取り付ける方法しか改修メニューがなかったため、工期・コストの面で顧客の納得が得られにくかった。

したがって、大幅な据付け工事短縮・コスト削減を可能にすることを目的に、既設油圧エレベーターの機器を流用した制御・駆動改修メニュー“EleFine(エレ・ファイン)”を開発した。

本稿では、以下の開発内容について述べる。

- (1) エレベーター据付け工事短縮のための工法開発
- (2) 既設機器流用、据付け工事短縮が可能となるレイアウト設計
- (3) 既設機器流用での対応



## 改修前後のエレベーターシステムレイアウト

既設の油圧エレベーターシステムを左側、改修後のロープ式機械室レスエレベーターシステムを右側に示す。油圧エレベーター特有の機器(プランジャ、油圧配管、プランジャ側レール等)を撤去し、空いたスペースに新規機器(巻上機、返し車、つり合いおもり、かご吊(づ)り車等)を据え付ける。

左側の改修前に記載している機器名称は撤去品、右側の改修後に記載している機器名称は新規品を示す。

## 1. まえがき

油圧エレベーターは、1999年のロープ式機械室レスエレベーターの市場投入以降、新設台数が大幅に減少し、現在ではほとんど新設されていない。そのため、保守部品・技術を維持するコストが大きくなっている。

既設油圧エレベーターのモダニゼーション(以下“モダニ”という。)でもロープ式機械室レスエレベーターへの更新を実施しているが、完全撤去新設、又は準撤去新設(乗場三方枠・乗場敷居のみ流用)しか方法がなく、施工期間やコストが問題となり、顧客がなかなかモダニに踏み切れない状況が続いていた。

この現状を打破するため、既設油圧エレベーターの機器を多数流用することで、工期短縮とコスト削減を実現する油圧エレベーターモダニゼーション“EleFine”を開発した。

EleFineを適用する既設油圧エレベーターのモダニ対象範囲を表1に示す。

## 2. EleFine開発のポイント

### (1) 短工期

総工期は最短12日(内連続停止最短7日)である。従来の完全撤去・新設の工期は28日程度であった。

### (2) 低コスト化

かご枠、かご床、非常止め、かご側レール、かご側緩衝器台等の既設機器は流用し、新規部品は、新設機種であるAXIEZ(アクシーズ)との共通化によって最大25%のコスト削減を図った。

### (3) 省エネルギー

消費電力を約65%削減(当社比:既設制御方式によって異なる場合あり)した。

### (4) 性能向上

着床精度向上・階間走行時間短縮を図った。

### (5) 環境負荷低減

作動油レス、既設油圧エレベーター機器等の廃棄物重量を最大60%削減した。

## 3. モダニ工法及び作業工程

一般にエレベーターのモダニ工事は、顧客が使用しているエレベーターで行われるので、使用できない期間を極力短縮し、顧客の不便を軽減する必要がある。

表1. 既設油圧エレベーターのモダニ対象範囲

油圧方式	バックプランジャ方式
用途	乗用・住宅用
定格速度(m/min)	30~60
容量(kg)	450~750
操作方式	2 BC, 2 C-2 BC

既設油圧エレベーターの定格速度30m/min以下はモダニ後、45m/minにする。

EleFineでは、エレベーターのモダニ工事期間を一日のうちの数時間(9:00~17:00など)エレベーターを停止させる事前停止期間と、数日間完全停止させる連続停止期間に分割した。

この事前停止期間中に、できるだけ多くの作業を実施することで、連続停止期間を短縮した。図1に作業工程を示す。

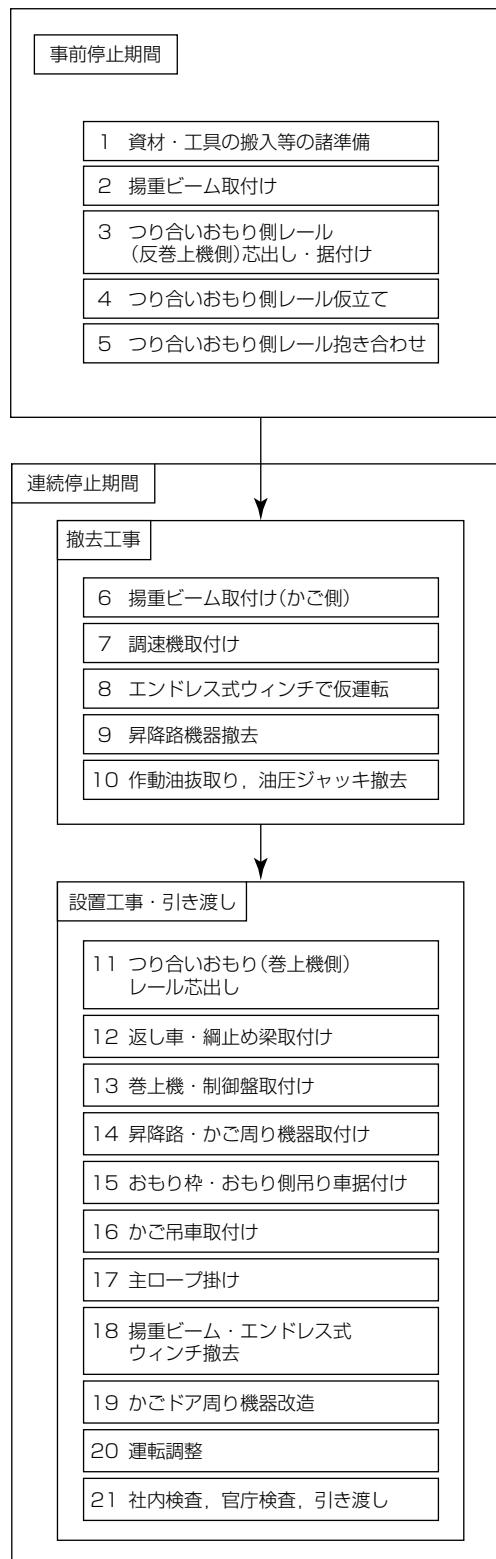


図1. 作業工程

#### 4. EleFineの特徴

モダニ工事期間を極力短縮するため、機器流用及び現地作業時間削減を図った。

##### 4.1 非常止め

油圧エレベーターには、主ロープが緩むと、非常止めが動作するスラックロープ式非常止めが適用されているものがある。ロープ式エレベーターでは積載質量3100N(約316kg)以下、定格速度45m/minかつ昇降行程13m以下でしか適用可能でないため、モダニ後はスラックロープ式のままでは、非常止めの流用ができない。しかし、非常止めを一式取り替えると、工期が長くなってしまう。

そこで、調速機と引上げ棒を取り付け、既設の非常止めを適用できるようにした。引上げ棒は、既設の穴を利用して、取付けできるようにした。

ロープ式エレベーターに改修するに当たり、油圧式からシステムが変わることで、故意のかご揺すりなどで非常止めが誤動作しやすくならないか確認した。図2に非常止め誤動作の解析モデルを示す。

複数人でかご揺すりをすると想定し、かごの変位に対する非常止め引上げレバーの変位の応答倍率を算出した。その結果、かご揺すりに対する制振ばねの効力は十分であり、誤動作には至らないことを確認した。

図3は、エレベーター急停止における非常止め誤動作の解析と実測の結果を示す。引上げレバーの回転角度が、非常止めが動作する引上げレバー回転角度まで至らないことを確認した。

また、非常止め動作速度は、既存のスラックロープ式よりも速くなるので、停止エネルギーが増加する。そこでこの使用条件での既設非常止めの強度試験を実施し、自主評価認定も取得した。

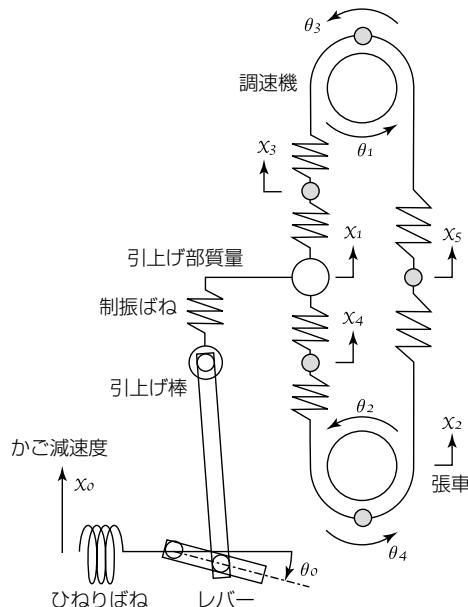


図2. 非常止め誤動作の解析モデル

#### 4.2 返し車梁の取付け構造

かご側返し車梁はかご側レールとつり合いおもり(CWT)側返し車梁に渡すように取り付ける。特に、かご側レールには取付け台を設置する。かご側レールに穴加工して取付け台をボルト固定する構造では、レールへの穴加工を精度よく施工する必要があるが、現地での施工は困難である。頂部レールだけを取り替えることにもしても、取替え用の足場組立て作業などが発生してしまうため、作業時間もその分長くなる。

そこで、レールに穴加工することなく、レールに荷重支持できる構造とした。

#### 4.3 かご下吊り車枠の取付け構造

機械室レスエレベーターに改修するに当たり、かご下に吊り車を設ける必要がある。

吊り車の取付け穴は、既存のかご床側梁の取付け穴、かご縦柱の取付け穴を利用し、非常止め枠や吊り車枠をピン接合して、吊り車の垂直荷重をかご床側梁で受ける構造とすることで、現地での新規穴加工を不要とした(図4)。

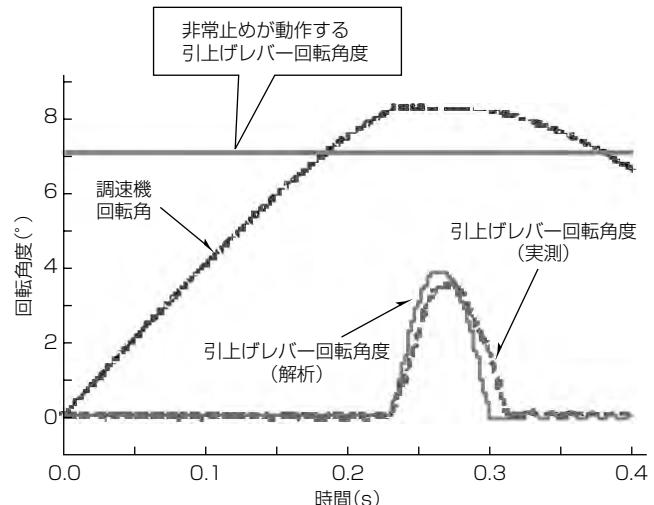


図3. 非常止め誤動作の解析及び実測結果

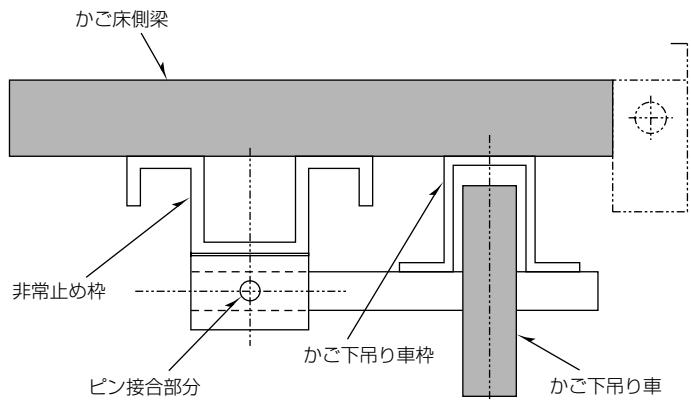


図4. かご下吊り車枠の取付け構造(側面図)

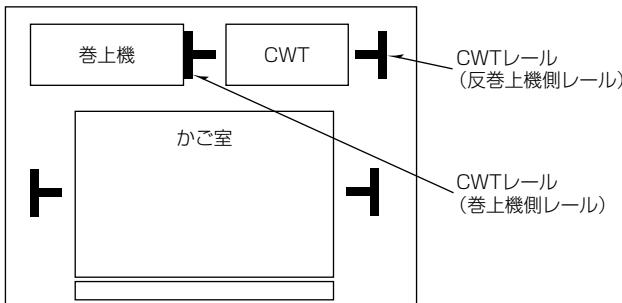


図 5. レールの位置



図 7. レール抱き合わせ状態(昇降路内)

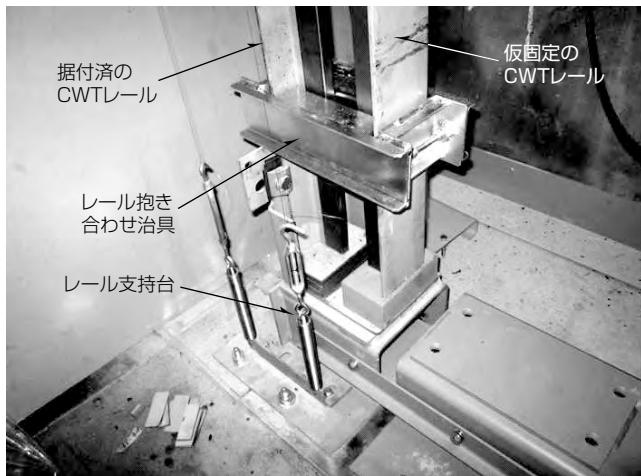


図 6. レール抱き合わせ状態(ピット部)

#### 4.4 つり合いおもり側レールの片側のみ先行据付け

卷上機台とつり合いおもり(CWT)側緩衝器台は一体構造とすると、連続停止期間中に据え付けしなくてはならず、エレベーターの終日停止期間が長くなってしまう。そこで、先付け可能なCWTレールの反卷上機側のレール(図5)を支持する部分を分割し、CWTレールの反卷上機側レール

も事前停止中に据付け作業を実施することとした(図6)。

さらに、図7のようにCWTレールの卷上機側レールを反卷上機側レールに抱き合わせ、図6のレール支持台に十分な強度で仮固定する。この作業を事前停止期間に実施することで、連続停止期間を短縮させた。

#### 5. む す び

EleFineだけでなく、モダニ製品の開発では、顧客の利便性を考慮して、停止時間を極力短くするように開発をしてきた。今後も更に短工期・低コストを目指すとともに、適用範囲を広げ、顧客に受け入れやすい製品を提供していく。

#### 参考文献

- (1) 油圧エレベータリニューアル『EleFine』の開発, MELTEC技報, 292, 7~13 (2012)

# セキュリティと照明設備の省エネルギー連携

桑原直樹\* 近藤純司†  
小早川浩之\*\* 星野一郎††  
安田晃久\*\*\*

*Lighting Control System using Human Location Data for Energy Saving*

Naoki Kuwahara, Hiroyuki Kohayakawa, Akihisa Yasuda, Junji Kondo, Ichiro Hoshino

## 要旨

CO<sub>2</sub>削減、電力不足への対応が社会的な課題となっている。そのような課題に対し、三菱電機ではセキュリティを核とした、オフィスビルや工場向けの省エネルギーソリューションの提案を行っている。本稿ではその一つであるセキュリティと照明設備との連携システムについて述べる。

当社では、入退室管理システムの通行情報を利用し、入室時に自席周辺の天井照明を点灯し、退室時に消灯することで照明の消費電力を削減する照明制御システムの開発を行っている。このシステムでは、入室後の人位置を把握することで更なる消費電力の削減が期待できる。

当社のハンズフリー入退室管理システムは、ID認証に無線式タグを用い、タグを持った人がアンテナに近づくだけで認証する。この仕組みを応用し、室内に点在させた、

アンテナでタグを捕捉することによって人の位置を把握する位置管理システムを新たに開発し、照明制御システムに適用した。タグを自席付近で検知したときには、照明制御システムが作業用の照度となるよう自席周辺照明を点灯し、それ以外のときは照度を落とすことで消費電力を抑制する。スポット点灯は快適性を損なうため、自席上だけでなく周辺の照明器具も点灯するよう調光制御する。

この照明制御システムを評価するため、当社オフィスビルで実証実験を実施した。その結果、照明の消費電力を54%削減し、快適性も多数のユーザーから不満なしとのアンケート回答を得た。

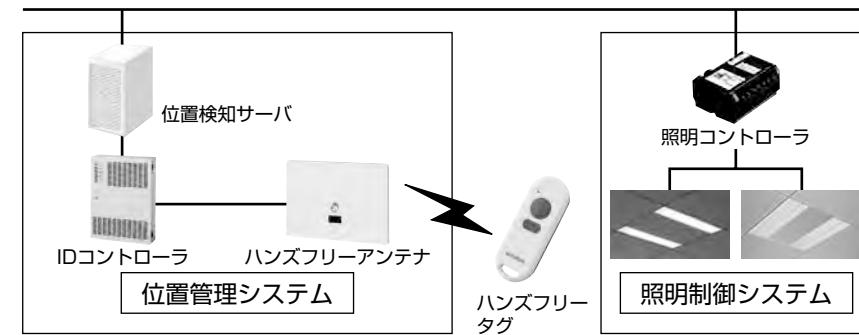
今後、更なる省エネルギー性能向上に向けた課題に取り組み、このシステムの早期実用化を目指す。

## オフィス内人の位置を把握し、照明の省エネルギー制御に活用

### 当社オフィスビルで実証実験



実験場所	先端技術総合研究所(一部)
対象エリア	座席数50席
照明器具	蛍光灯式照明器具66灯
入退室管理システム	ハンズフリーアンテナ20台(座席部分)



自席の天井照明を自動点灯・消灯  
タグのボタンで好みの照度に調整  
会議スペースにも適用可能

オフィス照明の省エネルギーを実現

ID : IDentification

## セキュリティと照明設備の省エネルギー連携

入退室管理システムを応用した位置管理システムと照明制御システムとを連携させ、オフィス照明の消費電力量を削減する実証実験を当社オフィスビルで実施した。室内に点在するアンテナが、認証用の無線式タグを検知し、人の位置を管理する。この情報を用いて、自席周辺にいるときには自席の天井照明を点灯し、離席時には照度を落とす(退室時には消灯)。

\*トータルセキュリティ事業推進部 \*\*環境ファシリティー営業推進部 \*\*\*情報技術総合研究所 †先端技術総合研究所 ††稻沢製作所

## 1. まえがき

当社では、ビルや工場、公共施設等における顧客の様々な課題に対して、ブランド名“DIGUARD(ディガード)”を冠し、セキュリティを核にしたソリューションの提供を行っている。今回、その一つである、セキュリティと照明設備との省エネルギー連携システムの取組みについて述べる。

近年、省エネ法や東京都条例の改正を背景にオフィスビルにおける省エネルギー対策の重要性が増している。とりわけ、東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、電力不足は深刻な社会問題となっており、限られた電力での生産・サービスの維持・向上に向け、オフィスにおける節電対策は喫緊の課題となっている。

節電・省エネルギーへの対策として、LED(Light Emitting Diode)照明やインバータ制御機器等の低消費電力型機器の導入が考えられるが、並行して、無駄な電力消費を減らすことが重要である。そこで当社では、“誰が”“何処に”といった人の位置情報を用いて、照明や空調設備における無駄な稼働を抑制し、節電・省エネルギーを図るシステムの開発を行っている。

本稿では、(株)三菱地所設計と共同発案した、照明設備との連携システムについて述べる。まず、ビル内の人位置を把握する位置管理システムと、位置情報を活用した照明制御システムについて述べ、これらの連携システムに対する実証実験及びその評価結果について述べる。

## 2. 位置管理システム

ビル内で、人の位置を知ることができれば様々なサービスに活用できる。例えば、本稿で述べる消費電力の削減やセキュリティの強化、サイネージを始めとするロケーションベースサービス(LBS)の提供、災害時の安否確認にも活用できる。これまで、入退室管理システムでは在室情報としてビル内の人位置を管理してきたが、部屋の中の人の位置がわからないことが課題であった。当社では、無線式タグを用いたハンズフリー(HF)入退室管理システム<sup>(1)</sup>が、アンテナに近づくだけでタグを認証することに着目し、室内に点在させたアンテナでタグを捕捉することで人の位置を把握する位置管理システムを新たに開発した(図1)。このシステムは入退室用と同じタグを使用するため、ユーザーに新たな負担を強いることなく位置検知が可能である。HF入退室管理システムとの違いを表1に示す。入退室管理システムが出入口という“点”で通行を管理するのに対し、位置管理システムでは複数のアンテナに跨(またが)った“面”で管理する点が異なっている。また、位置管理システムの場合には、アンテナで検知できない、又は複数のアンテナで同時検知してしまうといった課題がある。そこで、一定時間以上検知されなければ離席とみなすタイムアウト

処理や、複数のアンテナで多重検知した場合に位置を推定する処理等を実装した。

## 3. 照明制御システム

### 3.1 位置情報を活用した照明制御システム

ビル内オフィス専用部で、照明の消費電力は40%にも達する<sup>(2)</sup>ことから、無駄な点灯を減らすことは非常に重要である。しかしながら通常のオフィス照明の場合、天井照明を複数の就業者で共有するため、周囲への配慮などから消灯をためらうケースも少なくない。また、消し忘れる場合もある。このため、人の在／不在に応じてシステムが照明を自動制御することが望ましい。自動制御の例として省電センサを用いたシステムが実用化されているが、センサが人の在／不在を適切に検知できないことも多く、適用場所は共用部に限られる。そこで当社では、入退室管理システムの通行情報を活用し、入室時は自席周辺の天井照明を点灯し、退室時に消灯することで照明の消費電力を削減する照明制御システムの開発を行ってきた<sup>(3)</sup>。このシステムについては、評価実験で消費電力の削減効果があることが確認され、“三菱ビル設備オープン統合システムFacima BA-system”<sup>(4)</sup>のオプション機能として製品販売を行っている。今回、室内での人の位置を把握することで消費電力を更に削減することを狙い、入退室管理システムに代えて位置管理システムを適用した。

位置管理システムは、タグがどのアンテナエリア内にあるかを常に管理している。その状況に変化があった場合には、変化があったタグのIDとアンテナの場所を照明制御システムに連絡する。アンテナの場所が入口であった場合(入室の場合)には、自席付近の照明を低照度で点灯する(図2)。自席付近のアンテナであった場合には、作業可能な照度となるように自席付近の照明器具を点灯する。また、

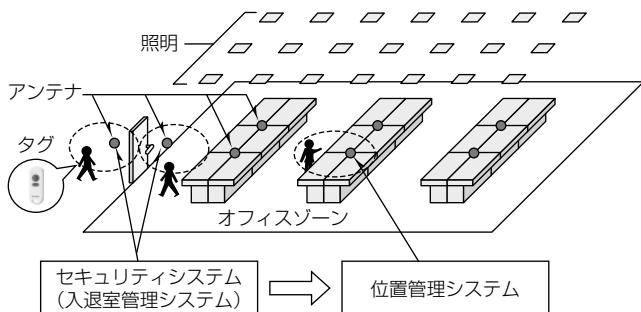


図1. 位置管理システム

表1. HF入退室管理システムとの比較

	HF入退室管理システム	位置管理システム
目的／主機能	扉に対する通行管理	ID別の位置管理
アンテナ設置場所	出入口付近	室内に点在
検知漏れ／多重検知対策		タイムアウト処理、位置推定処理、ほか

自席付近以外のアンテナで検知された場合には低照度に落として点灯する(出口にあるアンテナの場合は消灯)。入室時や離席時には、多少の省エネルギー効果を犠牲にしても安全性を重視し、低照度で点灯する。

### 3.2 調光制御

このシステムでは、机上面照度が目標値となるよう座席周辺の照明器具に対し調光率を設定する。この際、目標の机上面照度を得るために各周辺照明器具に設定する調光率は、座席ごとにシステム導入前に事前計算し、固定パターン化したものを用いる。これは計算リソースの少ない組み込み機器への実装を想定したためである。

続いて、調光率パターンの求め方について述べる(図3)。パターンは計算機上でパラメータを変化させ、最適解を求めて導出する。座席から有効半径内にある照明器具を抽出し、各器具に対する調光率を変えて、机上面照度が目標範囲内に収まるパターンの中から、消費電力が最少となるものを最適なパターンとして採用する。この際、調光率には上限を設けている。これによって、快適性を損なう座席上だけのスポット照明を避けることができ、周辺照明も含めた点灯となる。なお、これらのパターン導出の計算で、照明の消費電力は照明器具の特性カーブと調光率から、照度については逐点法(点光源の光度から計測対象面積を通過する光束量を求める方法)を用いて計算する。

## 4. 実験と評価

### 4.1 実証実験

先に述べた照明制御システムに対する評価のため、関西

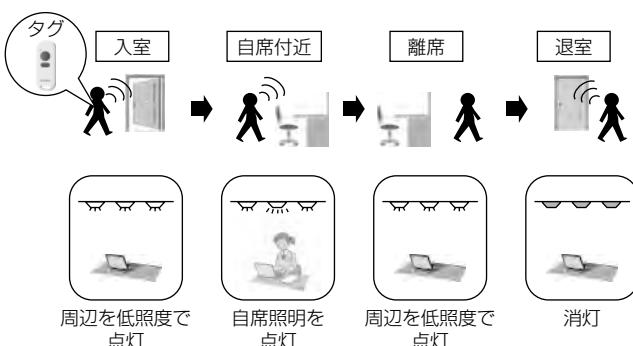


図2. 位置管理システムと連携した照明制御

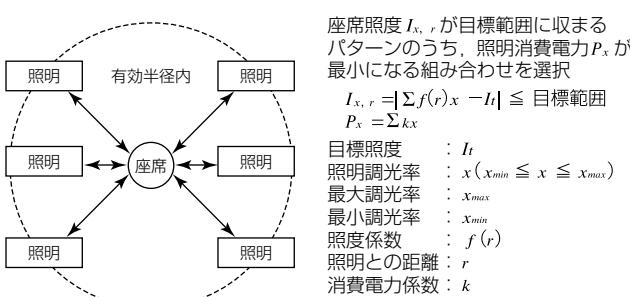


図3. 調光率パターンの導出

地区にある当社先端技術総合研究所の事務所棟の一画で実証実験を行った。実験環境諸元を表2に示す。照明器具66台、50名で実施し、机上面照度は在席時500ルクス、離席時は200ルクスとした。今回の実験では、エリア内にある一部会議室にもこのシステムを導入した。また、作業に応じて照度調整を可能とするため、タグに付属したボタンで照度変更できるようにした。実証実験システムを図4に示す。位置管理システムは、アンテナとコントローラ、位置検知サーバで構成している。位置検知サーバは、タグの位置を管理し、変化があれば照明制御サーバへ伝える役割を持つ。照明制御サーバは、タグの移動に併せて調光制御パターンを選択し、BACnet<sup>(注1)</sup>通信で照明器具に対するコマンドを発行し調光制御を行う。

(注1) BACnet: インテリジェントビル用ネットワークのための通信プロトコル規格。米国冷暖房空調工業会(ASHRAE)の登録商標である。

### 4.2 評価結果

#### 4.2.1 消費電力

この実験での調光制御のコマンド履歴から計算した消費電力量推移を図5に示す。プロットは1日当たりの推定消費電力量である。参考のため、通常運用(その日の最初の入室時刻から最終の退出時刻まで一律70%の調光率で全照明を点灯)した場合の推定消費電力量も同時に示した。この照明制御アルゴリズムを用いた場合の平均は35.0kWh、通常運用の場合では平均76.5kWhであった。出張や就業時間等、職場環境に応じて人の在／不在状況は変動するため一概に評価することは難しいが、この実験環境では照明の

表2. 実験環境諸元

実験期間	2011年7月1日～
ビル形態	オフィスビル
対象座席数	50席+会議室2室
照明器具数	66台
アンテナ数	20個(座席部分だけ)
業務形態	研究部門
勤務時間	8:30～17:00(残業あり)
照明スケジュール制御	昼休み消灯(12:30～13:00)
目標机上面照度	500ルクス(在席時) 200ルクス(離席時)

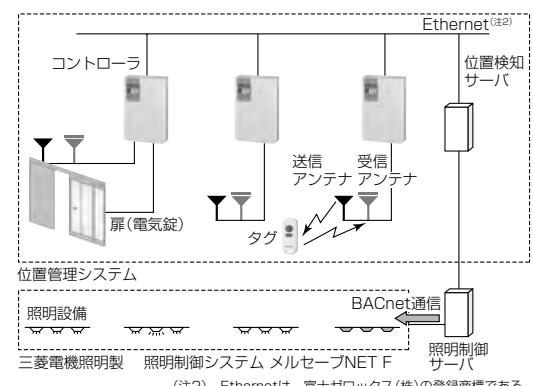


図4. 実証実験システム

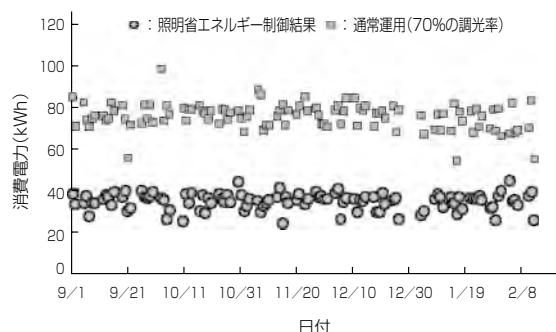


図5. 消費電力の比較

消費電力に対し54%の削減効果があった。

次に、1人当たりの消費電力について考察する。図6は、図5の1日当たりの消費電力を総在席時間で除した値の頻度分布グラフである。0.21~0.26kWの範囲に全体の75%が集中しており、これが実験環境における1人当たりの単位時間の消費電力量である。この照明制御アルゴリズムでは単位時間当たりの消費電力の変動は少ないと予測されたが、反して、消費電力の低い0.16kWのところにもピークが見られた。これは、在室者の座席が近いなどの理由で効率良く照明設備を使っていたものと推定される。言い換えると、座席配置の工夫などによって、更に消費電力を削減できる可能性があることを示していると考える。

#### 4.2.2 快適性

このシステムでは、照明がまばらに点灯するため、快適性についてのユーザーアンケートを実施した。その結果、照度に関しては“特に不満なし”との回答が約80%に達した。照明がまばらに点灯することについては“省エネルギーへの積極貢献”との前向きな意見も多く聞かれた。

#### 4.2.3 机上面照度

調光制御のコマンド履歴から、逐点法を使って各座席の机上面照度を算出した。自席付近に居る際の、机上面照度の時間分布を表3に示す。91%が500~750ルクスの間で推移しており、安定して照度を得られていることがわかった。机上面照度は平均642ルクスであり、目標の500ルクスを28%超過した。これは今回の調光制御では固定パターンを用いたため、隣席に対する照明機器の影響を考慮していないことが原因である。これについては、隣席照明の影響を考慮したパターンを準備することで改善できる見通しである。

### 5. 今後の課題

今回の実験では、室内の人の位置管理を活用することで照明の消費電力を削減できることがわかった。しかしながら、職場環境によって消費電力の削減幅は変動するため、個々のオフィス環境での削減効果を予測する仕組みが必要である。当社では、効果を事前見積りするシミュレーション技術開発に取り組んでいるとともに、その精度を検証するための実験も進めている<sup>(5)(6)</sup>。

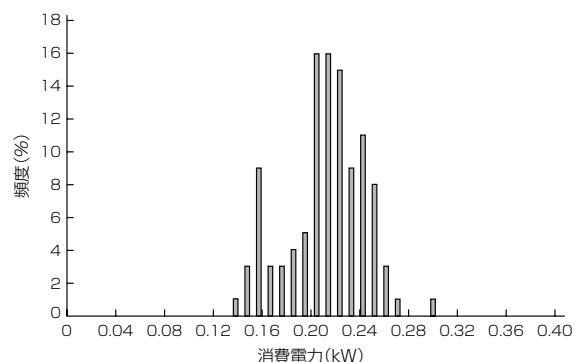


図6. 1人当たりの単位時間消費電力の頻度分布

表3. 点灯時の机上面照度の時間分布

照度(lx)	~400	400	500	600	700	800	900	1,000~
時間分布(%)	0	3	20	40	32	6	0	0

### 6. むすび

無線式タグを用いた位置管理システムと、その省エネルギー応用システムとして照明設備との連携システムについて述べた。今後、このシステムの実用化を目指すとともに、空調設備などへも展開し、ビル全体の消費電力を削減していくことで、省エネルギー社会へ貢献していく所存である。

### 参考文献

- (1) 星野一郎, ほか:ハンズフリー入退室管理システム, 三菱電機技報, 86, No.8, 469~472 (2012)
- (2) オフィスビルのエネルギー消費の特徴, (財)省エネルギーセンター  
[http://www.eccj.or.jp/office\\_bldg/01.html](http://www.eccj.or.jp/office_bldg/01.html)
- (3) 金子洋介, ほか:入退室管理-照明連携省エネ制御システム, 三菱電機技報, 83, No.9, 551~554 (2009)
- (4) 渡邊啓嗣, ほか:三菱ビル設備オープン統合システム“Facima BA-system”, 三菱電機技報, 83, No.9, 547~550 (2009)
- (5) 「オフィスビル省エネシミュレーション技術」を開発, 三菱電機2011年2月16日付ニュースリリース  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2011/0216-c.html>
- (6) 「オフィスビル省エネシミュレーション技術」を適用した省エネ実証評価を開始, 三菱電機2011年6月30日付ニュースリリース  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2011/0630-a.html>

# データセンター向けセキュリティソリューション

大庭寿康\*  
井上智善\*

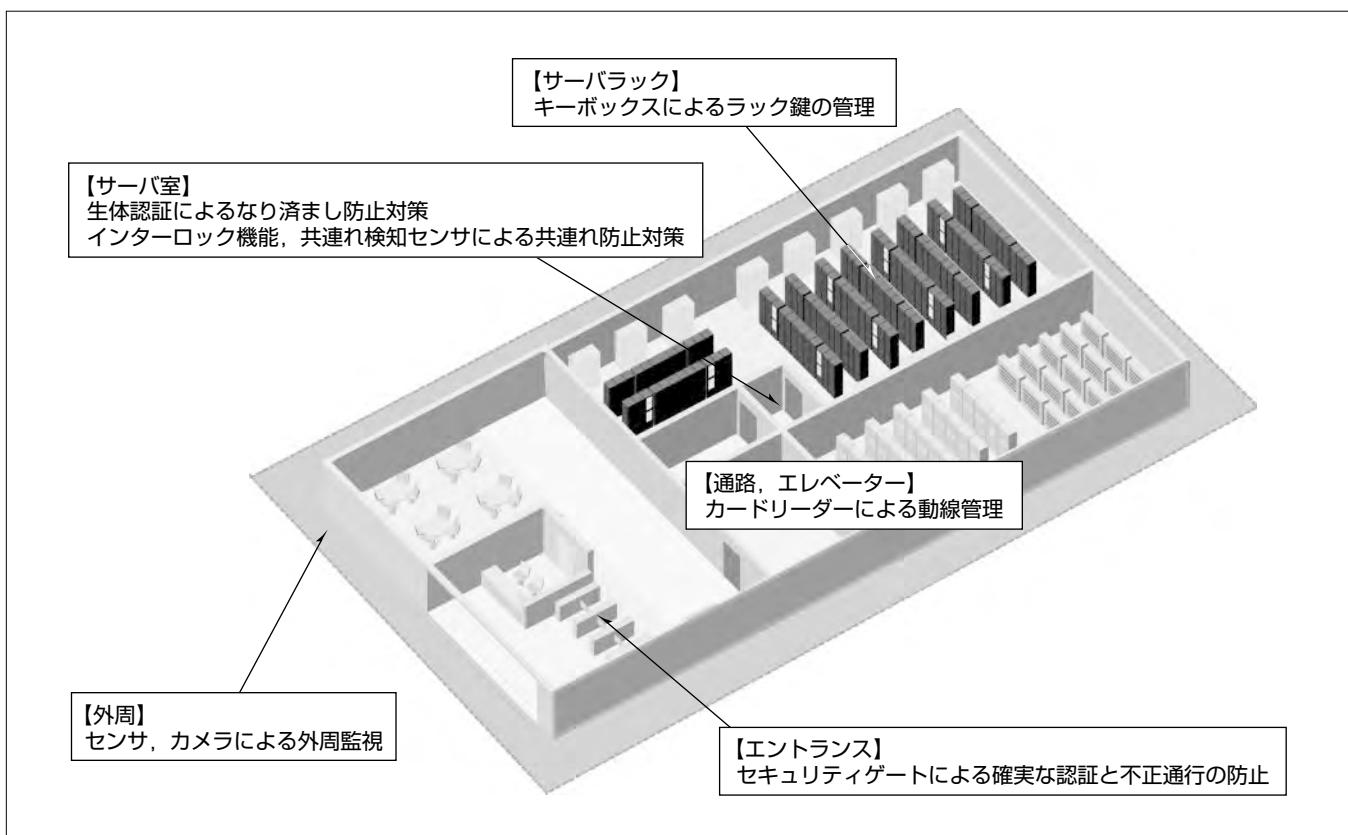
Security Solution for Data Center

Toshiyasu Oba, Tomoyoshi Inoue

## 要旨

“クラウド”という言葉が一般的に認知され、本格的なクラウド時代の到来に加え、2011年3月に発生した東日本大震災とこれに伴う計画停電の影響によって、BCP(事業継続計画)の観点から、災害に強いファシリティと安定した電力供給能力を持つデータセンターの需要が高まっている。2010年には日本データセンター協会が“データセンターファシリティスタンダード<sup>(1)</sup>”を策定した。三菱電機は、この中で規定される最高レベル“ティア4”を満たすセキュリティを三菱トータルセキュリティソリューション“DIGUARD(ディガード)”で提供する。データセンターを守るために、正常ルートで立ち入る者の認証を行う“アクセス管理”と、フェンス乗り越えなどによる不正ルートからの侵入を監視する“外周監視”が必要となる。外周監視

では、設置環境や警戒レベルに応じたセンサの選定が重要となる。建物内のアクセス管理では、エントランスでのセキュリティゲートによる一人一人の確実な認証と不正通行の防止が必要となる。最重要エリアとなるサーバ室へのアクセスには、万人不同的な生体情報を用いた生体認証によるなり済ましの防止対策を行う。さらに、インターロック機能と共に連れ検知センサの組合せによる、共連れ防止対策を行うことで、悪意を持った不正な侵入をも防止する、非常に高いレベルのセキュリティを提供することが可能である。サーバラックについては、キーボックスを利用することで、セキュリティと運用負荷の軽減を同時に解決することが可能であり、DIGUARDによって“外周”から“サーバラック”にいたるまでの全てのセキュリティをサポートする。



## データセンター向けセキュリティソリューション

三菱のトータルセキュリティソリューションDIGUARDでは、敷地の外周から建物、サーバ室、サーバラックにいたるまで、データセンターで求められる高いレベルのセキュリティを丸ごと提供することで、安全・安心なデータセンター作りをサポートする。

## 1. まえがき

クラウド時代の到来によるサーバの集中化に加えて、2011年3月に発生した東日本大震災によってBCP(事業継続計画)の観点から、データセンターの需要が高まっている。

データセンターのセキュリティはこれまで事業者が独自の基準で行っていたが、2010年10月に日本データセンター協会によってデータセンターで必要な設備の基準として“データセンターファシリティスタンダード(以下“JDCC FS”という。)”が策定され、立地条件、建物本体、電源設備、空調設備、通信設備と並び、セキュリティについても“ティア1”～“ティア4”的基準が示されることになった。“ティア”とは“Tier”であり“階層”的意味を持つ。JDCC FSでは階層ごとに満たすべき基準を規定することで、データセンターの設備がどの階層にあたるかを指示し、データセンター事業者、利用者、建築・設備の設計者、運用保守に携わる人等、データセンターにかかわる様々な人に広く利用されることを目的としている。

本稿ではJDCC FSで規定される“外周監視”と“アクセス管理”的ぞぞれに対して、最高レベル“ティア4”を満たすセキュリティソリューションについて述べる。

## 2. 外周監視

“ティア4”では建物内のカメラによる監視に加えて、敷地外周部での人又はカメラ、センサによる監視が必要であると規定している。昨今増加している郊外型の大型データセンターは広大な敷地を持っているため、その全てを人によって監視することはコスト面からも難しく、カメラ、センサによる外周監視システムの導入が有効である。

### 2.1 外周監視のセンサ

敷地外周部の監視、いわゆる外周監視をする上で重要なのはセンサの選定である。選定の誤りによって誤報の多発や、失報の発生といった事象が発生し、本来の目的を達成できないこととなる。センサの選定はセンサの特徴を踏まえて警戒するレベルや設置環境を十分に考慮して行う必要がある。外周監視のセンサとして使用されている代表的なセンサを次に示す。

### (1) 赤外線センサ(線警戒(面警戒))

赤外線ビームの遮断によって侵入を検知する線警戒のセンサ(多段化による面警戒も可)である。

### (2) 光ファイバセンサ(面警戒)

フェンスに取り付けた光ファイバの振動や検知線張力で生じる光の歪みによって侵入を検知する面警戒のセンサである。

### (3) 電波式センサ(空間警戒)

2本のセンサケーブル間に形成される微弱な電界の変動によって侵入を検知する空間警戒のセンサ(図1)である。

## 2.2 センサの選定

センサにはそれぞれ特徴があり、検知性能でいえば、“線警戒”→“面警戒”→“空間警戒”的順に侵入を検知する能力が高くなり、すり抜けが困難となる。また、設置環境も重要なポイントになるため、表1に示すセンサの特徴を踏まえて選定する。

## 3. アクセス管理

“ティア4”的アクセス管理としては“敷地”“建物”“サーバ室”“ラック(サーバラック)”の4つのエリアに対してアクセス管理を規定している。データセンターという特性を踏まえると、“敷地”については工場や、オフィスビルのそれと大きな違いはないため、今回は“建物”“サーバ室”“ラック”的アクセス管理について述べる。

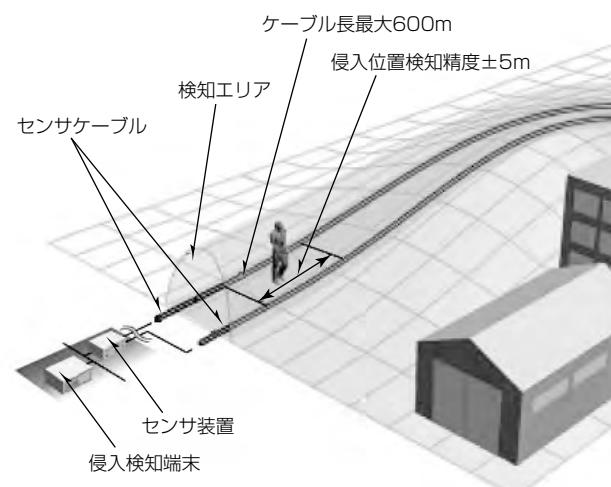


図1. 電波式センサ“MELWATCH”的イメージ

表1. センサの主な特徴

方式	赤外線センサ	光ファイバセンサ	電波式センサ
検知性能	・植栽、小動物、飛来物等による誤報あり ・赤外線ビームのすり抜けによる失報の可能性あり	・フェンス面への接触が必要 ・テンション式、断線式、振動式の選択が可能	・植栽、小動物等による誤報は少ない ・空間警戒のためすり抜けによる失報なし
検知位置精度	・数m幅も可能だがセンサ数増大、通常50m幅以上	・10m幅以上で任意に設定が可能	・±5mの精度(10m幅)で侵入位置の検出可能
耐環境性	・豪雨、濃霧、着雪でビーム減衰、地盤沈下での光軸ずれ障害あり	・豪雨、濃霧、着雪、雷害の影響を受けにくい	・豪雨、濃霧、着雪の影響を受けにくい ・監視ラインの屈曲や地形の傾斜に対応可能
設置環境	・ボール、壁面等への設置が可能	・フェンスへの設置が可能	・地面への転がし敷設、埋設も可能
保守性	・投光部の清掃や光軸調整が必要	・目視点検程度だけ	・センサケーブルはメンテナンスフリー

### 3.1 “建物”のアクセス管理

#### (1) エントランス

建物内で最初に出てくるアクセス管理の境界が、エントランスである。ここでの目的は、一人一人の確実な認証と、不正通行を防ぐことである。セキュリティゲートの導入が有効である。データセンターでは、通常のオフィスに比べ、より確実な認証と不正通行を防ぐため、物理的に乗り越えを防止できるようなタイプが多く導入されている(図2)。

#### (2) 通路扉、エレベーター

サーバは利用者が用意し、場所、回線、電源等の設備を提供するコロケーションサービスを行うデータセンターでは様々な企業が出入するため、利用者が自社サーバの設置フロア、エリア以外に立ち入ることができないよう、利用者の動線を制限することが必要となる。フロアの制限はエレベーターのかご内にカードリーダーを設置し、共用フロア以外は行き先階のボタンを無効にしておく。利用者はカード認証をすることで許可されたフロアのボタンが有効となり、そのフロアへの立入りが可能となる。

### 3.2 “サーバ室”のアクセス管理

“ティア4”では“サーバ室”への入室には、カード認証だけでなく、テンキー(暗証番号)又は生体認証による、なり済まし防止対策、さらに、共連れ防止対策が必要であると規定している。



図2. セキュリティゲート

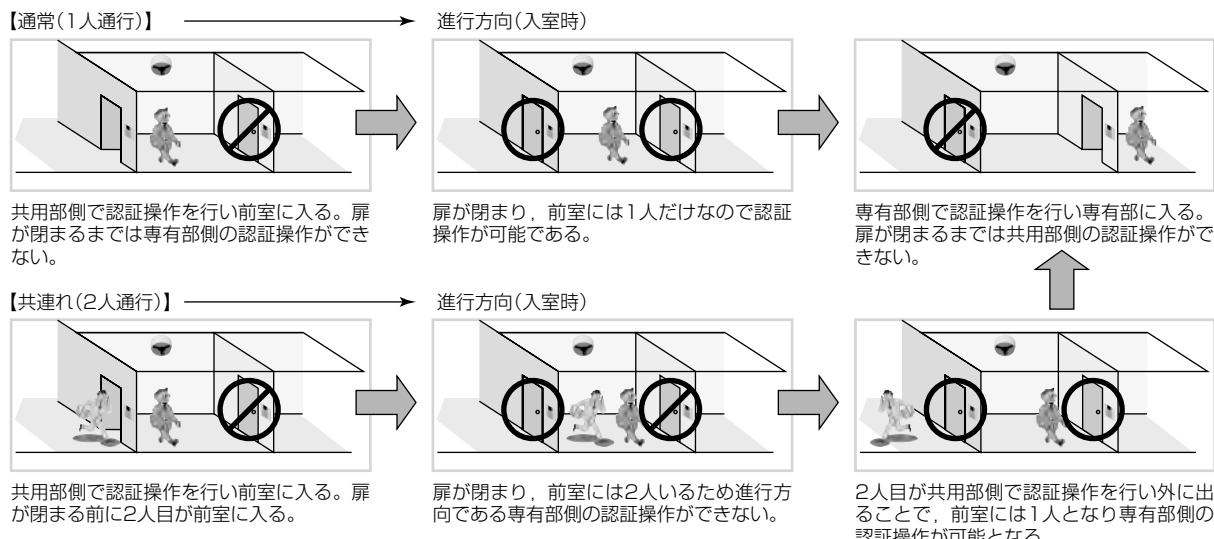


図3. インターロック機能と共連れ検知センサの利用イメージ

#### 3.2.1 なり済まし防止対策

カードだけの認証では、紛失、盗難及び、譲渡によって不正にカードを入手した人物が正規所有者になり済まして入室ができてしまう。この対策としてテンキー又は生体認証の導入が考えられるが、テンキーによる対策は紛失、盗難によるなり済ましを防ぐことはできても、(故意の)譲渡によるなり済ましは暗証番号も同時に漏えいする可能性が高いため、防ぐことができない。このため、確実になり済ましを防止するには生体認証の導入が必要となる。

#### 3.2.2 共連れ防止対策

共連れを防ぐためには、確実な一人通行をさせる仕組みが必要となる。今回はインターロック機能と共連れ検知センサの組合せによる共連れ防止対策について述べる。

##### (1) インターロック機能

入退室管理におけるインターロック機能とは、1つの部屋で、同時に2か所以上の扉を開扉させないようにする機能である。共連れ防止対策では、サーバ室の入り口に前室を作り、サーバ室側の扉が開扉しているときは反対側の扉が開扉されないようにすることで、後から来た人物が前室に入ることを防ぐ。しかし、これだけでは前室内にはじめから2人の人物がいた場合に、共連れが可能になってしまう。これを防ぐために、必要となるものが共連れ検知センサである。

##### (2) 共連れ検知センサ

共連れ検知センサは、2組のステレオ画像計測によって得られる情報(人物の高さ・面積等)をもとに検知エリア内の人数を高精度に判定する。前室の大きさを検知エリアに合わせることで、前室内の人数を判定し、2人以上を検知した場合は、サーバ室側の認証操作を禁止することで、サーバ室に一人ずつしか入ることができないようにする。

図3にインターロック機能と共連れ検知センサの利用イメージ、図4に共連れ検知センサの外観を示す。

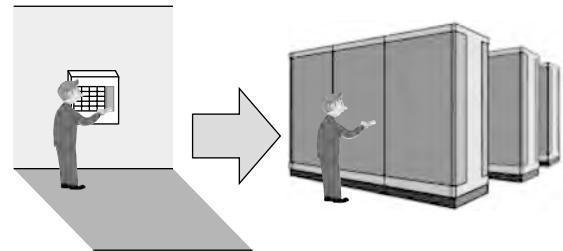


図4. 共連れ検知センサ



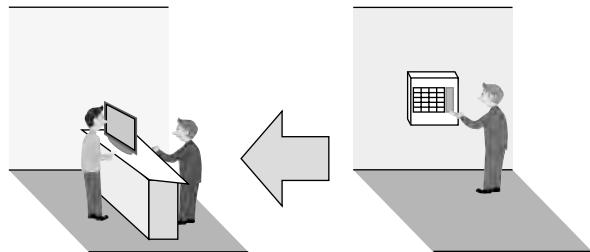
図5. キーボックス

## 【鍵の取出し】



カードを使用してキーボックスから作業するラックの鍵を取り出し、作業を行う。

## 【鍵の返却】



カードを使用してキーボックスにラックの鍵を返却し、受付で返却の確認を受けて退館する。

図6. キーボックスの運用イメージ

## 3.3 “ラック”的アクセス管理

“ティア4”では“ラック”的アクセス管理として鍵又は、カード認証・生体認証の使用を規定している。鍵による管理が最も一般的であるが、鍵の管理を人が行う場合は、貸出し、返却、及び履歴の記入等、管理業務による運用負荷が高くなり、誤った鍵を貸し出すなどのミスも懸念される。一方、ラックの開閉にカード認証・生体認証を使用することで運用負荷は軽減できるが、ラック自体に認証装置が必要となるため初期導入時やラック増設時のコストが非常に高額となる。この問題を同時に解決する方法が、キーボックスによる鍵の管理である。

カードリーダーを内蔵したキーボックス(図5)によってラックの鍵を管理することで、利用者自身で鍵の取り出し、返却を行うことが可能となる。利用者が取り出せる鍵はあらかじめ設定しておくため、誤って別の鍵を使われる心配もなくなり、扉の通行履歴と同様に誰が、いつ鍵を取り出し、返却したのかは履歴としてシステムに自動で蓄積される。また、鍵の返却状況はセンター装置で確認が可能なため、受付にセンター装置を設置することで、退館時に鍵の返却を確認することが可能となる。

図6にキーボックスの運用イメージを示す。

## 4. むすび

データセンターに求められるセキュリティについて、“JDCC FS”で規定する最高レベル“ティア4”を満足する具体的なセキュリティソリューションを一部運用も交えて述べた。DIGUARDでは今回述べたソリューション以外にも、セキュリティロッカーや、昨今特に重要なテーマとなっている省エネルギーに関連したソリューションとして、入退室管理システムと照明システムを連携させ、無駄なく、快適に照明を制御することが可能なソリューションなど、様々なラインアップを揃(そろ)えている。

郊外型データセンターの増加や、コンテナ型のデータセンターの登場等、データセンターの需要が高まるとともに、その形態も変化してきているが、今後もDIGUARDの様々なラインアップから最適なソリューションを提供していく。

## 参考文献

- (1) データセンターファシリティスタンダードの概要、日本データセンター協会 (2010)

星野一郎\*  
大橋岳洋\*  
近藤純司\*\*

# ハンズフリー入退室管理システム

Handsfree Access Control System for Entering and Leaving Room

Ichiro Hoshino, Takehiro Ohashi, Junji Kondo

## 要 旨

三菱統合ビルセキュリティシステム“MELSAFETY-G”に対応する新しい個人認証端末としてハンズフリー認証装置を開発、2010年11月から販売開始した。

この製品は車両用キーレスエントリー（スマートキー）の無線通信タグの技術を利用し、“ハンズフリー（手ぶら認証）”を実現した。ポケットやストラップにタグを身につけた利用者が扉に近づくだけで特別な操作をしなくとも個人認証・入退室（扉の通行制御）が可能である。手荷物などで両手がふさがった状態でも認証できるので、工場やクリーンルーム、病院、福祉施設などの利用に適している。また、様々な運用シーンを想定し、ハンズフリーモード以外にセンサモード、ボタンモードの3つの動作モードを持つ

ことも一つの特長である。

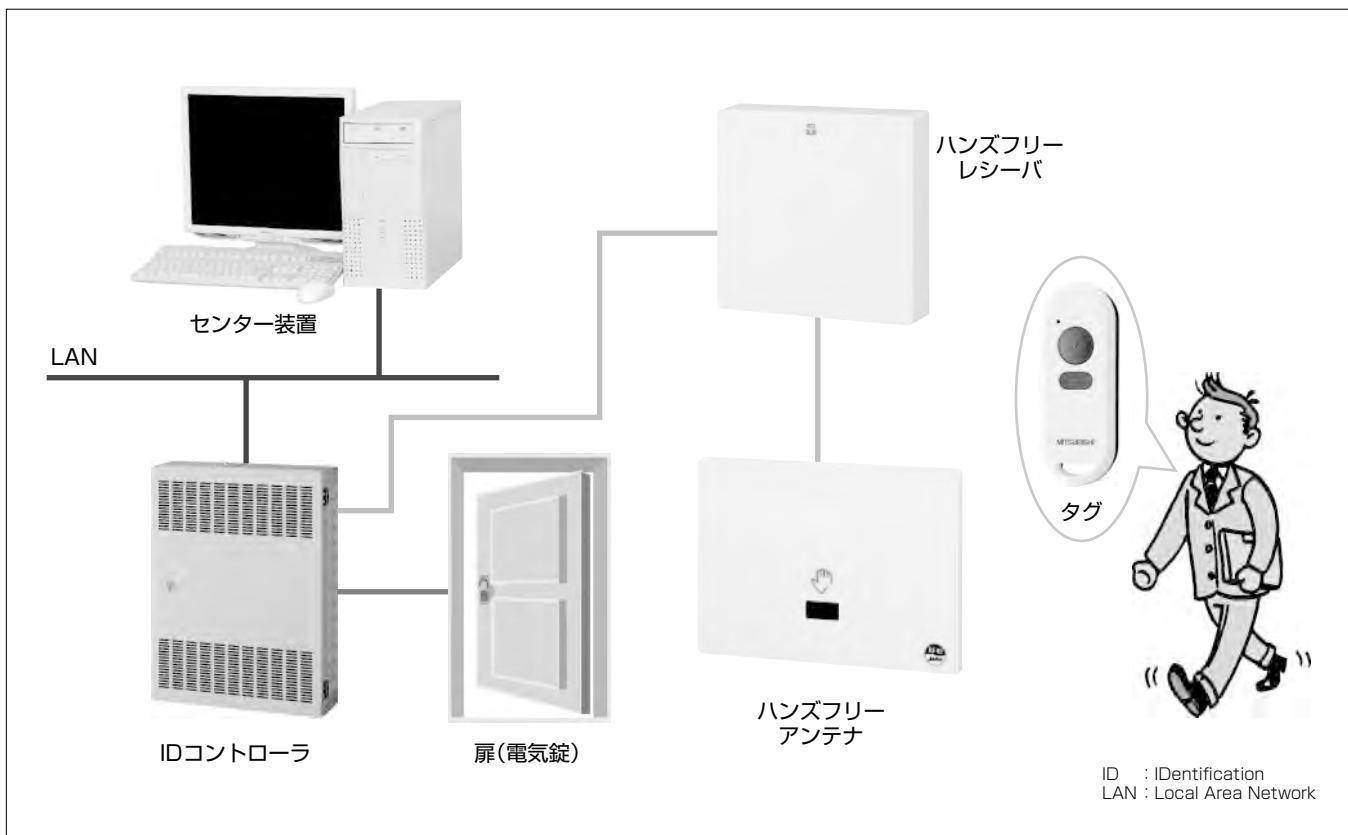
ハードウェアは、以下の機器で構成している。

- ・ハンズフリータグ
- ・ハンズフリーアンテナ
- ・ハンズフリーレシーバ

各機器がLF(Low Frequency)電波(135KHz)及びUHF(Ultra High Frequency)電波(315MHz)の無線通信をすることで個人認証（タグの認証）を行っている。

一方、ソフトウェアでは、認証プロトコルを工夫することによって以下の2点を実現した。

- ・タグ検知範囲内における複数利用者の同時認証
- ・タグの応答抑制による電池の長寿命化



## ハンズフリー入退室管理システムの構成

タグを携帯した利用者がハンズフリーアンテナの半径2m以内に近づくとタグが自動的に起動し、固有ID番号をレシーバへ送信する。送信されたID番号をIDコントローラで個人認証し、照合OKであれば扉（電気錠）を解錠する。センター装置ではタグのID番号登録や通行履歴を確認することができる。

## 1. まえがき

近年の犯罪情勢や社会環境の変化に対して、個人情報保護法や内部統制(日本版SOX(Sarbanes-OXley))法など法規制強化が進んでいる。また企業のコンプライアンス意識も向上してきている。このような背景からセキュリティシステムは必要な設備との認識が定着化しており、オフィスビルだけでなく工場、病院、学校などへのセキュリティシステムの導入も進んでいる。

三菱電機では三菱統合ビルセキュリティシステム“MELSAFETY-G”を販売している。この製品は主にセンター装置、電気錠コントローラ、個人認証端末で構成しており、この個人認証端末として非接触カードリーダー、指紋認証装置をラインアップしてきた。今回、これに加わる新しい個人認証端末としてハンズフリー認証装置を開発、2010年11月から販売開始した。この装置は車両用キーレスエントリー(スマートキー)の無線通信タグの技術を利用し、このタグを携帯することで特別な操作をしなくとも個人認証・入退室(扉の通行制御)が可能である。

本稿では、ハンズフリー入退室管理システムの特長について述べる。

## 2. システム機能

### 2.1 ハンズフリー認証装置

この装置の最大の特長は“ハンズフリー(手ぶら認証)”にある。ポケットやストラップでタグを身につけた利用者が扉に近づくだけで個人認証し、扉を解錠する。手荷物などで両手がふさがった状態でも認証できるので、例えば、工場や倉庫など両手で台車を押して通る場所や、食品工場のように衛生的な面でカードの利用が好ましくない場所、防塵(ぼうじん)服を着用していてカードの取り出せないクリーンルーム、車椅子利用者など通常の高さに設置されたカードリーダーに手が届かない人の多い病院や福祉施設などの利用にも適している。図1にハンズフリー認証による入退出のイメージを示す。

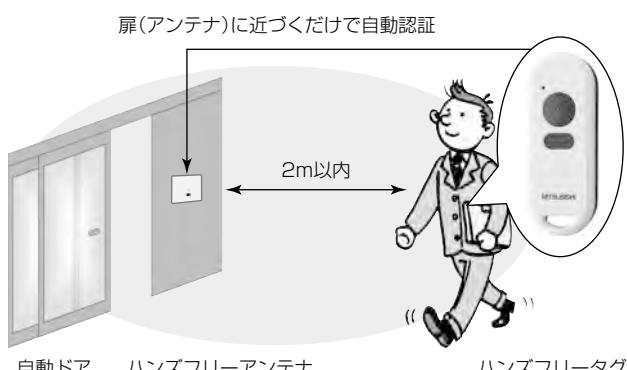


図1. ハンズフリー認証による入退室

表1. 各モードと操作方法

モード	操作方法(入退室方法)
ハンズフリーモード	ハンズフリーアンテナに近づく
センサモード	ハンズフリーアンテナに手をかざす
ボタンモード	ハンズフリータグのボタンを押す

この仕組みは扉付近に設置したアンテナが半径約2mのLF電波(135KHz)を送出し、球状のタグ検知範囲を形成することからなる。このLF電波をタグが受信することによって起動、固有ID番号をUHF電波(315MHz)で応答することで個人認証する。なお、タグ検知範囲内に限りCPU(Central Processing Unit)起動・通信処理を行い、通常はスリープ(待機状態)を保持するセミアクティブ方式とすることでタグの電池寿命にも配慮している。

### 2.2 3つの動作モード

ハンズフリー入退室管理システムでは様々な運用シーンを想定して、次の3つの動作モードに対応している(表1)。また、動作モードは扉ごとに設定・運用することができる。

#### (1) ハンズフリーモード

アンテナが形成するタグ検知範囲(最大2m)にタグを携帯した利用者が近づくと自動的に個人認証し、扉を解錠する。最も利便性を優先したモードである。

#### (2) センサモード

タグを携帯した利用者がアンテナのセンサ部に意思確認として手をかざすとタグを個人認証し、扉を解錠する。サーバルームや工場のクリーンルームに有効である。

#### (3) ボタンモード

タグを携帯した利用者がアンテナ付近でタグの解錠ボタンを押すと個人認証し、扉を解錠する。車椅子などに乗った状態で入室したい場合に有効である。

### 2.3 利用者の同時認証

先に述べたハンズフリーモードで利用者は特別な操作を行わないため、複数の利用者が同時にタグの検知範囲内へ到達することが考えられる。このような場合にも利用者(タグ)を取り逃がすことなく、かつ応答性能を確保できるよう最大4つのタグを同時に認証可能な通信方式を採用した。

### 2.4 スタンドアロンタイプ

荷物の搬入口など1~2扉に限定してハンズフリーによる入退室管理を導入したいというニーズがある。このような場合のため、電気錠コントローラとハンズフリー認証装置だけで構成する低価格なスタンドアロンタイプもラインアップした。

## 3. ハードウェア

図2にハンズフリー入退室管理システムのハードウェア構成を示す。

### 3.1 ハンズフリータグ

ハンズフリータグは、無線通信を行うアンテナ、解錠操作や警備切り替え操作に使用する2つのボタン、ボタンの操作に連動して点灯するLED(Light Emitting Diode)、及びそれらハードウェアを制御する制御回路で構成している。電源には、コイン型リチウム電池(CR2032)を使用する。また、携帯性を考慮し、外形は手に馴染(なじ)むラウンドフォルムとし、ネックストラップ用リングを備え、生活防水構造としつつ、外形厚は10mmとしている。ハンズフリータグの機器仕様を表2に示す。

### 3.2 ハンズフリーアンテナ

ハンズフリーアンテナは、LF電波の送信アンテナ、解錠操作に使用する手かざしセンサ、システム状態を示すLEDとブザー、及びそれらハードウェアを制御する制御回路で構成している。なお、LF電波の送信制御は、ハンズフリーレシーバ内蔵のスマートリーダーで行う。電源は、ハンズフリーレシーバから供給される。ハンズフリーアンテナの機器仕様を表3に示す。

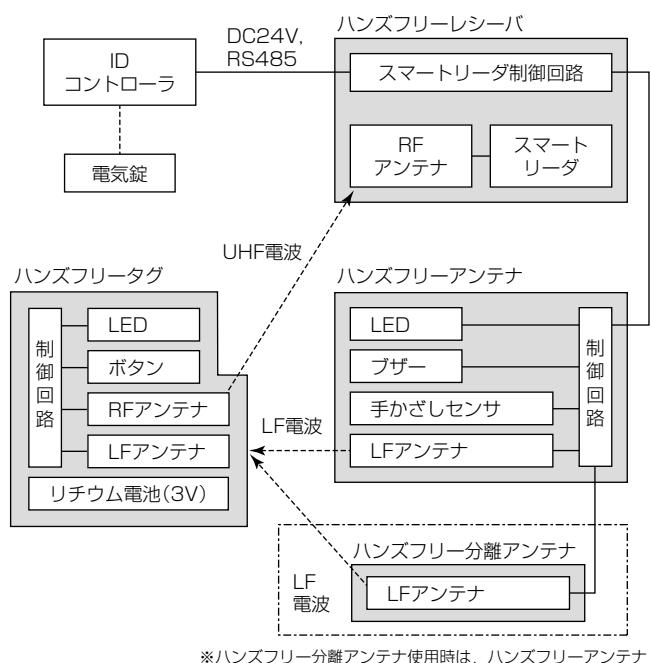


図2. ハンズフリー入退室管理システムのハードウェア構成

表2. ハンズフリータグの機器仕様

項目	仕様
電波法区分	微弱無線局
送信周波数	315MHz
送信速度	4 kbps
送信距離	最大 7 m
電池寿命	約 2 年
ボタン寿命	5 万回
質量	25g
環境条件	温度：-10~50℃、湿度：35~80%RH
電池交換	マイナスドライバーで交換可能

タグ検出距離は、LFアンテナ電流制限回路を切り換えることで、中距離(0.8~1 m)や短距離(約0.5m)設定も可能である。

なお、ハンズフリーアンテナをドアノブ近くに設置困難でタグ検出距離が不足する場合は、小型でドア上部などにも設置可能なハンズフリー分離アンテナを併設することで、改善を図ることも可能である。ハンズフリー分離アンテナの機器仕様を表4に示す。

### 3.3 ハンズフリーレシーバ

ハンズフリーレシーバは、UHF電波の受信アンテナ、LF電波送信制御とUHF電波受信制御を行うスマートリーダー、スマートリーダーとハンズフリーアンテナやIDコントローラとの通信を制御するスマートリーダー制御回路で構成している。電源は、上位装置であるIDコントローラから供給される。ハンズフリーレシーバの機器仕様を表5に示す。

## 4. ソフトウェア

### 4.1 複数同時認証

入退室管理システムは、ビル、工場、病院など様々な場所に導入される。大規模なビルに導入された場合、利用者の数は数万人に達する場合もある。また、ハンズフリー入退室管理システムでは、ハンズフリーアンテナから半径2 m以内の利用者について認証を行うため、例えばタグを持った複数の人がタグ検知範囲に近づいた際に、複数のタグを認証する必要がある。このことから、

表3. ハンズフリーアンテナの機器仕様

項目	仕様
電波法区分	微弱無線局
送信周波数	135kHz
送信速度	1.4~2.4kbps
タグ検知距離	最大 2 m
質量	260g
環境条件	温度：-10~40℃、湿度：35~80%RH

表4. ハンズフリー分離アンテナの機器仕様

項目	仕様
電波法区分	微弱無線局
送信周波数	135kHz
送信速度	1.4~2.4kbps
タグ検知距離	最大 2 m
外形サイズ	W145×H33×D21.5(mm)
質量	100g
環境条件	温度：-10~45℃、湿度：35~90%RH 防滴性能あり

表5. ハンズフリーレシーバの機器仕様

項目	仕様
質量	600g
環境条件	温度：0~40℃、湿度：35~80%RH

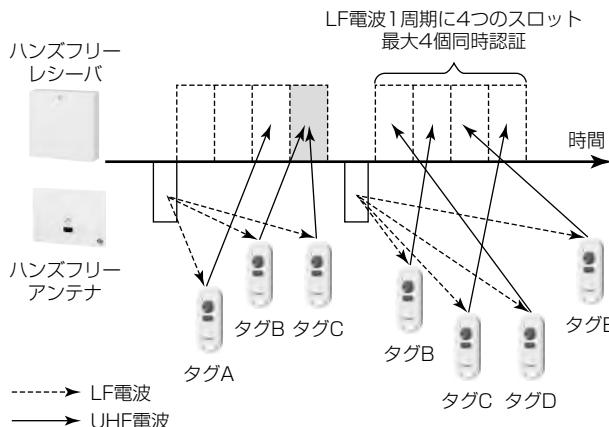


図3. 複数同時認証プロトコル

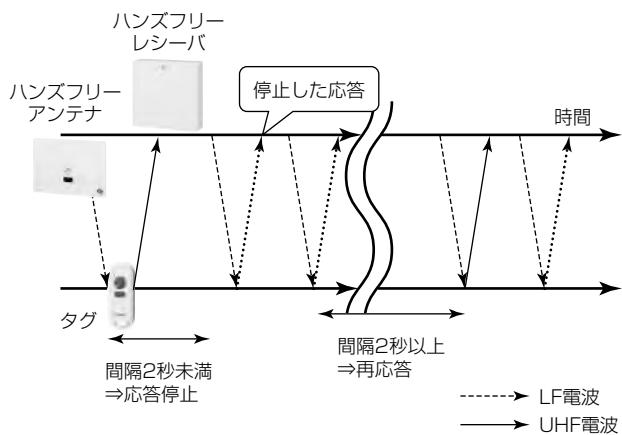


図4. タグの送信抑制プロトコル

- (1) 数万個以上のタグを登録可能
- (2) 任意の複数個のタグを漏れなく認証可能

の2つの条件を満たす認証プロトコルとして、各タグが応答するタイミングを乱数で決定するSlotted ALOHA方式のプロトコルを採用している。図3を用いて、このプロトコルを述べる。

ハンズフリーアンテナから送信されるLF電波をタグが受信すると、UHF電波をタグが応答し、これをハンズフリーレシーバが受信して、個人認証を行う。スロットと呼ばれる時間の区切りが、LF電波1周期(250ms)に対して4つ用意され、タグが応答するスロットを乱数によって決定する。タグAのように、どちらのタグともスロットが一致しない場合は、レシーバによる受信が成立し、認証が行われる。一方、網掛けのスロットに示すように、複数のタグが一致したスロットを選択して応答した場合は、レシーバが受信を失敗する場合がある。このような場合は、次のLF電波を受信した際に再度乱数によってスロットを選択し、再応答することによって漏れなく認証を行う。スロットは4つ用意しているため、最大で4個のタグの同時認証が可能である。また、3バイト以上の固有ID情報を持つため、1,000万個以上のタグを登録可能としている。

#### 4.2 応答抑制

ハンズフリーモードでの動作時には、接近するタグを常時検知するために、ハンズフリーアンテナは定期的にLF電波を送信し続けている。そのため、タグ検知範囲内に人が滞留すると、LF電波の受信とUHF電波の応答を繰り返すことになり、タグの電池寿命を短くする原因となる。そこで今回、タグ検知範囲内での人の滞留を検知し、RF電

波応答回数を抑制するプロトコルを開発した。開発したプロトコルを、図4を用いて述べる。

LF電波には、アンテナID情報と送信時刻情報を含めて送信を行う。タグはLF電波受信時にアンテナID情報を確認し、直前に受信したLF電波と一致しなければUHF電波の応答を行う。アンテナID情報が一致した場合も、直前に受信した時刻と現在受信した時刻を比較し、次の条件で、再応答する。

- (1) 間隔が2秒以上であればUHF電波を再応答
- (2) 間隔が2秒未満であればUHF電波を応答停止

LF電波は250msの周期で定期送信しており、2秒以内であれば連続して受信している状態であるためUHF電波応答を抑制する。一方、2秒以上であれば、一度タグ検知範囲(扉の近辺)をタグが離脱していると想定されるため、再度認証することによって扉を解錠する。この応答抑制プロトコルの適用によって、タグの電池の30%長寿命化を達成した。

#### 5. むすび

三菱統合ビルセキュリティシステム“MELSAFETY-G”の認証装置であるハンズフリー入退室管理システムについて述べた。このシステムの投入によって工場やクリーンルーム、病院など、今まで導入を見送らざるを得なかった場所へのシステム導入を促進することができる。今後は車両ゲートやエレベーターとの連携などハンズフリータグを用いたセキュリティソリューションをさらに広げていく予定である。

# “Facima Lite-system”の省エネルギー機能

水野裕正\*

Energy Saving Function of "Facima Lite-system"

Hiromasa Mizuno

## 要 旨

三菱電機は2011年10月にビルの省エネルギー化のニーズが拡大している小規模ビルを対象とした三菱ビル設備管理システム“Facima Lite-system(ファシーマライトシステム)”の販売を開始した。

Facima Lite-systemは、小規模無人監視ビル向けのビル設備管理システムであり、次の特長がある。

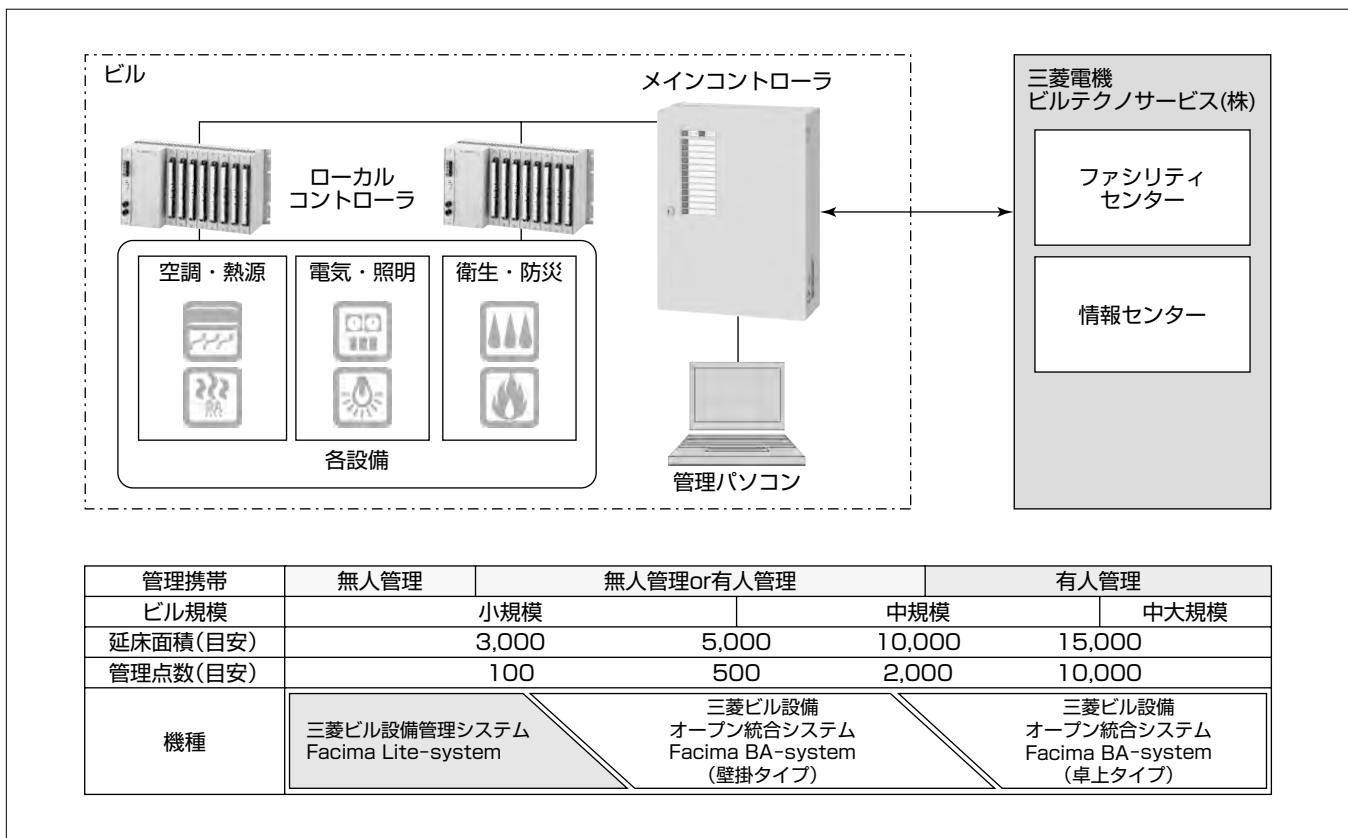
- (1) 管理者がいない小規模ビルの安心・安全向上に貢献  
空調・照明・セキュリティ設備等のビル設備の稼働状態を遠隔で監視し、異常・故障の発生時には専門スタッフが迅速に出動する。
- (2) 管理者がいない小規模ビルの省エネルギーに貢献  
電力ピークを監視し、必要に応じて空調・照明設備の運

転をあらかじめ事業者が決めた優先順位で停止するデマンド制御が可能である。また、テナントの営業時間や休日に合せたスケジュール運転でビル内の空調・照明設備の自動制御を実現している。

- (3) 設備データの分析によって、エネルギー管理及び省エネルギーを支援

各種ビル設備のエネルギー使用状況の“見える化”によって日々のエネルギー管理を支援する。また、設備データの分析レポートを月1回提出し、更なる省エネルギー改善をサポートしている。

本稿では、Facima Lite-systemの省エネルギー機能とその特長について述べる。



## “Facima Lite-system”の構成と対象ビル規模

Facima Lite-systemは小規模無人管理ビルに対応したビル設備管理システムである。そのシステム構成を示す。

空調・照明・防災等の設備監視や制御を行うシステムであり、三菱電機ビルテクノサービスのファシーマサポート契約(Lite)との連携で各種サービスを提供している。

## 1. まえがき

近年、小規模ビル管理システムの市場環境が変化してきた。特に省エネルギーに関するニーズが拡大したが、次に述べる2点が主要因と考える。

1点目は、“エネルギーの使用の合理化に関する法律”(省エネ法)の改定である。この改定ではエネルギーの年間使用量を事業者(企業)単位でまとめ、その使用量によってその事業者が管理規制の対象となるかを決定するようになった。そのため、エネルギー使用量の少ない小規模な支社のビルでも、全国の支社ビルの年間エネルギー使用量を企業単位でまとめると管理規制の対象になるような場合も出てくるため省エネルギー対策が必要となってきた。

2点目は、電力需給状況が厳しくなったことである。2011年が大口需要家(契約電力500kW以上)に対して電力の使用制限があり、節電及び電力ピークカット対策の実施が強く求められた。今後は小口需要家(契約電力500kW未満)でも同等の節電及び電力ピークカット対策が必要になると思われる。

ビルの省エネルギーは、照明のLED(Light Emitting Diode)化やエネルギー効率の高い設備の使用等で設備単位での省エネルギー化も重要であるが、既存設備に対して最適な運転を行う自動制御、使用エネルギーの正確な計測・監視、そこから得られる各種データを解析してビル設備の最適な運転を提案するなどのサービス提供も有効な省エネルギー対策である。

本稿では、これら市場のニーズに応えるために開発したビル設備管理システムFacima Lite-systemの省エネルギー機能とその特長について述べる。

## 2. 製品・サービスの特長

## 2.1 ビル設備管理システムFacima Lite-systemの特長

システム構成は各設備信号の入出力制御を行うローカルコントローラとローカルコントローラの取りまとめ、ファシリティセンターとの通信、ヒューマンインターフェースを制御するメインコントローラで構成している(要旨の図)。2009年に市場投入した中・大規模ビル向けのビル設備オープン統合システム“Facima BA-system”から小規模ビル向けに必要な機能の移植を行った。そのため従来のビル遠隔管理サービスシステム“MELSENTRY-F50”と比べて機能が大きく向上している。システムの諸元を表1にまとめた。代表的な機能を次に示す。

## 2.1.1 デマンド監視・制御

需要電力を監視して各設備の制御を行う。デマンド監視・制御機能でピーク電力の抑制が可能となった。

## 2.1.2 スケジュール制御

1日あたりの動作時刻設定数が、MELSENTRY-F50の4回(ON 2回, OFF 2回)を8回(ON 4回, OFF 4回)に拡張した。時刻設定数を拡張したため、設備の運転・停止をきめ細かく制御することが可能となり省エネルギーを図ることが可能となった。

## 2.1.3 各種連動

セキュリティシステムの警備操作、室内温度等の条件・状態で設備制御を可能とした。そのため、不要時(無人・室内が冷えすぎ)の運転抑止で省エネルギーを図ることが可能となった。

## 2.1.4 空調集中コントローラ制御

空調集中コントローラ“G-150AD”に対して省エネルギー

表1. システム諸元

	三菱ビル設備オープン統合システム Facima BA-system	三菱ビル設備管理システム Facima Lite-system	三菱ビル遠隔管理サービスシステム MELSENTRY-F50
客先操作	客先パソコン(Web)	客先パソコン(Web)	無
ローカルコントローラ接続台数	36台	8台	3台
集中警報監視装置接続台数	4台	1台	1台
空調集中コントローラ	6台	3台	無
総管理点数	3,000点	150点	100点
デジタル入力	3,000点	100点	100点
デジタル出力	1,500点	50点	50点
パルス入力	750点	100点	100点
アナログ入力	300点	30点	無
アナログ出力	300点	30点	無
スケジュール制御	150個(8回/1日)	150個(8回/1日)	50個(4回/1日)
カレンダ制御	500個	50個	20個
デマンド制御	3個	1個	無
力率改善	1個	1個	無
電力量按分(あんぶん)	50個	30個	無
警報履歴		500件	500件
状態履歴	30万件	2,000件	1,000件
発停履歴		2,000件	1,000件

ーレベルの設定が可能となった。MELSENTRY-F50のON/OFF制御では実現できなかった省エネルギーレベル設定ができるようになったことで最適な空調制御が可能となった。

## 2.2 サービス“ファシーマサポート契約Lite”的特長

小規模無人監視のビルでは、ビル管理システムの運用・管理で各種サービスが重要であり、事業者の省エネルギー活動やビルの資産価値向上に不可欠となってきている。提供しているサービスを表2に示す。代表的なサービスを次に述べる。

### 2.2.1 遠隔監視サービス

設備の異常・故障発生時にビルへ出動して応急処置を実施することで被害の拡大防止を図る。防犯・防災の異常時は、警備会社からガードマンが出動して警備活動を実施する。

### 2.2.2 エネルギー管理サポート

電力などの計量信号の日報データをFacima Lite-systemから取得してエネルギーの使用実績や省エネルギーに関するレポート(図1)を事業者へ提出する。

### 2.2.3 検針データ提供

電気・水道等の検針値をサーバで収集・集計して使用量を算出する。算出データをレポートにまとめて事業者へ提出する。

表2. 提供サービス

項目	内容
遠隔監視サービス	設備異常監視／出動対応
故障情報提供サービス	故障発生時や対応完了時にメールで通知
システム保守	システムの保守点検
エネルギー管理サポート	各種データを分析してレポートを作成
テナント(見える化)サービス	テナントごとの電力使用量の見える化
検針データ提供	各種メータの使用量データを提供
省エネ法対応サポート	定期報告書や中長期計画書の作成支援



図1. レポートのサンプル

## 3. デマンド制御の新機能

デマンド制御とは、電力需要家が使用する電力を監視して需要電力が契約電力を超えないようにビル設備を制御することであり、電力ピークカット対策に有効な手段である。Facima Lite-systemでは、市場のニーズから既存のデマンド制御に新たな機能を追加した。

### 3.1 デマンド制御の目標電力変更機能

夏の電力需要は13時～16時までが高く、特に14時ごろが最も高くなっている。従来のデマンド制御では、最も電力需要が高くなる14時ごろの使用電力の実績から目標電力を設定して、終日その目標電力でビル設備の制御を実施していた。午前中や夜間では目標電力に対して使用電力は十分少ない状況となっているためデマンド制御によるビル設備制御が実施されることが少なかった。このように目標電力を終日同一値で運用すると使用電力の少ない時間帯の節電には効果がなかった。そこで目標電力を時間帯別に設定・変更する機能を追加した。時間帯ごとの目標電力の設定を図2に示す。

このように目標電力を時間帯ごとに設定することで、各時間帯で節電を実施することが可能となった。目標電力の変更は、1日あたり8回まで可能で、きめ細かい設定が可能となっている。また、曜日ごと・特定日(休日)ごとに目標電力を設定することも可能である。

電力逼迫(ひっぱく)時などでは、目標電力値を素早く変更する必要がある。Facima Lite-systemでは事業者がヒューマンインターフェース(Web)を利用して目標電力値を変更することができるが、無人監視を前提とした事業家ではこの運用は困難である。そこで、ファシリティセンターから目標電力値を遠隔で変更することができるようにならため、無人監視でも柔軟な対応が可能となっている。また、ファシリティセンターからは、遠隔で日単位の時間ごとの目標電力も変更することができる。図3は、電力逼迫時を想定して目標電力と時間帯の両方を変更した場合の例である。

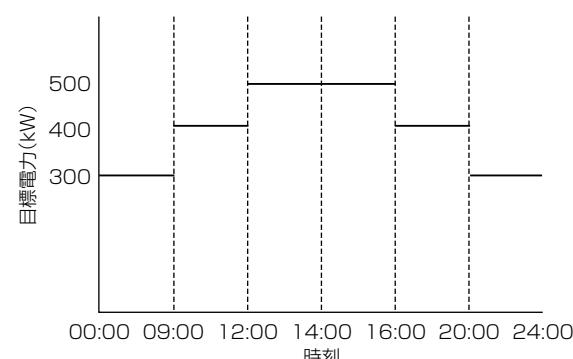


図2. 時間帯ごとの目標電力

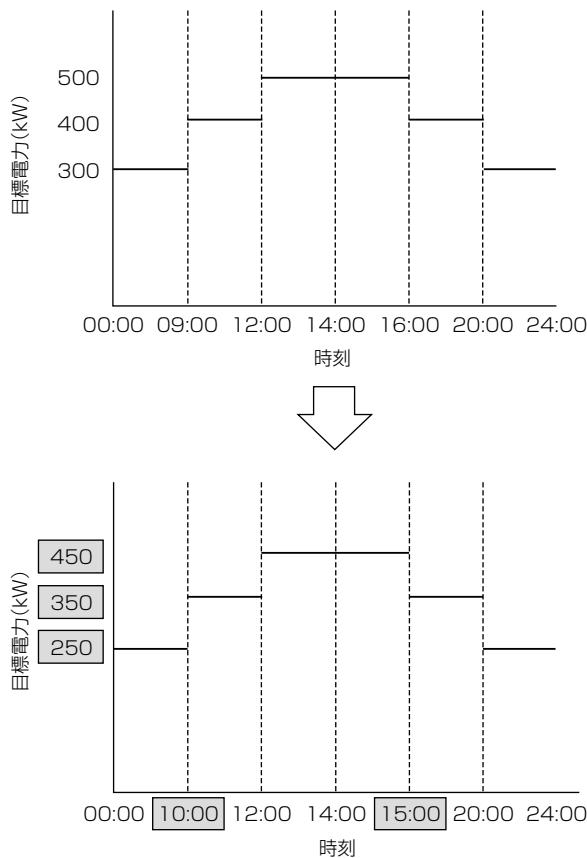


図3. 目標電力変更の設定

### 3.2 デマンド制御機器のローテーション機能

既存のデマンド制御では事業家があらかじめ指定した優先順位に従って設備の制御を実施している。表3に示すような設備群と優先順位があった場合、専用部1と専用部2で優先順位がついているため必ず専用部1が優先的にデマンド制御の対象となっている。表4に示す既存デマンド制御の動作パターンの例では、専用部1の遮断回数が6回に対して専用部2の遮断回数が2回となっている。専用部1と専用部2に明確な優先順位がないような場合、公平性に欠けた動作となっている。

このため、専用部1と専用部2の優先順位を同じに設定して運用するローテーション機能を追加した。今時限のデマンド制御で専用部1が遮断された場合、次時限のデマンド制御では専用部2が遮断されるように同じ優先順位内の設備をローテーションで制御することが可能となった。デマンドローテーション制御の動作パターンを表5に示す。このローテーション機能で、優先順位がつけていくい設備を公平にデマンド制御の対象とすることができる。表の例では、専用部1の遮断回数が4回に対して専用部2の遮断回数も4回で同じ遮断回数となっている。既存デマンド制御における公平性欠如をローテーション制御で解消することができた。

表3. 設備群と優先順位のサンプル

設備群	優先順位(遮断レベル)
共用部	1
専用部1	2
専用部2	3

表4. 既存デマンド制御の動作パターン

時間	遮断レベル	設備群		
		共用部	専用部1	専用部2
13:00~13:30	1	遮断	–	–
13:30~14:00	2	遮断	遮断	–
14:00~14:30	3	遮断	遮断	遮断
14:30~15:00	3	遮断	遮断	遮断
15:00~15:30	2	遮断	遮断	–
15:30~16:00	2	遮断	遮断	–
16:00~16:30	2	遮断	遮断	–

表5. デマンドローテーション制御の動作パターン

時間	遮断レベル	設備群		
		共用部	専用部1	専用部2
13:00~13:30	1	遮断	–	–
13:30~14:00	2	遮断	遮断	–
14:00~14:30	3	遮断	遮断	遮断
14:30~15:00	3	遮断	遮断	遮断
15:00~15:30	2	遮断	–	遮断
15:30~16:00	2	遮断	遮断	–
16:00~16:30	2	遮断	–	遮断

### 4. むすび

遠隔監視する運用サポートとの一括提供によって、無人監視の小規模ビルの安全・安心と省エネルギーに貢献するFacima Lite-systemの省エネルギー機能とその特長について述べた。今後の機能改善として次の項目を検討しており、順次市場に投入していく予定である。

- ①BACnet<sup>(注1)</sup>接続対応
- ②ヒューマンインターフェース(Web)の操作性向上
- ③機器設定方法の改善

今後とも、市場のニーズを的確にとらえて、新しい機能や技術を適用して対応していく。

(注1) BACnetは、米国冷暖房空調工業会(ASHRAE)の登録商標である。

### 参考文献

- (1) 渡邊啓嗣, ほか:三菱ビル設備オープン統合システム“Facima BA-system”, 三菱電機技報, **83**, No. 9, 547~550 (2009)
- (2) 妻鹿利宏:ファシーマLiteシステムの紹介, MELTEC技報, **292**, 31~37 (2012)