

中低層ビルを革新するマシンルームレスエレベーター

Machine-Roomless Elevator for Innovative Low- and Middle-Rise Building Design

安田 邦夫
YASUDA Kunio

嶋根 一夫
SHIMANE Kazuo

中垣 薫雄
NAKAGAKI Shigeo

一般的な電動機駆動のロープ式エレベーターは、昇降路の上部に機械室を必要としており、中低層ビルの設計上大きな制約となっていた。この機械室をなくすことができれば、ビルの建築主側に大きなメリットとなる。当社は、今までにない発想の駆動装置、つり構造、小型で薄型の制御装置などの開発により、エレベーター機械室を必要としないマシンルームレスエレベーター SPACEL_{TM}を開発・商品化した。

The electric-motor-drive rope system in general use for elevators requires a machine room in the upper section of the elevator hoistway, presenting a major restriction in the design of low- and middle-rise buildings. The elimination of this machine room would be highly beneficial for building owners.

Toshiba has developed and commercialized the SPACEL_{TM} machine-roomless elevator. The need for an elevator machine room has been eliminated by developing a revolutionary new driving system, as well as a new suspension structure, compact and thin control equipment, and other features.

1 まえがき

一般的な電動機駆動のロープ式エレベーターは、昇降路の上部に機械室が必要であるが、この機械室をなくすことができればビルの建築にとって大きなメリットとなる。当社は、中低層ビル向け中低速領域のエレベーターに対応して、薄型ギヤレス巻上機を採用し、省スペース、省エネルギーの実現を図った、マシンルームレスエレベーター SPACEL_{TM}を開発した。

(3) 省エネルギー 巻上機のギヤレス化、永久磁石の採用、かごの軽量化などにより省エネルギー化を図った。

(4) 意匠 特にかごのデザイン、かご操作盤のデザインなどをくふうした。

詳細については、この特集の“最近のエレベーターデザインと提案ツール”に記載している。

2 開発の概要

2.1 開発のコンセプト

次の四つのコンセプトから新しいエレベーターを提案した。

- (1) エレベーター用機械室がいない“マシンルームレス”
- (2) ビルの建築設計の自由度を増す“レイアウトフリー”
- (3) 電力消費を押さえた“エナジーセービング”
- (4) だれもが使える“ユニバーサルデザイン”

2.2 開発のポイント

- (1) マシンルームレス 巻上機（駆動装置）を薄型にし、昇降路内上部に設置するとともに、制御装置の小型・薄型化を図り最上階三方枠の戸袋内に設置することにより、機械室を不要とした。
- (2) 省スペース 巻上機の薄型化、機器類の小型化と最適配置、かご下づりなどにより、昇降路平面寸法と昇降路上部の高さ寸法の最小化を図った。

3 基本仕様

SPACEL_{TM}の基本仕様を表1に示す。

表1. SPACEL_{TM}の基本仕様
Specifications of SPACEL_{TM}

項目	仕様内容
用途	乗用, 住宅用, 寝台用, 人荷共用
定員(積載荷重)	6~15名(450~1,000kg)
速度	45, 60 m/min
駆動方式	トラクション方式, ギヤレス方式
制御方式	インバータ制御方式
最大停止数	25か所
最大昇降行程	60 m
電動機容量	2.0~5.7 kW

全体システム構成を図1に示す。

昇降路内上部に巻上機を設置し、かごとつり合いおもりはかご下シーブ、つり合いおもり上シーブを介してつる2:

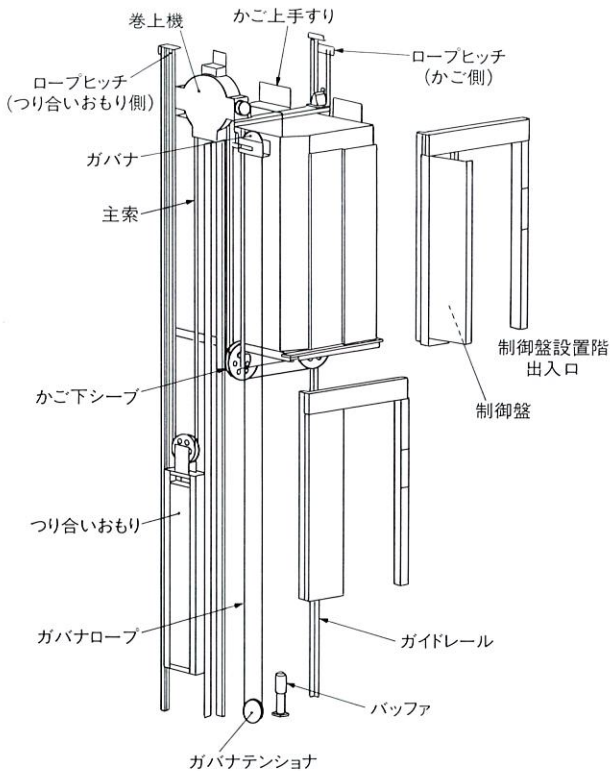


図1. SPACEL™の全体システム構成 巻上機を昇降路内上部に設置し、制御装置は小型・薄型化を図り、最上階三方枠の戸袋部に組み込んでいる。

Configuration of SPACEL™

1ローピングのトラクション方式とした。この巻上機はかご側のガイドレールに、またロープヒッチはかご側およびつり合いおもり側のガイドレールにそれぞれ固定した。したがって、かごとつり合いおもりの鉛直方向の荷重はすべてガイドレールで受け、建物側には作用しない。

制御装置は、小型・薄型化を図り、最上階三方枠の戸袋部に組み込んだ。

4 新技術

4.1 制御装置の小型・薄型化

図2に、三方枠の戸袋に収納した状態の制御盤を示す。制御盤のサイズは、幅350×高さ1,900×奥行100mmである。

インバータは、スイッチング素子にIPM (Intelligent Power Module)を採用し、パワーボードに組み込むことで小型、高信頼性を確保した。スイッチング周波数を8kHz以上にすることで、磁気騒音などの低騒音化を図った。

制御装置には、32ビットCPUとモータ制御専用開発した高性能プロセッサ“PP7”を搭載したエレベーター専用コントローラを開発した。

PP7は、広範囲のモータ制御に適用することを目的とし

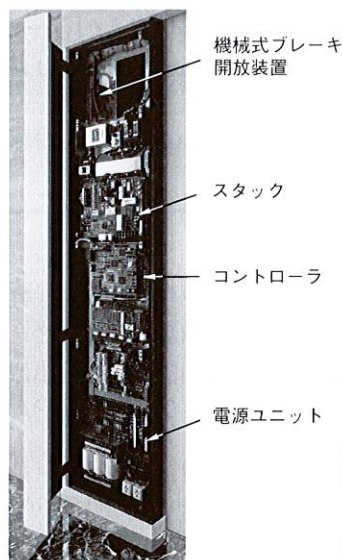


図2. 制御装置 三方枠に収納するため、防水、騒音、発熱対策も十分に行っている。

Control equipment of SPACEL™

て、32ビットの高速CPUと必要なハードロジックを1チップに集積したプロセッサであり、モータ制御(インバータ)と電源側の制御(コンバータ)を一括して行うことができる。

図3にPP7を適用した一般的な構成を示す。

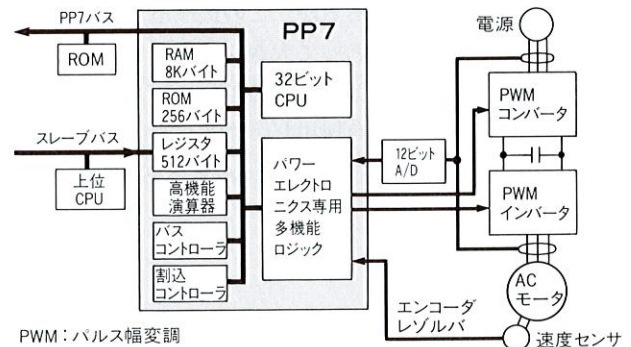


図3. PP7を適用した制御構成 エレベーター制御に必要な機能を集約した高機能プロセッサであり、そのほか一般産業、車両などにも適用している。

Configuration of power electronics processor for various inverter control integration (PP7)

4.2 薄型永久磁石同期電動機の制御方式

現在、中低速エレベーターの巻上機には誘導電動機と減速ギアの組合せが一般的であるが、省エネルギー、省スペースを実現するために、薄型の永久磁石同期電動機(PMSM)を採用した(図4)。

このPMSMはモータ軸に直結した位置に速度センサを取り付けることができないため、モータ制御に必要な磁極位置を容易に検出できない。このため、モータの速度や電流を制御する機能に磁極位置を推定演算する制御を追加した。

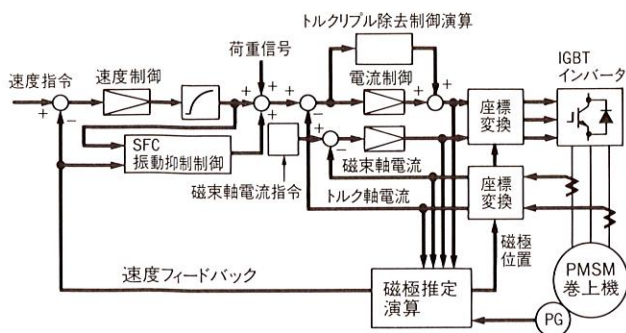


図4. SPACEL™のPMSM制御構成 高速、高性能プロセッサにより高度な制御系を構築する。
Configuration of PMSM control

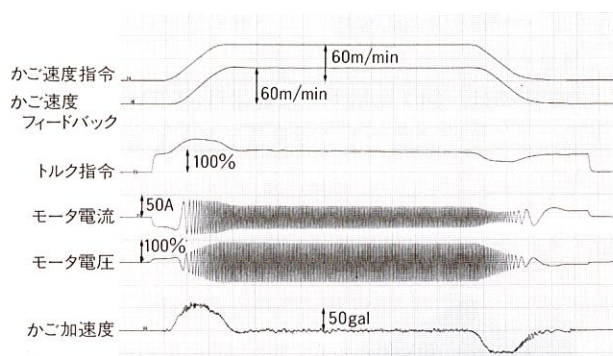


図5. 走行波形 全走行範囲で優れた制御性能と走行特性を達成した。
Operating characteristics of SPACEL™

4.2.1 始動時の磁極推定 ブレーキ開放状態で定格以上の電流をあるベクトルに直流で供給すると、モータは電流ベクトルに対してトルク角を保持した状態で拘束される。このトルク角はエレベーターの荷重信号から求めることができるため、始動時の磁極位置を正しく推定することができる。

4.2.2 運転時の磁極位置推定 薄型のPMSMは、速度センサとしてプリーで結合したパルスジェネレータ(PG)を装備している。一般的には、PGの出力パルスをカウントすることでモータの磁極位置を求めることができるが、プリー結合の場合では回転中のすべり、加工精度、径の経年変化などによりプリーの比率が設定値と異なる場合が生じ、PGのカウント値と磁極位置のずれが生ずるため、最終的には脱調する可能性がある。

そこで、脱調を防止し最適な状態で制御するために、磁極位置推定制御を開発した。電動機に供給する電圧、電流、周波数およびモータ定数から、モータ内部の状態をモータシミュレータにより推定する。この推定結果からモータの磁極ずれを求め、制御を最適な状態へ更新する。この制御からプリー径が大幅にずれていた場合にも安定した制御が実現できた。

4.2.3 振動抑制制御 エレベーターの機械系と制御系の共振により発生するかご内の振動を抑制し、乗りごこちを改善するため、2種類の制御方式を採用した。

- (1) 外乱抑制を目的として当社の高速エレベーターで実績のあるSFC(Simulator Following Control)を使用した。SFCは速度に含まれる振動成分を抽出し、トルク指令を補正させることで振動を抑制するが、系全体のダンピングを増加させる働きをもっている。
- (2) モータや制御系自身が発生するトルクリプルによる機械系との共振も抑制する必要がある。ここでは、モータ、制御系が発生するインバータ周波数の1倍、2倍、6倍の周波数をキャンセルする制御を適用した。

図5にこれらの制御方式を採用した結果としてエレベーター

ター走行時の特性波形を示す。

4.3 駆動装置と取付構造

薄型ギヤレス巻上機は、昇降路内上部のかご側ガイドレールに防振装置を介して取り付けることで低騒音化を図った。また、振動モード解析(図6)により固有振動数を比較的低くすることで、高周波数の振動がレールに伝播(ば)するのを防止し、乗りごこちの良い静かなエレベーターを提供することができた。

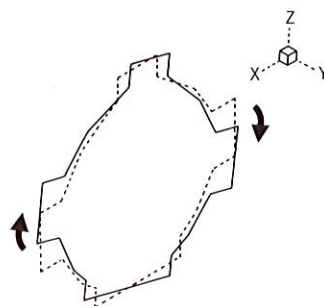


図6. 巻上機の振動モード解析
振動モード解析を行い、低振動、低騒音を実現した。
Modal analysis of traction machine

4.4 かごつり構造と軽量化

このシステムのかごの構造およびつりかたの特長は、大きく次の2点である。

4.4.1 2:1ローピングの採用

2:1ローピング採用のメリットとして次のことが挙げられる。

- (1) ロープヒッチがかご上にないためオーバヘッド寸法の短縮が可能
- (2) 巻上機の所要トルクを1/2にできるためモータの小型化が可能
- (3) 上梁(ばり)、立枠への負荷軽減によるかご構造の軽量化。また、ロープの端部は、かご側およびつりあい重り側のガイドレールに取り付けたブラケットをロープヒッチとしている。これにより建屋側への負荷を軽減し、建築との取合いを少なくした。

4.4.2 一重床構造の採用 一重床構造採用のメリットは、部品点数の削減と軽量化である。

この新構造は、図7に示す有限要素法 (FEM) による解析と実機による疲労試験で十分な検証を施し信頼性を確保した。

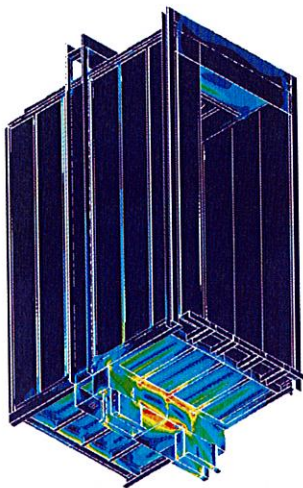


図7. かご室 (枠) の応力解析
FEM による構造解析を行い、かご室 (枠) の軽量化を達成した。赤色は応力の大きいことを、青色は応力の小さいことを示す。
Structural analysis of elevator cage

4.5 かご室の振動解析

FEM による固有値解析と実機モデルによるモーダル解析 (図8) によりかご室 (枠) の振動特性を把握し、かごに振動が伝播しても乗りごちの低下がない構造とした。

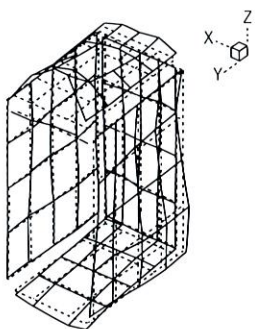


図8. かご室のモーダル解析 かご室の振動特性を把握し、最適設計を達成した。
Modal analysis of elevator cage

図9にロープ・かご系の振動応答シミュレーション結果を示す。乗りごちに影響の大きい低周波数の特性は、従来構造に比べて見おとりしないことが確認できた。

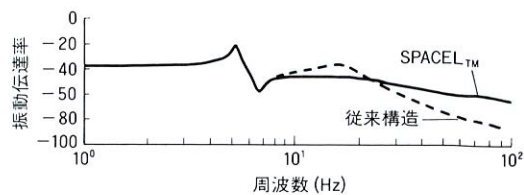


図9. ロープ・かご系の振動応答 乗りごちに影響の大きい低周波領域の特性を確認した。

Frequency response of rope and cage systems

昇降路平面積が油圧式に比べて当社比で約 15 % 縮小できることなどから、スペースの有効利用が図れる。また、昇降路上部の高さ寸法は油圧式と同等であり、従来のロープ式に対して当社比で約 0.7~0.9 m 縮小できた。

6 省エネルギー

SPACEL™は、効率の良いギヤレス巻上機を用いたロープ式トラクション方式であり、モータ容量は従来のロープ式や油圧式と比較して小さくなり、エレベーターにかかわる電源設備容量や消費電力を低減できる。特に油圧式と比べると当社比で約 1/3 程度になる。

8 あとがき

これからの主流となるマシンルームレスエレベーター SPACEL™について紹介した。今後はさらに適用範囲の拡大と性能向上を図っていく。

マシンルームレスエレベーター SPACEL™は、フィンランド KONE 社からのライセンスに基づいて同社製の巻上機 (EcoDisc™) を使用している。

EcoDisc™は KONE 社の登録商標。

安田 邦夫 YASUDA Kunio



府中工場 昇降機開発設計部主幹。
エレベーターの開発・設計に従事
Fuchu Works

嶋根 一夫 SHIMANE Kazuo



府中工場 昇降機開発設計部主務。
エレベーター制御装置の開発に従事
Fuchu Works

中垣 薫雄 NAKAGAKI Shigeo



電力・産業システム技術開発センター主査。
機械振動、構造強度に関する技術開発に従事
Power and Industrial Systems Research and Development Center

5 省スペース

SPACEL™は、エレベーター機械室が不要なこと、さらに