

エレベーター用磁気サスペンションシステム

Magnetic Suspension System for Elevators

伊東 弘晃 森下 明平 山本 明

■ ITO Hiroaki ■ MORISHITA Mimpei ■ YAMAMOTO Akira

東芝と東芝エレベータ(株)は、ガイドレールに触れずにエレベーターのかごを案内する、磁気サスペンションシステムの開発を進めている。このシステムでは、かごに磁石ユニットを設置し、レールとの間の磁力を制御することでかごを非接触で支え、滑らかな走行を実現することができる。磁気サスペンションシステムを用いることで、走行中の振動や騒音を低減するとともに、ガイドレールの加工精度を緩和でき、エレベーターシステム全体のコストを低減できる。

検証試験において、 0.1 m/s^2 以下の低振動で走行できること、及び走行中に案内装置で必要となる電力が平均20 W以下であることを確認し、このシステムにより低電力で良好な乗りごこちが実現できることを示した。

Toshiba and Toshiba Elevator and Building Systems Corporation have been making efforts to develop a magnetic suspension system to support an elevator car without touching guide rails. This system aims at realizing the smooth running of an elevator car by installing magnet units on it and controlling their magnetic forces so that the car is supported while running without coming into contact with the guide rails. The magnetic suspension system not only reduces running vibration and noise, but also allows the use of roughly machined rails instead of precision-finished rails, thus reducing the overall cost of elevator construction.

In verification tests, the magnetically suspended elevator operated with vibrations not exceeding 0.1 m/s^2 and consumed only 20 W of additional power on average.

1 まえがき

建物内の縦方向の交通手段であるエレベーターは、ビルの高層化に伴ってその需要と必要性が拡大し、現在では日々の生活において欠かさない社会インフラの一つとなっている。そのようなエレベーターに対して、安全な運行とともに快適な乗りごこちが求められており、特に高層ビルで用いられる高速エレベーターでは、速度の上昇に伴って増加する振動や騒音を低く抑えるための技術開発が重要な課題となっている。

エレベーターのかごは、昇降路上部に設置された巻上機によりメインロープを介して駆動されるが、その際、ガイドレールに沿って走行するように、ローラガイドと呼ばれる装置によって案内されている。ローラガイドは、ローラとばねサスペンションを組み合わせた構成となっており、かごをレールに沿って走行させるとともに、走行中の振動を吸収して乗客の乗りごこちを確保する役割を果たしている。しかし、ローラガイド方式では、レールの表面状態や敷設状況によって走行中に振動や騒音が発生することがあり、特に、高速エレベーターではこの傾向が大きくなるため、十分な乗りごこちを確保できない可能性がある。

そこで現在、磁気浮上技術を応用して、かごをガイドレールに接触させずに案内する、磁気サスペンションシステムを開発している。

2 磁気サスペンションシステムの原理と特長

磁気サスペンションシステムでは、図1に示すように、かごの上下左右4か所に磁石ユニットと呼ばれる案内装置を搭載する。この磁石ユニットとガイドレールの間に発生する磁力を制御することで、ガイドレールとの間にすきまを保ちながら、接触することなくかごを支えて走行させる。

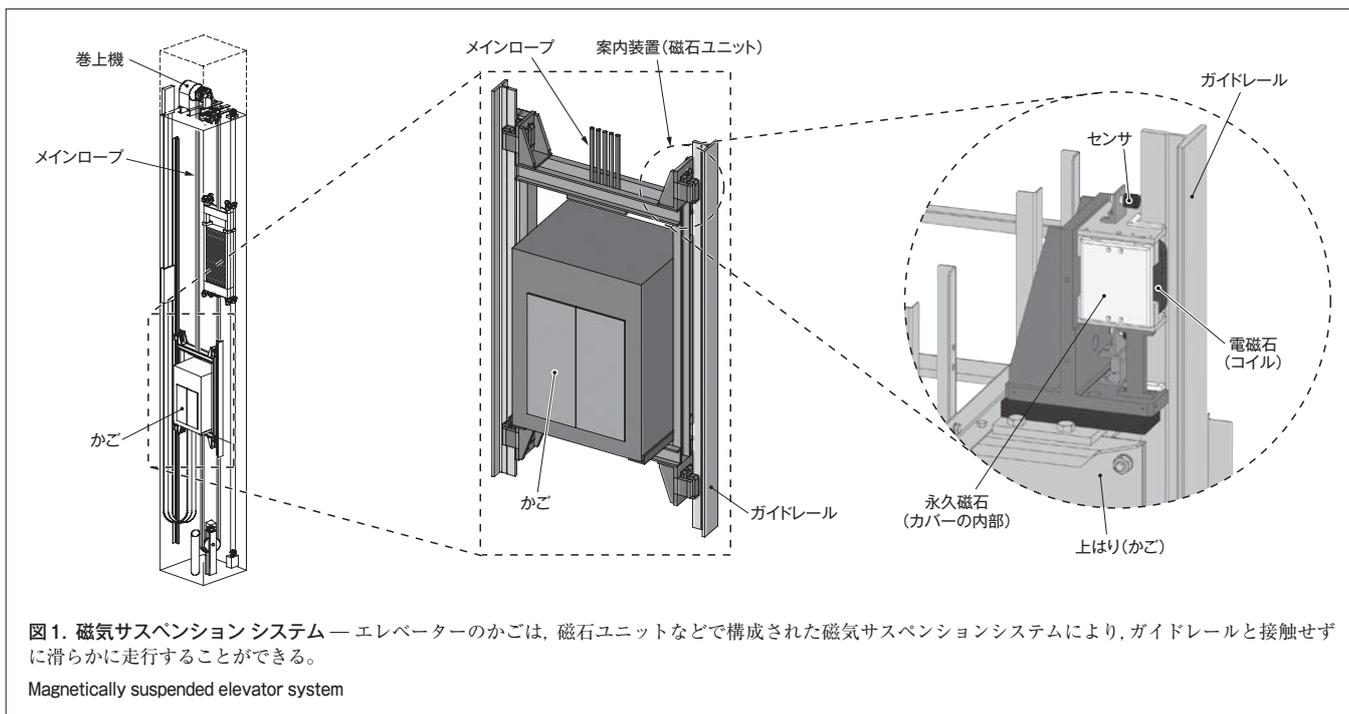
このようにガイドレールとの接触部をなくすことで、レールの表面状態や段差などに影響を受けにくい案内装置を実現することができ、乗りごこちのよいエレベーターを提供できる。また、接触部や回転部がないことで、ノイズの問題も解消される。

更に、ガイドレールに起因する振動の影響が少ないことから、ガイドレールの加工コストや据付けコストを削減でき、エレベーターシステム全体のコストダウンにつなげることができる。

3 磁気サスペンションシステムの技術概要

3.1 磁石ユニットの構成

一般に、磁力によってかごを案内するシステムでは、案内装置に電磁石を用い、ガイドレールとの間に発生する磁力を制御する方式が用いられる。しかし、電磁石だけで案内装置



を構成した場合、常に大きな電力が必要になり、運用コストが増大するとともに、発熱などが問題となる。

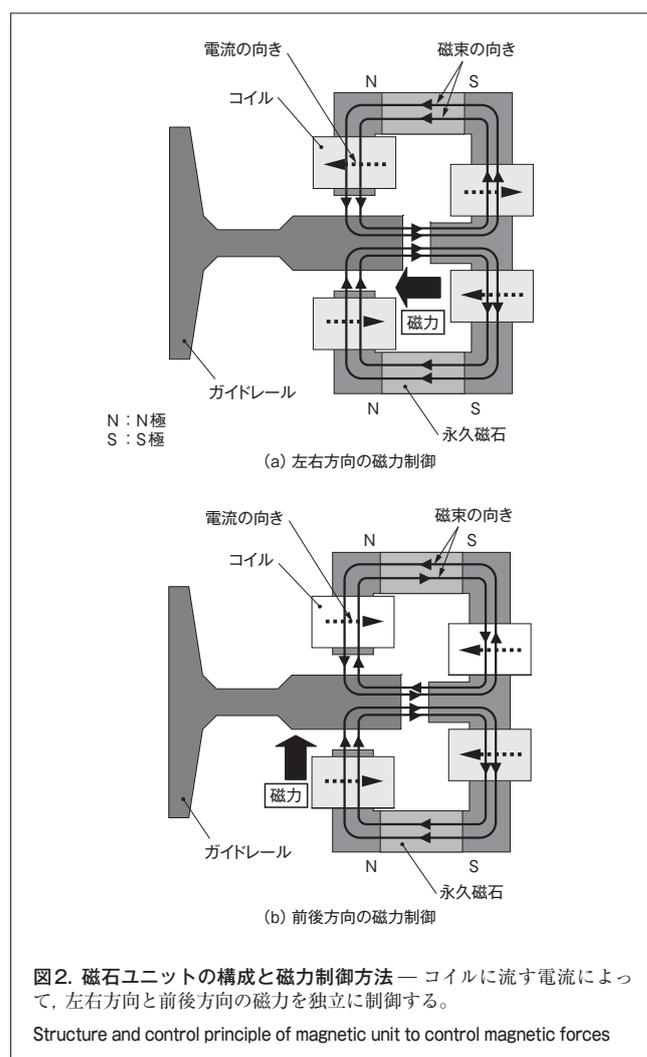
そこで、現在開発中の磁気サスペンションシステムでは、永久磁石と電磁石とを組み合わせ、永久磁石の磁力も利用することで磁力制御に必要な電流を低く抑える方式を採用している。

磁石ユニットは、図2に示すように、断面がT字型のガイドレールに磁極を3方向から向き合せている。永久磁石は、中央の磁極の部分で磁束の向きが同じになるように磁石ユニットの両側に配置され、各磁極とガイドレールとの間に磁力を発生させる構成となっている。また、四つのコイルを各磁極の近傍に配置することで、各磁極とガイドレールとの間の磁力を制御する。

3.2 案内力の制御方法

この磁石ユニットでは、例えば図2 (a)のように、すべてのコイルに永久磁石の磁束を強める向きに電流を流すと、各磁極とガイドレールとの間の磁束が強められ、全体の磁力が大きくなる。しかし、互いに向き合っている磁極の磁力は逆向きになるため力が相殺され、最終的に中央の磁極部分だけ力が変化し、図の例では、磁石ユニットは左向きに力を受ける。

一方、図2 (b)のように、片側のコイルに永久磁石の磁束を弱める向きに電流を流し、反対側のコイルに永久磁石の磁束を強める向きに電流を流すと、中央の磁極ではコイル励磁によって生じる磁束の向きが逆向きとなるため磁束変化が打ち消される。そのため、中央の磁極とガイドレールとの間の力はほとんど変化しないが、前後方向については、互いに向

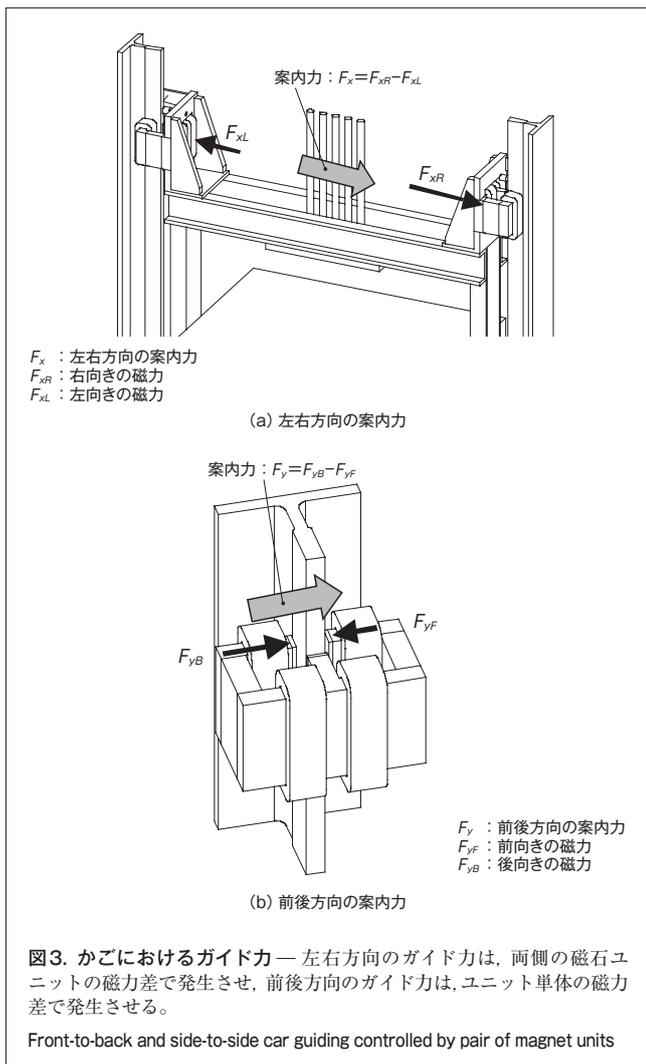


き合っている磁極の部分で、磁束に偏りが発生するため前後方向の力が生まれ、図の例では上向きに力が発生する。

このように、各コイルに流す電流の向きによって、かごの左右方向と前後方向について、独立に磁力を制御することができる。

磁気サスペンションシステムでは、以上のような方法で、かごを支えるための磁力を制御するが、磁石ユニットとガイドレールとの間には、磁気吸引力しか発生させることができない。したがって、かごの左右方向の案内力は、図3 (a)に示すように、かごの両側に設置された磁石ユニット間の磁力の差によって得ることになる。例えば、この図においてかごに右向きの力を与えたいときには、右側の磁石ユニットの磁力を強めるとともに、左側の磁石ユニットの磁力を弱め、それらの差により右向きの力を発生させる。一方、前後方向の案内力は、図3 (b)に示すように、磁石ユニット単体の磁極間の磁力差によって得られる。

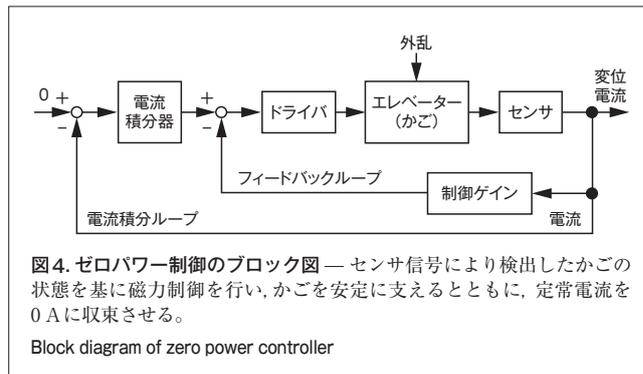
このように、かごの上下左右4か所に設置された磁石ユニットの磁力を制御することで、かごに任意の向きの力を発



生させ、その力を調整してガイドレールに接触しないようにかごを支えることができる。

3.3 非接触案内制御

かごをガイドレールに接触しないように支えるためには、磁気浮上技術を応用した非接触案内制御によって、磁石ユニットの磁力を適切に制御しなければならない。非接触案内制御の概要を図4に示す。



磁気サスペンションシステムでは、磁石ユニットに搭載されたセンサによってガイドレールとの距離を、また、コイルに流れる電流を検出し、その信号を基にかごの位置や傾きといった状態を演算することで、安定して支えることができるように磁力を制御する。この制御によって、かごはレールに触れることなく安定した姿勢制御がなされ、良好な乗りごちを確保することができるようになる。

現在開発中の磁気サスペンションシステムでは、かごを支えるための電流を最小限に抑えるゼロパワー制御を適用し、定常的な力と永久磁石の磁力をバランスさせることにより省電力での非接触案内を実現している。

4 磁気サスペンションシステムの検証試験

磁気サスペンションシステムの性能を評価するために、エレベーターの実機に磁石ユニットを搭載し、検証試験を実施した。検証に用いたエレベーターの仕様は表1に示すとおりである。

この試験において、かごをガイドレールから約4 mm離れた状態で安定的に支えることができた。また、ガイドレール

表1. 検証用エレベーターの仕様

Specifications of elevator system for verification test

項目	仕様
定員	24人(1,600 kg)
定格速度	240 m/min
昇降行程	60 m
かご質量	2,400 kg

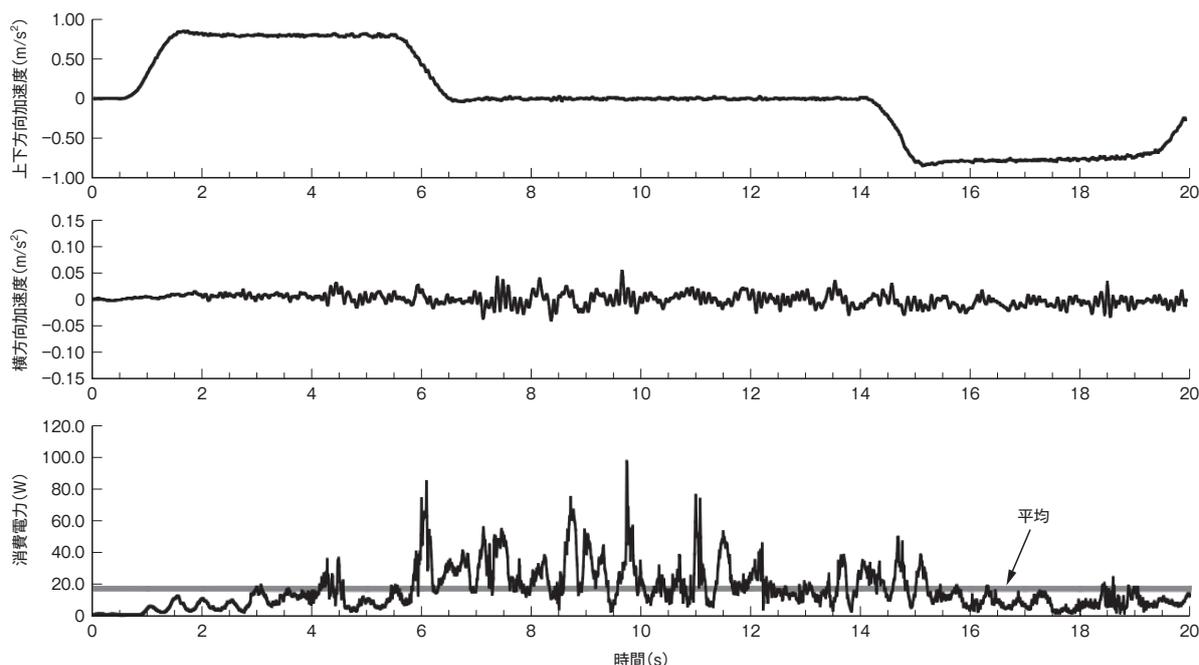


図5. エレベーター走行時の振動と消費電力 — エレベーター走行中の加速度と消費電力から、磁気サスペンションシステムを用いることで、低振動、低消費電力の非接触ガイドが可能であることを確認できた。

Vertical acceleration (top), lateral acceleration (middle), and power consumption (bottom) in elevator test run

との間にすきまを保ったまま滑らかに走行させることができた。

磁気サスペンションシステムを適用した状態で走行したときの振動と消費電力を図5に示す。

上段のグラフは上下方向の加速度で、走行中の加減速パターンを表している。また、中段のグラフは横方向の加速度で、かごが走行したときの床振動を表している。この結果から、磁気サスペンションシステムを用いることで、走行中の振動を 0.1 m/s^2 以下に抑えることができ、高速走行でも良好な乗りごちを得られることが確認できた。

また、走行中に磁石ユニットで消費した電力を下段のグラフに示す。この図から、走行時にかごを支えるための電力は最大でも100 W程度であり、平均20 W以下という低消費電力で案内できていることがわかる。停止時には消費電力はほぼ0 Wに収束するため、待機時の電力消費もほとんどなく、運用コストの低い磁気サスペンションシステムを構築することができた。

5 あとがき

ここでは、エレベーター用磁気サスペンションシステムによって、ガイドレールに触れることなく低振動で高速走行できること、また、走行中の消費電力も少なく、効率的に安定してかごを案内できることを示した。

近年、ビルの高層化に伴い、高速エレベーターの乗りごちを向上させることが重要な技術開発の一つとなっており、更なる性能の改善が要望されている。磁気サスペンションシステムは、このようなニーズに応えるための新しい技術として期待されており、その実用化に向けて現在開発を進めている。



伊東 弘晃 ITO Hiroaki

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター
電機応用システム開発部。昇降機システムの研究・開発に従事。日本機械学会、電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



森下 明平 MORISHITA Mimpei, D.Eng.

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター
電機応用システム開発部主査、工博。常電導磁気浮上システムの研究・開発に従事。日本機械学会、電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



山本 明 YAMAMOTO Akira

東芝エレベータ（株）開発部 機械開発担当。
エレベーターシステムの開発・設計業務に従事。
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.