特集論文

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

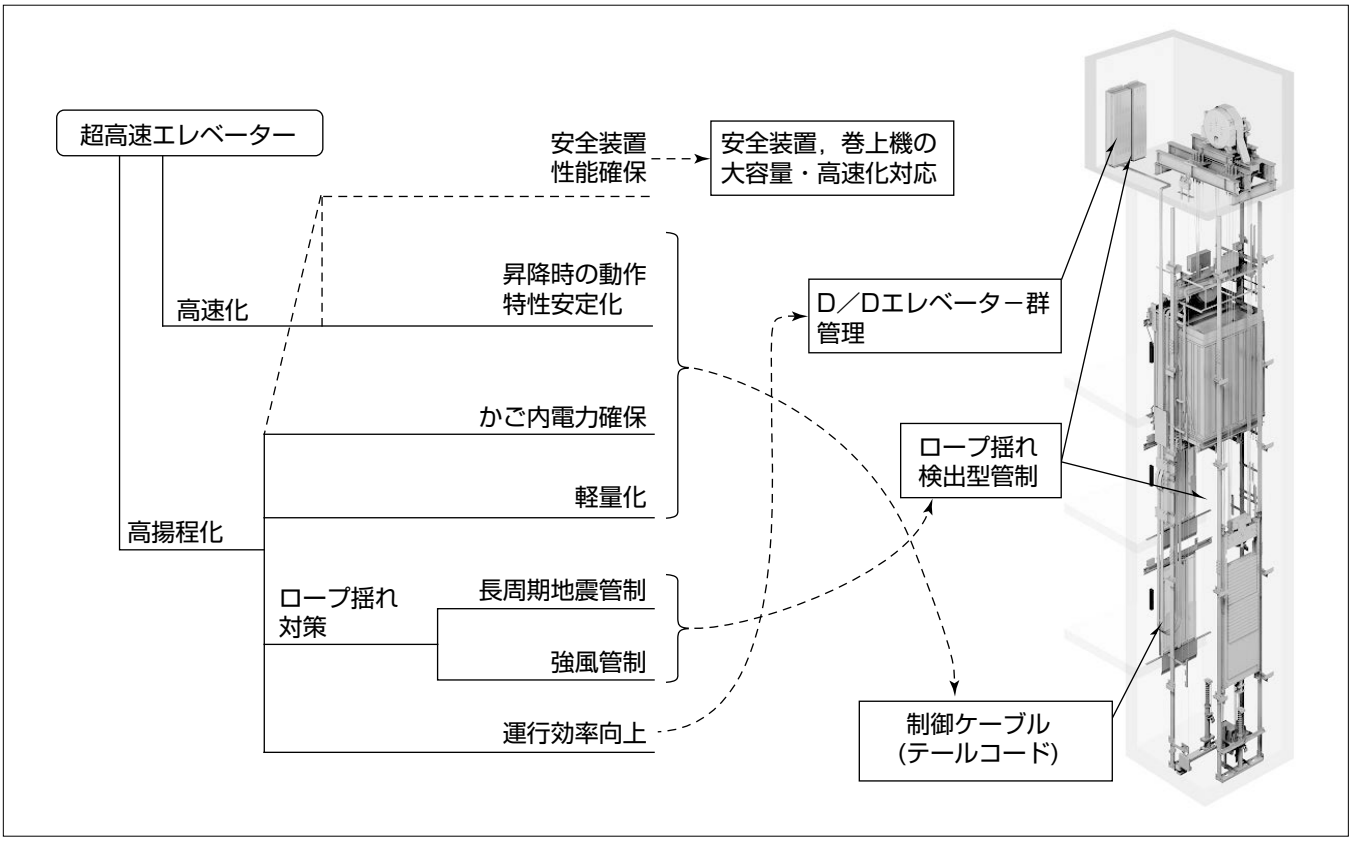
要　旨

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かりなど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。

*稲沢製作所　**先端技術総合研究所

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・引っ掛かり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。当社ではこれまでもロープ揺れ量推定型の管制運転を投入する[(1)]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

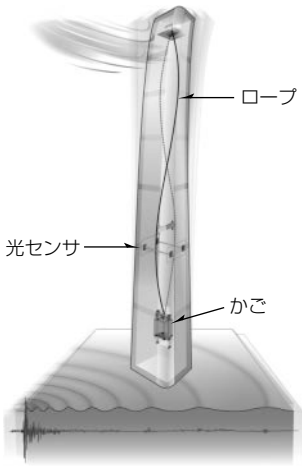
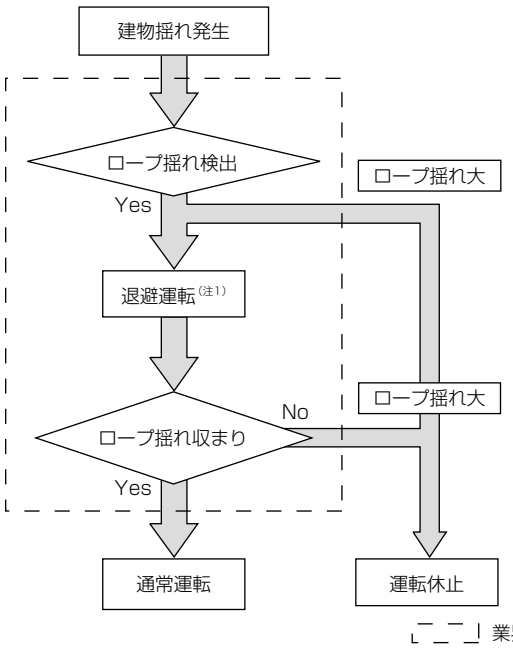


図1．ロープ揺れの検出



(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^2)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(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つの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3．制御ケーブルの一例[2]

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と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”の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。

⑴ 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。

⑵ 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。

⑶ シングル運転

上下2つのかごのうち，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つの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。

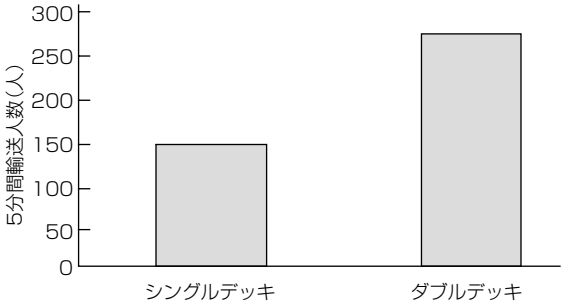


図5．5分間輸送人数比較

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，ロープ揺れ検出型管制運転，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

⑴ 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）
⑵ ㈱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）