

速度810 m/min超高速エレベーターの開発

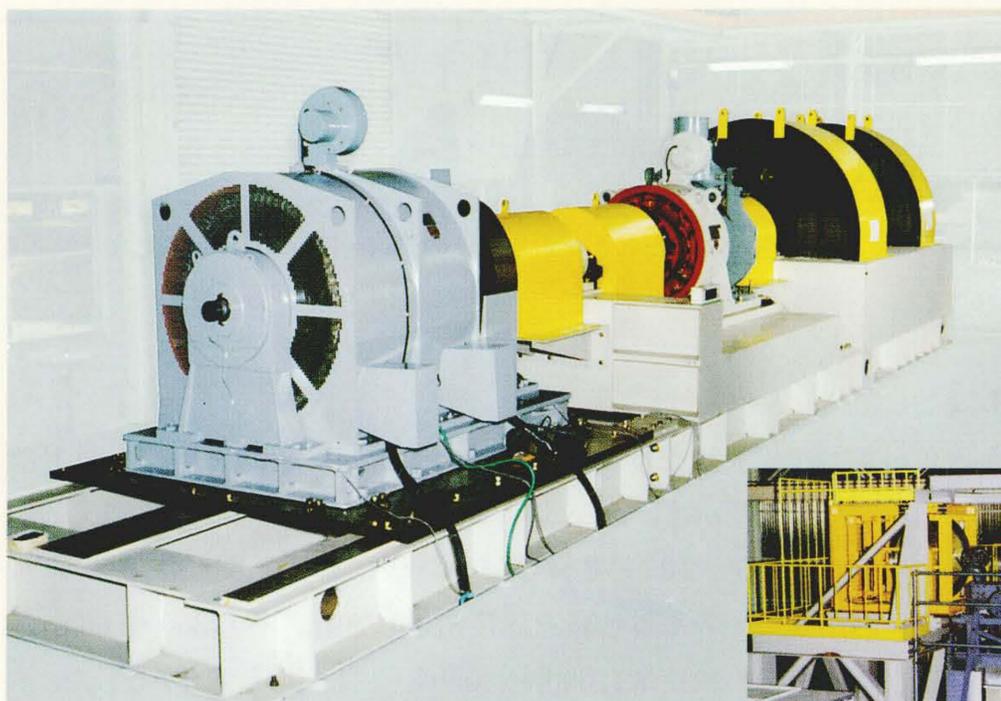
Super-High Speed Elevators(810 m/min)

重田 政之* Masayuki Shigeta

目黒 都志雄* Toshio Meguro

稲葉 博美** Hiromi Inaba

岡田 亮二*** Ryōji Okada



超高速エレベーター用の地上等価試験装置



気圧変化シミュレータ装置



走行シミュレータ装置

速度810 m/minエレベーターの走行環境を模擬する開発試験装置 行程500 mを速度810 m/minで走行するときの乗り心地や、制御の安定度、および昇降とともに変化する気圧と生理を評価する試験装置である。この試験装置によって乗り心地のよい、安定した超高速エレベーターを開発した。

わが国での超高層ビルは、今日、東京都の新都庁舎で代表される高さ200~250 mの50階建級のものが主体である。日立製作所は、都市の高層化とともにビル交通の一役を担う高速エレベーター製品を数多く納入し、昇降機技術を蓄積してきた。

米国ではSears Towerで代表される100階建級のビルが増えつつあるが、わが国でも都市の豊かな環境造りに向けて、100階建級ビルへの進展は間近くなっている。

日立製作所はこのような状況のもと、昇降行程

300~500 m、速度810 m/minの超高速エレベーターの開発を進めてきた。シミュレーション技術を駆使して要素技術の開発を進めるとともに、開発した要素技術をベースに実用化を図った。実機と等価な試験環境で、製品の機能や安全性および乗り心地性能を実証し、従来の540 m/minエレベーターと同等以上の性能を持つことを確認した。

開発した技術は、100階建級ビルのエレベーター設備に十分こたえられるものと確信する。

* 日立製作所 水戸工場 ** 日立製作所 日立研究所 *** 日立製作所 機械研究所

1 はじめに

わが国の都市での超高層ビルは、都市の再開発計画と建築技術の調和のもとに進展し、今日では50階建級を頂点に一つの都市文化を形成している。

一方、海外では米国のSears Towerに代表されるように高さ400～450 mの100階建級のビルが実現している。わが国でも、近未来都市に向けて都市空間の高度利用の要求は避けにくいすう勢にあり、100階建ビル時代への進展はそう遠くないものと判断する。

日立製作所はこのような100階建級ビルの時代に備えるため、行程300～500 m、速度810 m/minの超高速エレベーターの開発を進めてきた。ここでは、開発した超高速エレベーターの主要技術の一端について述べる。

2 超高層ビルとエレベーター

超高層ビルでのエレベーターは、垂直交通手段としてその使い勝手が見直され、今日の昇降機技術を確立してきた。

都市がその活力を持ち発展し続けるためには、インフラストラクチャの整備の中で活力ある快適空間を生み出す昇降機の積極的な技術開発が必要である。この観点から、次にくる100階建級のビル時代に備えて、開発すべきエレベーターの基本仕様について検討した。

2.1 開発基本仕様

エレベーターの利便性や快適性は、

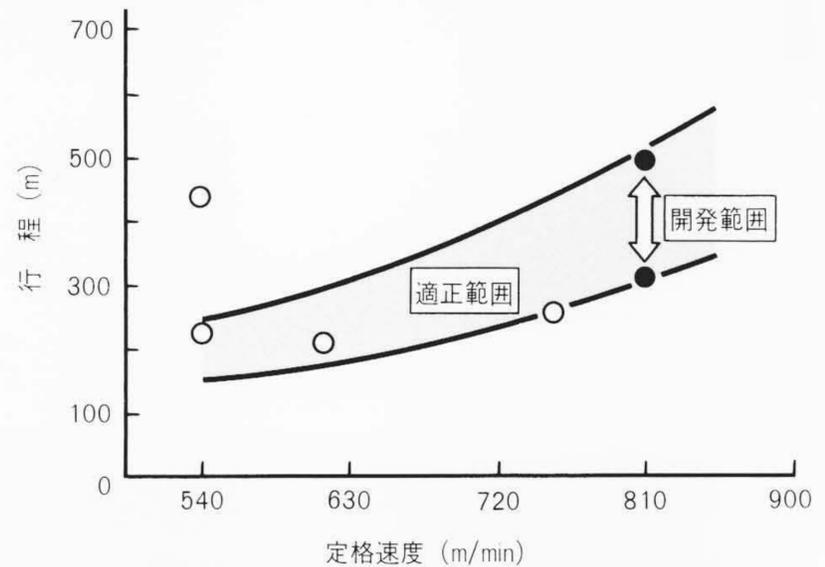
(1) 待ち時間、(2) 乗車時間、(3) かご内混雑度、(4) 乗り心地で評価される。

上記(1)～(3)は、エレベーターの設置計画と群管理制御仕様が主な決定要因であり、ビルの用途と人の流れの予測¹⁾から仕様を選定する。長行程のエレベーターの場合には、かご内という閉じられた空間で「人」がどのような感性を持つかを十分加味し、基本仕様を選定する必要がある。この感性要素として、

(1) エレベーターの乗車時間はおおむね60秒以下
 (2) 加速時間、一定走行時間および減速時間の均等性などが想定される。速度に対する適正な行程の関係を求めたものを図1に示す。

行程の下限値と上限値は、それぞれ定格速度での走行時間が加速時間の50%と150%のときの走行距離から定め、その範囲内を適正な行程とした。

速度810 m/minでの行程下限値は300 m、上限値は500 mとなり、走行所要時間はそれぞれ約40秒と55秒である。



注：○印は国内外の代表的な超高層ビルを示す。

図1 エレベーターの速度と適性行程 加速時間を単位時間としたとき、定格速度の走行時間が50～150%となる範囲を適正な行程範囲とした。

参考までに国内外の代表的な超高層ビルを図1に○印で示す。

100階建級のビル時代に備えて開発するエレベーターの基本仕様を速度810 m/min、行程300～500 mおよび積載質量1,600～2,000 kg(24～30人乗り)とした。

2.2 エレベーターの構造とその技術課題

超高速エレベーターの技術課題を、エレベーターの全体基本構造(図2)を用いて説明する。

エレベーターのかごと釣合いおもりは主ロープを介して巻上機で駆動され、また、主ロープの質量変化を補償する釣合いロープが最下部の張車を介してかごと釣合いおもりに連結される。

この基本構造で速度810 m/minで行程が300～500 mにもなると、ロープの質量が増加し、その結果、昇降機構系の運動エネルギーが増し、上下のフワフワ振動が現れやすくなる。

高速・長行程化に伴う駆動系、制御・機構系および安全系の主要課題と、それぞれの開発技術を表1に示す。以下、これらの主要技術について述べる。

3 乗り心地と制御安定度の向上を図る制振技術

3.1 低トルク脈動化を図った大容量インバータ²⁾

速度810 m/min、行程500 mおよび積載量1,600 kg仕様のエレベーターを駆動するインバータ装置の容量は、50階建級のエレベーターの約2倍の容量となる。

この大容量インバータ装置の開発にあたっては、実績

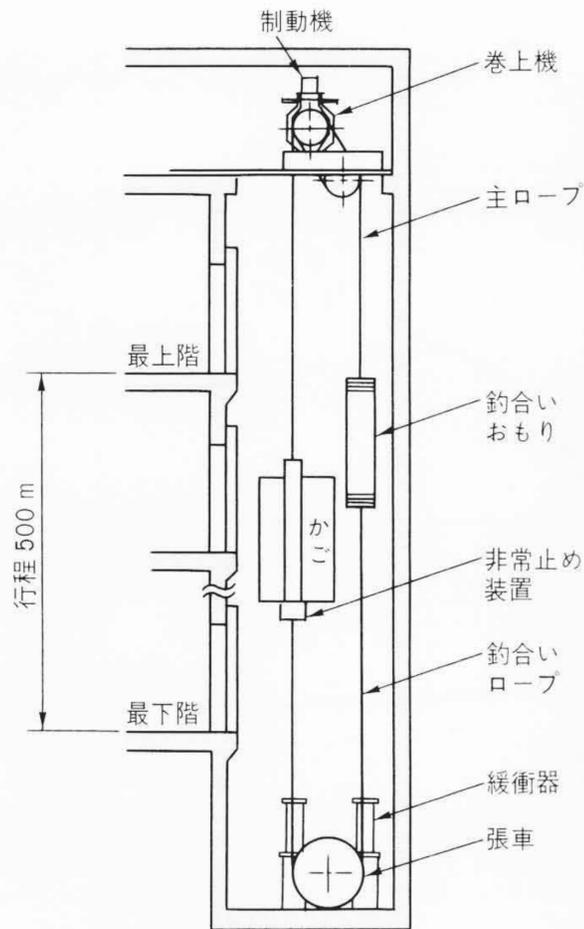


図2 エレベーターの全体基本構造 かごと釣合いおもりには巻上機を介して主ロープが付き、その下部に張車を介して主ロープの質量を補償する釣合いロープが付く。

のある既開発の技術を最大限に生かし、さらに冗長性と低トルク脈動化を加味した。

二組みのインバータ装置と独立2巻線のタンデム型電動機とを組み合わせたマルチインバータ制御方式を採用し、大容量インバータ巻上機システムを開発した。この構成を図3に示す。

表1 技術課題 エレベーターの高速・長行程化に伴う技術課題と、それぞれの課題に対して開発した技術を示す。

No.	技術課題	開発技術
1	大容量インバータ制御	●マルチインバータ ●低トルク脈動
2	上下振動抑制	●昇降機構系ダンパ ●モデル規範制振制御
3	高安定非常止め装置	●耐摩耗 } しゅう動材 ●高摩擦 }
4	大容量油圧緩衝器	●長ストローク緩衝
5	かご横振動制振	●高制振ローラガイド (粘性・磁気ダンパ付き)
6	走行騒音の静音化	●空力騒音低減構造 ●遮音構造

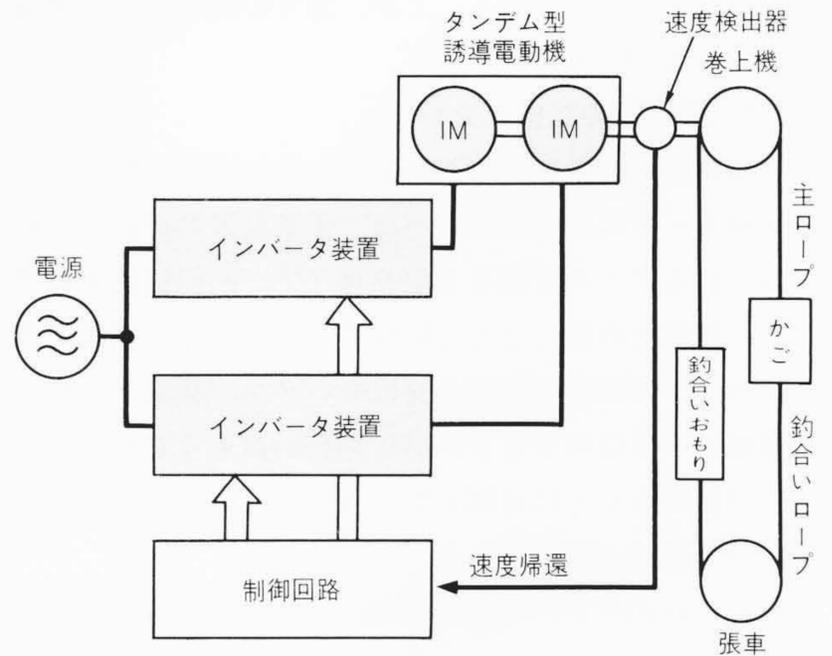


図3 マルチインバータのシステム構成 二組みのインバータ装置と独立した2巻線のタンデム型電動機でマルチ化を構成し、トルク脈動の低減を図る。

二つの電動機巻線電流に位相差をつけると、インバータの電流波形ひずみに起因するトルク脈動はその発生タイミングが分散され、その大きさは半減する。したがって、巻上機の容量が2倍になってもトルク脈動は従来の540 m/minクラスと同レベルに抑えることができた。

3.2 上下振動の制振³⁾による制御の安定化

ロープが長くなるとかごが上下に動くフワフワ振動が現れやすくなる。その結果、エレベーターの速度制御の安定度が低下し、着床運転時間が長くなる。

速度制御の安定度を確保するための上下振動の制振手段について以下に述べる。

上下振動の主なモードには次の二つのモードがある。

- (1) かごと釣合いおもりが共に同相で上下する同相モード
- (2) かごと釣合いおもりが互いに逆相で上下する逆相モード

従来、同相モードに対しては、上下振動する張車装置とピット間にダンパを付けて制振し、逆相モードに対しては、速度制御の速度帰還ループにフィルタを入れて機構系の共振周波数での安定化を図っていた。ロープ長が500 mにもなると、同相モードは約2.5 Hzから1 Hzに、逆相モードは約6 Hzから約2 Hzまで低下し、機構系の共振周波数がエレベーターの着床制御に必要な応答周波数領域に接近するので、逆相モードのフィルタリングによる制御の安定化が困難となる。長行程エレベーターでは、これらの振動モードに効果的な減衰機能を機構系と

制御系の両方に付加することが、乗り心地の向上を図る上での必須(す)条件となる。

3.2.1 機構系の制振ダンパ

今回新たに開発した昇降機構系のダンパを図4に示す。

同相モードに対するダンパは、張車装置の枠体に回転支持されるアームに張車を取り付けて、回転揺動するアームと枠体との間にばねと粘性ダンパを設ける機構であり、ロープの伸びの影響を受けないダンパ機構とした。

逆相モードに対するダンパは釣合いおもりを固定おもりと可動おもりとに分割して、各おもり間にばねと粘性ダンパを設ける機構である。

それぞれのダンパの制振機能により、行程500mのロープ長でも制御の安定化が達成できることを確認した。

3.2.2 モデル規範制御による制振

昇降機構系を単純な一つの慣性モーメントとみなして、速度制御系のモデルを速度制御用マイクロコンピュータの中に組み立てた。このモデルを規範とするいわゆるモデル規範制御で上下振動を制振する手段をとった。

この制振制御は、コンピュータモデルの速度と実エレベーターの速度との偏差信号から振動抑制トルクを電動機に発生させ、アクティブに上下振動を制振するものである。

行程500mのビルを想定したエレベーターの速度ステップ応答の結果を図5に示す。同図(a)は、制御系のゲインを従来並みにセット(相対値1)とした場合の応答であり、振動的な応答となる。同図(b)は、(a)に対して制御系のゲインを0.4倍に下げて系の安定化を図った上での応答であり、速度の立上りが遅い。同図(c)は、(a)に制振制御系を付加した場合の応答であり、上下振動は制振され、

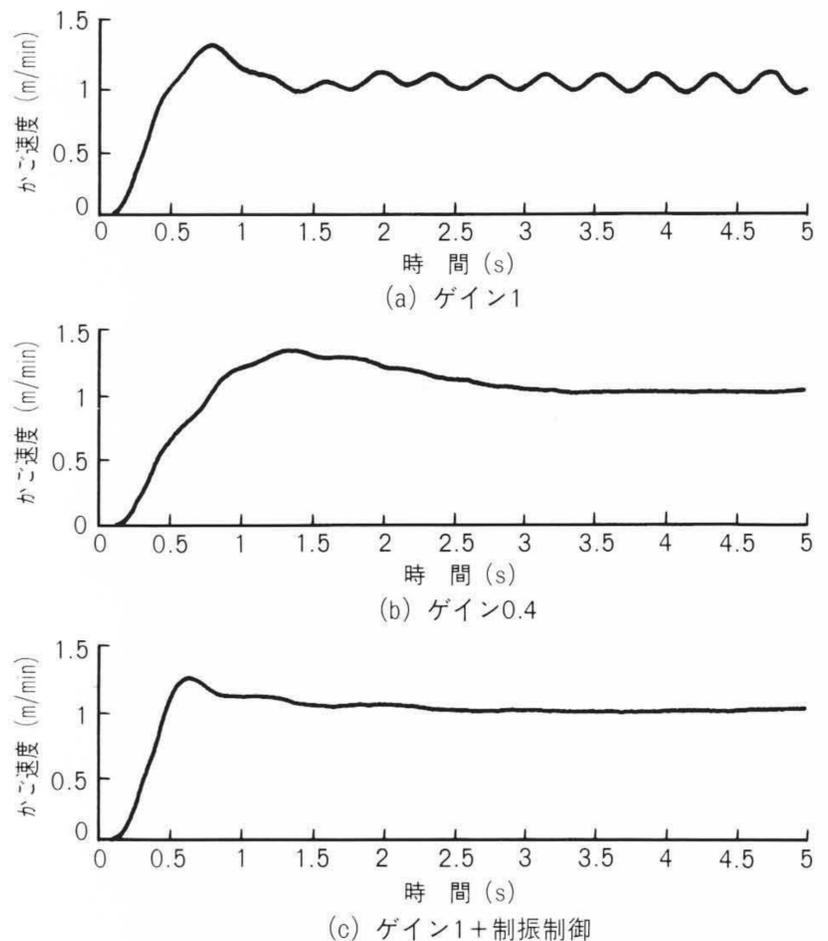


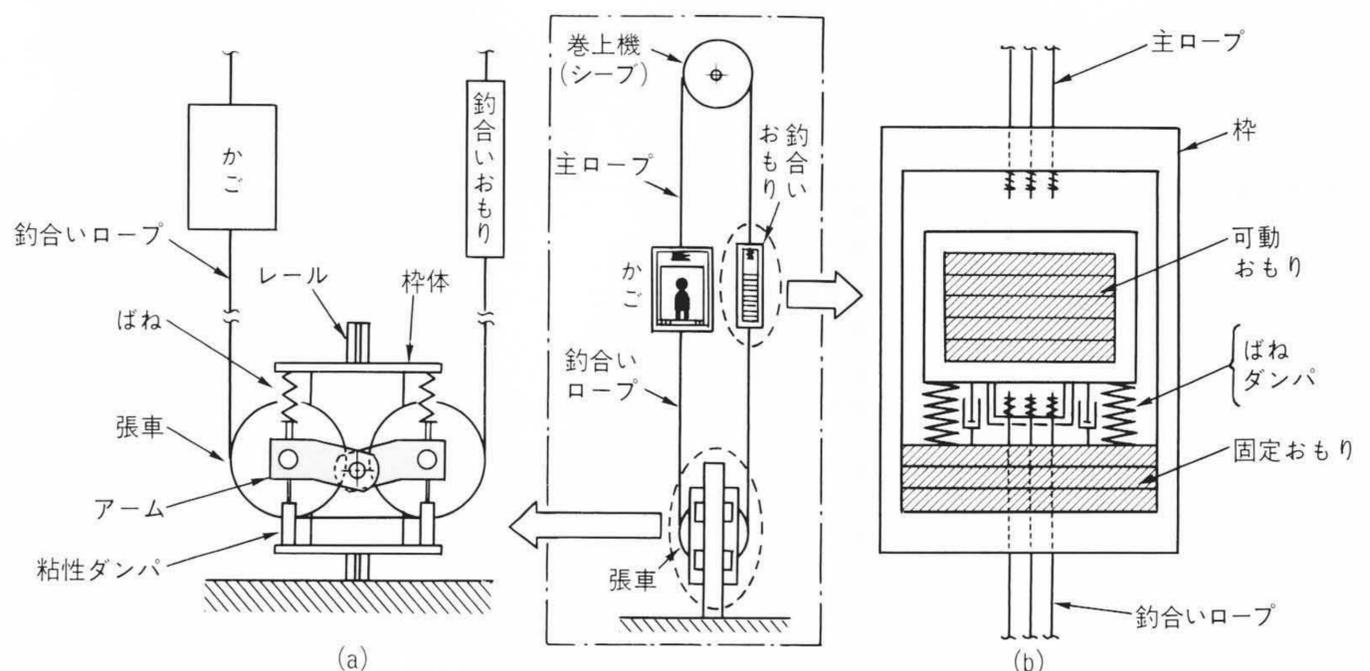
図5 モデル規範制御による上下振動の制振 (c)で示すモデル規範制御により、かごの応答速度の立上りを遅くすることなく安定化でき、スピード感のある着床運転ができる。

速度の立上りを遅くすることなく安定化を図ることができた。この結果、長行程でもスピード感のある着床運転ができるようになった。

3.3 走行中の横振動制振による乗り心地の向上

かごの横振動発生要因には、レールの曲がり、ローラガイドの偏心およびローラに作用する偏荷重がある。810 m/min走行でも、これらの量は従来並みとし、540 m/

図4 上下振動制振ダンパ機構 昇降機構系の張車を2連とする張車ダンパ機構を(a)に、釣合いおもりのおもり部を分割し、減衰機構を設ける釣合いおもりダンパ機構を(b)に示す。



minと同様の乗り心地性能を確保しなければならない。

新たな案内装置を開発するにあたり、実走行模擬試験ができる試験装置・走行シミュレータ装置(図6)を駆使して、高制振ローラガイドを開発した。

この案内装置はローラレバー部に粘性ダンパが、ローラ台上部に減衰量が制御できる磁気ダンパが付く。その外観を図7に示す。

レールの曲がり部を810 m/minで走行したときの新案内装置と、従来の案内装置の横振動加速度応答の比較を図8に示す。新案内装置では横振動は約 $\frac{1}{2}$ に制振でき、540 m/min走行と同様の乗り心地性能を達成している。

4 高速走行の安全性を確保する安全装置

今回開発した安全装置の次第利き非常止め装置と油入緩衝器の仕様を表2に示す。同表には540 m/minクラスの安全装置の仕様を参考値として併記した。

4.1 非常止めの装置

810 m/minのエレベーター用次第利き非常止め装置は作動速度が950 m/minを超えるため、その制動エネルギーは非常に大きなものとなる。その結果、制動子の要求性能は既存の技術レベルをはるかに超えるものとなる。このため、非常止め装置の作動時を模擬したトライボロジ試験装置による制動子材料の開発を進め、耐摩耗性が優れ、高摩擦特性の得られる特殊鋳鉄を開発した。この特殊鋳鉄を制動子に採用し、制動面形状の最適パターン化を図った結果、非常止め装置は制動距離、最大減速度

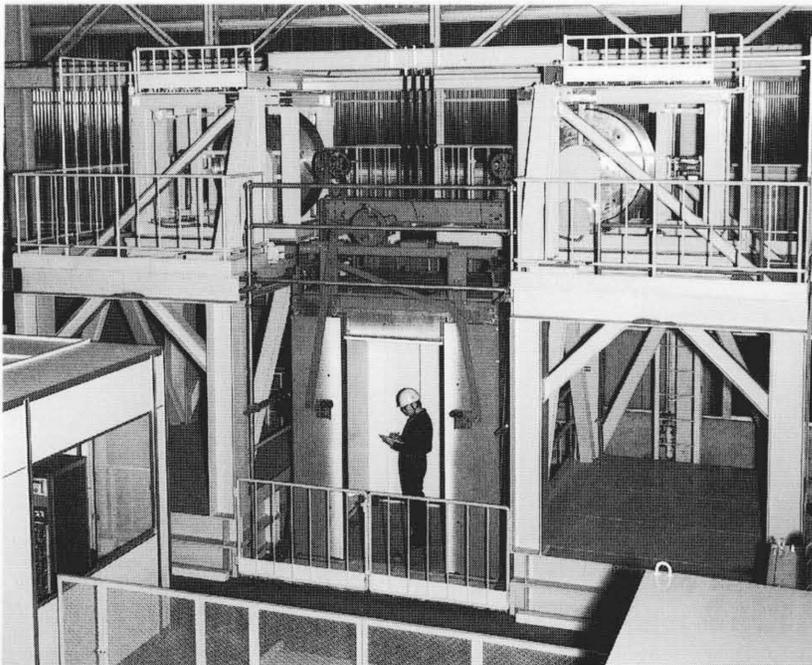


図6 走行シミュレータ装置 エレベーターの案内レールを回転円盤で、また、その曲がり部は油圧加振機で模擬し、かごの実走行状態が模擬できる装置である。

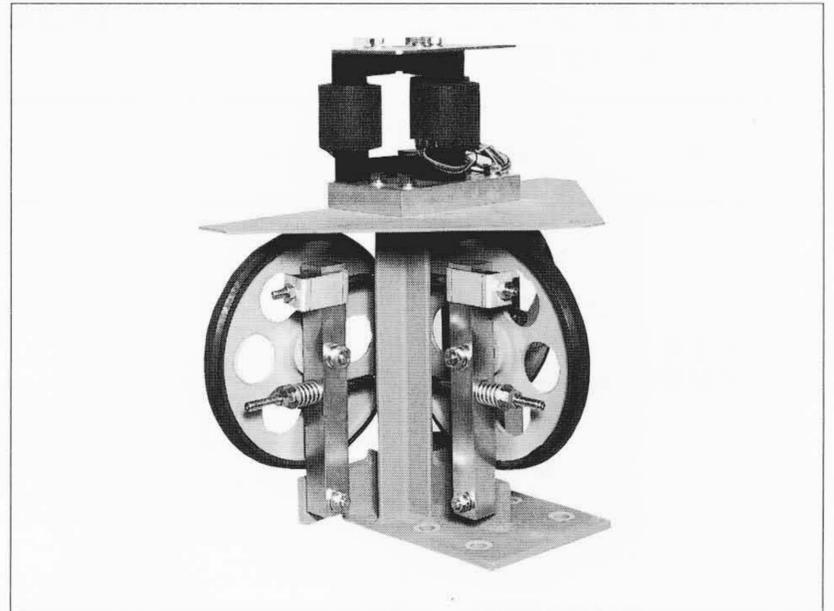


図7 ダンパ付きローラガイド ローラレバー部に粘性ダンパを、ローラ台上部に減衰量が制御できる磁気ダンパを持つダンパ付きローラガイドを示す。

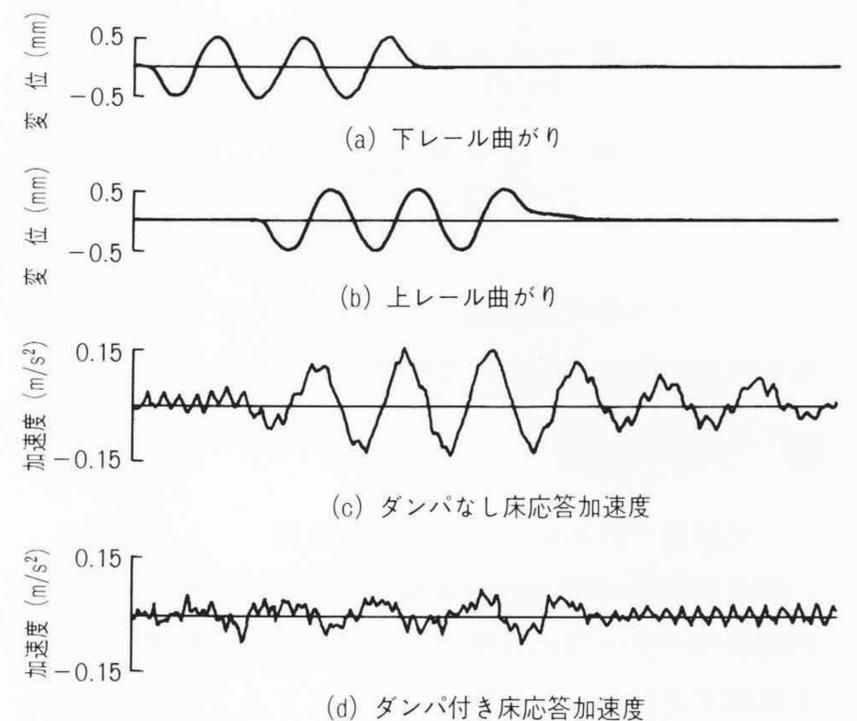


図8 レール曲がり部通過時のかご床の加速度応答 速度810 m/minで走行時、ダンパ付きの案内ローラとすることにより、かご床の加速度は半減する。

およびかごの傾きとも、国内法およびANSI(American National Standards Institute: 米国国家規格協会)規格の規定値以内で動作することを実機規模の落下試験装置で確認した。

4.2 油入緩衝器

810 m/minエレベーターには終端階強制減速装置を設けて、油入緩衝器の定格速度を480 m/minとした。この緩衝器は動作行程が4,320 mmと非常に長大となるが、復帰ばね内蔵型として省スペース化を図った。この油入緩衝器の試験を定格緩衝速度の115%(552 m/min)まで実

表2 安全装置の開発仕様 開発した安全装置の仕様を従来の540 m/min用の安全装置の仕様と比較して示す。

項目	開発品	比較データ (540 m/min用)	
次第利き非常止め装置	定格速度 (m/min)	810	540
	調速機作動速度 (m/min)	956	642
	最大荷重 (kN)	127	93.1
	制動距離 (m)	12.8~36.9	5.8~16.8
油入緩衝器	全高 (mm)	11,200	6,016
	行程 (mm)	4,320	2,430
	最大緩衝速度 (m/min)	552	414
	最大荷重 (kN)	83.3	73.5
	平均減速度 (m/s ²)	9.8以下	
	最大減速度	24.5 m/s ² を超える減速度の継続時間は0.04 s以内	

施し、かごの最大減速度、平均減速度など、すべての性能が規定値以内であることを確認した。

5 今後の課題

(1) 低層階でのエレベーターの占有率

高さが300~500 mの超高層ビルでは、一般に低層階でのエレベーターの占有率が大きくなる。低層階の占有率を低減するには、大量輸送を可能にする2階建のダブルデッキシャトルエレベーターを用いることである。上述の開発技術の応用により、その高速化は可能である。ダブルデッキ方式による輸送効率向上、占有率低減などの長所を生かしたエレベーターの設置計画や群管理制御仕様の選定がビル個別の検討事項の重要なポイントとしてあげられる。

(2) 気圧変化と生理

高さの変化にほぼ比例して気圧は変動する。この気圧



図9 気圧シミュレータ装置 エレベーター昇降特性に応じて、エレベーターのかご内の気圧が変化する高低差気圧シミュレータ(最大高低差800 m)装置を示す。

の変化で人は「耳詰まり」現象を感じ、だ液を飲み込む動作でこれを解消している。

エレベーターの昇降に応じ、かご内の気圧変化を模擬する気圧シミュレータ装置(図9)を用い、高さ500 m程度の高低差での感じ方を調べた。高さ500 mの高低差では、高さ200 mのそれと比較してだ液を飲み込む動作が1回ないし2回増す以外は大差なく、人の順応性を確認している。今後は人がそれぞれの特性や体調によって、どのような生理反応を示すかを明らかにし、その改善策を積極的に進めていく予定である。

6 おわりに

都市空間の高度利用計画の進展について展望し、100階建級のビルに対応する速度810 m/minエレベーターを開発し、製品化した。速度810 m/minでも従来の速度540 m/minのエレベーターと同様の安全性と乗り心地を確認することができた。今後はさらに、ビルの利用形態と利用規模に適合した使いやすいエレベーターの実現に向かって、積極的に取り組んでいく考えである。

参考文献

- 1) 坂井, 外: 個性化知能群管理エレベーターシステムの開発, 日立評論, 71, 5, 115~122(平1-5)
- 2) 坂井, 外: インバータ制御超高速エレベーターの開発,

日立評論, 70, 10, 993~998(昭63-10)

- 3) 重田, 外: 高速エレベータ縦振動系の解析, 日立評論, 50, 9, 842~845(昭43-9)