U.D.C. 621.876.1-531.6

霞が関ビル納

300 m/min ギヤレスエレベータの制御

Control of 300 m/min Gearless Elevators for Kasumigaseki Building

宮尾英夫* 青木通雄*
Hideo Miyao Michio Aoki

要　　旨

超高層ビル用エレベータは高速であるとともに，円滑な速度特性，精密着床，高信頼性を必要とする。霞が関ビルに納入した 300 m/min エレベータには全静止形帰還制御セラコンスタック方式を採用し，所期の目標を達成することができた。また運転方式や安全装置についても超高層ビルの特質にマッチした新方式を開発した。また，将来さらに高速化されるエレベータの需要に応ずるため 540 m/min エレベータの研究を推進しているので，その一端を述べる。

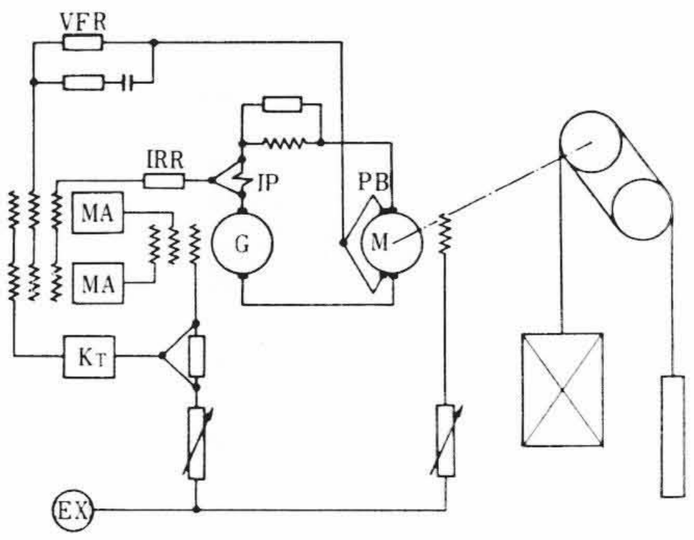
1. 緒　　言

超高層ビルでは，ビルの効率を最大限に高めるようレンタブルスペースをできる限り多くとり，かつビル内の交通需要を迅速，円滑に処理することが重要であるから，エレベータ1台当たりの輸送能力を増強することが必要であり，定格速度も高くなる。しかし，高能率なエレベータは高速であるだけでは十分でなく，短階床のサービスも含めて常に短時間でサービスでき，かつ乗心地のすぐれた円滑な速度特性を有すること，乗客が円滑に乗降できるよう着床が精密であることが必要である。すなわち，超高層ビル用エレベータの速度制御上の要件は迅速，円滑な速度特性，精密着床，高信頼度である。超高層ビルにおけるエレベータ設備は，その性能の良否がビル全体の機能を左右するほど重要なものであるから，これらの要件は従来のエレベータにも増して十分に具備されねばならない。

先般，霞が関ビルに設置された 300 m/min ギヤレスエレベータは，わが国では最高速度のものであるばかりでなく，超高層ビル用エレベータとしての要件を十分に備えたものである。日立製作所は超高層ビル時代の到来を予期して社内研究塔において早くから高速エレベータの研究に着手した。速度制御範囲の拡大や負荷慣性の増大など速度制御上の諸問題を解決するため，高利得の帰還制御系を採用したセラコンスタック方式エレベータを開発し[1]，すでに多数の高層ビルに納入してきたが，霞が関ビル納 300 m/min エレベータにおいてはこれらの成果をさらに発展させたものである。本稿では，速度制御を主体とする成果の一端を報告する。

2. 高速エレベータ制御上の問題点と対策

ギヤレスエレベータの速度制御においてはワードレオナード方式を基本としている。円滑な乗心地と精密な着床性能を実現するためには，起動から停止にいたる全走行時間にわたって，速度と位置を正確に制御することが必要であり，これはほかのワードレオナード制御とは異なるエレベータ制御の特質である。高速エレベータでは，定格速度が高くなることによって速度制御範囲が拡大し，このため制御系に影響する外乱因子が増加したり，影響度が大きくなる傾向にある。たとえば，発電機のヒステリシス特性，残留電圧やブラシドロップなどの影響が相対的に大きくなり，着床のための安定した微速度特性や均一な過渡的速度特性を得るには制御上種々のくふうが必要である。日立高速エレベータにはさきに開発したセラコンスタック方式――全静止形帰還制御方式――を採用し，制御系の外乱を AVR 系の高い制御性で補償するようにしている。セラコンスタック方式の回路構成は図1に示すとおり電動機に設けたパイロットブラシから逆起電力を検出するものであり，ブラシドロップを含めた内部電圧変動を補償することができる。帰還増幅器には直線性が良く，温度，電圧などの外乱に対してきわめて安定した高性能磁気増幅器および回路構成を採用しているから，帰還制御系の効果は常に安定している。



G ：発電機　IP ：発電機補極　VFR ：電圧フィードバック抵抗
M ：電動機　PB ：パイロットブラシ　IRR ：電流フィードバック抵抗
EX ：励磁機　MA ：磁気増幅器　KT ：基準指令遅延要素

図1　セラコンスタック方式回路図

表1　150 および 300 m/min エレベータの諸定数の比較

定格速度 m/min	定格積載量 kg	昇降行程 m	懸垂荷重 kg	ローピング	シーブ直径 m	電動機軸 GD^2 kg-m²
150	1,150	50	10,000	2：1	0.64	1,024
300	1,600	150	14,000	1：1	0.90	11,340

迅速，円滑な速度特性を実現するため速度基準指令は連続して変化するプログラムで与えられる。したがって，外乱による速度変動を補償する帰還制御系および定位置制御の効果を十分にうるためには，制御系の応答速度を早める必要がある。AVR 制御方式では発電機電圧の遅れを補償することができるから，発電機電圧に対する電動機速度の遅れ，いわゆる機械的時定数を小さくすることが特に重要である。機械的時定数を決定する要素の一つである負荷の GD^2 について考慮してみる。超高層ビルでは収容人口が多く，乗客の到着密度も高くなるから輸送能力強化の手段の一つとしてエレベータの定員を大きくするのが普通である。また昇降行程が長いのでロープは長く太くなり重量が増加する。したがって，懸垂荷重および慣性は従来のギヤレスエレベータに比べかなり大きくなる。さらに，駆動電動機軸からみた慣性はローピングにも関連する。従来，150 m/min 級のギヤレスエレベータでは減速キヤを使用しないかわりにローピングを 2:1 とし，1/2 の減速比を得ていた。しかし，超高層ビル用エレベータでは高速化に伴って 2:1 ローピングではロープ

* 日立製作所水戸工場

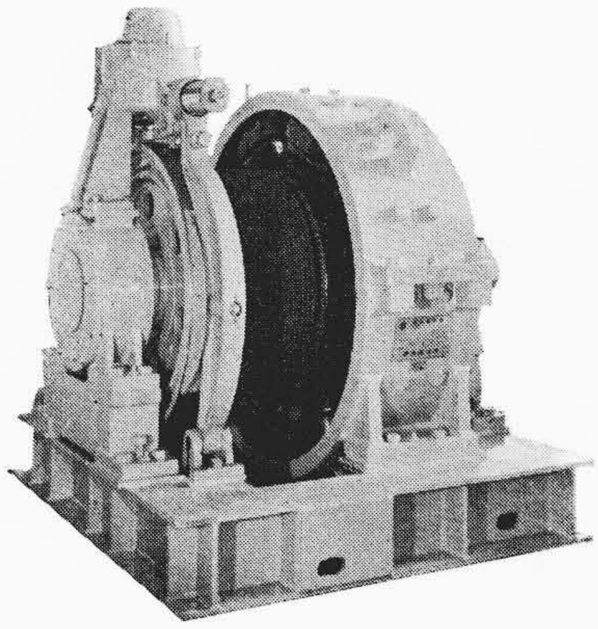


図 2　300 m/min エレベータ用巻上電動機

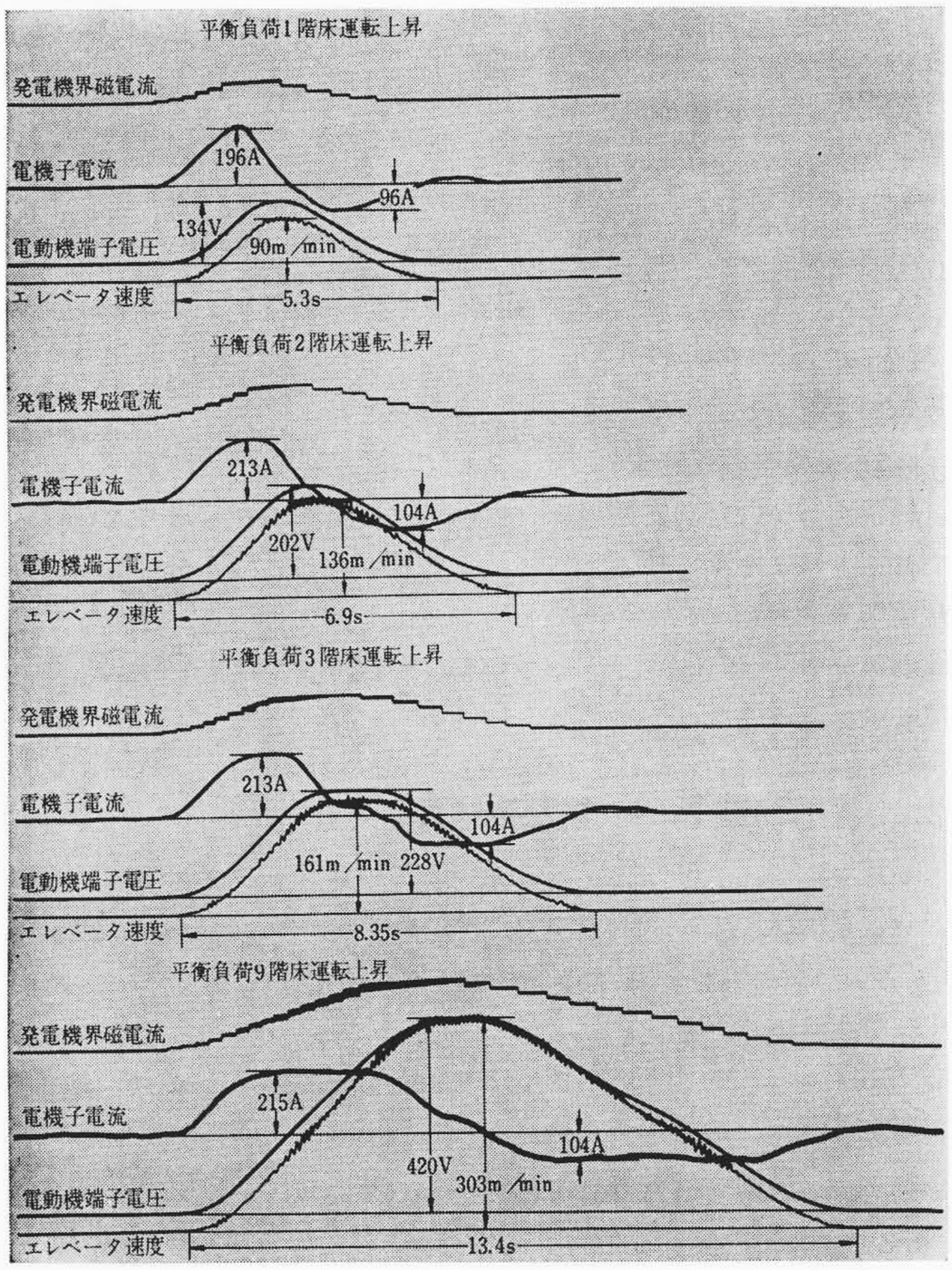
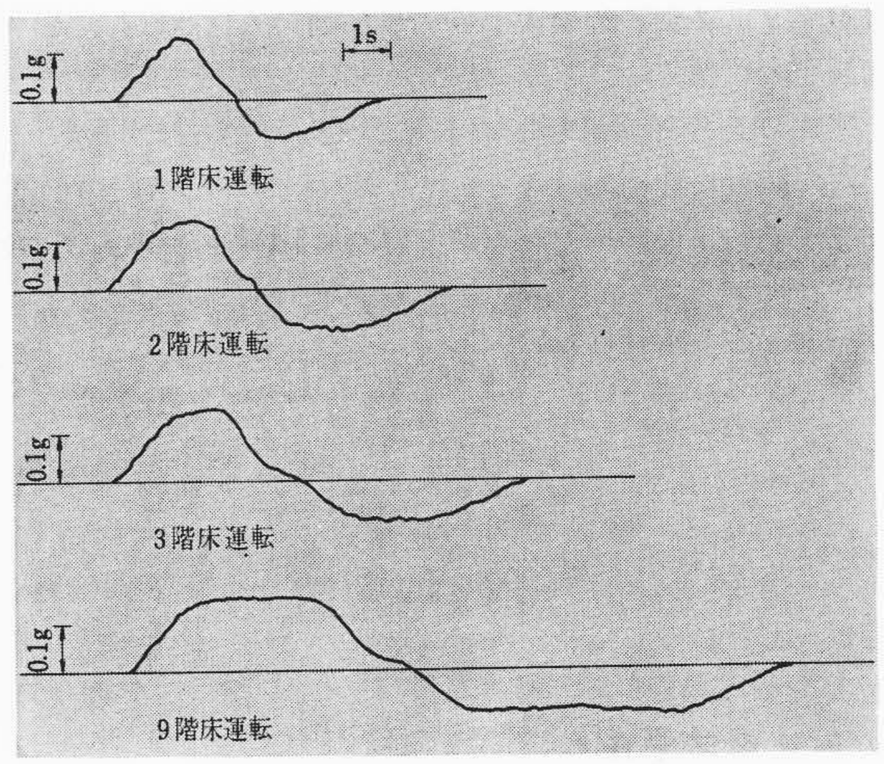


図 3　300 m/min エレベータ速度特性

速度が著しく早くなり，巻上シーブ上の騒音を伴うため特別の考慮が必要になるほか，ロープが長く工事上不利になることなどから，1:1 ローピングを採用している。したがって，減速比は 1:1 となり駆動電動機軸からみた直線運動部分の等価慣性は 2:1 ローピングの場合の 4 倍となる。前述した機械系の重量増加をあわせると，高速エレベータでは慣性が非常に大きなものとなる。**表 1** は定格速度が 150 および 300 m/min のエレベータについて，最も一般的な仕様のもとにこれらの定数を計算してみたものである。一方，迅速な運転を実現するためにエレベータの加減速度は乗客の乗り心地をそこなわない条件のもとで大きくとるから，十分に安定した電動機トルクが必要である。また，負荷変化などの外乱に対して影響度の少ない直線的トルク特性と制御系の即応性をうるために，電動機の電機子抵抗をきわめて小さく設計することが必要となる。日立高速エレベータ用電動機はこれらの点を十分検討した特殊設計となっている。**図 2** は 300 m/min エレベータ巻上用電動機の外観を示したものである。



（無負荷上昇運転）

図 4　300 m/min エレベータ加減速度特性

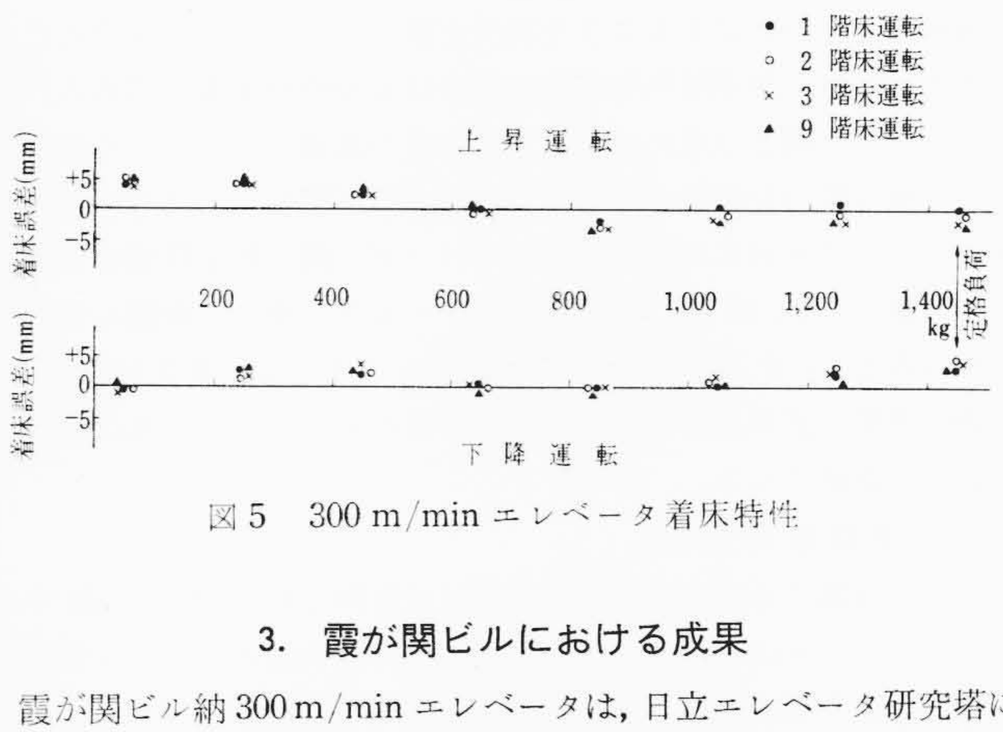


図 5　300 m/min エレベータ着床特性

3. 霞が関ビルにおける成果

霞が関ビル納 300 m/min エレベータは，日立エレベータ研究塔における約 1 年間にわたる種々の研究試験の結果に基づいて設計，製作されたものである。

速度特性は高速エレベータの理想速度特性である台形波加速度特性[1]を目標とした。加速度に対しては乗心地の円滑さとともに高速エレベータの速度感を強調するために最大値を 0.15 g 程度としている。**図 3** は 300 m/min エレベータの速度特性および短階床運転時の速度特性の代表的な実測オシログラムである。また**図 4** はケージ内における加減速度の実測値である。いずれもほぼ台形波加速度特性を示し，階床運転が変わっても加速度変化率および最大加速度はほとんど一致しているから，きわめて円滑な乗心地が得られ，乗客は高速化による不快感，不安感なしに短時間のサービスを享受することができる。また，着床のための減速特性はすべての条件できわめて安定しているから着床精度が高い。着床精度を得るためには着床寸前に急激な速度特性の変化が生じたり，クリープ運転を生じたりしてはならない。**図 5** はかご内負荷と階床運転が変わった場合の着床誤差を測定した結果である。着床精度は ±5 mm 以内であり安全，迅速な乗客の乗降が可能である。これらの成果は，高利得の帰還制御系と即応性の高い位置制御による外乱補償効果が十分に発揮された結果であり，セラコンスタック方式が高速エレベータの制御に適格である証左となろう。

長行程のエレベータでは，ロープが長くなるために生ずるかごの上下振動や着床面変動が問題となる。これは駆動系に不連続なトルク変化があるとかごとロープおよびばねよりなる機械系を加振して生ずるもので，乗心地を害したり乗客の乗降に支障をきたしたりするおそれがある。したがって，振動系の解析と適切な吸振機構を考慮する必要があるほか，電動機トルク制御を円滑にし，かつ起動，

停止時のショックをきわめて小さくしなければならない。図4に示した加減速度特性では上下振動成分は非常に少なく，振動加速度は乗客が感知しうる20 Gal程度を十分下まわっている。また，ロープはかご内の荷重の変化にともなって伸縮するから，たとえば最下階で多人数が乗降するとかご床面が推移し着床誤差と同様の現象が生ずる。このため，床面が10 mm程度推移するとただちに乗客が気づかぬ程度の微速度で再起動し，常に乗客の乗降がスムースに行なわれるようにしている。

4. 運転方式

霞が関ビルに設置された300 m/min エレベータは運転方式にも超高層ビル用としての特長をもっているのでその概要について述べてみよう。

4.1 展望客用運転

超高層ビルの最上階は展望が良くなるので観光客へのサービス，あるいは都会人の憩いの場所として好適で，展望台，レストラン，喫茶室などが設けられるのが普通である。この傾向は将来においても超高層ビルが林立するような場所を除いては一般的なものになると考えられる。展望階利用客の大部分はビルの外来客で占められるから，ロビー階との間には高速，大容量の直通エレベータを設置し十分の輸送能力を確保する必要がある。霞が関ビルでは300m/minエレベータ2台がこの需要に供せられロビー階と展望階間を専用運転しており，最上階まで30秒程度でサービスできる。実際の稼働状態をみると，1日12時間寸時の休止もなくほとんど満員上昇，満員下降の過酷な使用条件下にあり，この種のエレベータの高信頼度の必要性が痛感される。

4.2 消防隊用運転

火災に対処する管理方法は超高層ビル計画上の大きな問題である。エレベータは避難および消火活動のための足としてビル管理者の判断により集中管理され，避難のためには（1）いっせいに，（2）1台ずつ自動的に，（3）選択的に任意のエレベータを，といった方法で基準階に帰着させることができるほか，任意の台数を継続して連転できるようにされている。さらに，300 m/min エレベータを含めた合計4台のエレベータは消防隊員の活動のために特殊な運転が可能なようくふうされている。その概要は次のとおりである。

（1） 消防専用運転

保守室に設けられた消防運転選択スイッチの操作によりエレベータはそのときの運転状態にかかわりなくすべての呼びを無効とし1階に直行する。1階到着後はドアを開いたまま消防隊員の乗り込みに待機する。隊員がエレベータに乗り込み，運転盤に設置した消防専用スイッチを操作すればかご内呼びのみによる専用運転となりビル内のどの階へも直行することができる。

（2） 消防非常運転

消火活動が開始されればエレベータシャフトが冠水したり出入口ドアの開閉あるいはドアスイッチの動作が不完全になることなどもありうる。このような場合にも遅滞なく消火活動が行なわれるよう制御器具類には防滴構造を採用するほか，運転盤に消防非常スイッチを設けこのスイッチの操作中はドアスイッチやピット内のスイッチ類を切り放して低速で運転できるようにしてある。すなわち消防隊員の判断によって最悪の条件でも消火活動が遂行できるとともに安全性についても十分の考慮がはらわれている。図6はかご内運転盤，図7は各階に設置されたかご位置を示すインジケータの外観写真であり，消防運転に使用するスイッチ類の位置，各種の表示灯を示したものである。消防運転および前節で述べた展望運転時にはかご内運転者の選択する階床にのみサービスするので，ホールの客に対しては消防専用あるいは展望用の表示をするようにしてある。

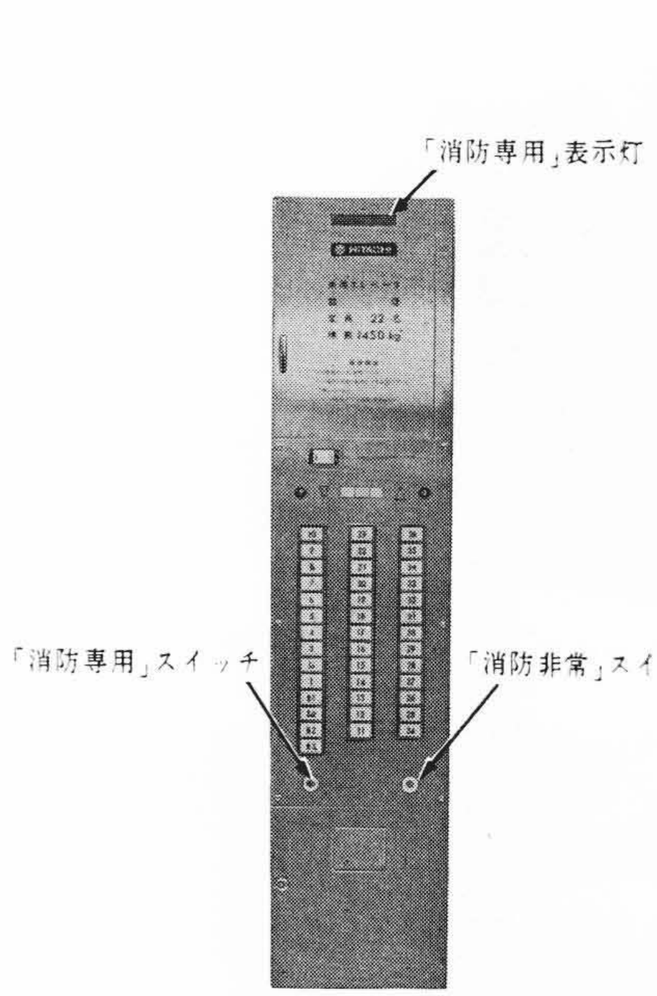


図6　300 m/min エレベータ用運転盤

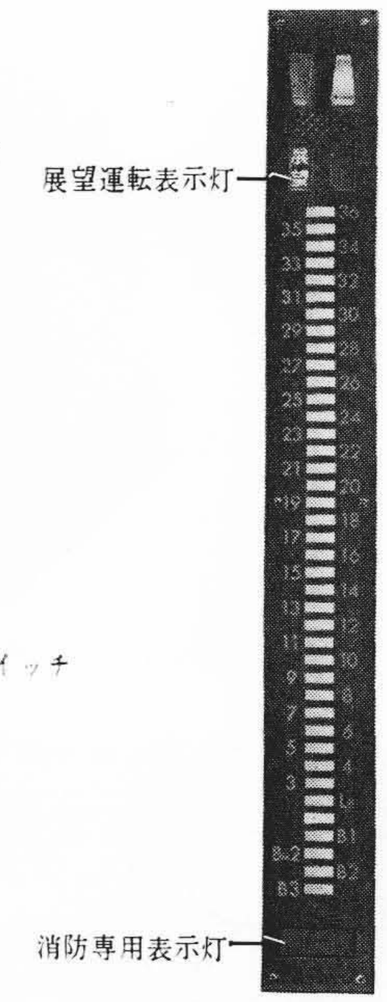


図7　インジケータ

4.3 その他の運転

展望あるいは消防運転の場合以外には一般客のサービスにも使用できる。特に全階をサービスできる特長を有しているから事務所の残業者サービスや夜間のサービスなどにも適している。このような場合には並設エレベータとの全自動群管理方式を採用し効率の良い運転を行なうようにしている。

5. 端階強制減速装置

高速エレベータの安全装置は従来までのエレベータと同等以上の安全性を確保している。本項では，300 m/min エレベータに対して新たに設置された端階強制減速装置について簡単に言及する。定格速度が150 m/min を越えるエレベータでは，速度に適合した緩衝器を使用するとストロークが長くなり緩衝器を設置するピットの深さが非常に深くなる。このため，あらかじめ緩衝器にあたる前にかごを強制的に減速させる装置を設け，短いストロークで十分安全な緩衝作用が行なわれるようくふうしてある[2]。もちろん，エレベータ制御回路および器具については綿密な設計，製作と十分な試験を行なって高信頼化を図っているほか，最上，最下の両端階に対しては減速装置が2重に設置されている。すなわち，正規の減速装置およびこれをバックアップしてかごが緩衝器に衝突しないよう床面の近傍に停止させる装置（スローダウンスイッチ）を設けて万全を期しているが，これらの減速装置のいずれもが故障するという最悪の条件のもとでも端階強制減速装置によって自動的にかごを非常減速させ，設置した緩衝器のストロークで安全な緩衝作用を行なえる速度まで衝突時の速度を下げるようにしたものである。これは，エレベータの安全性を確保したまま高速エレベータ設置上の経済性を考慮して開発したものである。

本装置は，前述した2種の減速装置の不動作を検出するため異常速度を検出する調速機接点と端階から予定した減速位置を検出する装置を備えており，これらの接点がいずれも動作した場合には直ちに巻上電動機に非常停止指令を与えるとともにマグネットブレーキによって急減速させ，緩衝器への衝突速度を予定した速度以下にさげるよう動作する。図8は本装置の配置を示す昇降路断面図（a）および動作ゾーンを示す速度，位置関係図（b）である。図からわかる

ように正規減速装置あるいはスローダウンスイッチによって減速した正常特性では本装置の動作ゾーンを通過しないから，最下階のレベルに正規に着床する。もしこれらの減速装置が動作せず，しかも緩衝器の許容衝突速度以上の速度で走行してくれば，斜線を施した端階強制減速装置の動作ゾーン内に進入した瞬間に非常制動がかかる。停止指令位置はエレベータ速度を緩衝器の許容衝突速度以下に必ず減速しうる予定距離を考慮して設定してあるから，いかなる速度で走行してきても必ず安全な緩衝作用が行なわれる。本装置の動作ゾーンを設定する調速機および位置検出装置を2段階に設けた理由は，これによって緩衝器の衝突速度をできる限り低下させるためである。

霞が関ビル納 300 m/min エレベータでは，緩衝器のストロークは 1,081 mm (許容衝突速度 267 m/min) のものを使用したのでピットの深さは 240 m/min エレベータの所要ピット深さと同じ 4 m とすることができた。図9は本装置の試験オシログラムの一例で，緩衝器への衝突速度(図9では端階床面におけるエレベータ速度で示す)が十分安全な速度まで下がっていることを示している。

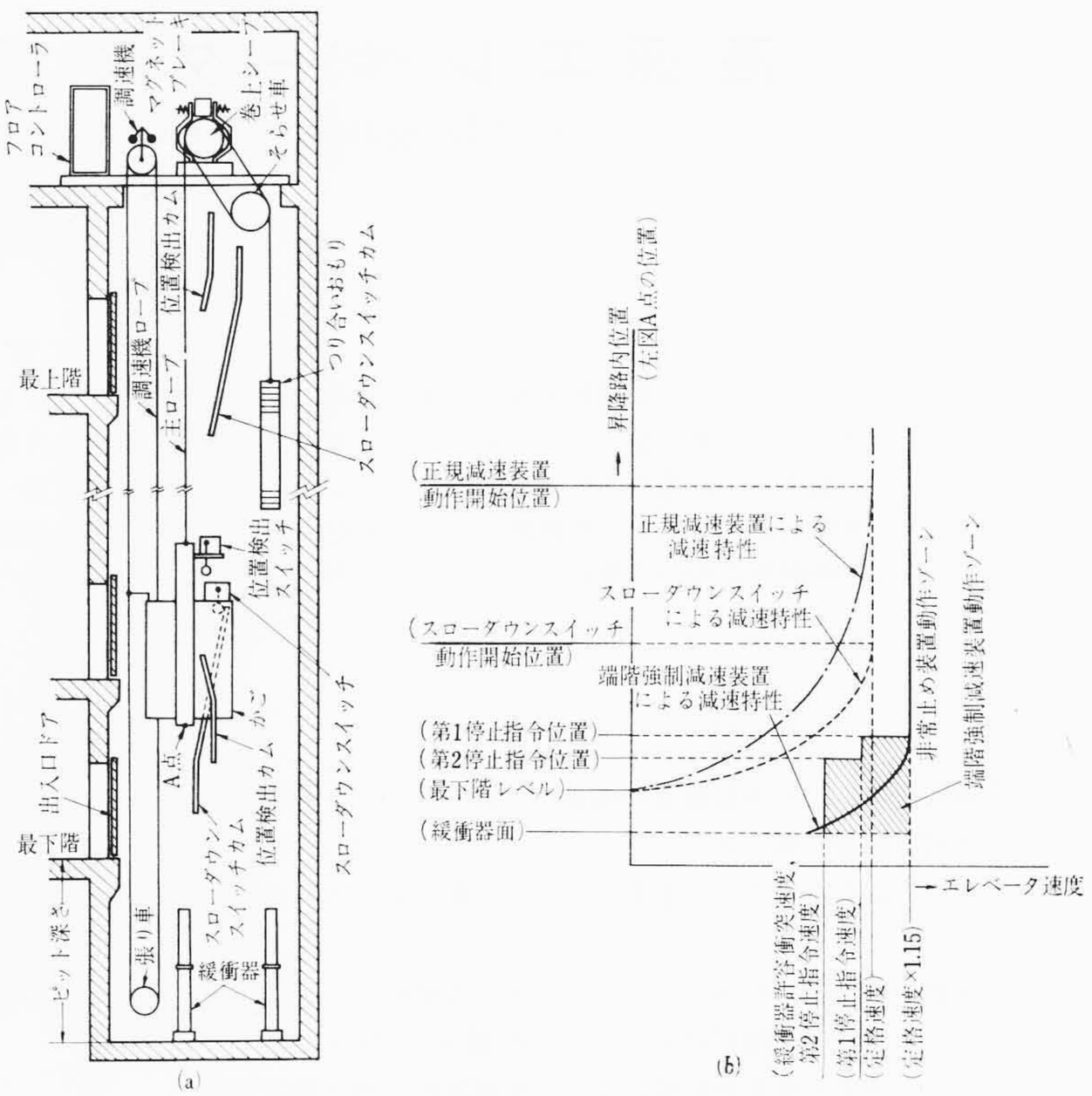


図 8　端階強制減速装置説明図

6. 高速化の将来

経済の発展に伴う都市機能の膨張は建築の立体化を本格的に推進しはじめ，霞が関ビルを端緒として多数の超高層ビルが建設されようとしている。一方，エレベータの速度に対する要求は最上階までの直通サービス時間を 30 秒程度とすることが従来一般的であり，霞が関ビルにおける 300 m/min エレベータはこの条件を満たしている。しかし，ビル機能の高能率化と経済性の追求はたゆみなく続けられるであろうから，近い将来さらに高速化したエレベータの需要も高まるものと予測される。すでにアメリカにおいては 60 階程度の事務所ビルに 500 m/min 級のエレベータが設置されている例がみられる。このような観点から日立製作所は 300 m/min エレベータの完成に引き続き 540 m/min エレベータの研究に着手している。速度が高くなればなるほど速度制御性能やかごの振動，騒音の問題が過酷になるほか，巻上電動機や制御装置の容量も増大してくるから，高信頼化とともに経済性の追求も観点を変えて検討することが必要となる。速度制御性能の面では，外乱補償をいっそう強化するため制御系のドリフト対策や位置制御の精密化をより高度に推進するほか，半導体応用技術による高信頼化の研究も重要である。回転機制御における半導体，特にサイリスタの応用は大容量化に伴ってその利点がクローズアップされ，経済性の面にも有利な条件を提起しつつある。

図 10 は日立エレベータ研究塔における 540 m/min エレベータの試験オシログラムの一例である。

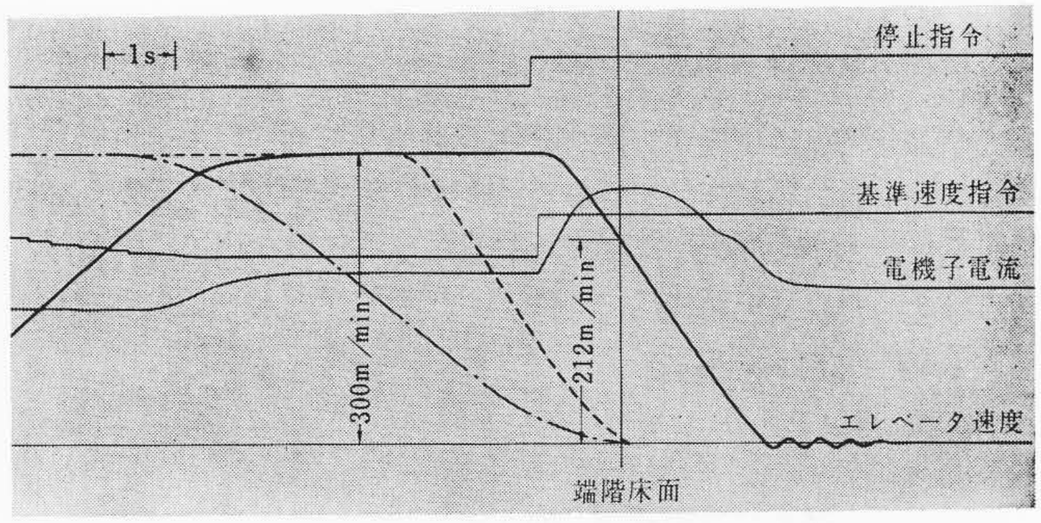


図 9　端階強制減速装置による減速特性

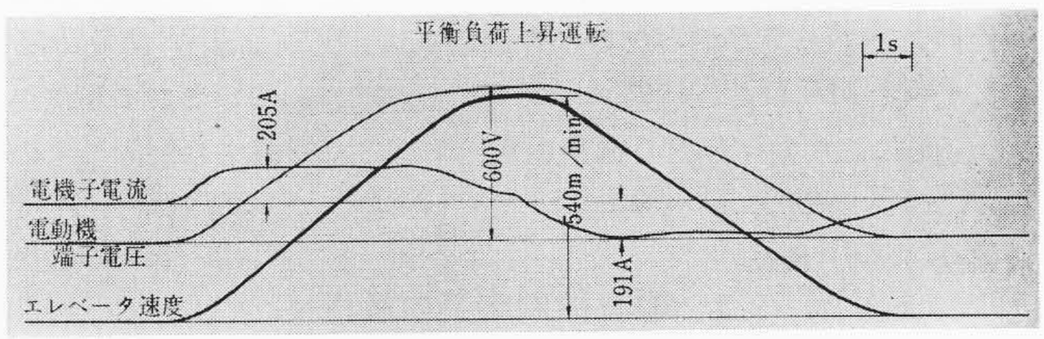


図 10　540 m/min エレベータ速度特性

7. 結　　言

わが国最高速度である霞が関ビル納 300 m/min エレベータの速度制御を主体とし日立セラコンスタック方式エレベータの成果および超高層ビル用エレベータの特質について述べた。また，今後さらに高速化に対する需要が高まると予測されるため，540 m/min エレベータの研究を行なっていることについて簡単に報告したが，今後さらに詳細にわたって研究をつづけていく所存である。

参　考　文　献

(1)　犬塚，宮尾：　日立評論　**47**, 411 (昭 40-2)
(2)　日本エレベータ協会：　昇降機法令解説　27 (昭 40)