

高速ギヤレスエレベータの速度制御

——日立セラコンスタック方式の開発——

Speed Control of High-Speed Gearless Elevators

——Development of Hitachi Celerconstac Control System——

犬 塚 績* 宮 尾 英 夫*
Isao Inuzuka Hideo Miyao

内 容 梗 概

超高層ビルの高層行エレベータ群には210 m/min以上の高速が必要であり、しかもそのエレベータ群の速度特性はとりわけ高信頼度が重要な要素となる。したがって、高信頼度の速度特性として実用上考慮すべき諸条件、たとえば過酷な運転条件や経年変化などの影響の少ない制御方式を新たな見地から検討し、今回、全静止形帰還制御セラコンスタック方式を開発したので、その概要を述べた。本方式の特長を要約すると、次のとおりである。

- (1) 全静止形帰還制御によって、過酷な運転責務や経年変化などにも影響の少ない円滑な速度特性が得られる。
- (2) パイロットブラシを使用した高利得の帰還制御系によって、負荷変化にかかわらず $\pm 5\text{ mm}$ 以内の精密着床ができる。
- (3) 完全に停止したのちブレーキがかかるので、非常にソフトな停止を行なう。
- (4) かごが停止するときにはほぼ同期してドアが全開し終わるので、乗客は能率よく乗降できる。
- (5) 微妙な帰還制御要素はすべて静止形化したので、保守に要する人手も大幅に減少できる。
- (6) 制御機器の重量や据付面積を20~30%小さくしたので、建築上の経済性もさらに向上した。

1. 緒 言

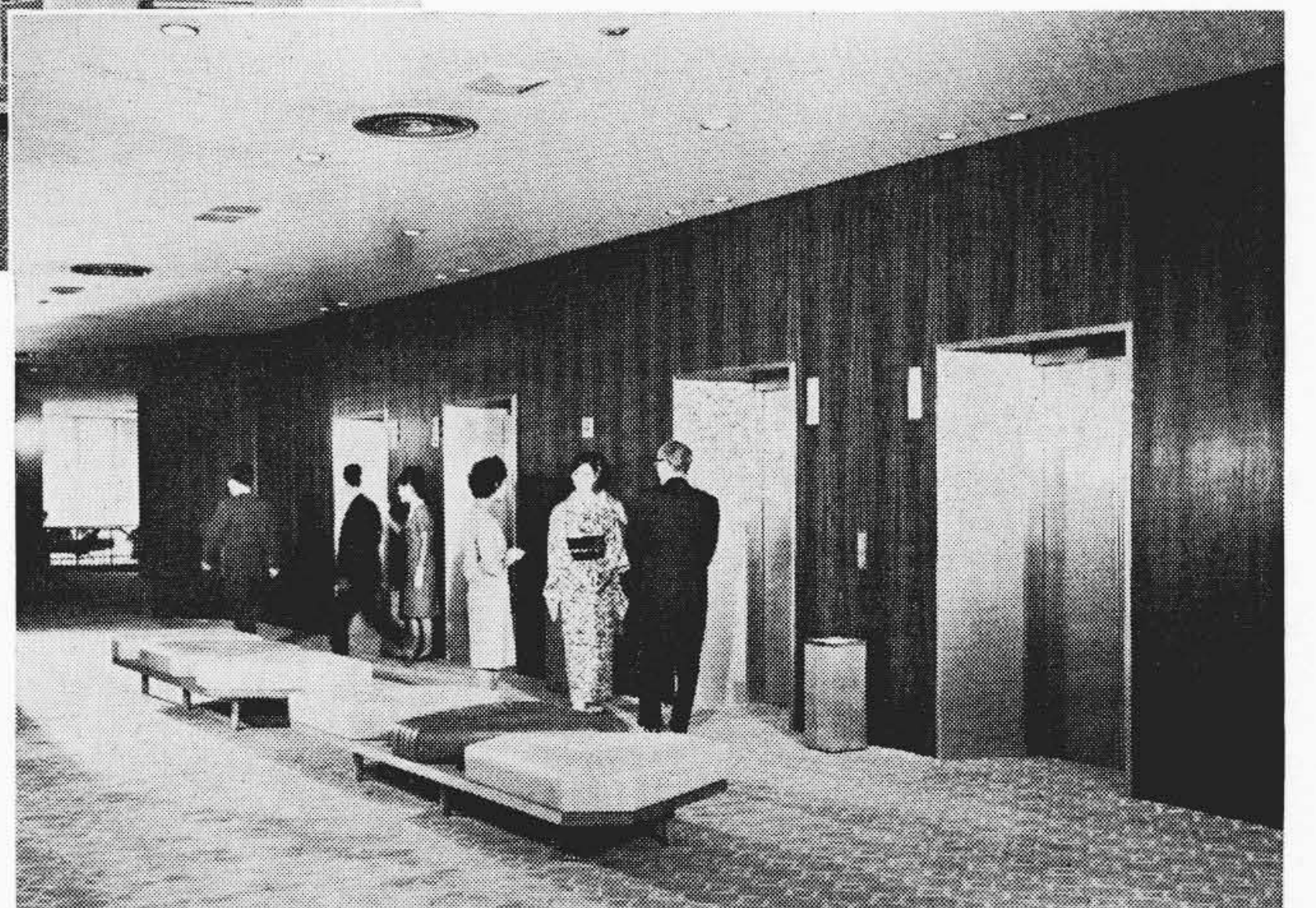
最近、わが国でも20階以上の超高層ビルが相次いで実現しつつあるが、これらの超高層ビル用高速エレベータは特に高信頼度の速度

特性を必要とする。これは、精密着床を行なうために必要な速度変化比が大きくなるうえに、過酷な運転条件、経年変化などにも十分耐えられる性能を備え、さらに負荷変化に対してつねに安定した円滑な速度特性を必要とするからである。特に、事務所ビル用として

1階床運転時間4秒という短時間内に乗りごちよく運転し、かつ $\pm 5\text{ mm}$ 以内の精密着床を行なうためには非常に高利得の帰還制御系を必要とするが、超高層ビルでは高速化のほか、階床数、設置台数の増加や全自動群管理のような運転方式の高級化など現地における作業量が増すので、工事、保守に要する作業性を従来以上に向上させる必要がある。したがって、制御上の中核機能をつかさどる帰還制御要素を静止形化することによって調整を必要とする部分を少なくし、また、性能上は種々の変動要因による経年変化

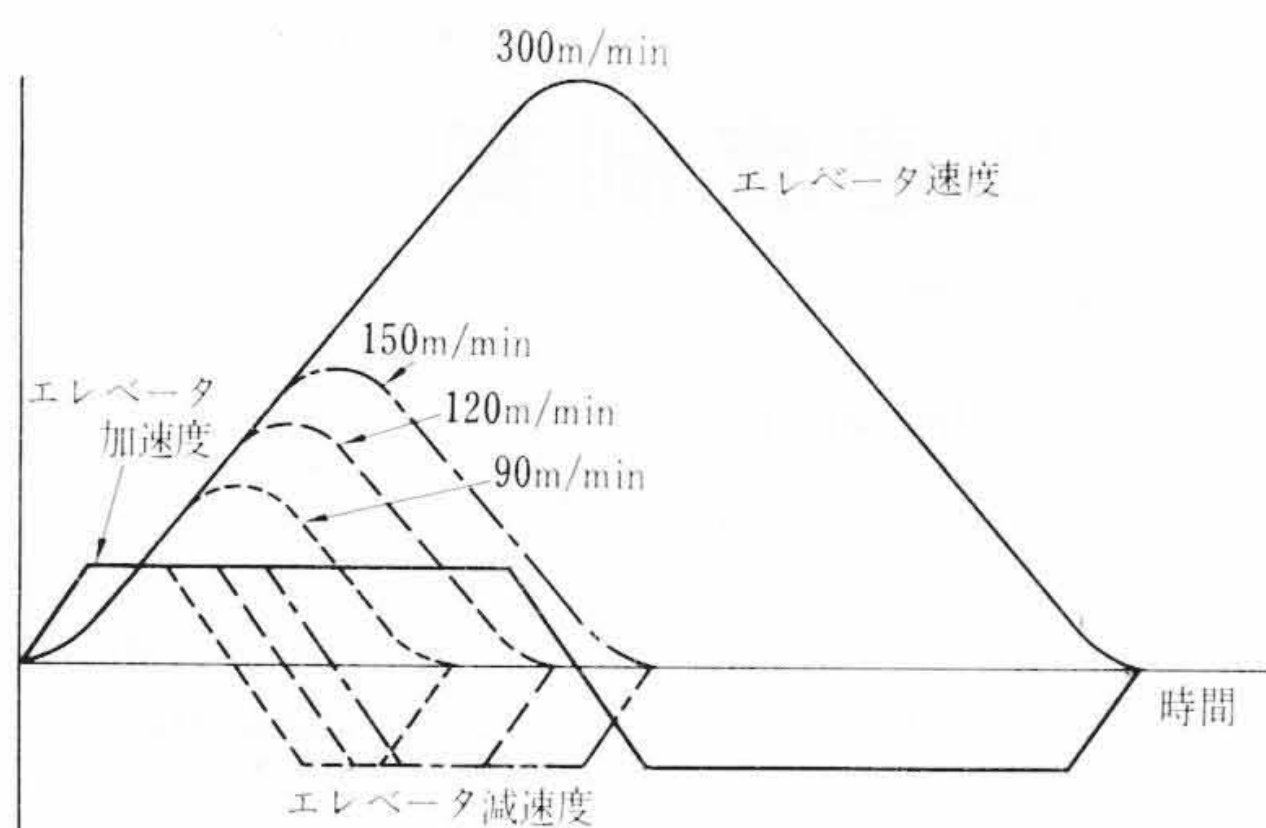


第1図 わが国初の超高層ビル ホテルニューオータニ



第2図 セラコンスタック方式
エレベータ群

* 日立製作所水戸工場



第3図 台形波加速度特性による速度特性

の少ない速度特性を達成させることが信頼度を高めるために必要な条件となる。

一方、アメリカではすでに510 m/min という高速化が実現しているが、わが国で現在計画されている超高層ビルの規模や経済性などの諸条件から推察して300 m/min までの高速化が実用上最も需要の多い定格速度と思われる。このような高速エレベータに対しては性能上特に重要な高信頼度化を図るため、制御要素の根本的な分析を必要とする。たとえば従来とかく官能的評価に偏したエレベータ性能の制御目標を定量的に定め、さらに統計的な調査や制御系のシミュレーションなどを総合して検討する必要がある。今回、これらの諸条件を考慮して全静止形帰還制御セラコンスタック方式を開発したので、その概要と高速化について私見を述べてみよう。第1図にわが国初の超高層ビルとして新装成ったホテルニューオータニの外観、第2図にロビーのセラコンスタック方式エレベータ群を示している。

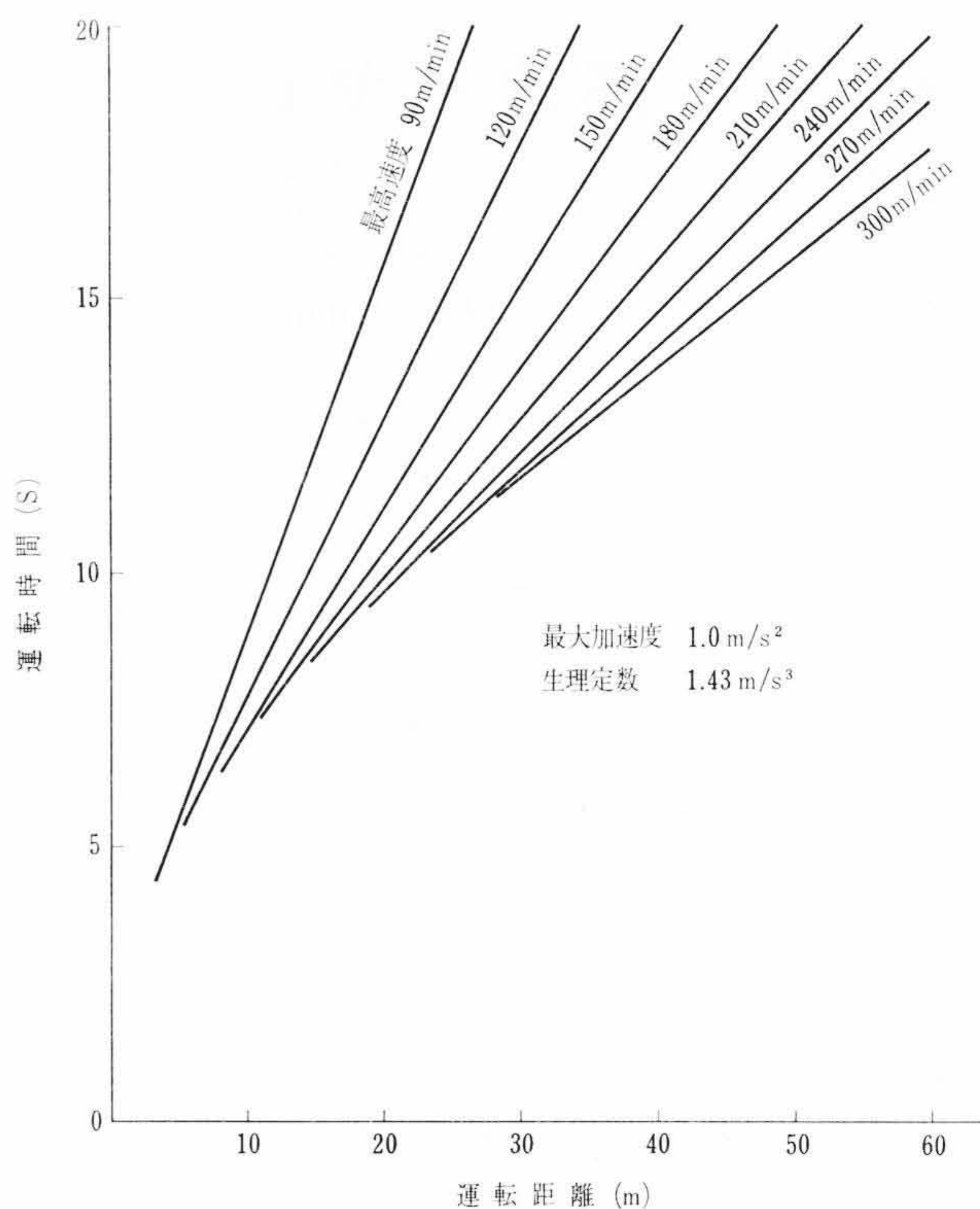
2. 制 御 目 標

高性能のエレベータは高信頼度の速度特性を必要とする。換言すれば、乗りごちがよく、着床誤差が少なく、運転時間が短くて、しかも工事や保守作業が簡単で事故がないエレベータを高信頼度の速度特性をもった高性能エレベータといえる。ビルが超高層化されると、信頼度の向上を従来のビル以上に徹底させて設計、製作する必要があるわけであるが、そのためにはまず定量的な制御目標をたてることが肝要である。したがって、高速化した場合に必要理想速度特性や、実際に分析した速度特性と官能的批判を総合して具体的に評価した制御目標について述べてみよう。

2.1 台形波加速度特性

高速エレベータでも1~3階床程度の短階床間隔では90~150 m/min の最高速度を自動的に選んで運転するわけであるが、制御系を簡略化するため低速区間の制御装置を共用しているから、これらの加減速特性をほぼ相似的に制御することが品質上重要な問題となる。したがって、高速プログラム制御を行なううえで制御系には適切な即応性が特に必要になる。一方、エレベータが垂直に昇降するため加減速途中の不円滑な速度特性は乗客に対して微妙な心理的影響を与えるが、加減速度の最高値を0.1 g 程度とし、かつその変動幅を0.02 g 以内に制御すればほとんど感知することができない。これらは台形波加速度特性を実現することによって解決できるし、回転機や制御装置の設計上も合理的である⁽¹⁾⁽²⁾。

第3図は台形波加速度をもった速度特性で、最高速度をそれぞれ90, 120, 150, 300 m/min として示したものである。第3図に示すとおり最高速度のいかにかわらず加減速度の最大値は常に一定であるから、乗りごちが非常に良好であるうえに電動機最大トルクも一定となるから回転機の設計上経済的であり、小形化することができる。さらに、台形波加速度特性では最高速度の異なる各種の



第4図 台形波加速度特性による運転時間

プログラムの速度特性が容易に相似性を得ることができるので、制御装置を共用しても円滑な加減速特性と精密な着床性能を得ることができる。

第3図に示した台形波加速度特性による運転時間を計算してみよう。いま、

- | | |
|--------------------|--------------------|
| α_m : 最大加速度 | t_1 : 直線加減速度運転区間 |
| v_m : 最高速度 | t_2 : 定加減速度運転区間 |
| s : 運転距離 | t_3 : 定速度運転区間 |
| T : 運転時間 | |

とすれば

$$v_m = \alpha_m(t_1 + t_2) \dots\dots\dots (1)$$

$$s = v_m(2t_1 + t_2 + t_3) \dots\dots\dots (2)$$

$$T = 4t_1 + 2t_2 + t_3 \dots\dots\dots (3)$$

を得る。(1)、(2)式において $\alpha_m = 1 \text{ m/s}^2$ $t_1 = 0.7 \text{ s}$ (生理定数1.43) とすれば、運転時間 T は次式で与えられる。

$$T = \frac{s}{v_m} + v_m + 0.7 \dots\dots\dots (4)$$

第4図は(4)式から運転距離に対する運転時間を最高速度別に計算してみたものである。円滑な乗りごちを得るために加減速度は一定値をこえないようにしてあるから、最高速度の高いものほど加減速に要する時間を長く必要とする。したがって、最高速度を高くしても第4図でわかるように運転時間は大幅に短縮されることはない。後述するように超高層ビル用エレベータの速度の選定には十分の吟味を加えなければ不経済な設備となること必至である。

次にホテル用エレベータをはじめ大事務所ビルなどの最高級エレベータでは、感覚的には感知できぬほどソフトな停止が必要であるから、着床寸前の速度に対しては安定した精密な速度制御を行わなければならない。非常にソフトといわれる停止を得るには減速度を0.3 m/s² 以下にする必要がある。したがって、停止寸前にはエレベータ速度1 m/min 程度のきわめて低速まで速度制御を適切に行なう必要がある。今回、あらたに開発した日立セラコンスタック方式では、このようにきわめて低速の運転が円滑に行なえるような

帰還制御を採用しており、停止直前では着床位置の手前 10 mm 程度の位置から停止指令を与え、非常に小さい減速度で電氣的制動を加えるようにしているから、ほとんどストップショックを感じることがない。

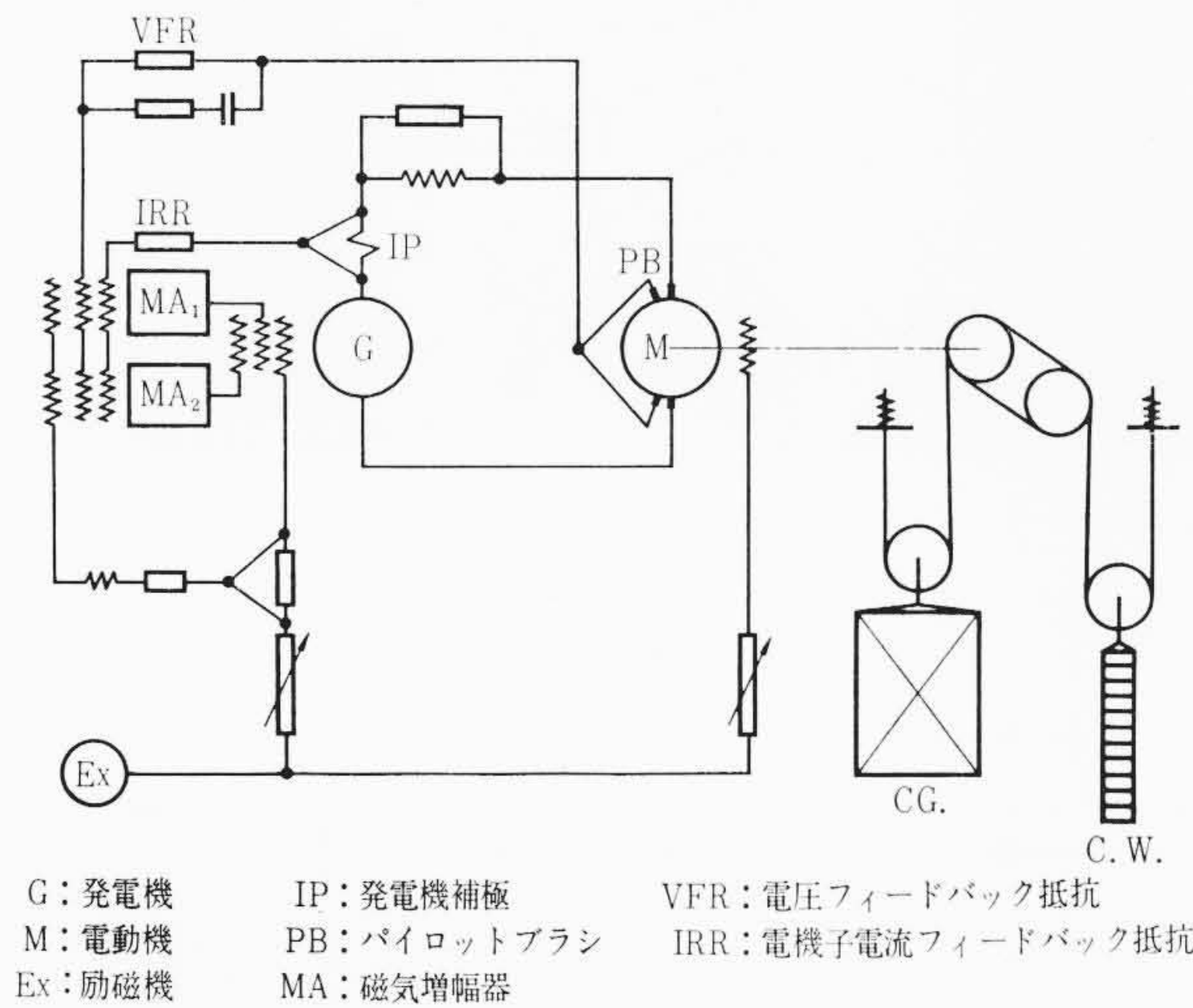
2.2 制 御 目 標

エレベータの乗りごちを定量的に評価するには加減速度を時間で微分した生理定数を指標とすればよいが、実際には実測するう

第1表 速度特性の目標値

速度特性の項目	制御目標値
起 動 時 の 加 速 度 (g)	0.03 以下
走 行 時 の 加 減 速 度 (g)	0.1 程度
停 止 時 の 減 速 度 (g)	0.03 以下
着 床 誤 差 (mm)	±5 以内
1 階 床 運 転 時 間 (s)	事務所ビル向 4 ホテル向 5

(注) g : 重力加速度 9.8 m/s²



第5図 セラコンスタック方式制御回路図

で種々の問題がある。したがって、一般によく利用されている振動加速度計を利用して統計的に調査してみた。もちろん最終的には官能的な判断を必要とする乗りごちの評価を定量的に計測するのは困難であるが、一方、官能的批判にも実際に調査してみると心理的な影響などの不確定因子が多く、総合的な品質判定には測定条件を明確にした計測方法を主体にすべきである。特に、エレベータは割合に制約された負荷条件にあるから、振動加速度計の波形がほぼ同様であればその振幅から品質の判定を行なう方法の信頼性も高く評価してよいと思う。第1表はこのような新たな見地から分析、検討した結果を基に、高性能な速度特性の制御目標としてその一部をかけたものである。

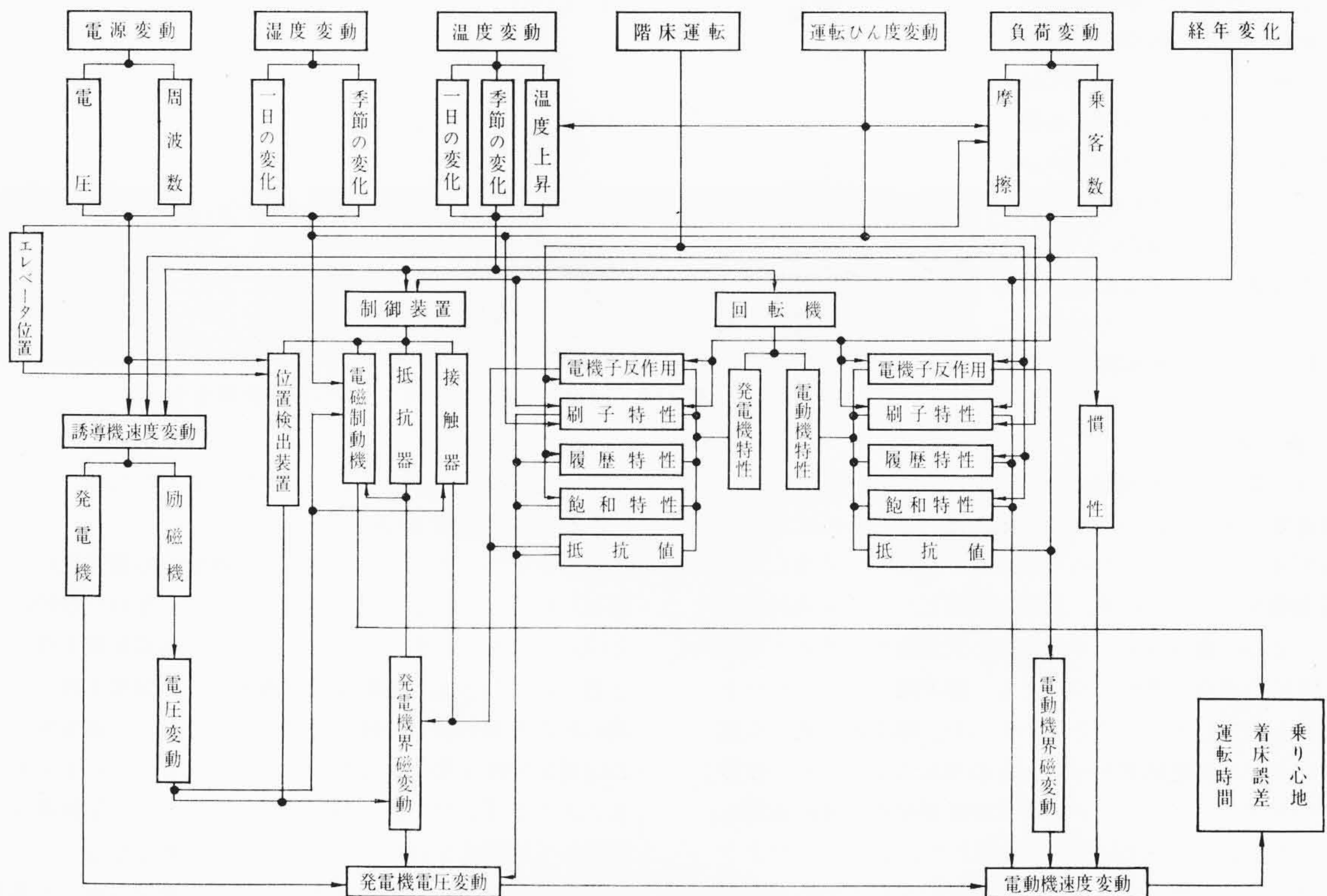
3. 新 制 御 系

3.1 制 御 回 路

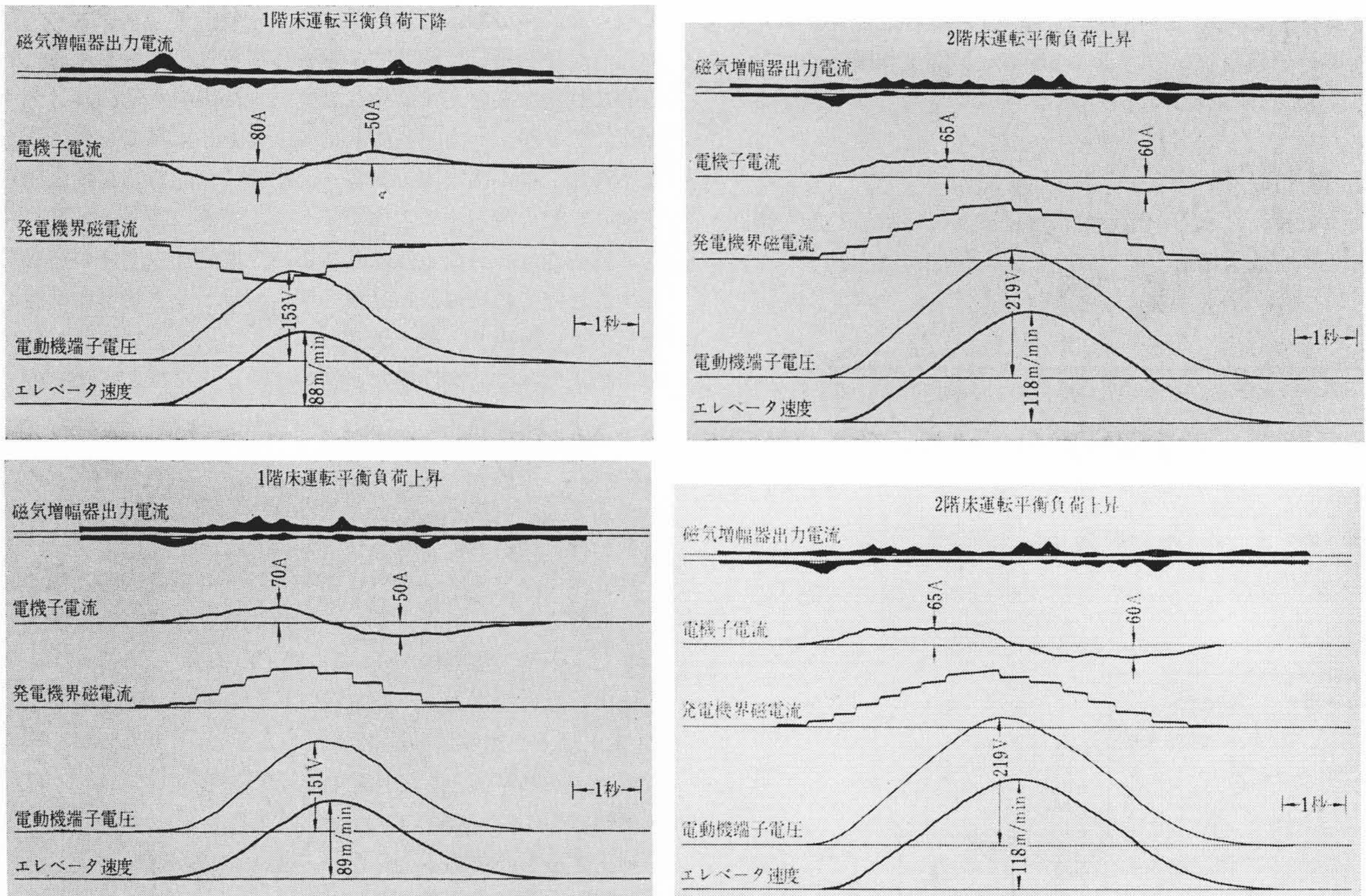
日立セラコンスタック方式エレベータの制御回路は第5図に示すとおり従来のワードレオナード回路に日立独特の帰還制御を組み合わせたもので、電動機 (M) の電機子に設けたパイロットブラシから検出した逆起電力と、発電機 (G) の補極 (IP) からとり出した IR 電圧降下を速度変動情報として合成し、この情報を発電機界磁電流 (i_f) を基準値として比較し、その差をプッシュプル接続した磁気増幅器 (MA₁, MA₂) によって増幅したうえで発電機出力電圧を補正するものである。したがって、パイロットブラシから検出した情報には非直線性電圧降下であるブラインドドロップなどを含まないで、負荷の変動にもかかわらず定格速度から 1 m/min 程度の微速度まで非常に広範囲の速度変化に対して忠実にプログラム制御できるわけである。

3.2 性能上の成果

エレベータの制御目標項目はそれぞれ密接な関連があるが、前節で述べた新制御回路と制御系の即応性の向上によって次のような種々の成果が得られた。



第6図 エレベータ制御系外乱とその影響



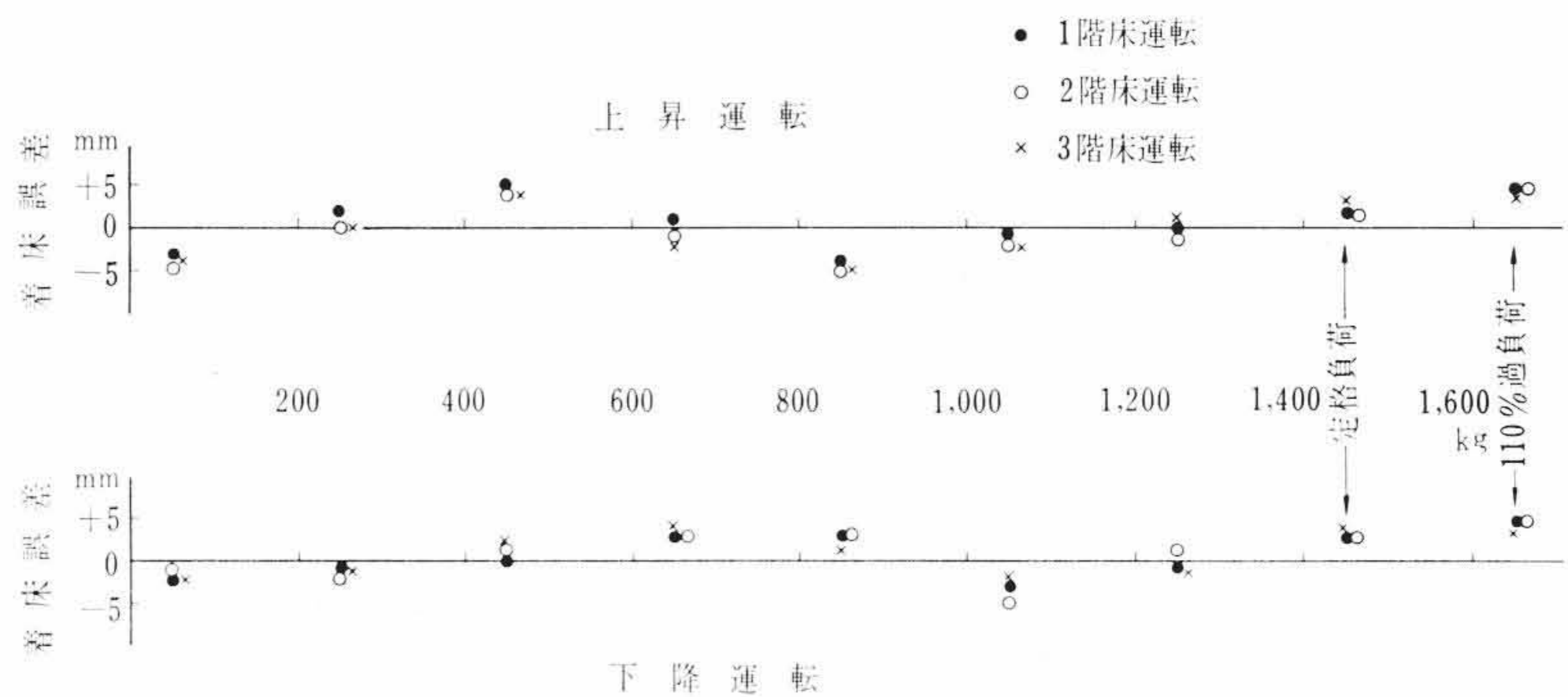
第7図 セラコンスタック方式運転オシログラム

3.2.1 速度特性

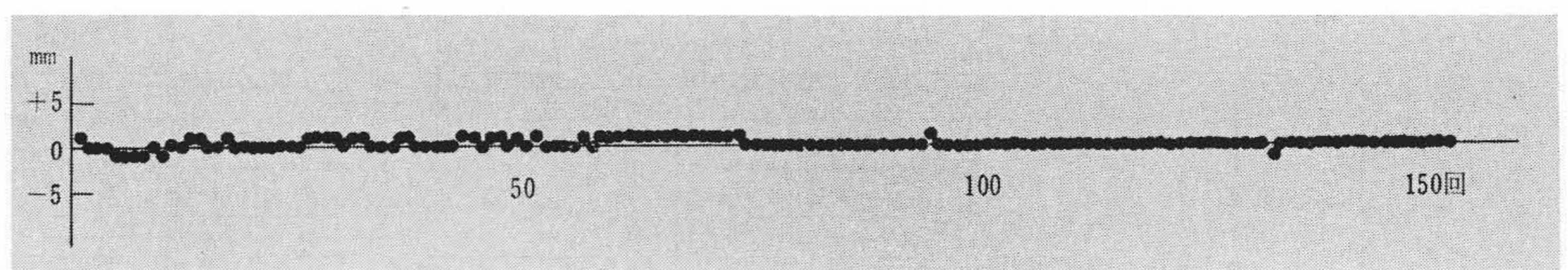
エレベータの速度特性に影響する外乱因子は第6図に示すように非常に多種多様であり、かつ相互に関連しあったものも多いが、最も影響の大きい外乱は乗客数の変化に伴う不平衡負荷の変動である。しかも、実際の運転上は運転階床間隔によって異なる最高速度や運転時間など、複雑な変動因子が関連するが、絶えず適切な負荷補償を行ない、円滑な乗りごちとソフトな起動、停止および精密着床を行なう必要がある。第7図は日立セラコンスタック方式を採用した1～3階床運転の代表的なオシログラムであるが、いずれもほぼ理想的な速度特性すなわち台形波加速度特性を示している。しかも、1～3階床運転がいずれも相似した速度特性をもっていることを示している。

3.2.2 着床誤差

第8図に負荷変化と階床運転の違いによる着床特性を示した。負荷や最高速度の変化は終局的には着床誤差として表われるが、非直線性電圧降下を補正するためパイロットプランを使用した高利得の帰還制御を行なった結果、所期の目標どおりの成果が得られたもので、さらに機器設計上の経済性と安全性から考えて定格積載量の110%の過負荷運転についても、第8図に示すとおり十分所期の性能を発揮していることがわかった。第9図は高ひん度の運転条件について測定結果を示したものであるが、外乱の影響を受けやすいギヤレスエレベータの着床特性が全負荷連続運転を150回行なってもほとんどばらつきが現われていない。このような結果はいままでに全然発表されたことのないものであるが、交通需要の高い超高層ビル用エレベータとして過酷な運転条件でも



第8図 精密着床特性

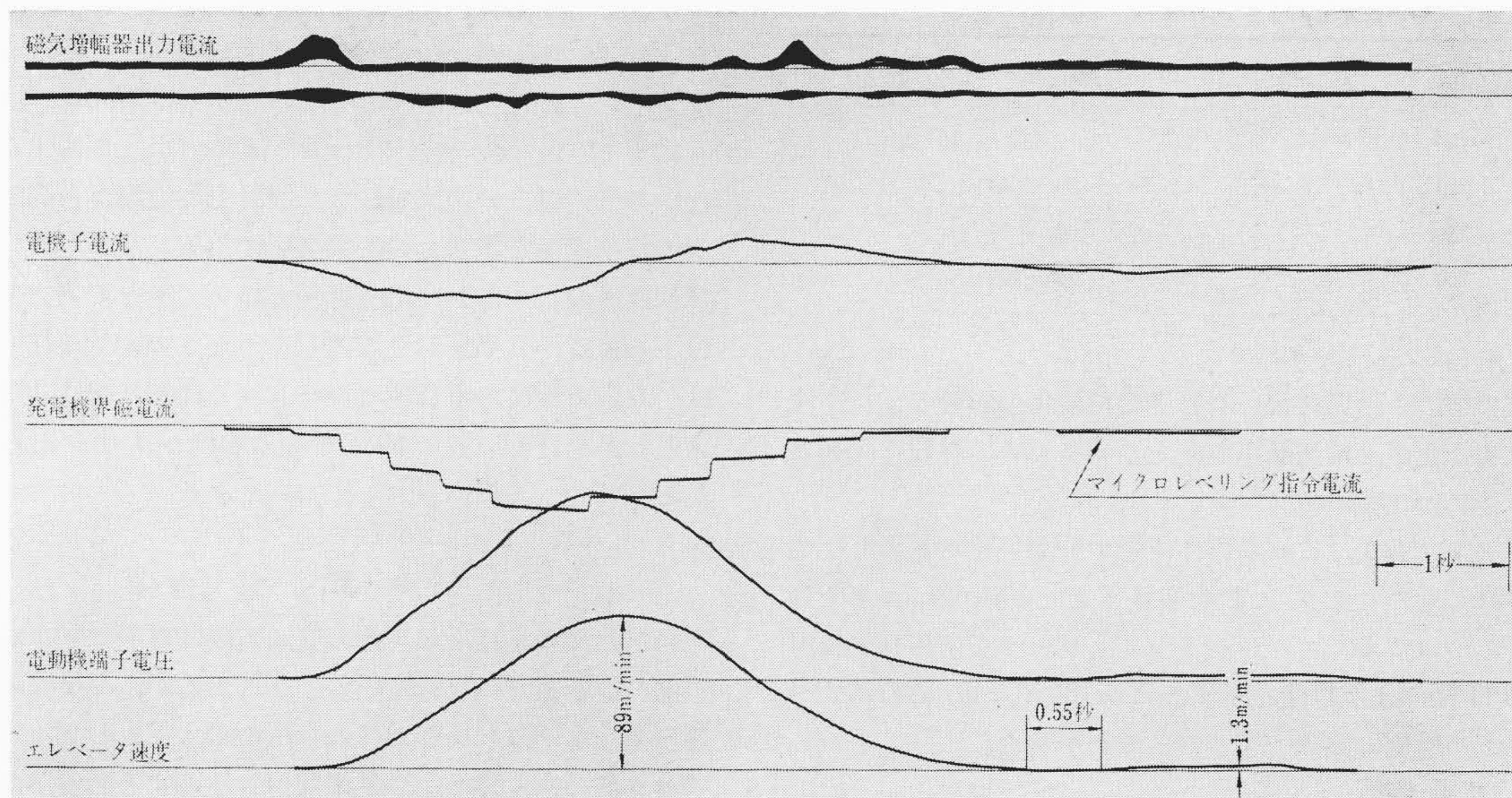


第9図 繰返し連続運転したときの着床位置変化

常に安定した性能を有することを示すものである。

3.2.3 微速着床補正

最近エレベータはビル施設として機能上の重要性について強く論ぜられるようになってきたが、それでもなお全般的にみて十分とはいえない。もちろん、その原因は複雑な諸条件の下にあると思うが、たとえば電源変動や機械室内の温度上昇、あるいは長期にわたる制御機器の経年変化などによって、速度特性が変化すれば着床特性も変化することも考えられる。これを未然に防止することがまず必要であるが、さらにいったん停止後微速度で着床補正して信頼度を高めることも重要な要素となる。しかも、乗客の乗り降りなどによって生ずるロープの伸びに対する微調整も併用できるわけであって、乗客に不安感をいだかせないようにする



第10図 マイクロレベリングの運転オシログラム

ために停止後0.5秒程度で迅速に起動させ、1 m/min程度の微速度で行なうと乗客にはほとんど気付かれぬうちに着床補正することができる。第10図はこのような微速着床補正運転—マイクロレベリング—を行なった場合の実測オシログラムである。

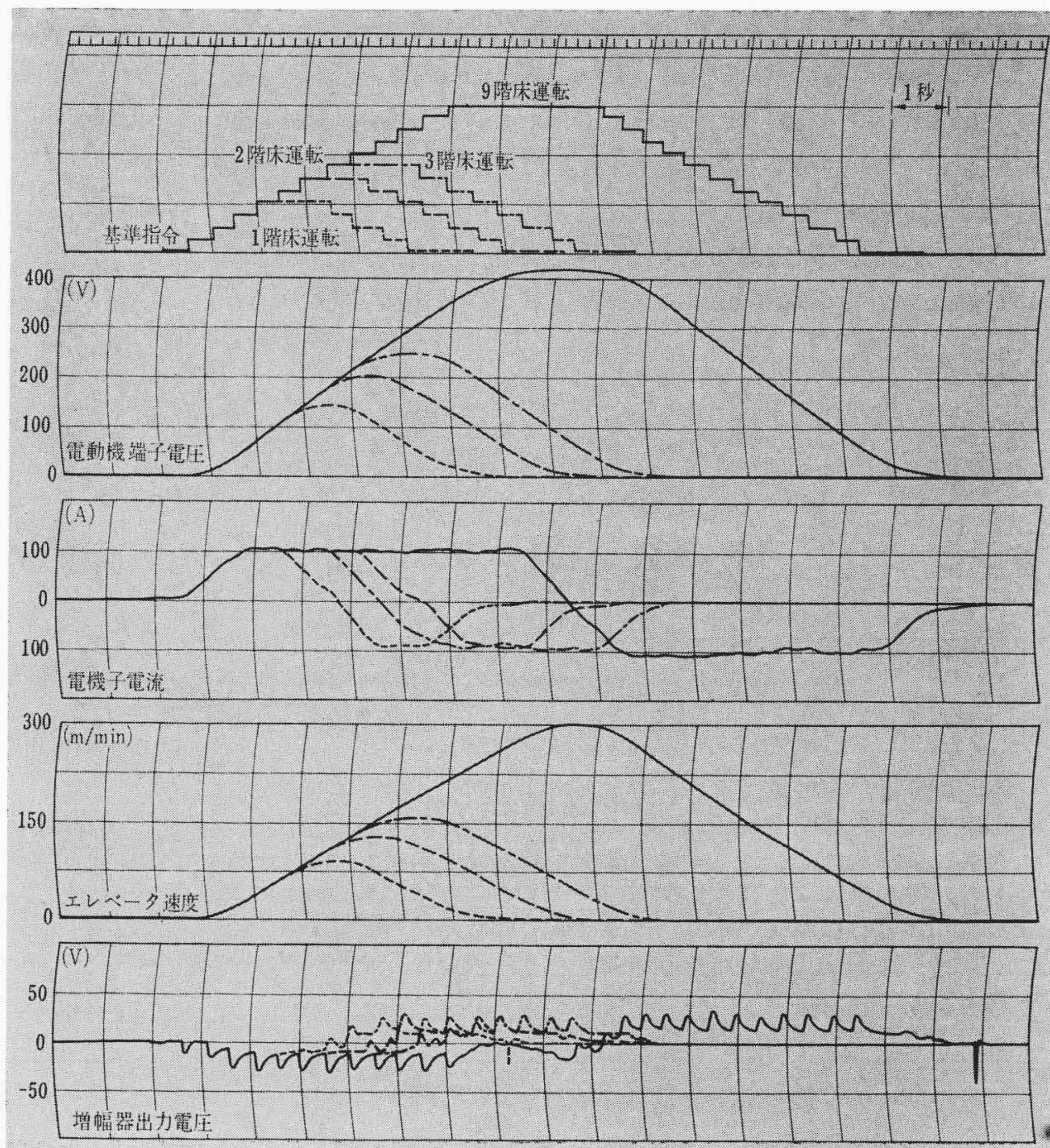
3.2.4 機器の小形化

超高層ビルではエレベータが建築設備の中核となり、従来のビル以上にその性能が重視されるとともに、設備の大小が建築費の経済性に大きく影響するようになる。したがって、特にエレベータ機械室をコンパクトにまとめることが必要であるが、日立セラコンスタック方式エレベータではこの点にも十分注意して設計したので、大幅な機器の小形化を達成することができた。

新たに設計された新シリーズ直流機では、超高層ビル用エレベータ向けとして制御性能を著しく向上したうえに、小形、軽量化に対しても電磁氣的工夫を織り込み、据付面積、重量ともに約20%低減することができた。また位置制御をつかさどるフロアコントローラも、信頼度の向上、保守調整の便宜を図った日立独特の方式で設計し、1/100の高縮尺比を採用して高階床用としてコンパクトな構造とした。また用途別にユニット化した制御盤群を使用しているので占積率が高く、機械室占有面積も大約30%縮小し建築費の節減を図ることができた。

4. 高速化

ビルの高層化とともにエレベータの定格速度の増加が必要になる。これは実際の立地条件や、利用上の便宜、また運転能率の向上などの条件から、超高層ビルでは高階層用と低階層用を別個のバンクに区分する必要があるが、一方、各階層のサービスをほぼ同等に計画するため、不停止階に相応したエレベータ群の高速化が必要になるからである。



第11図 300 m/min エレベータの速度特性 (シミュレータ解析)

4.1 高速エレベータの制御系

高階層用のエレベータは一般に高速大容量となるから、必然的に負荷慣性が増大し、円滑な速度特性ならびに精密な着床特性を得るうえに種々の問題が生ずる。すなわち、速度変化比が数百分の一に増加するため、制御機器の特性変動が直接運転時間や着床前のクリープ運転、着床誤差としてあらわれるほか、ロープの伸びによる着床誤差への影響や高速化のために生ずる騒音、振動などがある。しかし、高階層用エレベータにおいてもサービス階床範囲における運転距離は低階層用エレベータと同様に短区間のものが多くなるか

第2表 運転距離とエレベータ標準速度

エレベータ速度 (m/min)	急行運転区間 (m)
150	30 未満
210	30 ~ 60
240	60 ~ 75
300	75 ~100

ら、運転距離の短い1階床運転に対して負荷変化の影響の少ない性能を発揮させることが、輸送能率を向上させるために重要な問題となる。

セラコンスタック方式はこれらの性能を十分満足するものとして研究、開発されたものであり、これを発展させて300 m/minまで高速化することについても、エレベータシミュレータを使用して検討した結果、第11図に速度特性を示すとおり150 m/min級のエレベータと同等以上の性能を発揮できることがわかった。

4.2 高さと標準速度

高階層用エレベータは一般に150 m/minをこえる高速化を必要とするが、実際に定格速度を選定するには、輸送能力や平均待時間のほか計画上の経済性など種々の条件を総合的に検討しなければならない。特に、実際の運転時間は走行距離と加減速距離の割合がその短縮を図る第一義的な因子となるから、通過する不停止階床区間から定まる実質的な実効速度の大小を十分検討する必要がある。前述した台形波加速度特性を利用して具体的に説明すると、たとえば11~20階床用として1~10階間を不停止階とした場合、定格速度を150 m/minから180 m/minにすればそれ相応の運転時間の短縮が

行なえるように思われるが、第4図に示すとおり、180 m/minの場合13.6秒、150 m/minの場合15秒であって、わずかに1.4秒の短縮となるに過ぎない。同様にして、1~20階間を不停止階とした場合にも270 m/minでは240 m/minに対して期待するほどの違いはないので、以上の結果を総合し設計上の立場から高階層用エレベータの標準速度を示したのが第2表である。なお、サービス階床内の運転は既設ビルにおける実態調査のデータを参考とし、150 m/min以下の速度で従来どおりの運転を行なう方が合理的である。これは、10階床程度の事務所ビルにおける運転状況は3階床以下の短階床運転が全運転回数の80%をこえる例が大半を占めているからである。⁽³⁾

5. 結 言

わが国の大事務所ビル内の交通需要は外国のビルに比べて割合に過酷な運転条件になっているようであるが、今後の超高層ビル内の運転条件もほぼ同条件と思われるので、従来のビル以上に高速エレベータ群の速度特性を高信頼度の特性にする必要がある。本稿では高信頼度化に必要な制御目標と全静止形化した制御方式の概要を述べたが、これは今後、高速化を行なうために重要な経済信頼度を積極的に推進したものであって、今回開発した日立セラコンスタック方式は高階層用高速エレベータとしての高性能を十分発揮しうる新方式である。

参 考 文 献

- (1) 犬塚、早瀬：日立評論 別冊 38, 3 (昭 35-8)
- (2) 渡辺、弓野：日立評論 43, 879 (昭 36-7)
- (3) 犬塚：日立評論 43, 1204 (昭 36-10)



登録新案 第747819号

新 案 の 紹 介



杉 山 正 夫・大 和 田 清

バ ス バ ー 接 続 部

この考案は、大電流通電用としてのバスダクトにおける、バスバー接続部の改良に関する。

従来の接続部は、バスバー1、2の接続部3の周上に、ブチルゴムモールド絶縁体4を設けた構造のものであるため、施設後に行なう接続部3の定期点検、あるいは故障時の臨時点検の際、前記のゴムモールド絶縁体4を解体する必要がある、その保守点検に相当の手数を要していた。

この考案においては、前記したような問題を一掃するため、図に示すように、バスバー1、2の接続部3の周上に設ける絶縁体4を透明の合成樹脂材製としたものである。

このように構成するこの考案のバスバー接続部によると、接続部3はその周上の透明な絶縁体4を通して透視できるから、施設後における接続部3の定期点検、あるいは故障時の点検を外部から透視して行なうことが可能となり、したがって短時間で確実な保守点検

を行なえるという特長がある。

なお、この考案の絶縁体4は合成樹脂製であるから、耐熱性、絶縁耐力があり、しかも安価に提供できるという利点がある。

(斎藤)

