

エレベータの高速プログラム制御

High Speed Program Control of Elevators

犬塚 績* 早瀬 俊一郎**
Isao Inutsuka Shun'ichirō Hayase

内 容 梗 概

エレベータは乗心地がよく、着床誤差が少なく、しかも運転時間が短いことが必要なので、負荷変化にかかわらず、この条件を満足する速度曲線に従って運転するように制御しなければならない。したがって、直流エレベータでは、従来ワードレオナード方式を採用し、負荷補償などを行って解決している。高速すなわちギャレスエレベータではさらに運転時間を短縮して、輸送能力を強化したいという要望が高まってきたので、今回、磁気増幅器を使用した帰還制御方式を開発し、たとえば1階床運転4秒という高速化に成功した。本文はこの新速度制御方式についてその概要を述べた。

1. 緒 言

エレベータの速度制御に要求される性能は、乗心地がよく、着床誤差が少なく、しかも運転時間が短いということである。しかし、従来のワードレオナード方式では、これらのいずれかをさらによくしようとすると、ほかの性能を悪くすることが多かった。これは速度特性が変わるからであって、速度制御上の外乱のうち、最も大きいと考えられるものは負荷の変化であるが、さらに低階床のときの最高速度の違いや慣性の増減による影響、電氣的な過渡現象などが関連し、従来の方式では解決できなかったからである。したがって、これらの問題をすべて解決するためには、負荷変化にかかわらず忠実に追従する速度制御を行わなければならないので、新速度特性による高速プログラム制御が必要になったわけである。

全自動群管理方式の開発によって、最近、1バンクのエレベータの輸送能力強化が特に要望されているが、そのためにはおのこのエレベータの運転時間が短いこともさらに必要である。しかも、1階床運転すなわち次の階へ運転する機会が非常に多いので、この時間を短縮することが輸送能力向上に最も効果がある。従来、1階床運転は6秒程度を要していたが、輸送能力を一段と向上させるために、ほぼ限度に近い4秒程度にする必要がある。

今回、FV形ギャレスエレベータと称する磁気増幅器を使用した帰還制御方式を開発し、新速度特性にした結果、十分所期の目的を達することができたのでその概要について述べる。

2. 従来の制御系とその特質

現在、一般に採用されている可変電圧(VV)形の直流エレベータは第3図に示すようなワードレオナード方式であって、負荷変化や刷子電圧降下などの影響を少なくするための補償装置が設けられているが、式を簡略化して説明するためこれらを除くと、下式が成り立つ。

$$L \frac{dI_M}{dt} + RI_M = E_G - E_M \dots\dots\dots (1)$$

$$E_M = \zeta \phi \cdot \omega \dots\dots\dots (2)$$

$$\zeta \phi \cdot I_M = \tau_M \dots\dots\dots (3)$$

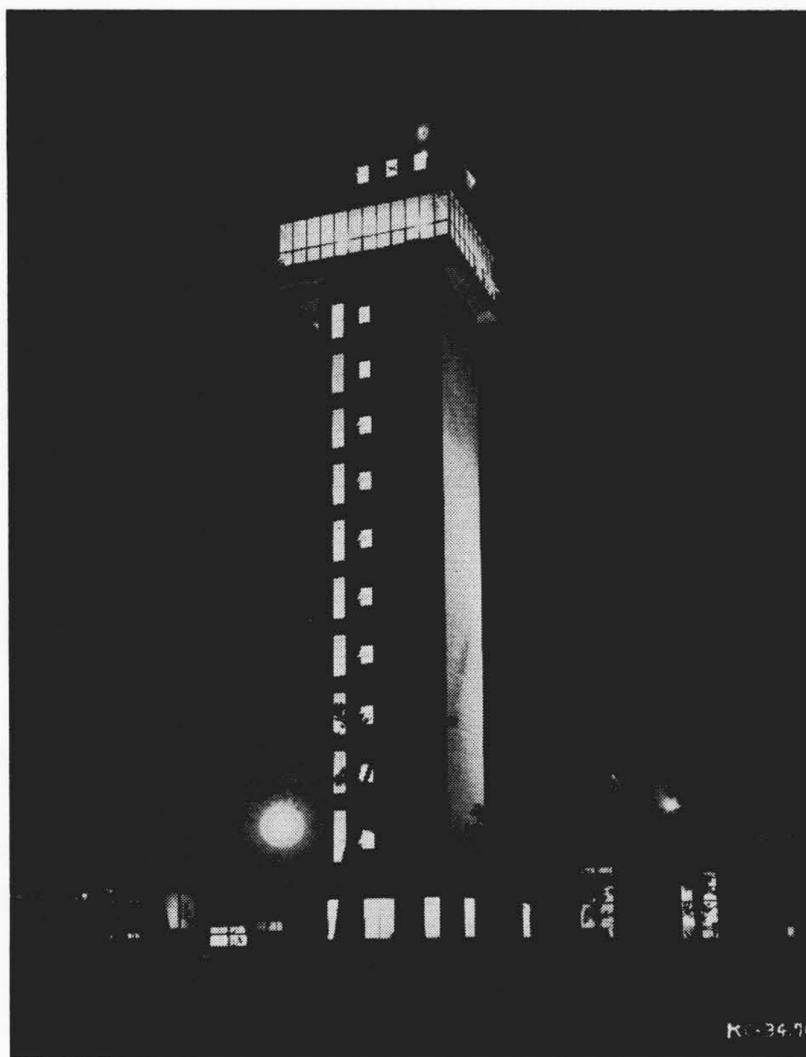
$$\Theta \frac{d\omega}{dt} = \tau_M \pm \tau_W \dots\dots\dots (4)$$

$$\tau_W = gWrK \dots\dots\dots (5)$$

ここに E_G : 直流発電機の起電力 (V)
 E_M : 直流電動機の逆起電力 (V)

* 日立製作所国分工場

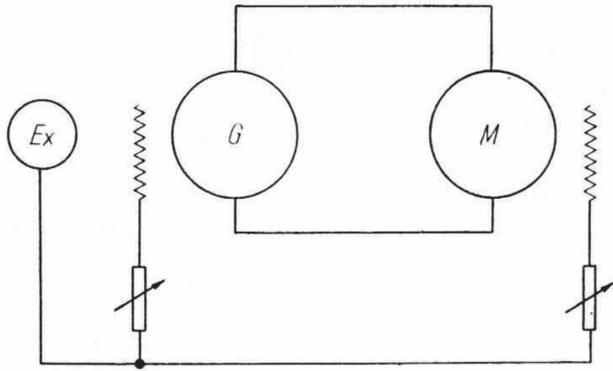
** 日立製作所日立研究所



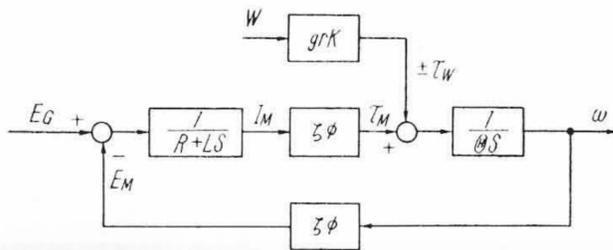
第1図 研 究 塔



第2図 関西電力本社ビル納エレベータ一階ホール



第3図 従来の制御回路



第4図 第3図のブロック線図

- R : 電機子回路の全抵抗 (Ω)
- L : 電機子回路の全インダクタンス (H)
- I_M : 電機子回路の電流 (A)
- ω : 電動機の回転速度 (rad/s)
- $\zeta\phi$: 電動機の回転磁束 (Wb)
- τ_M : 電動機の発生するトルク (Nm)
- τ_w : 負荷トルク (Nm)
- θ : 電動機軸における全慣性能率 (kgm²)
(負荷の慣性も換算して含める)
- W : 不平衡負荷の質量 (kg)
- r : シープの半径 (m)
- K : シープと電動機との減速比
- g : 重力加速度 (m/s²)

(1)~(5)式から、この回路のブロック線図を描くと第4図が得られる。

いま、式の簡略化を図って速度特性の概要を説明するため、電動機界磁を一定とし、電機子回路の L を無視して、第4図から電動機速度を求めると

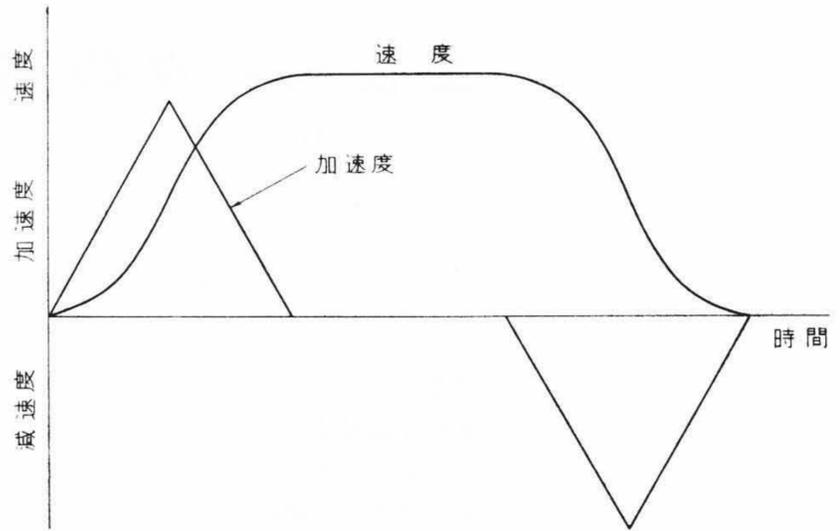
$$\omega = \frac{1}{1 + T_M S} \left(E_G \pm \frac{R}{\zeta\phi} \tau_w \right)$$

ここに $T_M = \frac{R\theta}{(\zeta\phi)^2}$ 機械的時定数

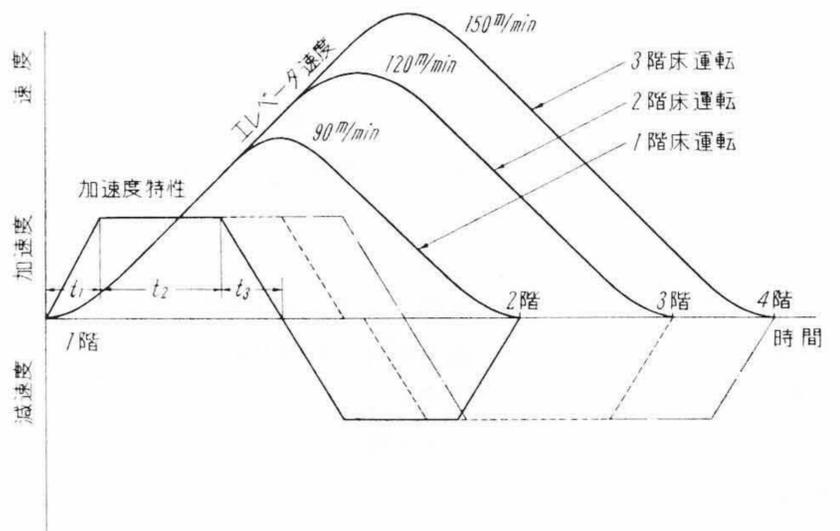
すなわち、電動機の界磁が一定で、発電機の界磁が常に等しいプログラムで変化しても電動機速度は負荷の変化にもなると差を生ずるから速度曲線が変る。したがって、負荷変化にかかわらず精密着床させるためには、負荷補償とともに、着床前に一定の低速運転を必要とする。従来、この時間は一般に1~2秒程度であるが、1階床運転に要する時間が6秒程度の非常に短い時間であるから、この低速運転を無くすることが、運転時間を短縮するためには絶対に必要になる。しかも、ギヤレスエレベータは中速(90 m/min)以下のギヤードエレベータに比べて、高速エレベータとしての種々の特長を有しているから、下記のような点を解決することが最も重要である。

(1) τ_w 不平衡負荷トルク

エレベータは周知のとおり、つり合いおもりでほぼ50%負荷のときにつり合わせているから、積載荷重の変化によって τ_w は正負に



第5図 Jones氏の提唱した理想速度特性



第6図 新速度特性曲線

変化する。ギヤレスエレベータは電機子に直結したシープに直接ローピングしているから、減速装置を有するものに対し、オーバーオールエフィシエンシーがよいため、制御上 τ_w の変化による影響が大きい。

(2) T_M 機械的時定数

エレベータの慣性負荷は電動機の電機子のような回転部分のものと、かごやつり合いおもりのような縦走部分のものとに二分される。したがって、電動機軸に換算して、両者の割合を検討してみると、ギヤードエレベータの減速比は $1/20 \sim 1/60$ くらいであるから、電機子のGD²に対して非常に小さくなる。しかし、ギヤレスエレベータは150 rpm程度の低速電動機であって、2:1ローピングであるから、縦走部分のGD²が全GD²の60%以上を占めることになる。したがって、負荷変化による慣性の変化率も大きいから、速度特性に影響を与える上に、全GD²がギヤードに比べて非常に大きいので、機械的時定数も大きく加減速制御に種々のくふうを必要とする。

(3) E_G プログラム電圧

高速エレベータたとえば150 m/minの定格速度のものでも、運転する階床区間によって、1階床のときは90 m/min、2階床120m/min、3階床以上150 m/minの最高速度を自動的に検出して運転しなければならない。これは、かえって実効速度を高め制御上有利になる⁽¹⁾。しかし、設計上、これらのプログラム電圧をそれぞれ独立して設けるのは不経済なので、共用された制御装置を使用しているが、特に帰還制御を行って実効速度をさらに高めるためには下記に述べる新速度特性にすべきである。

エレベータの理想速度特性は第5図に示すような三角波加速度特性⁽²⁾や、これに対する修正案⁽³⁾⁽⁴⁾もすでに発表されているが、上述のような3種のプログラム制御を行う場合、第6図に示す梯形波加速度特性が種々の特長を有している。すなわち、3種のプログラム

制御に対して共用された制御装置でもそれぞれ相似な速度特性が容易に得られる。しかも、加減速中の最大電流が一定であるから、回転機設計上も経済的であり、さらに過渡現象を解析する上にも有利である。なお、 t_1 は起動時の生理常数（加速度の変化率）から定める値であり、 t_2 は制御上の電氣的、機械的な問題と乗心地の上から決定されるものであって、 t_3 は回転機の特長および機械的時定数などから定まるものである。

以上で特に速度制御上、重要な要素となる例をあげて説明したがほかにも電動機の回転磁束、各部の電氣的時定数および電機子反作用、器具の動作上のばらつき、摩擦などが絶えず複雑に関連してくる。したがって、これらの速度特性中の変化を補正するため、着床前に低速運転を必要とし、運転時間を短縮することができなかった。

3. 帰還制御設計上の諸問題

ギヤレスエレベータの速度制御上、運転時間を短縮するために種々の問題があることについて述べたが、この解決には帰還制御方式を採用して、負荷変化による速度特性の差を少なくすることが必要である。したがって、次に設計上特に留意した諸点について述べてみよう。

3.1 磁気増幅器

帰還制御を行うには、わずかな検出偏差に対し必要最大限の出力によって、じん速に補正しなければならない。そのためには当然増幅器を必要とするが、これには HTD のような回転形増幅器と磁気増幅器がある。われわれは種々研究の結果、静止器としての特長を有する後者を採用したものであって、次に磁気増幅器の原理とその特長について第7図によって簡単に説明する。

3.1.1 原理

磁気増幅器は交流エネルギー源を入力信号によって制御するものであって、サイクロトンの格子のスイッチ作用によく似ている。すなわち、2個の可飽和リアクトルにおいて、制御巻線の直流励磁を加減して、交流電源電圧の各サイクルの適当な区間だけ回路に電流を流すようにしたものである。しかも、入力信号としての制御電流 I_a と負荷電流 I_l との間に等アンペアターンの法則が成立する。この I_a 、 I_l は制御電流および負荷電流の平均値であって、負荷回路には整流器を入れてある。いま、制御巻線の巻数を N_a 、負荷巻線の巻数を N_l とすると

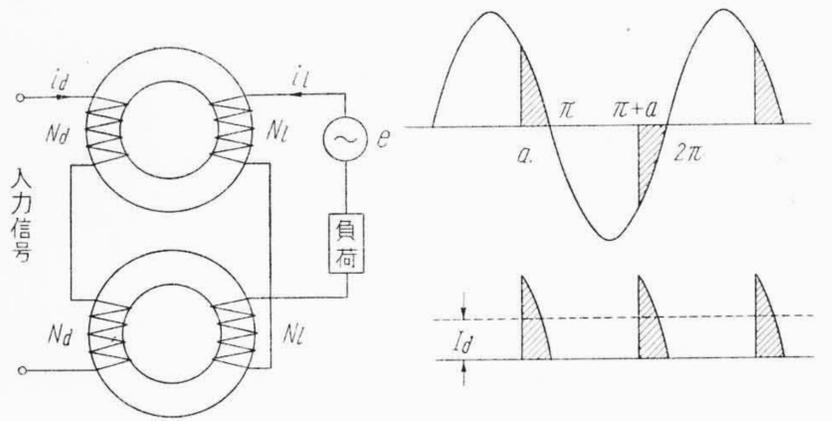
$$I_a \frac{N_a}{N_l} = I_l$$

したがって、 $\frac{N_a}{N_l}$ を非常に大きくとると、非常に小さい制御電流 I_a から比例的に増幅された負荷電流 I_l が得られるわけで、この原理が増幅器として用いられる⁽⁵⁾。

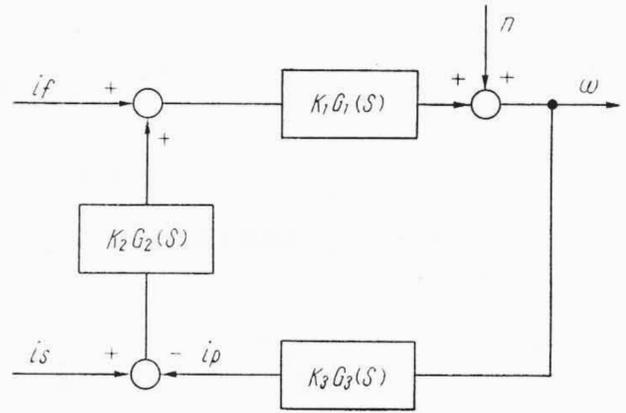
3.1.2 特長

磁気増幅器を回転形の増幅器に比べると、次のような特長がある。

- (a) 構造が簡単かつ堅ろうで寿命はほとんど半永久的である。構成部品中のセレンの寿命について心配されることがあるが、70,000時間程度の寿命のものを使っているから、消耗部分を有する増幅器と比べれば格段の差がある。
- (b) 静止器であるから、摩擦、騒音の心配もなく、保守上の手数を要しない。
- (c) 回転形増幅器は絶えず運転させておかねばならぬのに、磁気増幅器ではエレベータが起動して停止する間だけ通電し動作させることができるので経済的である。
- (d) 入力信号に対する応答は商用周波数（50、60 \sim ）でも回転形増幅器とまったく同等であり、エレベータ制御上好適である。



第7図 磁気増幅器の原理説明図



- $K_1 G_1(S)$: 発電機、電動機の伝達関数
- $K_2 G_2(S)$: 磁気増幅器の伝達関数
- $K_3 G_3(S)$: 帰還制御系の伝達関数
- n : 外乱

第8図 帰還制御回路のブロック線図

3.2 制御系

次に帰還制御方式を採用した場合の速度制御系について検討する。

いま、発電機および電動機の伝達関数を $K_1 G_1(S)$ 、磁気増幅器を $K_2 G_2(S)$ 、帰還制御系を $K_3 G_3(S)$ 、外乱を n と仮定し、第4図から帰還制御系を有するブロック線図を描くと、第8図が得られる。したがって、このブロック線図から次式が成立する。

$$i_p = K_3 G_3(S) \omega$$

$$\omega = \{ (i_s - i_p) K_2 G_2(S) + i_f \} K_1 G_1(S) + n$$

- ここに i_f : 発電機界磁電流
- i_s : 基準電流
- i_p : 帰還電流

上式から

$$\omega = \frac{K_1 G_1(S) K_2 G_2(S) i_s + K_1 G_1(S) i_f}{1 + K_1 K_2 K_3 G_1(S) G_2(S) G_3(S)} + \frac{n}{1 + K_1 K_2 K_3 G_1(S) G_2(S) G_3(S)}$$

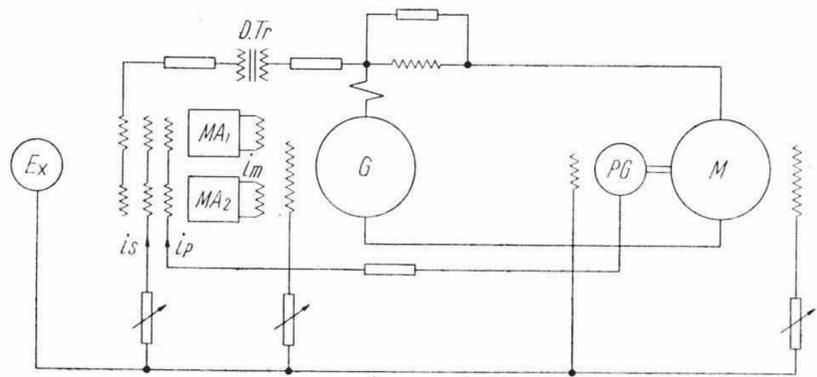
外乱が無いとき、磁気増幅器の出力が零となるように i_s を調整するためには定常状態において

$$i_s = K_1 K_3 i_f$$

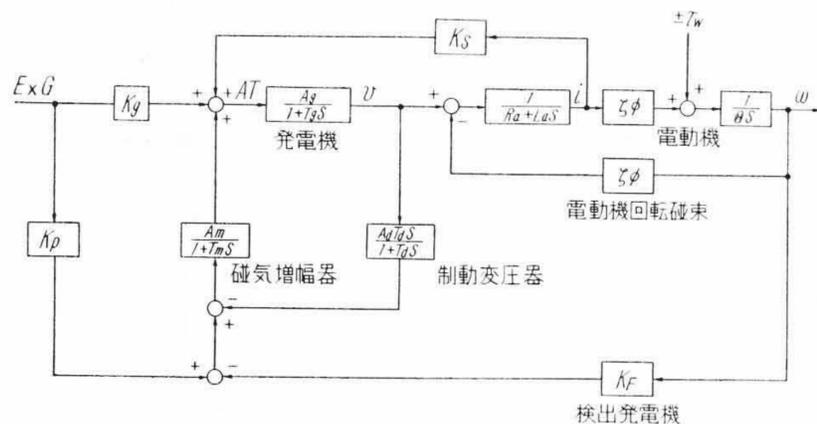
$$\therefore \omega = \frac{K_1 G_1(S) (1 + K_1 K_2 K_3 G_2(S)) i_f}{1 + K_1 K_2 K_3 G_1(S) G_2(S) G_3(S)} + \frac{n}{1 + K_1 K_2 K_3 G_1(S) G_2(S) G_3(S)}$$

上式は外乱 n が帰還制御を行うと $\frac{1}{1 + K_1 K_2 K_3}$ に減少することを示している。したがって、外乱から受ける影響を少なくするためには、 $K_1 K_2 K_3$ すなわちループゲインを大きくすればよい。

しかし、実際は、前述したようにエレベータの速度制御が単なる定値制御でなく、プログラム制御であって、しかも、走行距離によ



第9図 新速度制御回路



第10図 新速度制御方式のブロック線図

これは定速運転する時間が無い場合があるので、単にループゲインを上げるだけでは解決できない。しかも、3種のプログラム制御と負荷変化など速度特性に対して重要な要素となるものがあるので、これらを含めて適切な制御回路が必要になる。したがって、必要な負荷補償と過渡現象中における制御系の安定度の選び方によって解決できるものである。

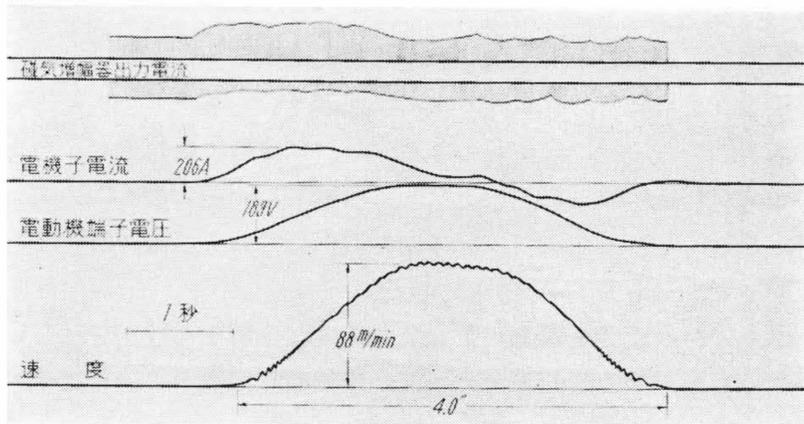
一方、電源変動などの悪影響によって、万一、着床差に狂いを生じたときは、ほぼ1m/min以下の微速運転によって補正するようにした。したがって、常に正常な着床精度が保たれるわけである。

4. 新速度制御方式

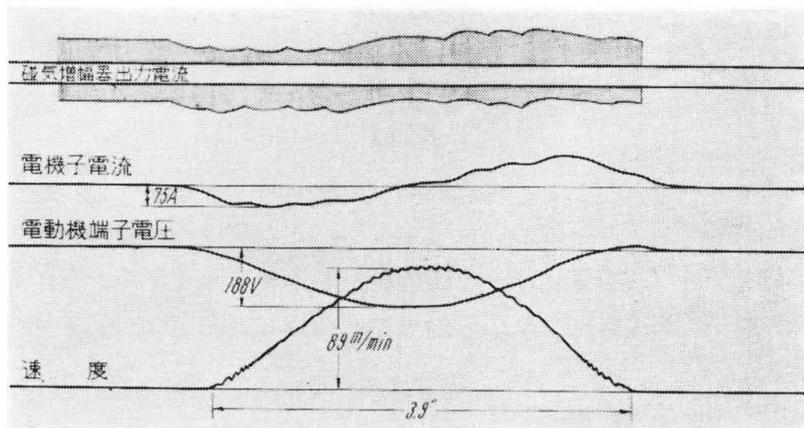
以上述べたように高速エレベータの運転時間を短縮するには、非常に多くの問題があるが、種々研究の末、日立製作所独自の方式によって解決したものであって、第9図に原理説明図、第10図にそのブロック線図を示した。

第9図において、発電機Gおよび電動機Mは従来どおりのワードレオナード方式であって、Gの励磁電流を制御してプログラム制御を行うものである。エレベータの速度は検出発電機PGの端子電圧として検出される。磁気増幅器はプッシュプル接続で、両者にあらかじめ設定されたプログラム基準値を入れておき、起動と同時にPGの出力と比べるようにする。したがって、基準値電流 i_s と速度電流 i_p との差を磁気増幅器MA₁、MA₂で増幅し、 $(i_s - i_p)\alpha = i_m$ が磁気増幅器の出力電流となる。たとえば、基準値よりエレベータ速度が低く $i_s - i_p > 0$ のときはGの電圧を上げてMの速度を上げる。逆に $i_s - i_p < 0$ のときはGの電圧を下げMの速度を下げて、たえず $i_s = i_p$ になるよう制御される。

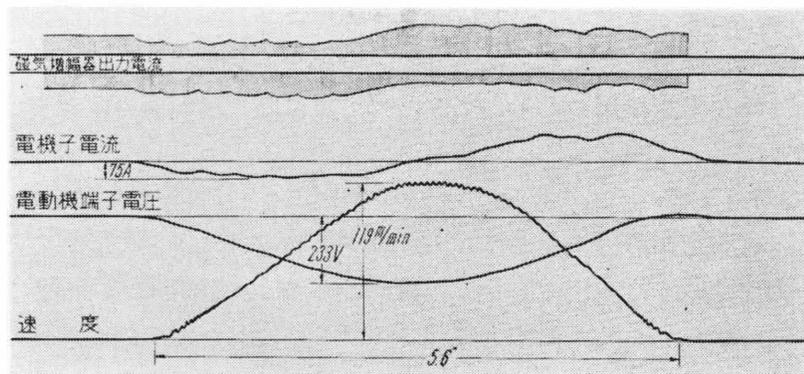
第11~15図は東京銀行ビルに納めた第一号機の現地において試験したときのオシログラムである。第11、12図は全負荷時の1階床上昇、下降運転時の速度特性である。これらの運転時間はいずれも4秒以下であって、負荷変化にかかわらず0.1秒の



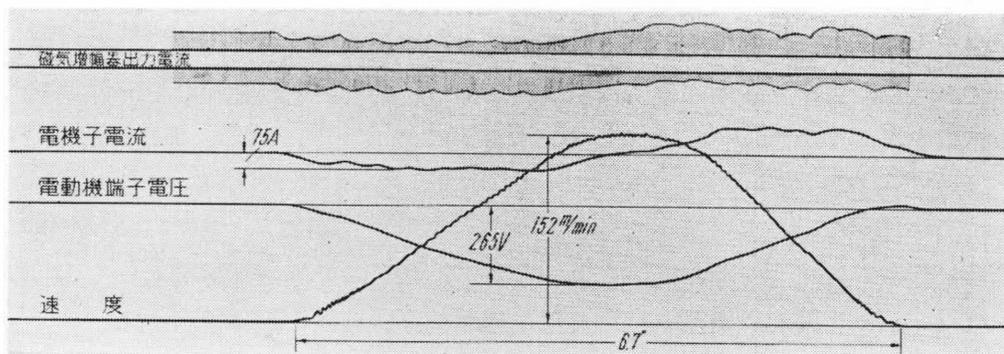
第11図 1階床運転(全負荷上昇)速度特性



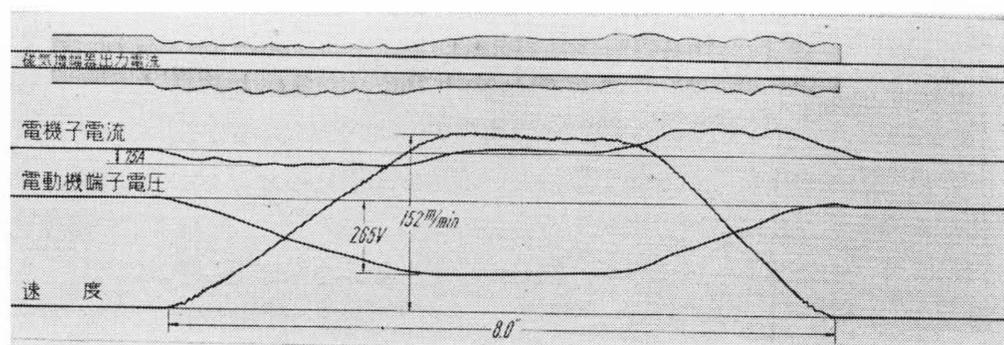
第12図 1階床運転(全負荷下降)速度特性



第13図 2階床運転速度特性(全負荷下降)

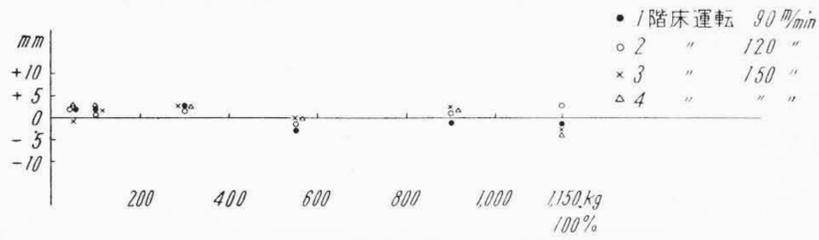


第14図 3階床運転速度特性(全負荷下降)



第15図 4階床運転速度特性(全負荷下降)

わずかな差があるだけで、負荷変化による影響をほぼ完全に減少させている。第12~15図は同一階へそれぞれ1、2、3、4階床運転させた例であって、3種のプログラムに対し、非常に忠実に追従



第16図 負荷変化による着床性能

しており、まったく同等な加減速特性を示している。しかも、停止前の低速運転は全然無く、所期の目的を十分達している。また、第16図は着床差を調べた下降運転時の負荷試験結果であって、±5m以下に非常に優秀な性能を示している。

5. 結 言

以上述べた新速度制御方式は輸送能力を特に向上させる必要がある大事務所ビルに非常に好適な制御方式である。今回は新たな試みとして、たとえば検出発電機を使用するなど、日立製作所独特の方式を種々採用し、東京銀行につづいて関西電力本社ビルにそれぞれ3台、計6台納入したが、いずれも設計上の目標値(1階床運転)4秒以下に十分はいることができた。

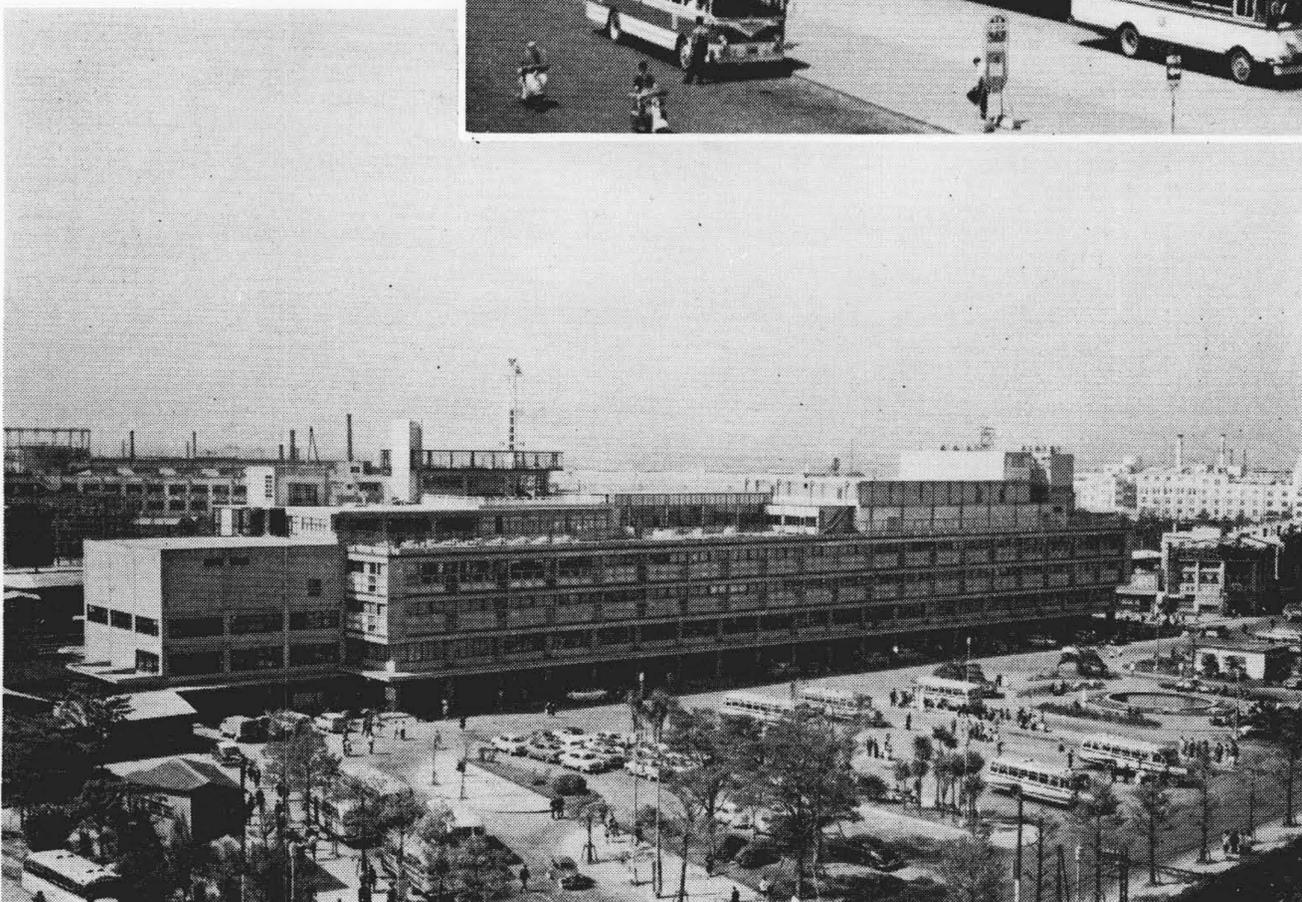
参 考 文 献

- (1) 犬塚：日立評論 35, 553 (昭28-3)
- (2) B. Jones：G. E. Rev., Vol. XXVII
- (3) 藤森：日立評論 34, 1173 (昭27-10)
- (4) 木村, 宮城：たとえば三菱電機 1954-2
- (5) 茂木：磁気増幅器

新しいビルディング

—日立製品の活躍するビル—

札幌民衆駅
(札幌)



駅ビルかわさき (川崎)

新しいビルディング

—日立製品の活躍するビル—



東北電力ビル (仙台)



名古屋朝日生命館 (名古屋)



古河ビルディング (東京)