

高層住宅用エレベータの高速化

——日立サイリストロニック DB 制御エレベータ——

High-speed Elevators for High-rise Housing

——Hitachi New Elevator with Thyristronic Control Type DB——

渡辺 昭 則*
Akinori Watanabe

三井 宣 夫*
Nobuo Mitsui

小 室 勝**
Katsu Komuro

要 旨

最近、市街地の再開発や近郊都市におけるビルの高層化が積極的に進められている。なかでも住宅用ビルは今後ますます高層となり、数多く建築される傾向にある。このため、縦の交通機関としてのエレベータはいっそう重要性を増しているし、実用性をさらに高める必要性にせまられてきた。

日立製作所ではエレベータの公益性をいっそう高めるため、とくに中高層住宅ビル用としてサイリストロニック DB 制御方式のエレベータを開発した。サイリストロニック DB 制御方式はエレベータの制動を電気制動方式とし、主回路制御に制御極付整流素子を使用して速度帰還によって迅速、安定な直接着床を行なわせるようにしたもので、従来、床合せ、ショック軽減のために必要とした着床前の低速運転を全く不用とした日立独自の制御技術によっている。

この結果、エレベータの実効的な高速化を図ることができ、運転時間が短く、輸送能力の大きい中高層住宅ビル向けエレベータを開発することができ、系列化を推進中である。

本論文では DB 制御方式の概要とその特長について述べる。

1. 緒 言

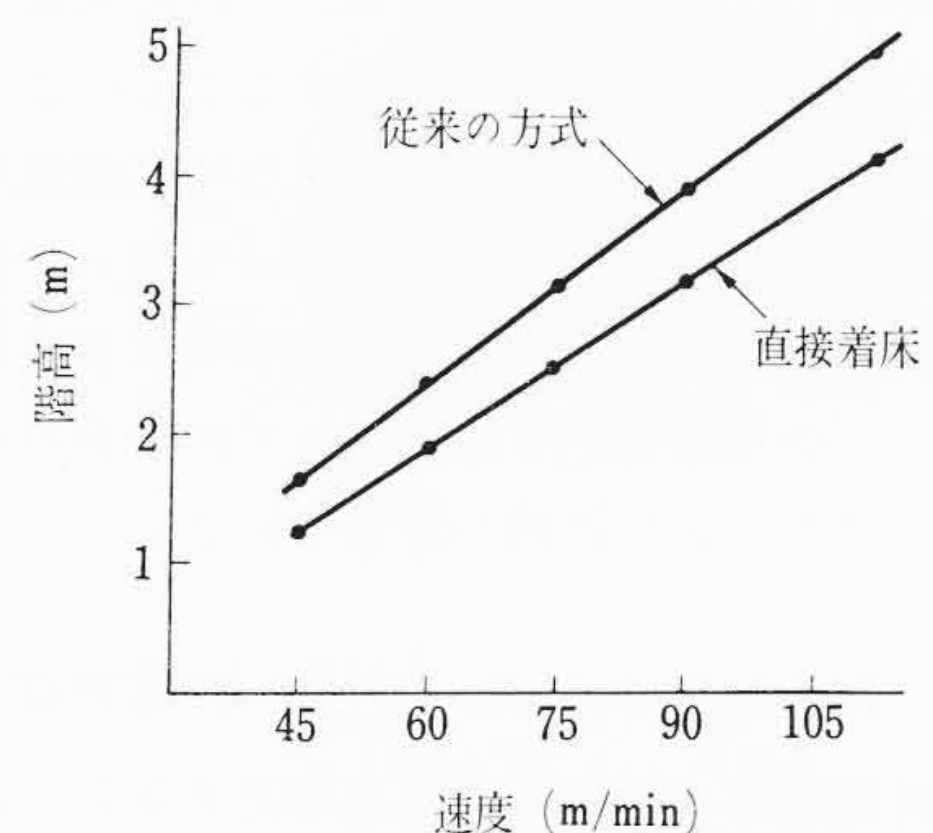
近年、急速な経済成長によって都市部を中心とした商工業地域の拡大と高密度化が進み、これに伴って都市への人口集中が急速に増している。このため、市街地再開発、近郊都市におけるビルの高層化が積極的に進められている。なかでも住宅用ビルはその絶対数の不足から量的にも増加し、土地の確保難と入居者負担軽減のため今後さらに中高層化が進められる傾向にある。このため、住宅設備としてのエレベータの機能は従来よりいっそう重要性を増すとともに、高信頼度化する必要がある。一方、住宅に関して量とともに質的向上を望む声も多くなり、実用機種での高速化が望まれている。

日立製作所ではこの機運にさきがけてエレベータの公益性にいっそう寄与するため、とくに中高層住宅ビル用中高速エレベータとしてサイリストロニック DB 制御方式により住宅ビルの特殊性をじゅうぶん考慮した高速エレベータを開発した。サイリストロニック DB 制御方式においては、円滑で安定性の高い減速特性を得るため、エレベータの制動を電気制動方式とし、飛躍的な制御性の向上と高信頼度化のため主回路制御に制御極付整流素子を使用し、迅速な運転と高精度着床のため速度帰還による直接着床方式を行なうようにしたもので、従来一般に床合せやショック軽減のために設けられていた着床前の低速運転を全くなくした日立製作所独自の制御技術によっている。

この結果、良好な乗りごちで運転時間が短く、輸送能力の大きい高層住宅ビル用中高速エレベータを開発することができ、現在、住宅用エレベータを中心にした系列化を図りつつある。

2. 制御方式とエレベータサービス

従来、住宅用ビルは5階程度までが過半数を占め、エレベータを設置しない計画が多かったが、住宅の絶対数不足と土地確保の困難さから高層化される傾向にあり、設備としてエレベータの設置は不可欠なものとなっている。また、住居としての有効面積を広くするため階高も一般ビルに比べて低く、日本住宅公団、公共団体の計画、



(定格速度を出し乗りごちをそこなね範囲でサービスできる最小階高)

図1 速度と階高の関係

建設する住宅ビルでは階高 2,700 mm 程度が標準であり、民間デベロッパーの計画においても 2,600 mm ないし 3,000 mm 程度となっている。

住宅ビルにおけるエレベータは設備費との見合から比較的定格速度の低い 45 m/min 級以下のものが設備されていたが、ビルの高層化やサービス改善の必要性から、エレベータの定格速度も一段と高い 60~150 m/min 級とする気運になりつつある。しかし、速度増加に対する設備費の増加や、エレベータの制御方式によっては階高の低い区間を運転するときに必ずしも速度が有効に生かされず、また、乗りごち、運転時間が階高の高い区間を運転するときの特性と大きく変わるなどから、エレベータのサービス階を減らすような計画がなされる場合がある。このような計画においては居住者に対して平等なサービスができず、利用者の不便も伴ってくる。これらの問題を積極的に解決するため、従来のエレベータにない全く新しい方式により制御される実用性の高い機種の開発が必要となる。

現在、実用性の高いものとして多用されている二段速度エレベータは着床時の乗りごちと精度を確保するため、着床前に低速運転時間を設ける必要がある。いま仮に、速度増加に対して二段速度方式とすれば、図1に示すように乗りごちをそこなね範囲でサー

* 日立製作所水戸工場

** 日立製作所日立研究所

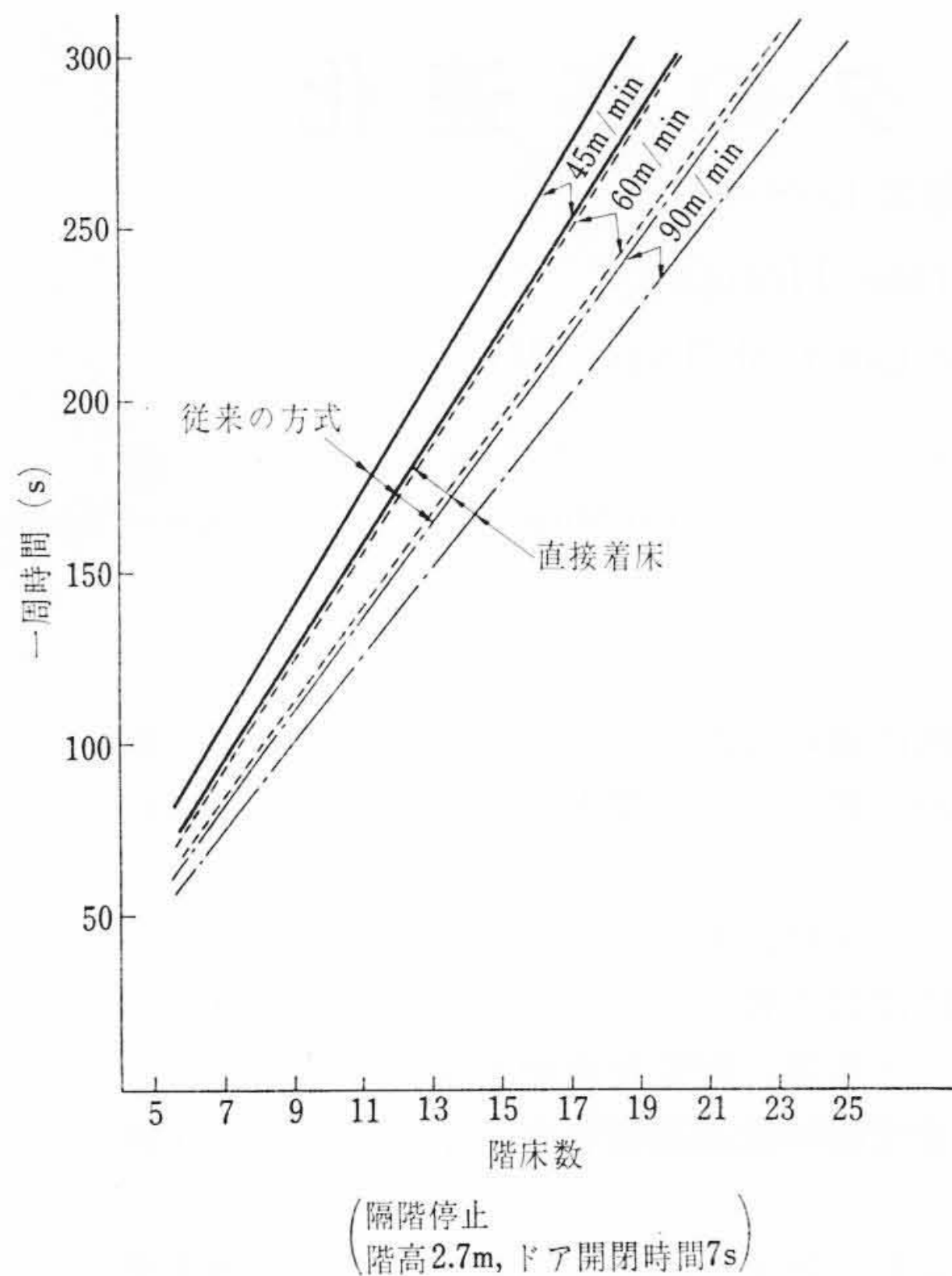


図2 一周時間

ビスし得る階床間隔が増加し、また、着床誤差は補償装置のない場合に速度の自乗に比例して著しく増大する。これに対して負荷の影響による変動の少ない直接着床方式を実現することにより、これらについて大幅な改善ができることになる。さらに直接着床方式により同一定格速度であっても実効速度を高めてエレベータのサービス時間は図2のように短縮できる。この効果はサービスする階が多ければ多いほど大きく、中高層住宅ビル用としてのエレベータではとくに直接着床方式とすることが計画上非常に望ましい。

3. サイリストロニック DB 制御方式

エレベータを直接着床させるときの制動方式として現在実用化されているものに機械的制動と電氣的制動の2種があり、電氣的制動では一般に直流電動機を使用しており乗りごこちが良く、精度の高い着床特性を得ることができるが、着床精度を確保するため停止前に低速で運転したり、マイクロレベリングを行なうこともあり、必ずしも直接着床方式の長所をじゅうぶん生かしきれていないものもある。また、機械的制動により直接着床を行なうことは、より高速から一気に停止するため、負荷変化の影響を受け着床誤差が大きく、不安定となり停止時の乗りごこちもそこなわれる。この影響は速度が高いほど大きく、定格速度が45 m/min以上では実用上支障をきたすようになる。このように直接着床を行なうには電氣的な制動方式が望ましいが装置が大形化、高級化する傾向にあり、実用性が重視される住宅用ビルなどには必ずしも適さない。そこで、従来にない全く新しい制動方式によりかご形誘導電動機を制御して直接着床を行なう実用的な機種として開発されたのがDB制御エレベータである。

従来の電氣的制動方式では乗客の人数によりモータにとって±100%変化する負荷を制動する過程で、制動トルクのみでなく駆動トルクも使用して制御しているが、DB制御方式では制動過程における駆動エネルギーはすべてエレベータ系が持つ機械的慣性エネルギーで、電氣的には制動トルクのみを発生すればよい。したがって、制動トルクを発生する簡単な装置を設ければよいが、このためにとくに制動機を設けることは機器の増大を招くことになる。渦電流制動機などを設ける方式で実用化されているものもあるが、駆動機のほかに渦電流制動機を設けるため駆動機が長大となり、価格面

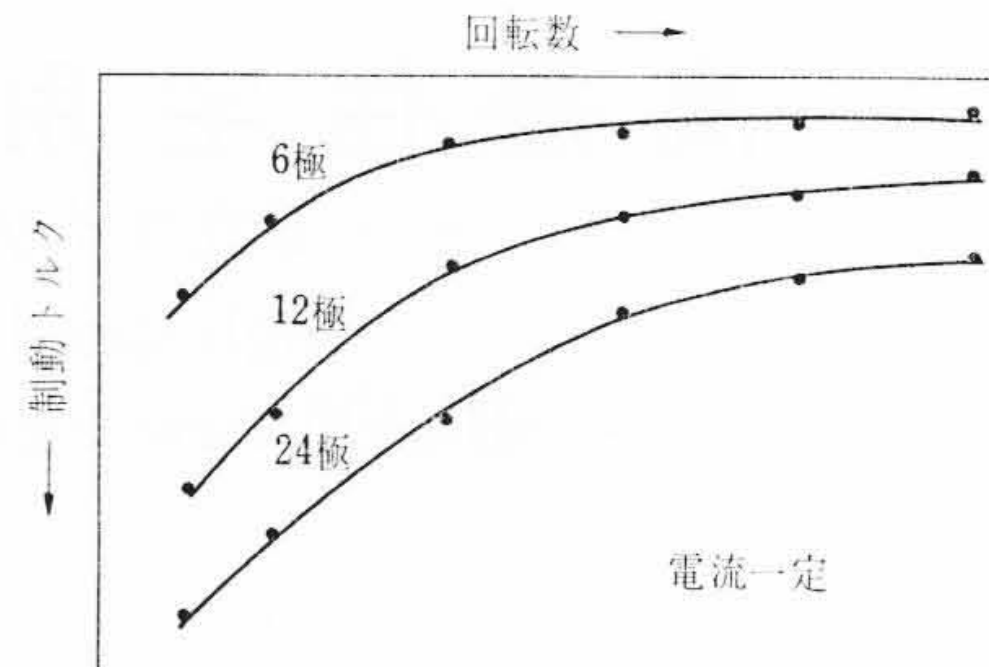


図3 直流制動時のトルク特性

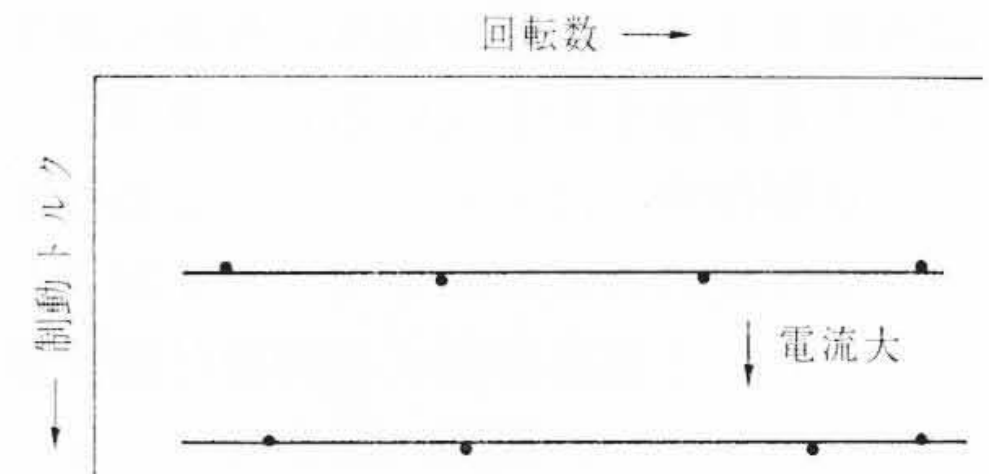


図4 逆相制動時のトルク特性

からも高速用に用途が限定されている。これに対してDB制御では単一の誘導電動機を用いて加速、走行、減速に至る全行程を制御するようにしてある。単一のモータで制御するためにはモータ特性が加速トルク、減速トルクの両方から制約を受けること、望ましいトルク特性を得るための制御方式、あるいは階高、保守運転などに合わせた高低2速度の設定方式など高度で新規な技術を必要とする。

誘導電動機で制動トルクを発生する代表的な方式として直流制動方式と逆相制動方式があるが、これらはいずれも一長一短がある。直流制動方式では図3に示すような制動トルク特性で、トルクは高速時に小さく、低速時には大きく、全体の特性が電動機の極数に比例して、極数が大きいときは比較的大きなトルクを発生するが、極数の小さいときはトルクも小さい。逆相制動方式では図4のような特性となりトルクはフラットな特性で高速時にも大きい。一方、エレベータに使用されている電動機は電動機や減速機の大きさ、経済性などの関係から低速用単速度電動機の極数は6極程度であり、中速用二段速度電動機の極数は6/24、4/16極程度である。多極数の場合、直流制動でじゅうぶんな制動トルクを得られるが、小極数の場合にはじゅうぶんな制動トルクを得ることはできない。高速エレベータは工事、保守運転と階高が低い区間を運転する場合のための補助巻線として多極数を残すことにより、従来の二段速度用電動機と共用し、制動時に多数極側を使ってじゅうぶんな制動トルクを得られるが、単速度電動機のように数小極のみの場合には望ましい制動トルク特性とするための工夫が必要である。

3.1 DB制御の回路と動作概要

高速エレベータにおいて、工事、保守運転時の低速を極数変換で行なうとすれば、高速用と低速用の巻数の極数比は1:3以上が必要であるが、同一鉄心に二つの巻線を施す条件を考慮すると1:4程度となり、さきに述べたような理由から6/24または4/16極となる。高速用DB制御方式⁽¹⁾ではこの単一の電動機を高速運転用回転機、制動機、工事、保守用低速回転機、階床区分制御用の多目的に使うように工夫されている。

制動回路を主体とした原理図は図5に示すとおりである。制御極付整流素子と整流素子各2個により多数極側を直流励磁するようにしてある。図5の制動回路を用いて迅速な減速と安定な着床特性を得るためには、負荷が主体となる制御系の外乱を受けにくいものとするため帰還制御系を構成する必要がある。速度帰還制御系によ

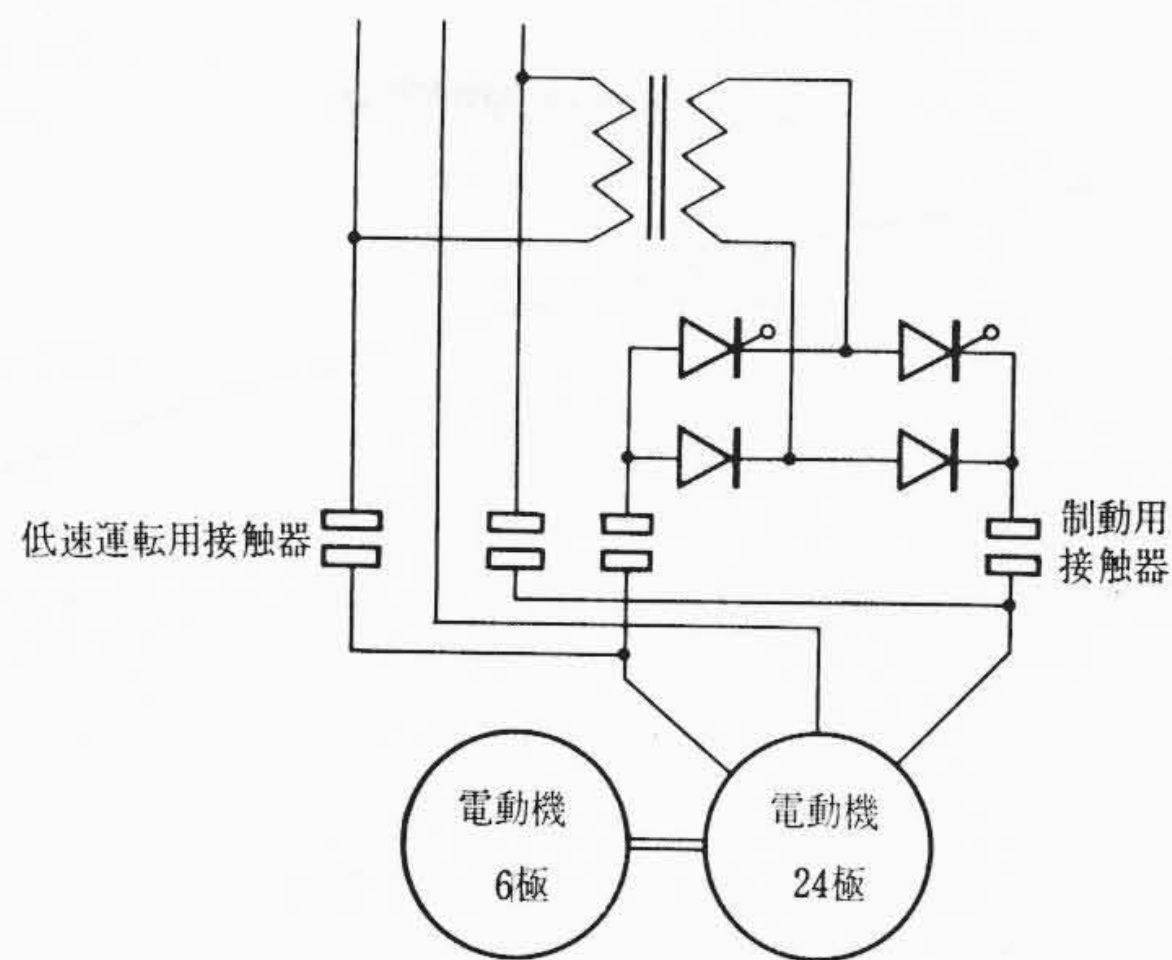


図5 高速用DB制御主制動回路

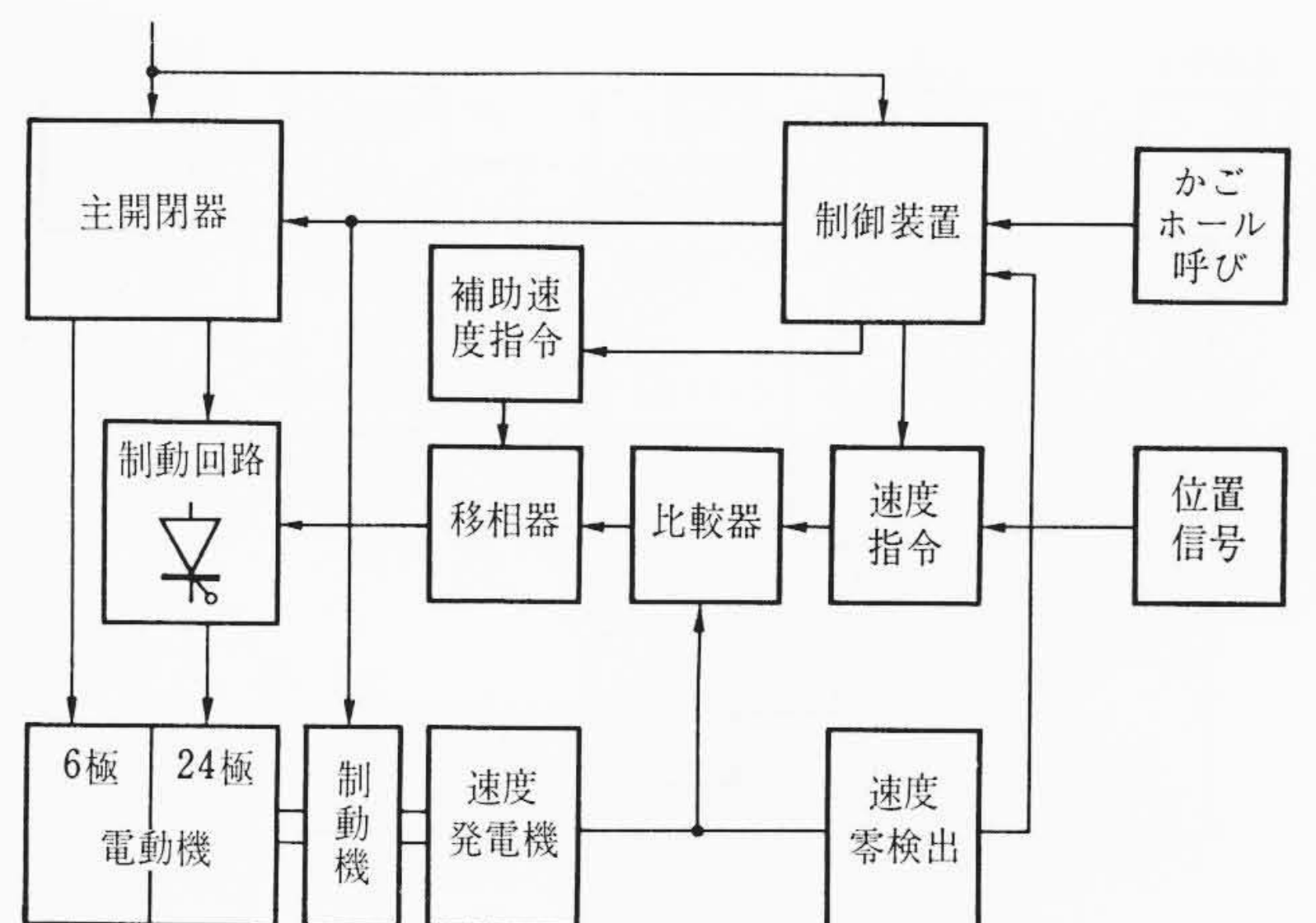


図6 高速用DB制御ブロック図

り構成した高速用DB制御のブロック図は図6に示すとおりである。

エレベータが、かごまたはホールの呼びに応じてサービスする階の減速開始点に至ると、主開閉器は小極数側をしゃ断して多極数側を閉路する。速度帰還によりエレベータ速度を検出し、位置に対応して連続発生している速度指令と突き合わせ、制御極付整流器の位相角制御を行ない制動トルクを制御する。エレベータが減速して速度がゼロになると速度ゼロ検出器が動作して開閉器をしゃ断するとともに制動機の励磁を断って機械的保持力を与える。エレベータの速度がゼロになる前に機械的制動機による制動トルクを与えることは乗りごこちをそこね、着床特性の安定性を確保しにくくする。階高が低い区間を運転する場合、定格速度を出すことは乗りごこちとともに安定性もそこねるため中間速度制御を行なう必要があり、小極数側の駆動トルクと多極数側の補助制動トルクの二つを重畳させる方式を開発した。エレベータが階高の低い1階床運転であることを検出すると、階高に見合った最高速度を指令する補助速度指令を出し、エレベータ速度が補助指令速度に達した時点で多極数側に直流励磁を与えて、小極数側と多極数側の発生するトルクの合成により中間速度で短時間走行し、あらかじめ設定された階高の低い場合の減速指令に一致した時点で小極数側の励磁を断ち、多極数側のみを励磁して制動を加えるようにして階高の高い場合の運転時と同様に制御する。

中速エレベータを単一の巻線を持つ電動機で駆動する場合、最も経済的なモータの極数は前述のとおりで6極程度が最も多用されている。小極数を直流励磁した場合、高速時にじゅうぶんな制動トルクを得ることは困難であるが、逆相制動によればじゅうぶんな制動トルクを得ることができる。しかし、逆相制動の場合、停止後の逆転など安全上の問題や、トルクを制御するための装置の複雑さなどから実用的でない。そこでエレベータを減速させるときの制動トルク特性は制動開始時にじゅうぶんなトルクを発生するよう図4の逆相制動トルク特性を、図3の直流制動トルク特性を補ったような特性にすることが望ましい。このため図7に示すようなトルク特性を得る方式を確立し、基本的には図6に示したDB制御ブロック図と同様な制御を行なう方式⁽²⁾を開発している。

以上述べたように中高速いずれのエレベータにおいても、起動から停止まで必要な運転条件を単一の電動機で満たし、連続速度指令と直流を主体とする電氣的制動方式により、迅速で安定した着床ができるものであり、従来、一般に停止時の制動に用いられている機械的制動機は単にエレベータ停止時の保持装置、非常制動用としてのみ使用すればよく、安全装置として信頼性を高め、保守を著しく容易にすることができる。また、保守、工事の際には簡単に低速運転できるよう特に工夫してある。

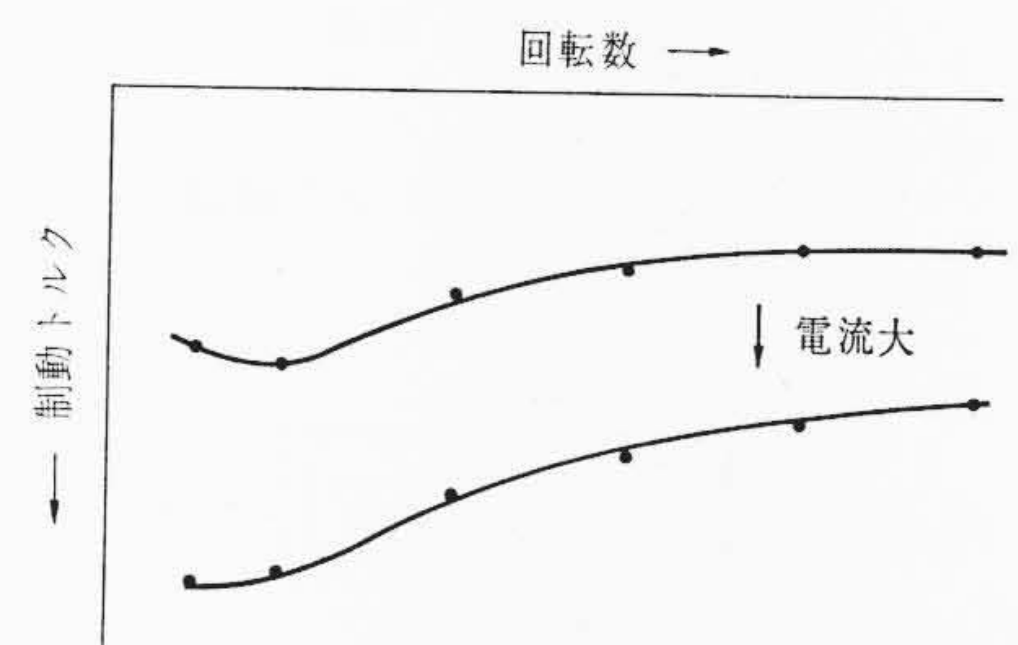


図7 中速用DB制御のトルク特性

表1 DB制御方式と従来方式の制御上の比較

機 種	速度別用途	着床方式	制 動 方 式	電 動 機
サイリスタロニック DB	高・中速	帰還制御付直接着床	直流制動による電氣的制動	誘導電動機
直 流	高 速	帰還制御付直接着床	回生制動による電氣的制動	直流電動機
交流二段速度	中 速	二段着床	回生制動による電氣的制動 後低速よりマグネットブレーキによる機械的制動	誘導電動機
交流一段速度	低 速	直接着床	マグネットブレーキによる機械的制動	誘導電動機

表1はDB制御方式と従来の方式の制御上の特長を比較して示したものである。サイリスタロニックDB制御方式は交流エレベータの実用性と直流エレベータの良好な特性を兼ね備えた、用途も広い全く新しい機種といえることができる。

3.2 DB制御方式の制御性

図6のブロック図をもとに階床間隔の高い場合の制御系のブロック線図をかくと図8のようになる。いま移相器の入力に加わる速度指令入力と速度帰還入力との差、すなわち制御偏差を P とすると負荷 N 、指令 V に対して

$$P = \frac{V}{1+G} \mp \frac{NG_c K_g}{1+G} \dots\dots\dots (1)$$

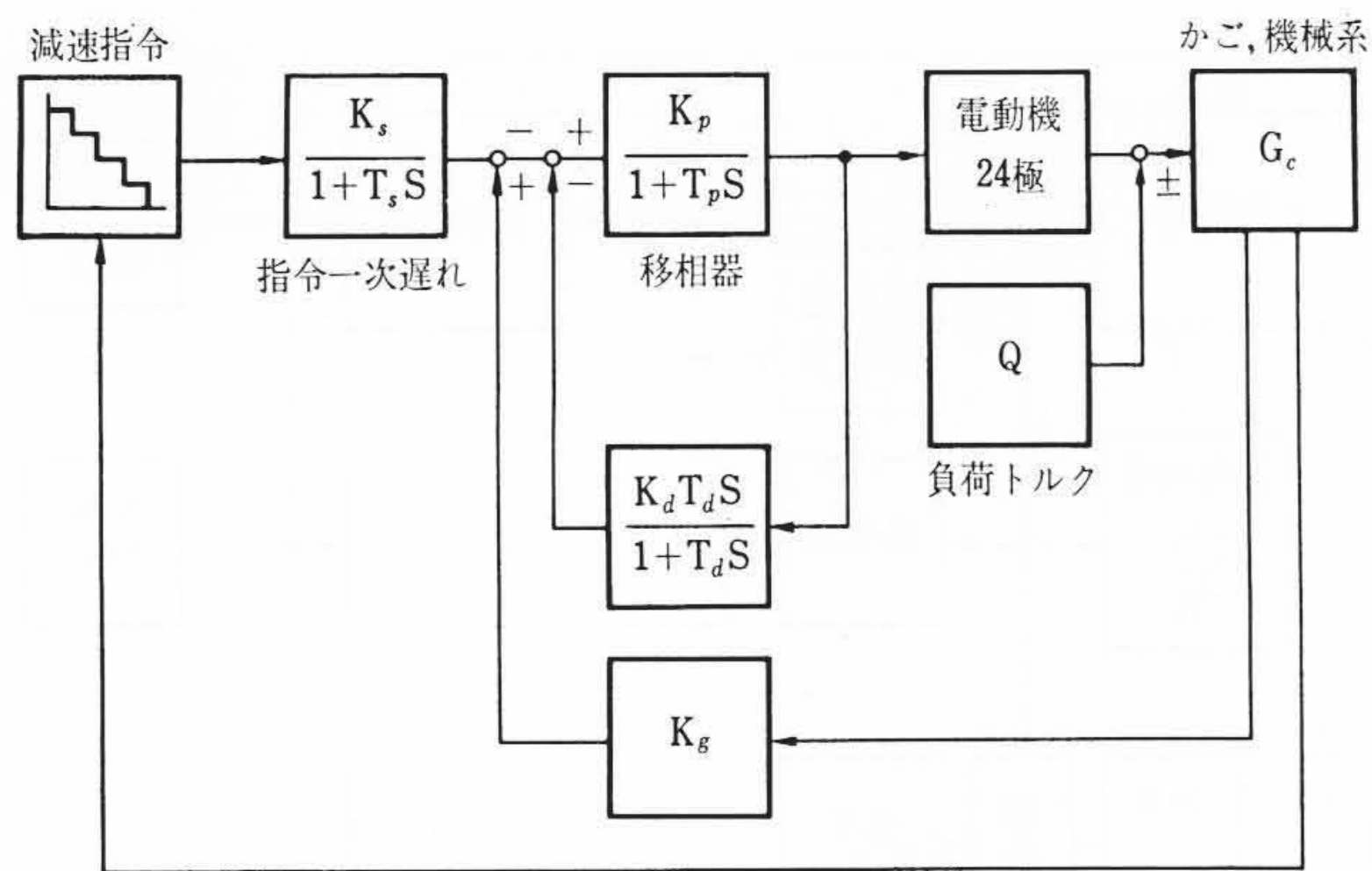
ここで、 G : 一巡伝達関数

G_c : エレベータ機械系で $1/J_M \cdot S$

G_{pd} : 移相器とダンピング回路の合成伝達関数

K_g : 速度発電機の利得

が成り立つ。減速時には負荷 N は $N=Q/S$ (Q : 負荷トルク $N-m$) であり、減速度を $-R$ とすると速度指令 V は $V=-R/S^2$ で (1) 式から P は



K_p : 移相器の利得
 T_p : 移相器の時定数
 K_s : 指令入力
 T_s : 指令一次遅れ時定数
 K_d : ダンピング利得
 T_d : ダンピング時定数
 K_g : 速度帰還定数
 Q : 負荷トルク

図8 制御系のブロック線図

$$P = \frac{1}{K_P K_B} \sqrt{\frac{1}{K_1} \left| \left(-\frac{R J_M}{K_g} \mp Q \right) \right|} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $K_P K_B$: 増幅器利得

K_1 : 電動機トルク発生係数

R/K_g : 電動機軸の速度変化率

J_M : 慣性能率

となる。すなわち、制御偏差 P は増幅器の利得に反比例し、慣性能率および負荷トルクの1/2乗に比例し、モータトルク発生係数の1/2乗に反比例する。一般の線形回路における偏差は負荷トルク、慣性能率、減速度などに比例するが、本DB制御方式では電動機の実非線形特性によって、減速度、慣性能率、負荷トルクの変化の影響を受けにくく、安定した精度の高い制御を行なうことができる。

図9は負荷トルクと制御偏差の関係を(2)式から求めた一例を

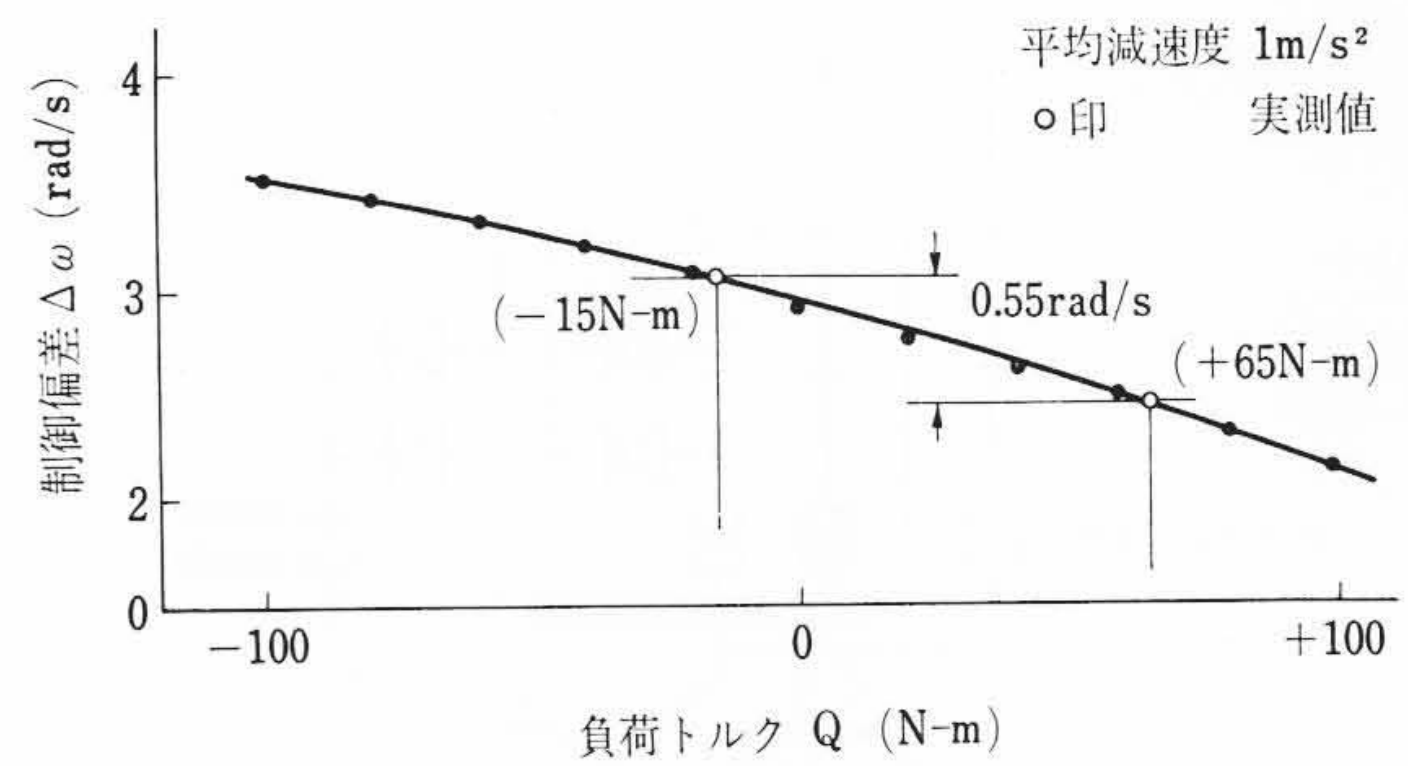


図9 負荷トルクと制御偏差

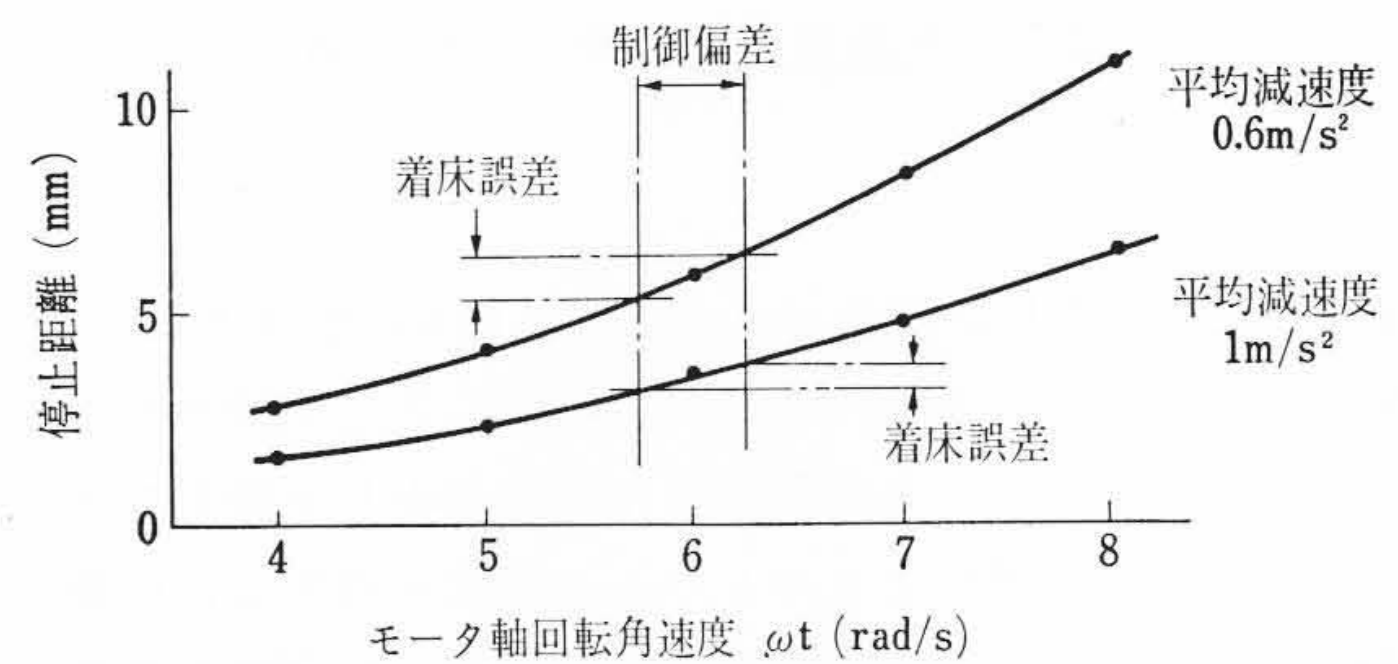


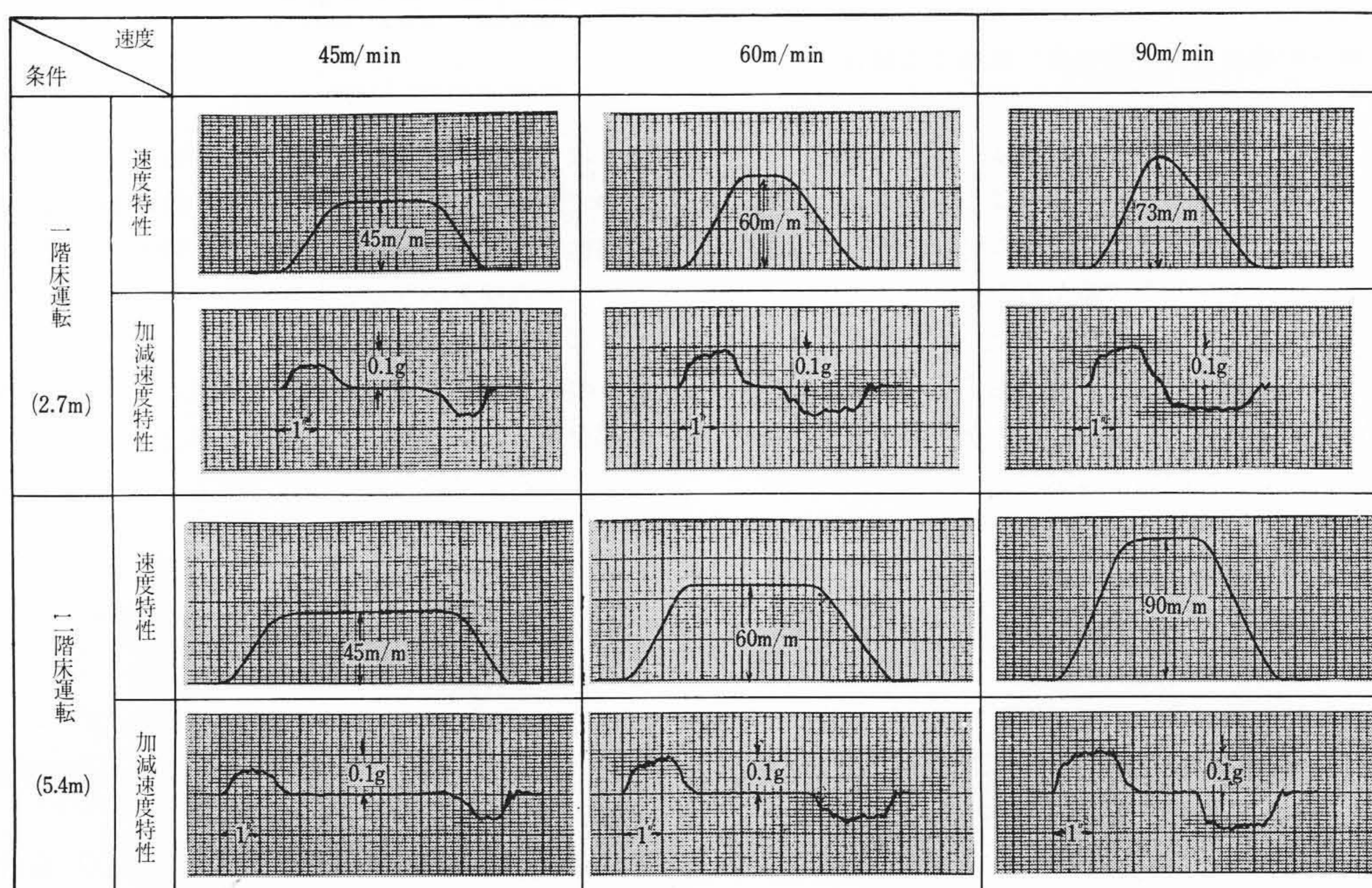
図10 停止するときの回転角速度と距離

示したものである。エレベータにとって無負荷から全負荷にわたる範囲での制御偏差が0.55rad/sと小さいことがわかる。同様に減速度、モータトルク発生係数、増幅器の利得との関係も制御偏差は小さく安定している。

エレベータが減速し、最終指令がでた後停止までの走行距離の関係を計算により求めた一例は図10のようになる。最終指令時のエレベータ速度は電動機軸回転角速度に換算して10rad/s以下であり、さきに検討したとおり速度偏差は0.55rad/s程度であることから着床誤差を求めると図10より1~2mmで着床精度の高いことがわかる。

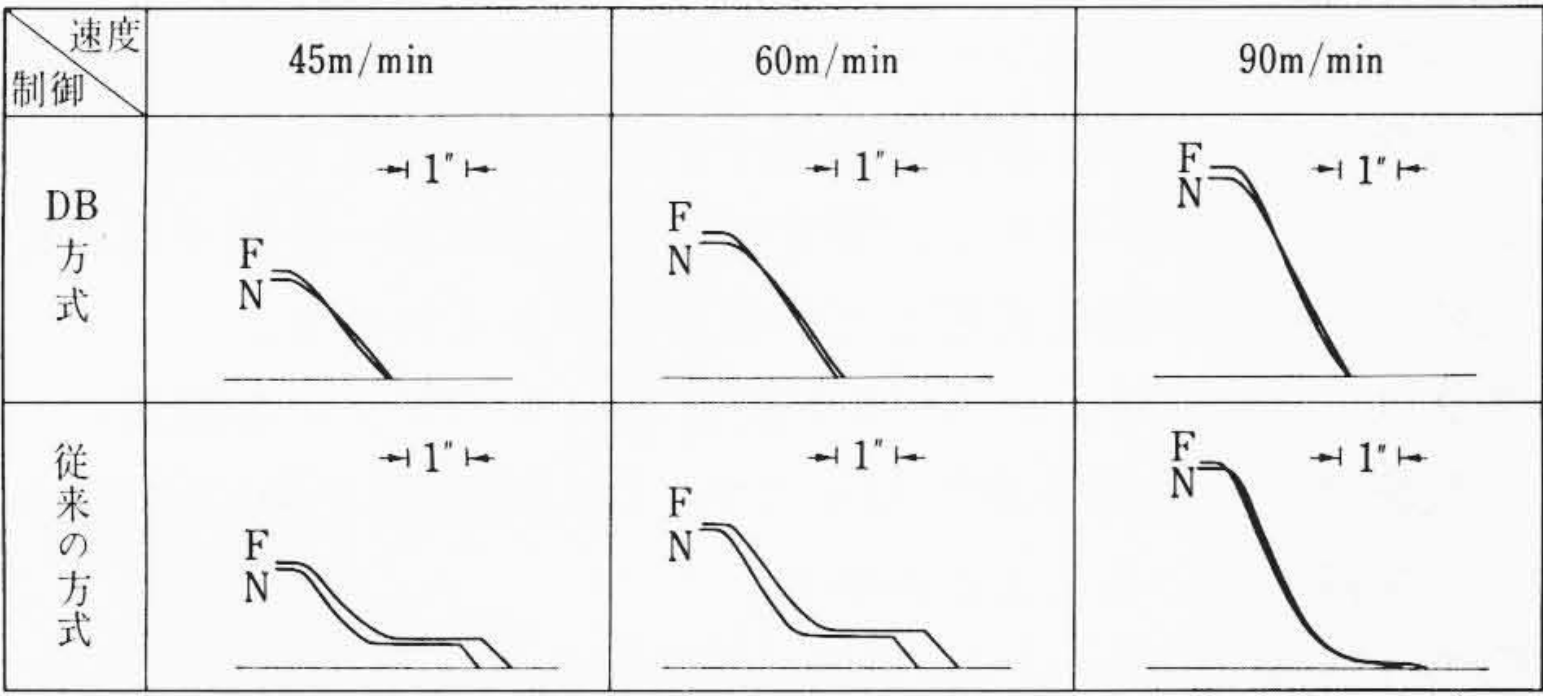
3.3 DB制御エレベータの工事性、保守性

性能が良く、安定していると同時に、工事性、保守性の良さもエ



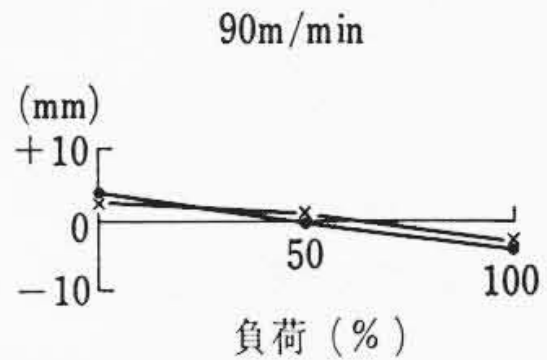
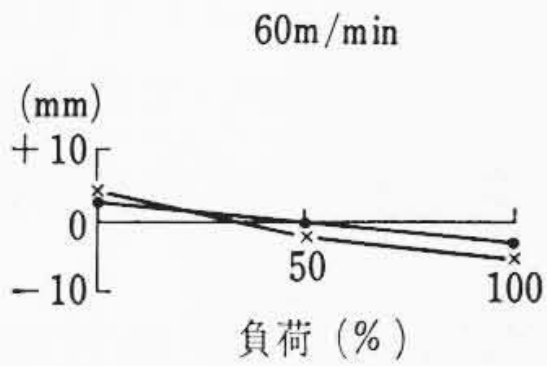
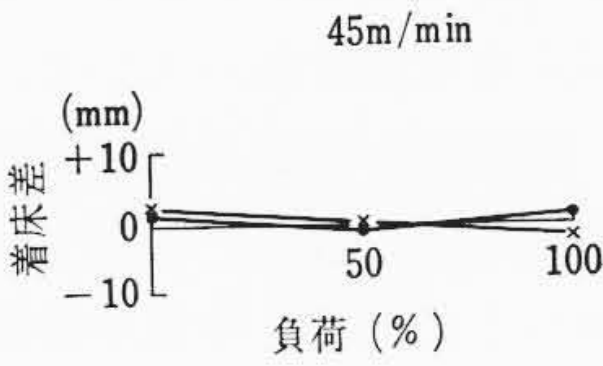
(平衡負荷 上昇)

図11 サイリストロニックDB制御エレベータ特性

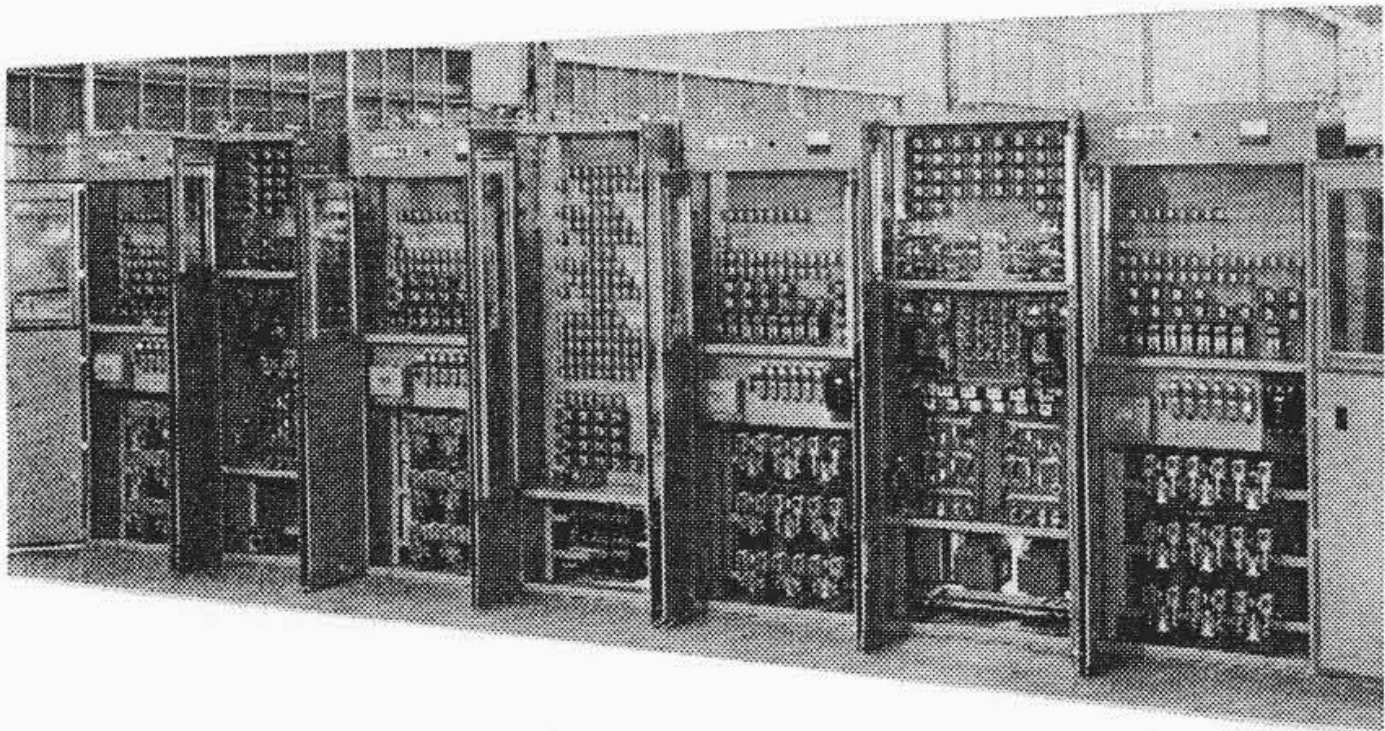


運転方向は上昇で、Fは定格負荷、Nは無負荷をあらわす。
従来の方式は負荷補償装置付の場合を示す。

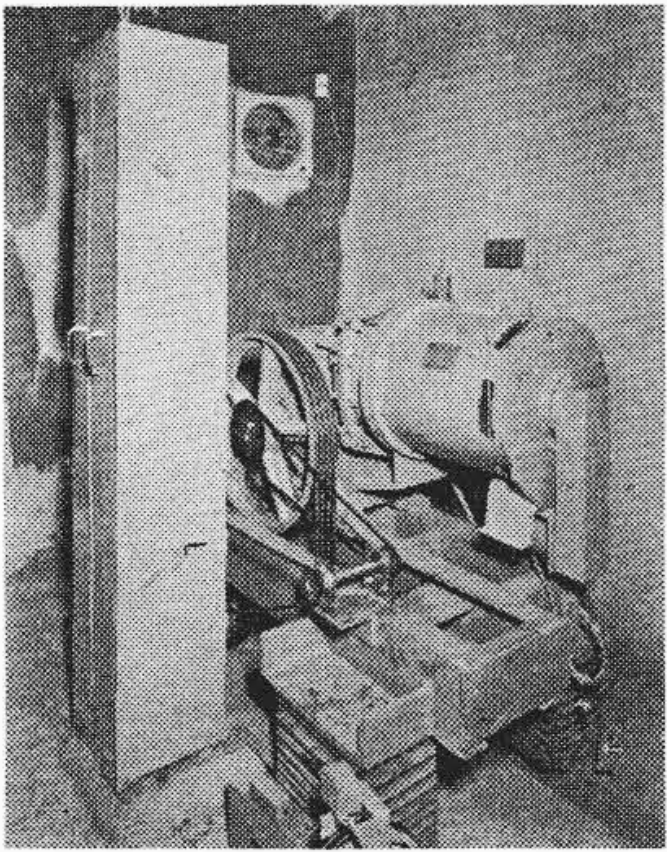
図 12 エレベータ減速特性の比較



(a) 着床誤差



(a) 高速用DB制御盤群 (4台)



(b) 中速用DB制御駆動機



(c) DB制御を納入したアパート群

図 14 稼動したエレベータの一例

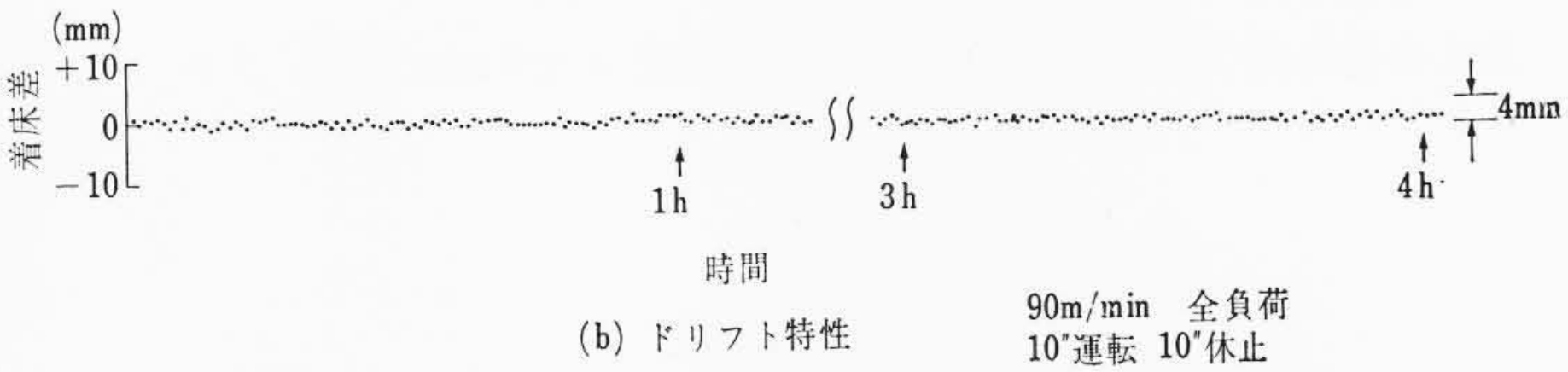


図 13 サイリストロニック DB 制御エレベータの着床特性

表 2 DB 制御エレベータと従来のエレベータの比較

項目	高 速 エ レ ベ ー タ		中 速 エ レ ベ ー タ	
	D B 制 御	直 流 ギ ャ ー ド	D B 制 御	二 段 速 度 制 御
乗りごこち	ダイナミック	ソフト	スピーディ	ステッディ
着床誤差	ほ ぼ 同 じ		ほ ぼ 同 じ	
運 転 時 間	切れ味のよい着床により直流ギヤードと比較して1階床(2.7m)運転で20%程度短縮	円味のある起動、停止で連続した速度特性とし時間短縮を図っている	直接着床により二段速度制御方式に比較して1階床(2.7m)運転で25%程度短縮	負荷補償装置により着床前の低速運転時間が短く、ばらつきも比較的少ない
安 定 性 信 頼 性	速度帰還により、負荷その他の影響による乗りごこち、着床誤差、運転時間の差がほとんどなく、コンミテータが全くないため安定した特性を維持できる	AVR-IIR 帰還により乗りごこち、着床誤差が安定している	速度帰還により負荷その他の影響による乗りごこち、運転時間の差が少なく、長い期間にわたって良好な特性を維持できる	極数切換えによる回生制動と負荷補償装置により、負荷による低速運転時間の差、着床誤差を少なくし安定性を高めている
消 費 電 力	MG方式に比べてやや少なく、使用ひん度が少ないとその差は大きくなる	閑散時にはM-Gを停止して電力節約を図っている	運転時間の短縮。全効率の改善により低減する	減速時に回生制動を行ない電力が節約される
機 械 室 設 置 品 重 量	MGがなく回転機関係の重量を大幅に軽減し、直流ギヤードに比べ機械室設置品の総重量を20%程度低減している	回転機、盤などの小形軽量化を図っている	ほ ぼ 同 じ	
そ の 他	MG停止の条件がなく、呼びに対して常に経済的でしかも迅速な応答を行なう	適用するエレベータの範囲が非常に広い	マグネットブレーキは停止中の保持のみとなり、保守調整が容易である	適用するエレベータの範囲が非常に広い

レベータの良否をきめる大事な要素といえる。DB 制御エレベータではこの点にもじゅうぶんな考慮を払っている。現地作業の軽減と効率向上を目的として、機器の小形軽量化、WP 工法を初めとする各種の新工事法を実施できるよう設計、製作し、保守性、信頼性の向上のため、主回路を中心とした多くの電子装置についてもじゅうぶんな信頼度試験を行ない、長期にわたって安定な特性を発揮できるようにするとともに、安全上のみならず性能上も重要な機能を果たすマグネットブレーキの保守については点検を主体としてほとんど部品の交換や調整を不要とするなど多くの改善を施した。

4. DB 制御エレベータの性能と特長

DB 制御方式によるエレベータの乗りごちを示す特性は図 11 に示すとおりで、1 階床運転、2 階床運転とも加速特性は日立製作所独特のノッチ制御方式⁽³⁾により、減速特性は DB 制御方式により円滑な特性となっており、2.7 m という階高の低い場合でも階高の高い場合と同様良好な特性を示している。従来のエレベータと減速特性を比較したものが図 12 である。運転時間が短いだけでなく、負荷が変っても運転時間がほとんど一定していることがわかる。この運転特性により、DB 制御エレベータは従来のエレベータで速度が一段早い機種と同一のサービスをすることができる。

着床特性は図 13 に示すとおりで、着床誤差は $\pm 5\text{mm}$ 程度、ドリ

フト $\pm 2\text{mm}$ 程度で種々の条件を考慮しても $\pm 10\text{mm}$ 以下とすることができる。中速エレベータで機械的制動方式により直接着床方式を行なう場合には、機械的摩耗や不安定さからドリフトが大きく時間とともに特性が変化し、安定性に欠けるのが一般的であることに比較し、精度が高く安定していることがよくわかる。

表 2 は、DB 制御エレベータと従来のエレベータの各要素について比較検討した結果を示したもので、DB 制御エレベータが数多くの特長を持っていることがわかる。

図 14 は稼働中のエレベータの一例を示したものである。

5. 結 言

以上、今回中高層住宅ビルに好適なエレベータとして開発したサイリストロニック DB 制御方式の概要と特長について述べた。この方式は住宅ビルの階床間隔が短いという特殊性をじゅうぶん考慮したほか、さらに従来と同一定格速度であっても直接着床方式によって実効的な高速化を図り、迅速な運転と精密な着床を行なうことができ、エレベータの実用性をいっそう高めたものといえる。

参 考 文 献

- (1) 特許申請中
- (2) 特許申請中
- (3) 渡辺、三井、重田：日立評論 49, 913 (昭 42-9)



新 案 の 紹 介



登録実用新案 第 891801 号

増 田 勝太郎・大 角 吉 弘

階 床 と び ら 係 合 鎖 錠 装 置

本考案は、籠とびらから階床とびらへ駆動力を伝達する係合動作と同時に、階床とびらの解錠および鎖錠動作を行なうエレベータの階床とびら係合鎖錠装置に関するものである。

従来のこの種装置においては図 1 に示すように可動板イと固定板ロの連結が、両板の上下端にあけられた穴にピンハを貫通してなされていた。しかし、上下の穴が離れているため穴あけがむずかしく心ずれを生じ動作を重くしていた。また心ずれを極力少なくするという配慮から穴あけ作業、組立作業に時間を要し、このため作業性を悪くしていた。

本考案は、図 2 に示すように、固定係合子 1 に可動係合子 2 側に突出する突起 3 を形成し、一方可動係合子 2 には、前記突起 3 と係合するくの字状の折曲げ部 4 を形成し、かつ前記可動係合子 2 を固

定係合子 1 に弾性体 5 を介して圧接したものである。

本考案によれば、係合子 1, 2 の接合部分は、従来のようにピンを必要とせず、穴加工に動作不良を生ずることがない。また係合子 1, 2 の突起 3 および折曲げ部 4 は、均一性のあるプレス加工ができ、精度を増すとともに加工性を著しく高めることができるなど顕著な実用的効果を達成する。

(郷古)

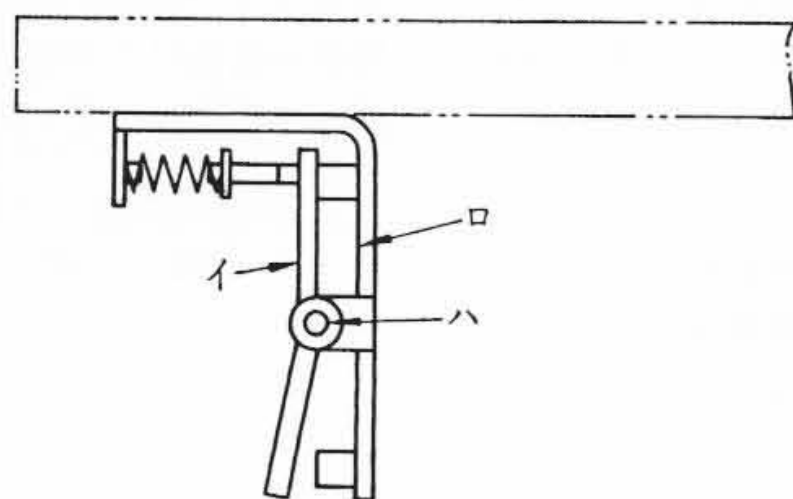


図 1

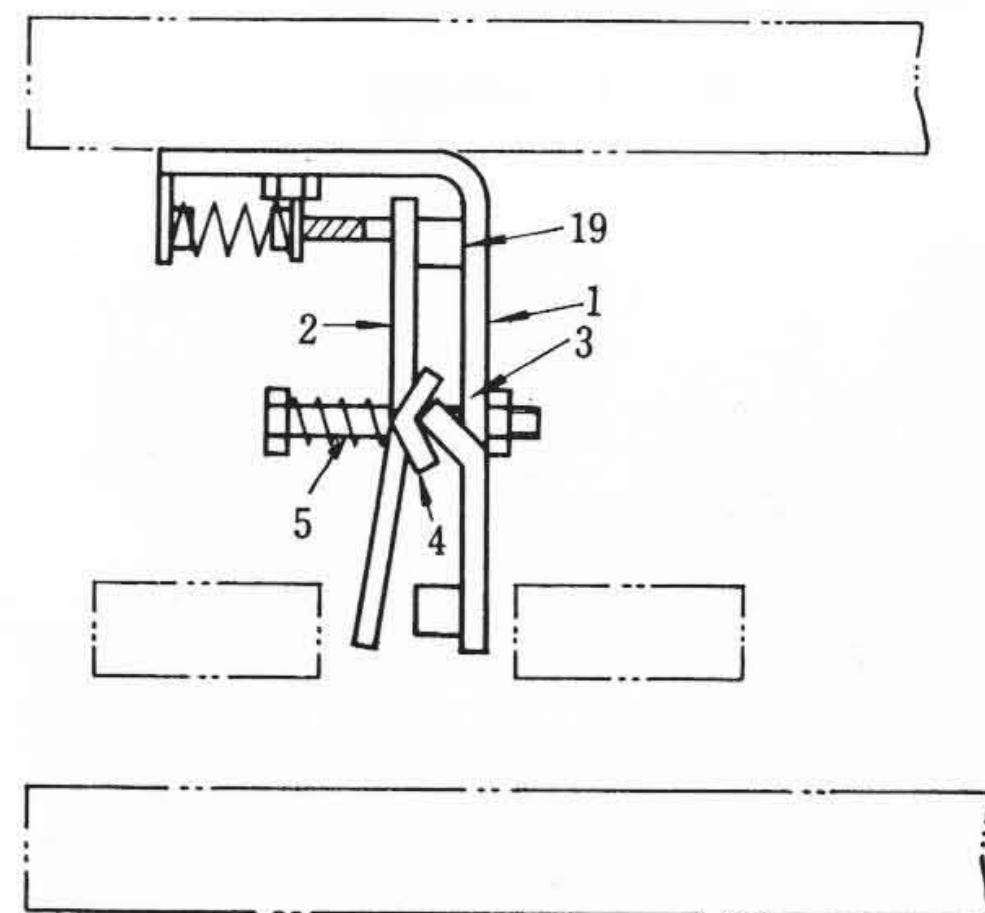


図 2