

京王プラザホテル 納め AS形360m/min高速エレベータ

AS-type 360m/min High Speed Elevators for Keio Plaza Hotel, Tokyo.

弓 伸 武 雄*
Takeo Yuminaka

中 里 真 朗*
Masao Nakazato

奈 良 俊 彦*
Toshihiko Nara

In the design and manufacture of high speed elevators, speed control, prevention of noise and vibrations, and safety are three major problems which cannot be solved without the fullest use of the newest, unconventional technologies.

Hitachi's 360 m/min elevators supplied to Keio Plaza Hotel, Tokyo, employ a speed feed-back control system, electronics technology, and special noise- and vibration-preventive system which have contributed greatly to the fulfillment of these major requirements of high speed elevators.

1. 緒 言

新宿新都心に超高層ビル建設の計画が次々に実現化しており、昭和46年6月に同地区の超高層ビルの第1号として京王プラザホテルが竣工(しゅんこう)した。同ホテルは地上170m、47階建てで、現在日本一の高さを誇っており、客室約1,000の豪華な宿泊施設のほか、その眺望(ちょうぼう)のよさを生かして最上階に展望階が設けられている。

日立製作所は、同ホテルに乗用の150m/minサイリストロニック



図2 360m/minエレベータホール

SV形ギヤレスエレベータ5台と展望階直行用の東洋最高速360m/minサイリストロニックAS形ギヤレスエレベータ2台を納入した。霞が関ビルと世界貿易センタービルに300m/min高速エレベータを納入して、その快適な乗りごころと高信頼性を実証した日立製作所の高速エレベータ技術は、さらに、京王プラザホテル納め360m/minエレベータに発展した。

2. 速度制御系

京王プラザホテルに納入した展望用エレベータの最高速度は360m/minであるが、従来の150m/min級のエレベータ以上の乗りごころと着床性能を得るには、エレベータの実速度を基準速度パターンに、360m/minの最高速度から停止時までの広範囲を忠実に追従させる必要がある。したがって、本エレベータの基本的な速度制御系は、日立製作所が昭和45年3月に世界貿易センタービルに納入した300m/minエレベータにおいてその高性能、高信頼性を実証したAS形速度帰還制御方式⁽¹⁾を採用した。図3はAS形速度帰還制御方式のブロック図である。同図に示すように本方式は、直流発電機の界磁電流を高利得サイリスタ増幅器で制御し、フロアコントローラとエレベータシャフト内に取り付けられた位置検出器からの速度指令と、巻上電動機により駆動される速度発電機の実速度信号を調整装置で突き合わせ比較補正することにより種々の速度制御上の外乱に対するすぐれた補正能力を有している。



図1 京王プラザホテルの全景

* 日立製作所水戸工場

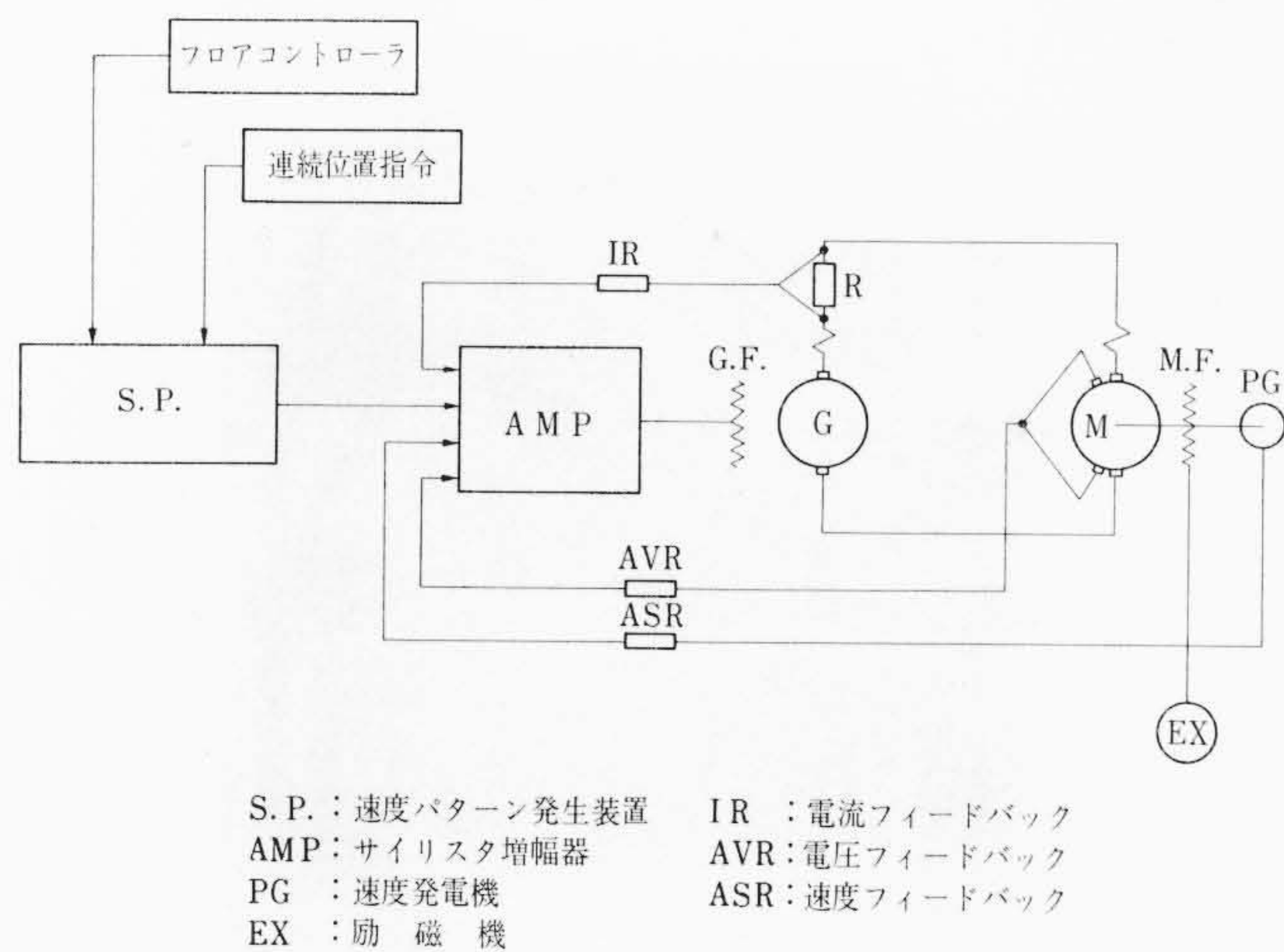


図3 360m/minエレベータのAS形速度制御回路

2.1 慣性能率の増加に対する補償

エレベータの慣性能率は、乗かご、カウンタウェイトおよび巻上電動機のほかに、主ロープおよび補償ロープなどから成っているが、ことに超高層ビル用エレベータでは後者の両ロープが必然的に長くなることにより従来以上に機械的慣性が増大する。京王プラザホテルの場合は、ロープ長が170mを越え、主ロープと補償ロープの和の慣性は、エレベータ系全慣性の約20%となる。このため、次式で示すエレベータ機械的時定数 τ_m 、

$$\tau_m = \frac{\theta \cdot R}{(\xi\phi)^2} \text{ (s)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 θ : エレベータ機械系の全慣性 ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

R : ワードレオナード回路全抵抗 (Ω)

$\xi\phi$: 巻上電動機界磁束 ($\text{V}\cdot\text{S}/\text{rad}$)

は、 R 、 $\xi\phi$ を従来なみに設計しても、 θ の増加分だけ大きくなる。世界貿易センタービルの300m/minエレベータと比較すると、本エレベータの τ_m は約30%増加し、高度な制御性能を必要とすることが明らかである。

図3に示したようにAS形速度制御回路は、速度指令からエレベータ速度へラプラス変換したあとの伝達関数 G_s は、

$$G_s = \frac{1}{1 + A \cdot S + B \cdot S^2 + C \cdot S^3} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 A 、 B 、 C はサイリスタ増幅器および直流発電機界磁巻線の時定数、エレベータ機械的定数、帰還制御回路の利得により決まる定数、 S は複素角周波数。

となるように近似できる。エレベータの乗りごこちおよび着床性能を向上させるため、制御系のインディシャル応答としては行き過ぎがなく、しかも、できるだけ早く定常値に達する必要がある。この要求を満たすと必然的に(2)式の三次系の定数 A 、 B 、 C が決まり、インディシャル応答の最終値の63%に達する時間 T_E は、

$$T_E = \alpha \cdot \sqrt[3]{\frac{\tau_a \cdot \tau_g \cdot \tau_m}{1 + Kg}} \text{ (s)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 τ_a : サイリスタ増幅器の時定数 (s)

τ_g : 発電機界磁巻線の時定数 (s)

τ_m : エレベータの機械的時定数 (s)

Kg : 速度制御系のループゲイン

α : 制御系により決まる定数

で表わされる。この式からエレベータの機械的時定数 τ_m と応答速度 T_E との関係は図4のようになり、AS形速度制御方式の採用により、 τ_m が増加しても指令に対するエレベータ速度の応答遅れは比例的に増加しないことがわかる。このことは、エレベータの着床性能が、 τ_m の増加によっても影響されないことを示すと同時に、

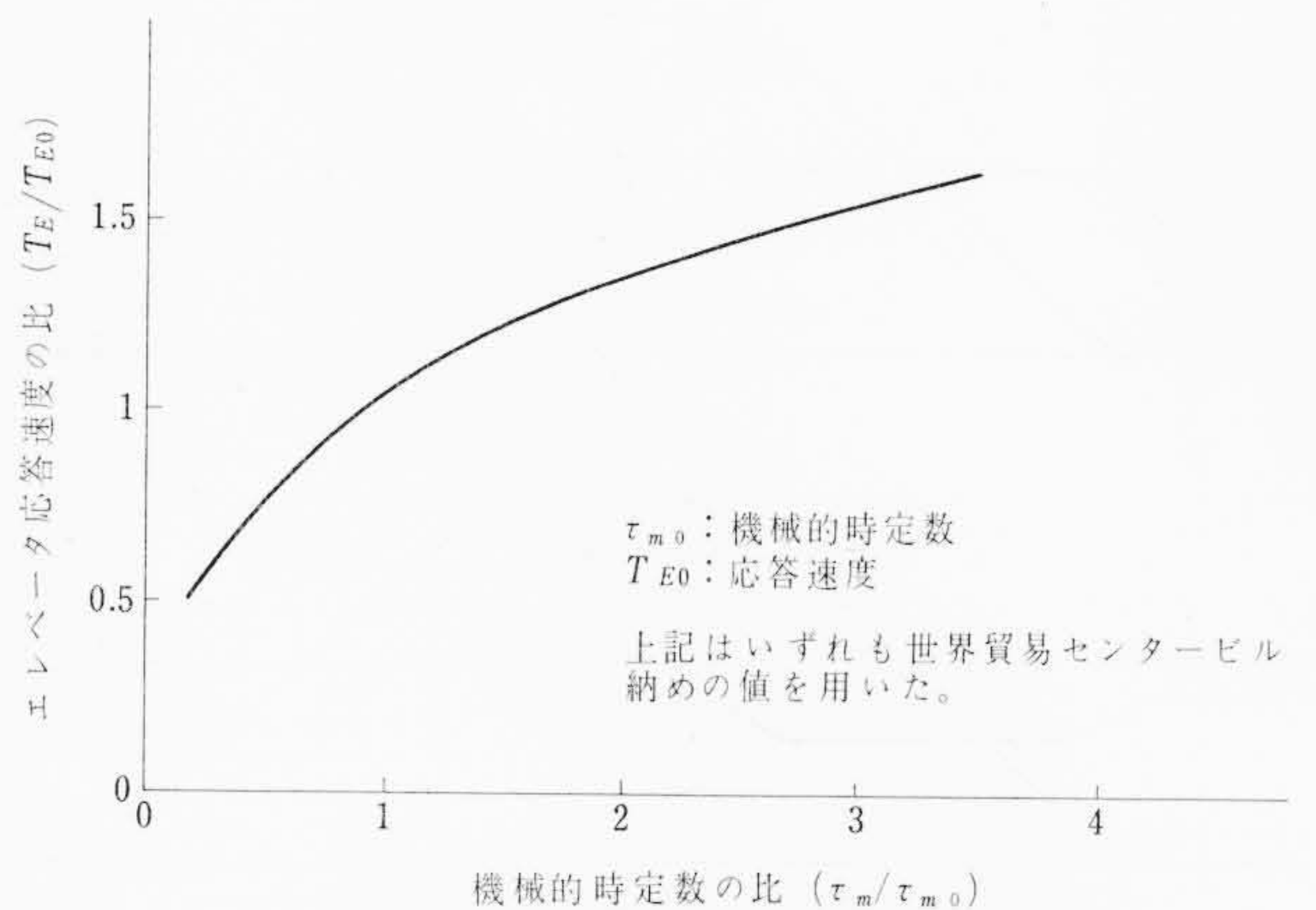


図4 機械的時定数と応答速度の関係

(1)式からも τ_m を大きくし電動機を小形化しうることを示している。

2.2 速度制御範囲の増大

超高層ビルの稼働能率を上げるためエレベータの最高速度としてはビルの高さに見合った高速化が要望され、速度制御範囲は、京王プラザホテルの場合0~360m/minとなり、150m/min級のエレベータの2倍以上となる。

エレベータ用回転機の非直線性、たとえば、電機子反作用を通常の150m/min級の電動機と同じ比率に設計すると、図5に示した電動機の負荷特性からわかるように、負荷時のエレベータ速度の上昇分 $\Delta\omega$ は高速になるに従い、 $\Delta\omega_1 > \Delta\omega_2 > \Delta\omega_3$ と大きくなる。このことは、エレベータ高速時の不安定度が増したことを表わす。

日立製作所が高速エレベータに採用しているAS形速度帰還制御方式は、速度発電機から速度情報を帰還しているため、上述の非直線性の影響を完全に補償しているのみならず、電動機電機子内部抵抗による電圧降下の影響も打ち消している。したがって今後、ますます高速化する400~500m/min級の高速エレベータ制御方式としても適切な方式である。

本AS形速度帰還制御系を取り入れて納入した京王プラザホテル360m/minエレベータは図6に示すように理想的な運転曲線に調整され、図7に示すように1階床運転から最高速度運転まで加速度0.1g、減速度0.08gの円滑な乗りごこちを得ることができた。また、着床性能も図8に示すとおりきわめて安定しており、長時間にわたるドリフトも5mm以内に収まり、制御性能の良さと安定性を実証している。

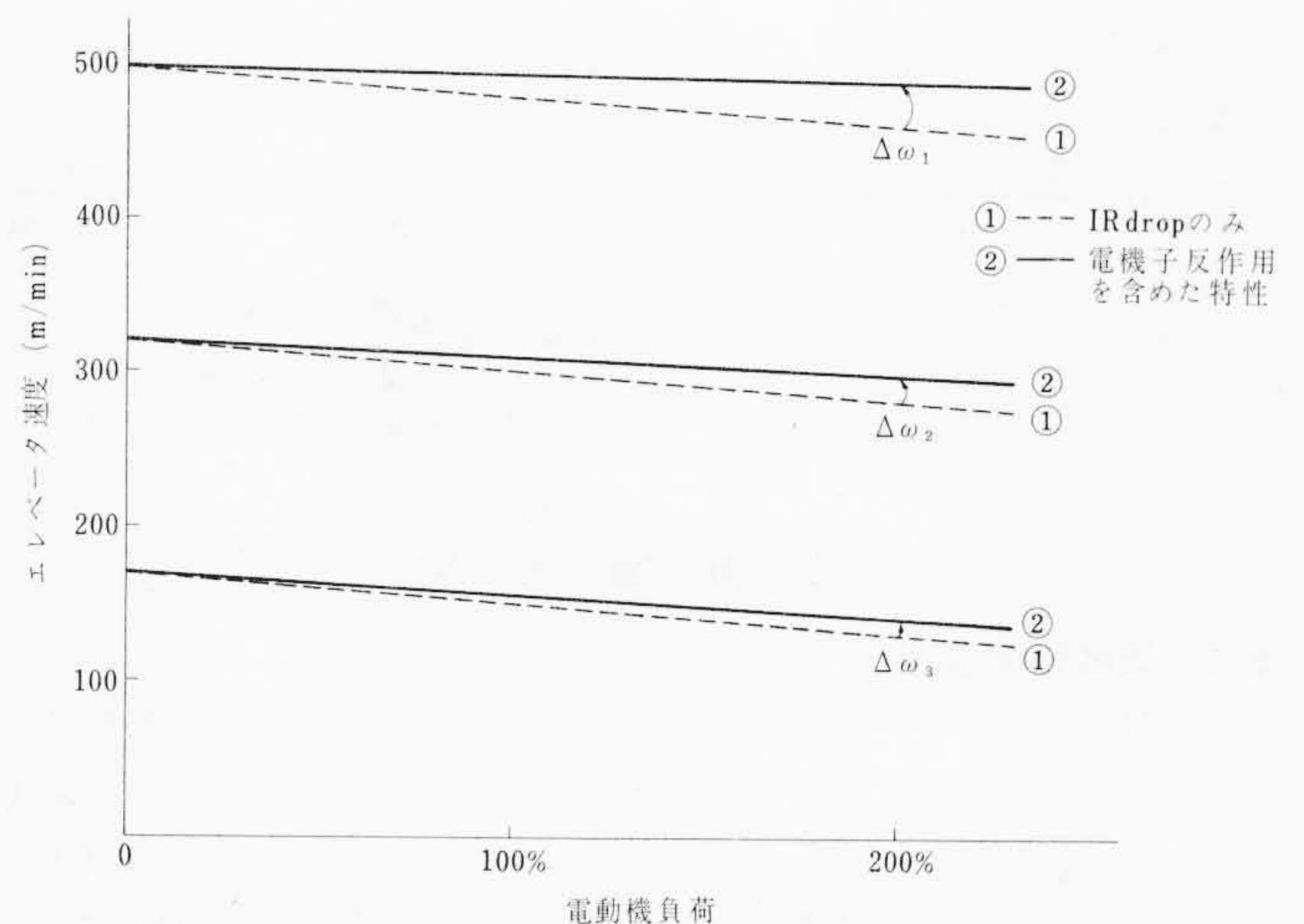


図5 電動機の負荷特性(端子電圧一定とした場合)

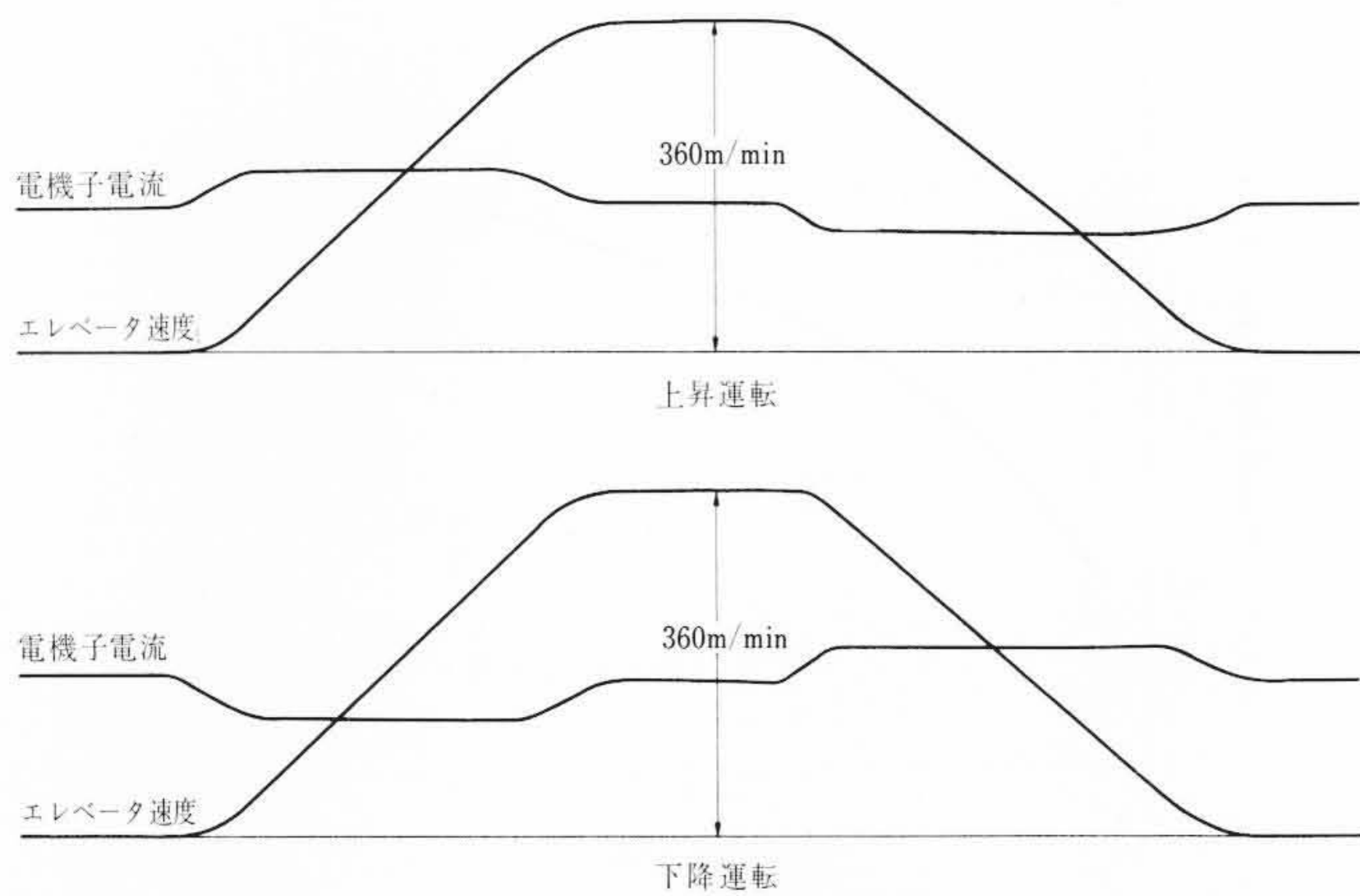


図6 エレベータ運転曲線

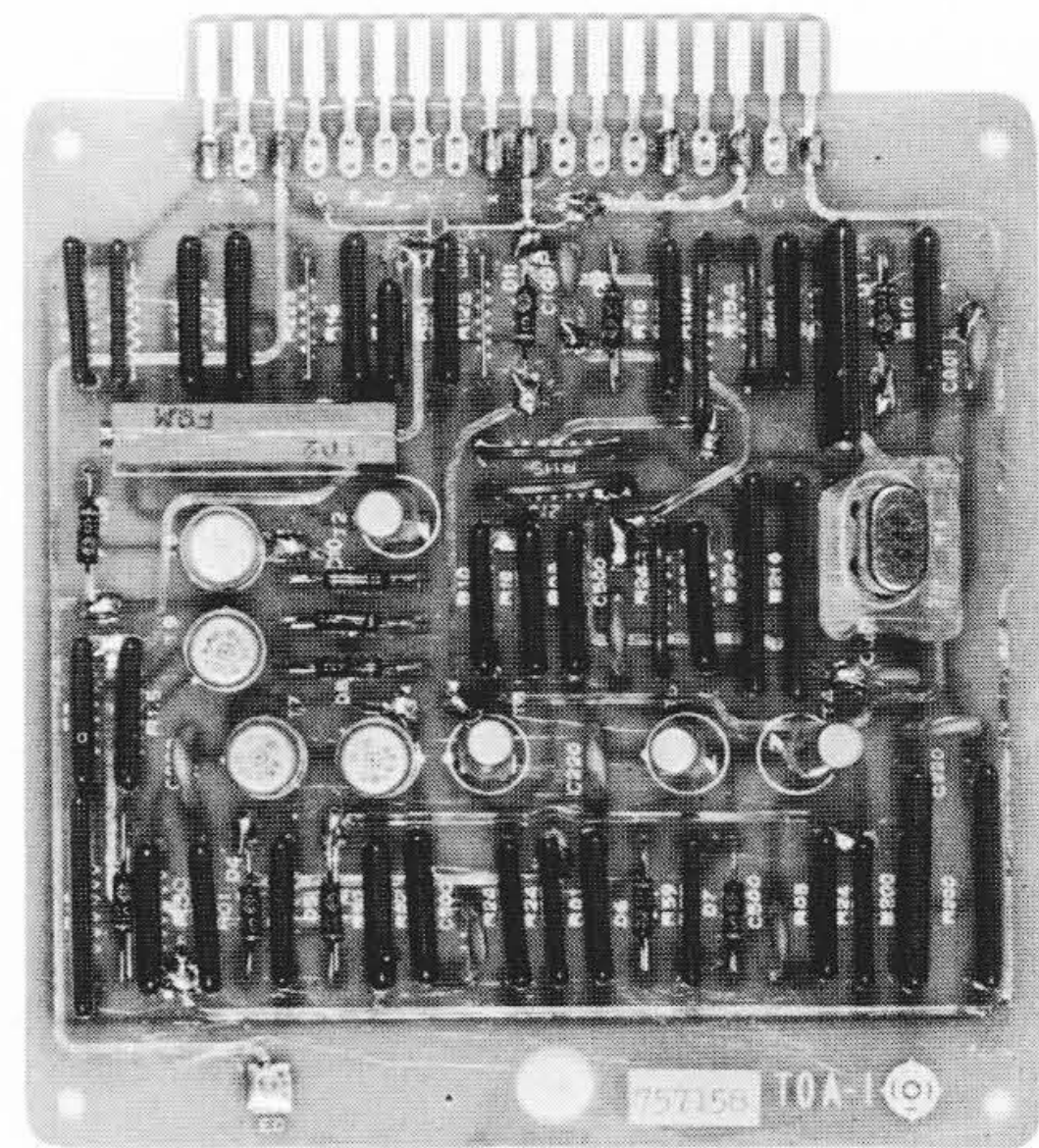


図9 トランジスタ式演算増幅器

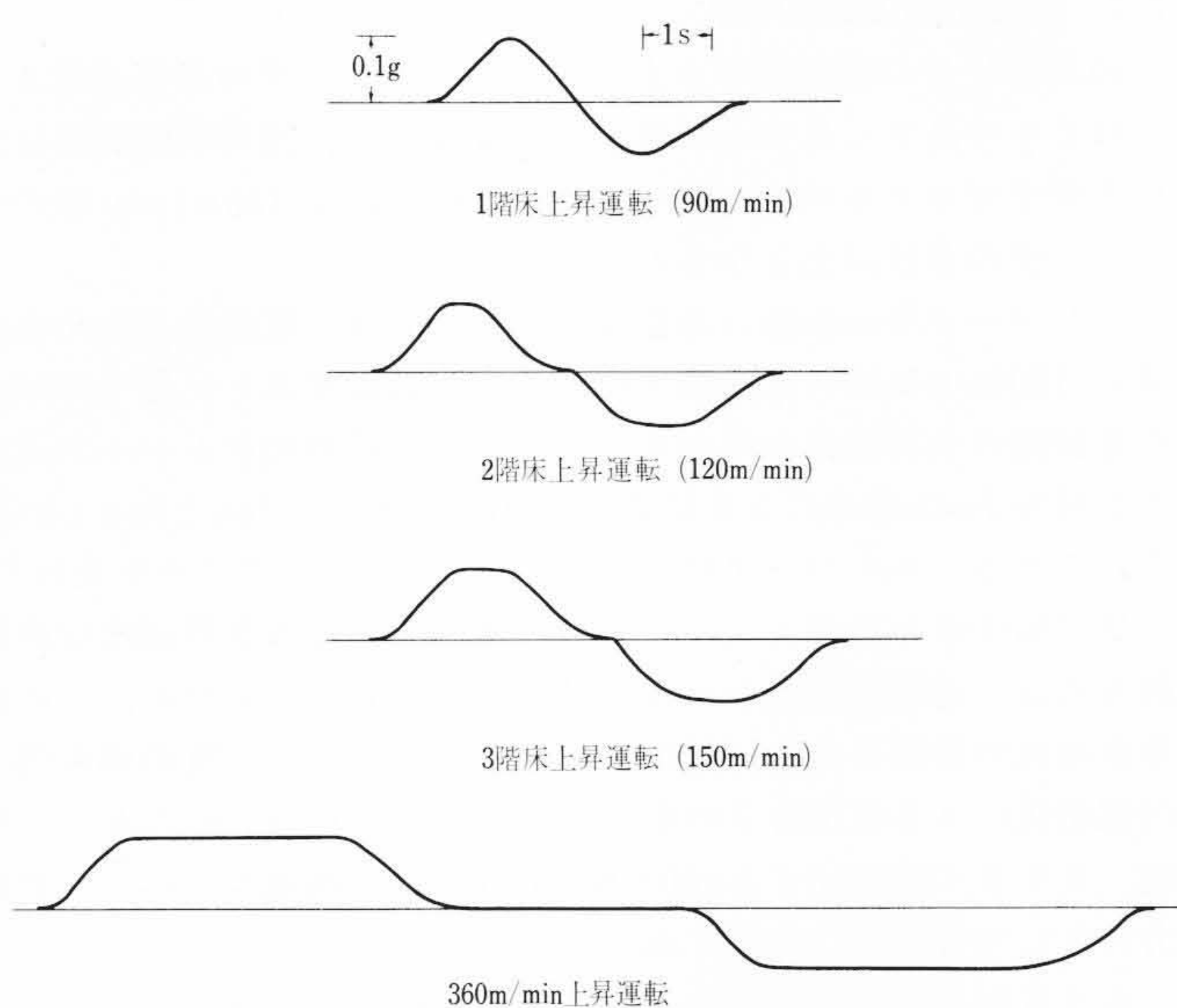


図7 ケージ内加減速度曲線

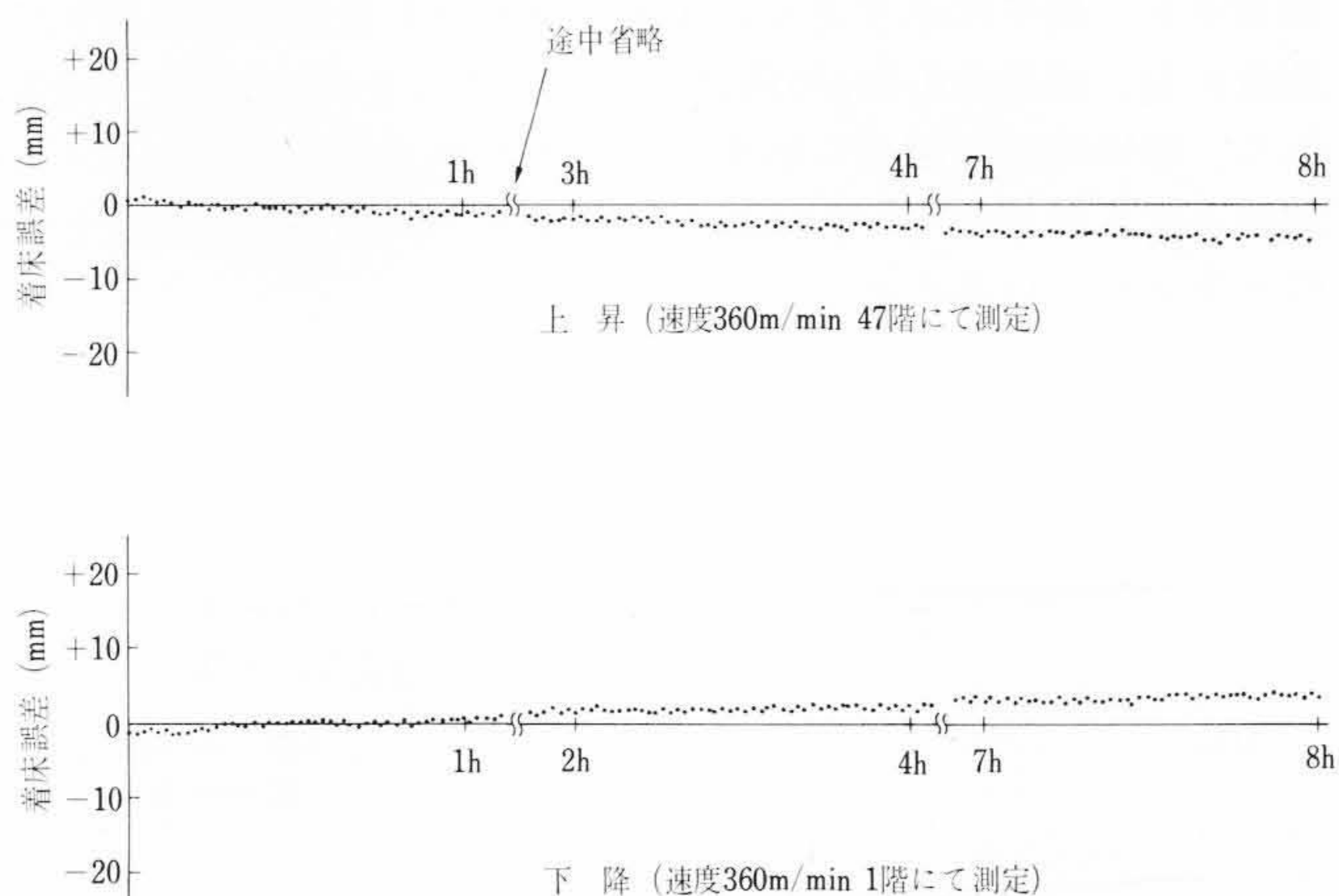


図8 着床誤差のドリフト(8時間連続運転)

3. 制御装置

3.1 速度指令装置

超高層エレベータになるとロープが長くなるため、電動機のトルクの不整脈により乗かごが振動しやすくなる。このため、エレベータの速度指令には非常に円滑なものが要求されるが、京王プラザホテルに納入した速度指令装置にはこの要求を満たすため、トランジスタ式演算増幅器が使用され、容易に加減速度を調整で

きる構成を持っている。図9はトランジスタ式演算増幅器を示したものである。

3.2 制御盤

本エレベータ用制御盤は、発電機界磁制御に高利得サイリスタ増幅器、速度指令装置に演算増幅器を使用するなど、他社にさきがけた制御装置のエレクトロニクス化を行なったため、従来に比較し接点可動部分が大幅に少なくなり、信頼度が向上したと同時に小形軽量化した。また、従来、日立製作所の標準エレベータであったA V形エレベータ⁽²⁾の制御盤と比較し、体積で約40%の小形化を実現し、通常の150m/min級のギャレスエレベータ用の制御盤と同一サイズに標準化したので、階高の低い狭小な機械室にも容易に据え付けることができる。図10は京王プラザホテル納め制御盤である。なお、制御盤の寸法は、幅1,500×奥行600×高さ1,900(mm)である。

3.3 フロアコントローラ

超高層ビル用フロアコントローラは、ビルの高さに比例して高くなるのが普通の傾向である。一方、機器配置上、高さを極力小さくとどめたいという要求があり、この問題を日立製作所では、すでに開発したV T形フロアコントローラを使用することにより解決した。この方式は、エレベータ停止階をいち早く検出する先行盤のほかに、さらに高階の停止階を検知するピックアップを設けたもので、これにより京王プラザホテル納めのものは全高を2,500

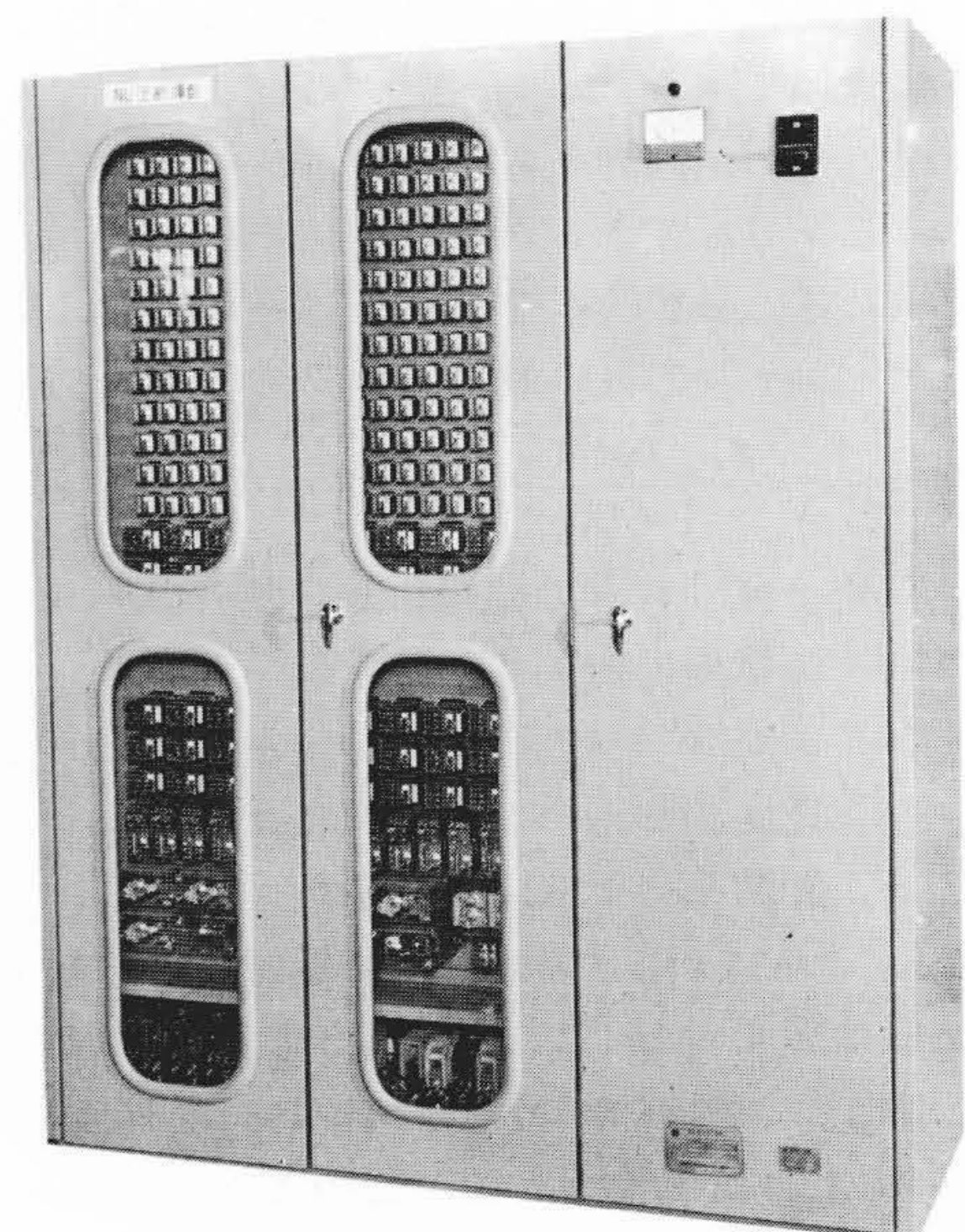


図10 京王プラザホテル納め360m/minエレベータ制御盤

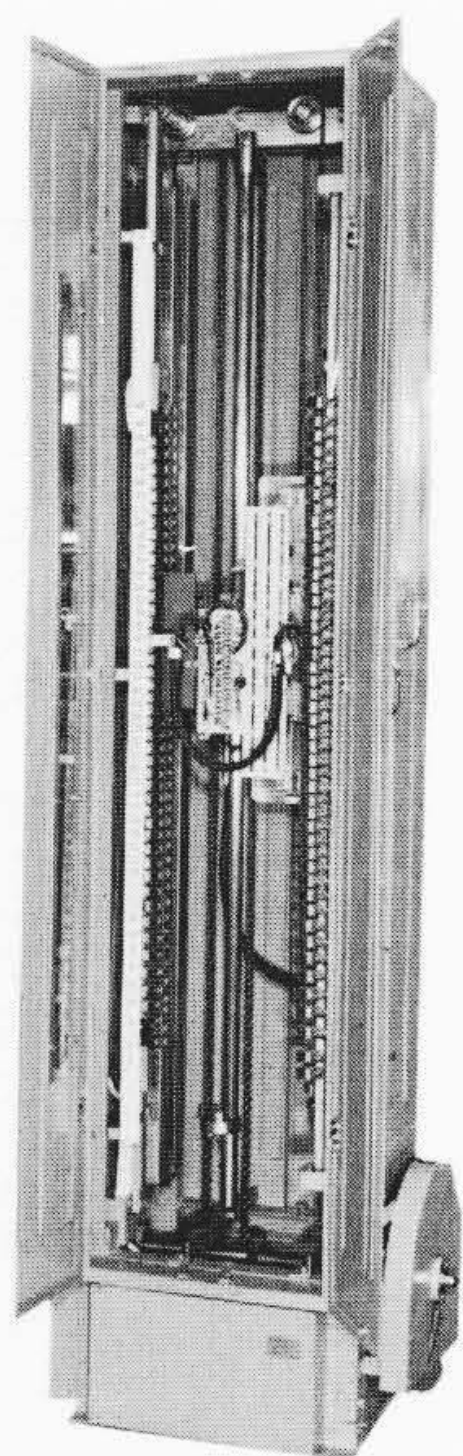


図11 VT形フロアコントローラ

mmに収め、300m/min級のものと同じ寸法とすることができた。また、本VT形フロアコントローラは、小形無接点スイッチを用いているので信頼度が高く、保全性を最大限に向上することができた。図11はその外観を示したものである。

4. かごの振動と騒音

エレベータの振動と騒音は他の乗り物に比べて、本来、非常に小さいものであるが、かごの密室性や静かな環境に設置されることを考慮すると、エレベータの品質を左右する重要な要素である。日立製作所では従来から人間の感知限界をもとに独自の乗りごち基準⁽³⁾を定め、かごの横振動の主成分を3Hz以下、振動加速度を5gal以下、また騒音は45phon(A)以下を目標として管理している。

4.1 かごの振動

かごの横振動を発生する要因としてはガイドレールの曲りがあるが、建物の超高層化に伴ってガイドレールの真直性の維持が困難となり、またエレベータの高速化に伴って曲りによる加振力は増大する傾向にある。日立製作所では霞が関ビルおよび世界貿易センタービル納め300m/minエレベータをはじめとする数多くの実績、ならびに世界最高のエレベータ研究塔による実験研究結果から、特殊加工による高精度ガイドレールを使用するとともに、一段と吸振性能の向上したローラガイドを開発し、図12に示すように横振動加速度5gal以下の良好な結果を得た。

また、超高層ビルは耐震上柔構造であるため地震や強風に対して横振れしやすい。その結果、エレベータのロープやテールコード類に横ゆれが発生しかごを加振して異常な振動を発生することがないとはいえない。これらを考慮してロープ、テールコード類に対する振れ止め装置を備え良好な結果を得ている。

4.2 かごの騒音

エレベータは狭い昇降路を走行するため高速になるとかご上下の空気圧差が増大し、かごと昇降路とのすきまを流れる空気は乱流域にはいる。その結果、かごの周囲に渦流を生じてそれが騒音として感じられる。300m/minを越えたとこの騒音が増大するので、日立製作所ではエレベータ研究塔における高速走行試験ならびに無響室における模擬試験の研究結果をもとに、渦流が発生しにくく、遮(しゃ)音度の大きい新たなかご構造を開発した。その結果、かご内の騒音は45phon(A)以下となり、従来の300m/minエレベータに劣らない静粛なエレベータが得られた。

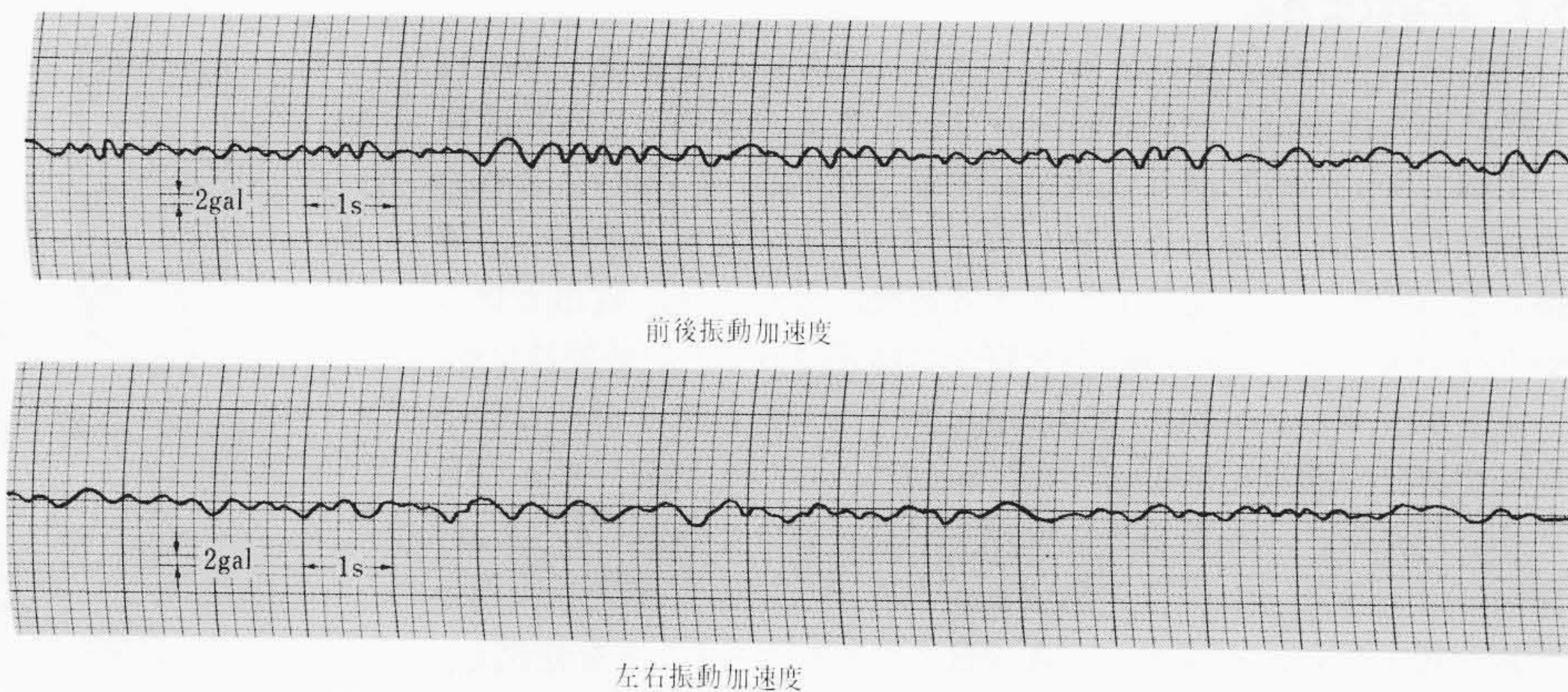


図12 360m/minエレベータかご横振動オシログラム

5. 超高層ビル用エレベータの安全装置

5.1 端階強制減速装置 (ETSD)⁽⁴⁾

高速エレベータの安全装置は、従来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、360m/minエレベータに対して設置された端階強制減速装置について簡単に述べる。定格速度が240m/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その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考慮してある。

本装置は、最上および最下の両端階に対して設置されている二重の減速装置（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近傍に停止させる装置）の不動作を検出し非常停止指令を与えるもので、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から成っている。本装置が動作すると、巻上電動機へ供給する電力をしゃ断し、マグネットブレーキを動作させて急減速させ、緩衝器への衝突速度を予定した速度以下に下げるように働く。

図13は、速度414m/min (360m/minの115%)、全負荷の状態で下降し、ETSDが動作したときのエレベータの減速特性の実測値を示すものである。緩衝器衝突速度は、緩衝器許容衝突速度の240m/min以下となっており、万一の場合にも十分安全性を確保することができる。

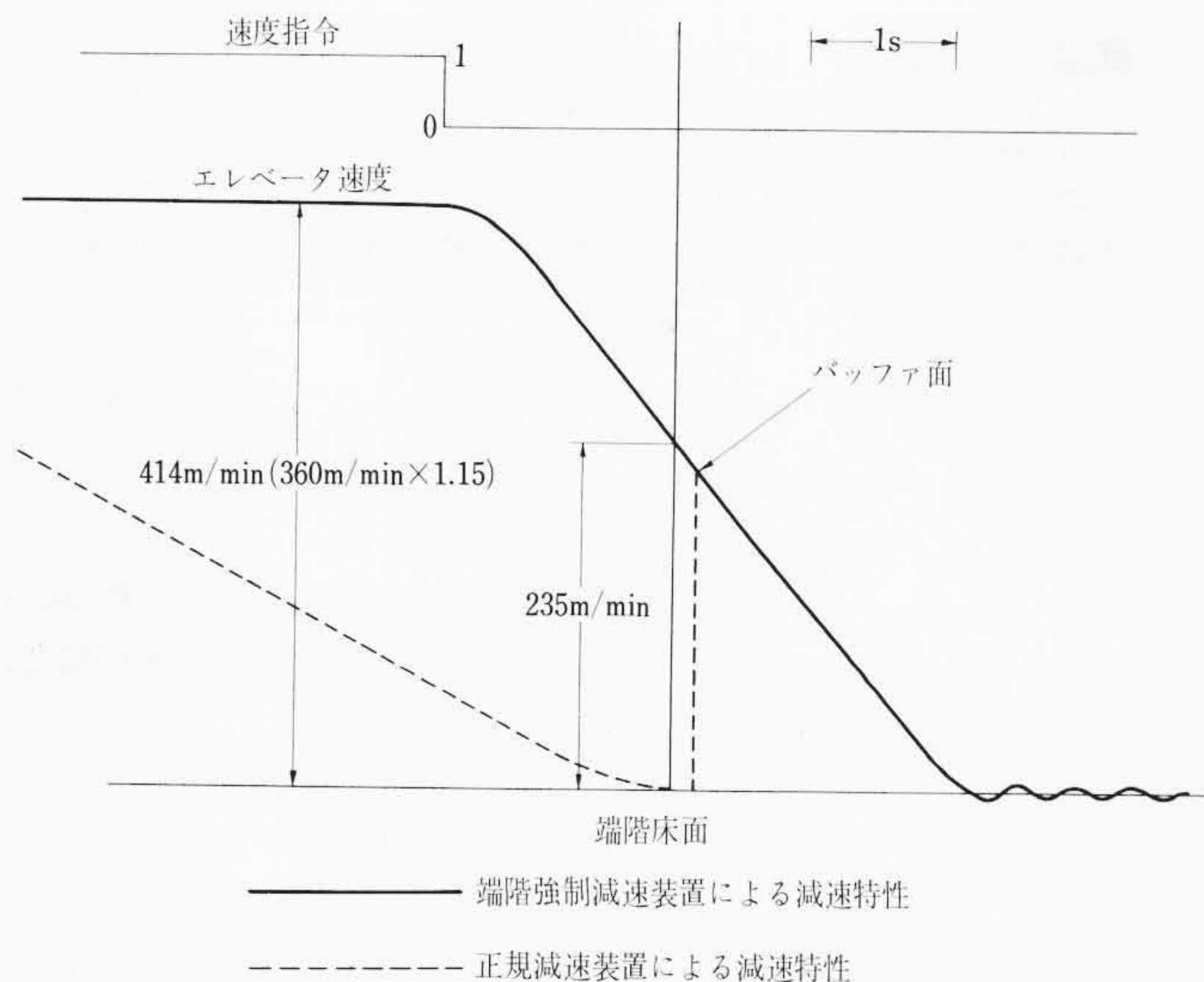


図13 端階強制減速オシログラム

5.2 非常救出運転⁽⁵⁾

超高層ビルの高階床サービスエレベータは、低層階部分が不停止階となり出入口を設けないのが普通である。このような昇降路の途中でエレベータが万一故障し運転不能となった場合、乗客をすみやかに救出するため故障したエレベータの位置を検出し、隣接したエレベータを同じレベルまで運転、停止させ、救出とびらから故障エレベータ内の乗客を安全に救出することが必要になる。

京王プラザホテル納め 360m/minエレベータに取り付けた救出運転装置は、図14に示すように、乗かごAに投光部を、乗かごBに受光部をそれぞれ乗かごの上部、下部に設けている。たとえば、図14(a)に示すように、投光部側乗かごAが故障し、受光部側乗かごBが救出に向かう場合は、AがBより上方にあることを検出し、Bに搭乗(とうじょう)した救出作業者の運転操作により高速で上昇する。Aの下側の投光部の光線がBの上側の受光部にあたると、Bは自動的に減速を始め、前述した速度指令によって円滑な減速を行ない、さらにBにより停止指令が発せられ、BはAと同一レベルに停止する。Bが停止したあと、互いに乗かごのわきに設けられた救出とびらを開いて乗客を安全にAからBへ誘導し救出する。以上の手順は受光部側乗かごBが故障した場合も同様であり、緊急時に迅速かつ安全に自動救出運転を行なうことができる。

6. 結 言

京王プラザホテルに納入した 360m/min高速エレベータの速度制御方式、振動騒音および安全装置の概要とその成果について述べた。AS形速度帰還制御方式および速度指令装置などに使用されているエレクトロニクス技術は、本エレベータの納入実績により、制御性および信頼性にその真価を発揮した。

わが国における超高層ビル計画は、新宿新都心を中心に活発に行なわれており、昭和49年には高さ 200m以上のビル群が完成することになっている。本京王プラザホテル納め高速エレベータの

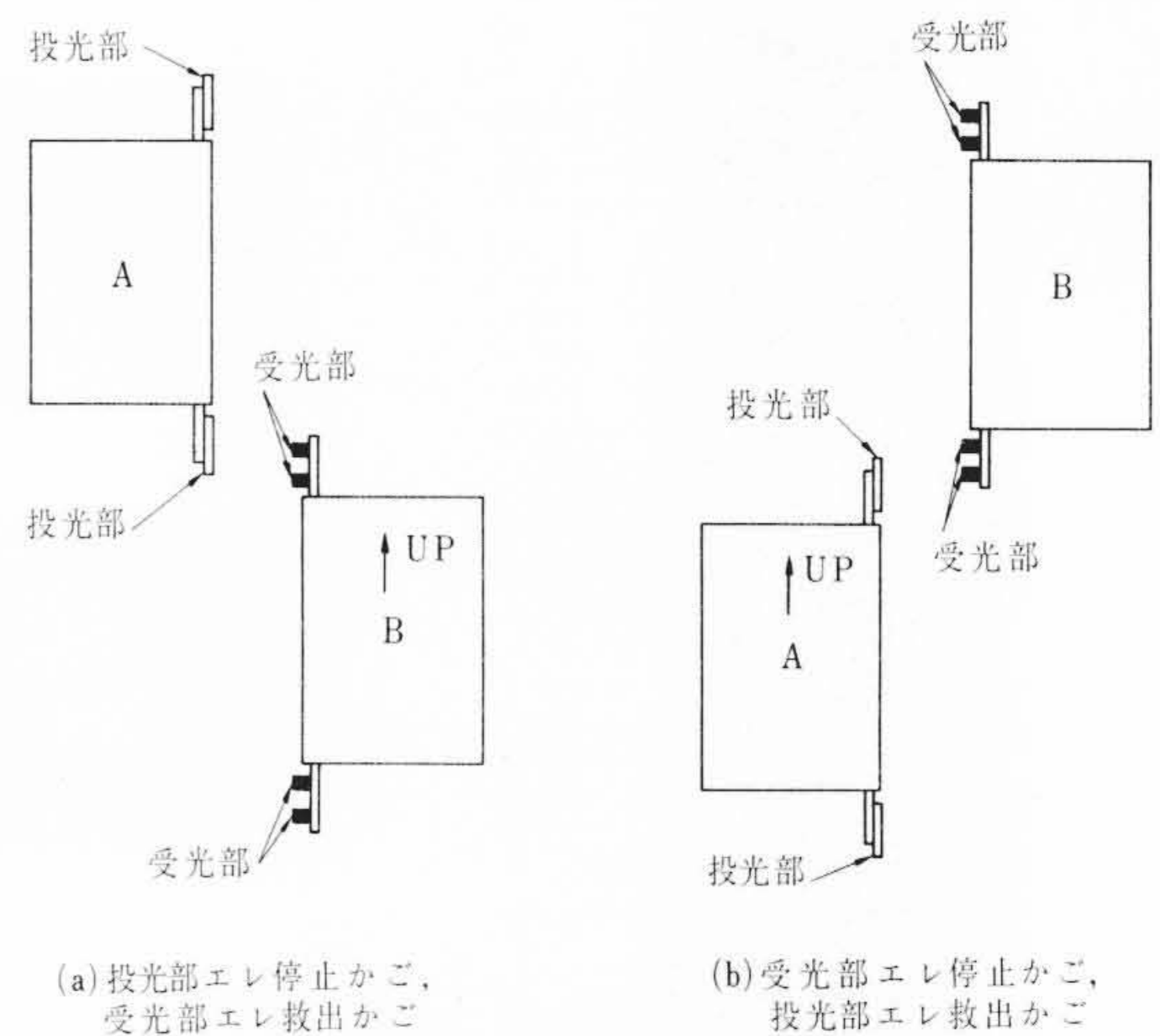


図14 救出運転法説明図

実績が、多数の超高速エレベータの受注を決定し、これらは鋭意設計中または製作中である。

最後に、京王プラザホテル納め高速エレベータの完成にあたり、ご指導とご協力をいただいた京王プラザホテル、日本設計事務所および鹿島建設株式会社の関係各位に厚くお礼を申し上げますと同時に、現地での据付け、調整にご協力いただいた関係者のかたがたに謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 弓仲、中里ほか：日立評論 53, 347 (昭46-4)
- (2) 宮尾、青木：日立評論 50, 838 (昭43-9)
- (3) 光井、奈良：日立評論 52, 1091 (昭45-12)
- (4) A.S.C. Part II section 209
- (5) 特許出願中

Vol. 33

日立造船技報

No. 2

目 次

■ 論 文

- ・船舶におけるタンクヒーティングコイルの熱貫流率および有効長さに関する実験的研究
- ・進水時に船体船底に働く外力の調査研究
- ・波浪中を航行する船舶が受ける波浪衝撃力の一推定

- ・従属・独立インパルス併用式放電加工における適応制御の一手法
- ・蒸気ドラム内水位の盛り上りと気水分離性能
- ・噴流層における静圧分布とたい積圧力分布
- ・噴霧液滴の塔壁付着機構の解析

………本誌に関する照会は下記に願います………

日立造船株式会社 技術研究所
大阪市此花区桜島北之町60 郵便番号 554