

# 高速エレベータにおける信頼性

## System Reliability of the Skyscraper Elevators

石 塚 泰 司\*  
Taiji Ishizuka

高 橋 達 男\*  
Tatsuo Takahashi

山 腰 喬 任\*  
Takato Yamakoshi

### 要 旨

エレベータが高速化されるに従い信頼性、安全性の意義がより強調される。日立製作所では高さ 90 m の研究塔をはじめ多くの試験、研究設備を設けて、超高層ビル用高速エレベータの開発に努めてきた。

エレベータシステムの信頼性向上はこれに使われるそれぞれの機器の信頼性を高めるとともに、能率のよい合理的な方式、回路を採用して機器の個数を削減することによって果たされる。われわれは既納エレベータの信頼度実績を情報源として独自の手法でワイブル解析し、高速エレベータ用の高性能機器を開発したうえ、各種の試験設備を駆使してすべての機器の信頼性を確保した。また材料、機構などについての基礎研究成果を総合的に検討し、各種の安全装置を開発して万全を期した。

以上の成果はわが国最初の 300 m/min エレベータを完成させるとともに、さらに高速化するための基礎技術となっている。すなわちとどまるところなく前進する超高層化の傾向にさきがけて、540 m/min エレベータの完成に向かって技術の研さんを続けている。

### 1. 緒 言

霞が関ビルをはじめとして世界貿易センター、朝日東海ビルなどの超高層ビルがあいついで計画、建設されつつある。安全性、信頼性がエレベータにとって不可欠の要素であることは一般のビルと同様であるが、特に超高層ビルの場合にはエレベータがビルの機能を直接左右する使命をもっている。したがって超高層ビル用高速エレベータでは安全性、信頼性の意義がより重要となる。

ビルの超高層化に伴い、そこに設置されるエレベータは行程、速度、台数、全出入口数、モータ容量などすべての規模が必然的に引き上げられる。霞が関ビルの例では従来の国内実績をはるかに上まわりいずれも 2 倍以上となっている。これに伴いエレベータ群のもつ機器の種類、数が指数関数的に増大する。一般にシステムの信頼度は機器の数の関数として数の増加につれ低下する傾向をもち、したがって超高層ビル用高速エレベータの信頼度を圧迫することになる。その意味においてビルの超高層化はエレベータの高信頼化によってはじめて実現しうるといえる。

日立製作所ではかねてから超高層ビル用高速エレベータの信頼性、安全性を確保、強化するため、計画的に各種機器を開発するとともに、工場内に信頼度試験室、研究塔、その他の設備を設けて実機性能を確認することに努めてきた。

### 2. エレベータの信頼性解析

既納エレベータの稼働実績を情報源として信頼性工学の手法を応用し、エレベータ全システムやそこに使われる機器の MTBF (Mean Time Between Failure) などを統計、解析することは非常に有効である。

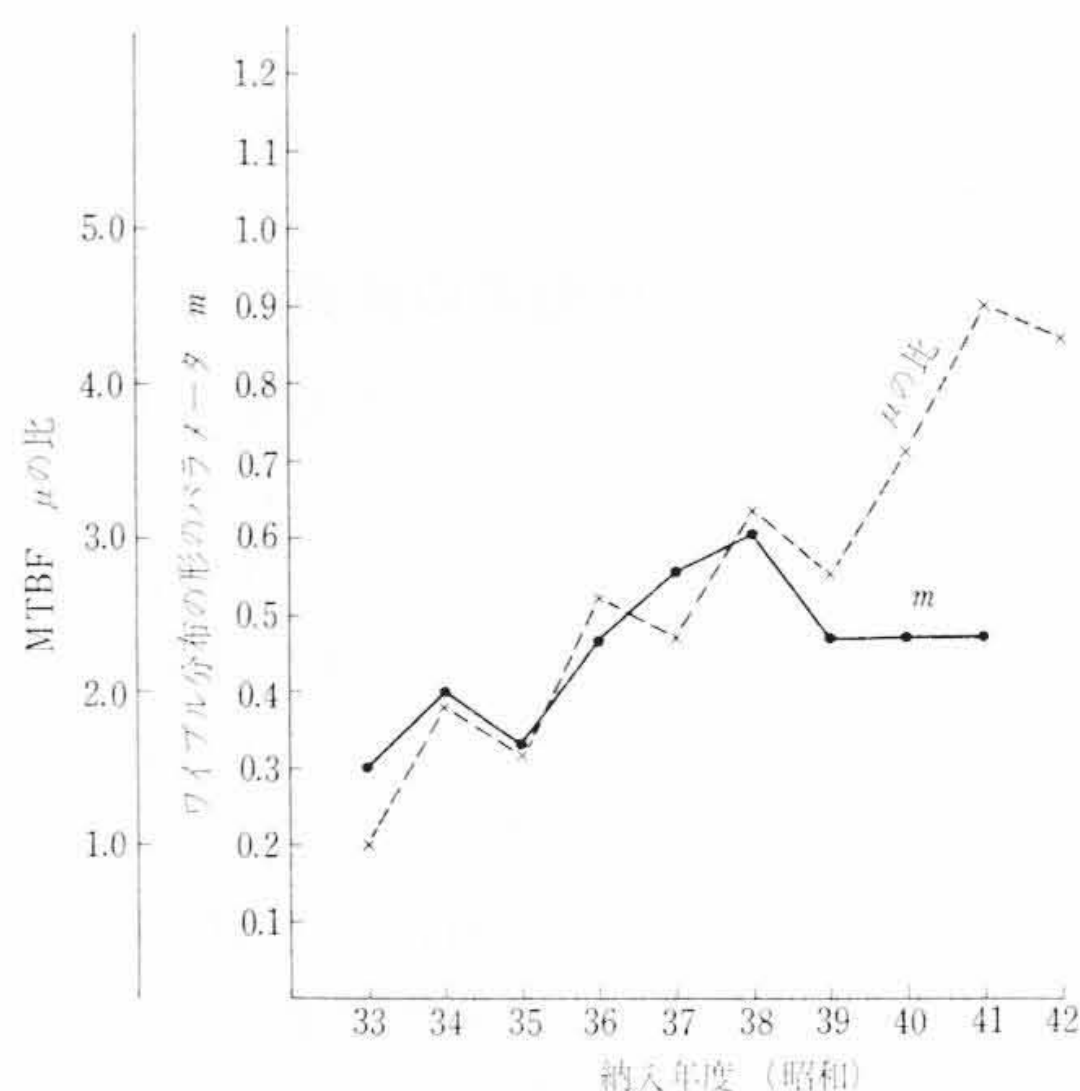
#### 2.1 解析の手法

既納エレベータの稼働実績をワイブル解析するに当たって、一般の信頼性理論との相違は次のとおりである。

一般のワイブル手法では、故障を起こした装置、部品は順次取り除かれ生き残った装置のみが対象となって信頼性の確率が求められる。一方、エレベータの場合、修理、取替えなどによって故障局部が対策され、ふたたび稼働を続けるため対象台数は常に一定である。したがってエレベータの場合

$$F_n = \sum f_n = \sum f_n \frac{R_{n-1}}{R_{n-1} + F_{n-1}} \quad (1)$$

\* 日立製作所水戸工場



(MTBF  $\mu$  の比は昭和 33 年納めを 1.0 とした)

図 1 エレベータのシステム信頼度推移

ここに、 $f_N$ : その期間の故障数  $F_N$ : 累積故障数  
 $R_{n-1}$ : 一期前の残存数  $f_n$ : 各期の故障数  
 $F_{n-1}$ : 一期前の故障累積

を用いて故障率を求めたうえ、次の(2)(3)式でワイブル解析し、信頼度  $R(t)$  および MTBF  $\mu$  を求めればよい。

$$R(t) = e^{-\frac{(t-\gamma)^m}{\alpha}} \quad (2)$$

ここに、 $\gamma$ : 位置のパラメータ

$m$ : 形のパラメータ

$\alpha$ : 尺度のパラメータ

$$\mu = \alpha \frac{1}{m} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right) \quad (3)$$

#### 2.2 稼働状況

フィールドデータよりエレベータの故障推移をワイブル解析すると、稼働開始後 1~2 年を境とした混合ワイブル分布を示しており、特に初期の信頼度に注目すべきである。

図 1 は納入年度ごとのグループにくぎったエレベータ群の稼働初期の信頼度について、形のパラメータ  $m$  と MTBF  $\mu$  を示したものである。このようにエレベータの信頼度は年々改善され、高信頼機器や高性能方式の開発など設計における慎重な品質向上と、検査の信頼性確認技術の充実、据付工事部門の作業基準のじゅん守などを全員が組織的に推進してきた成果が現われている。

一般にシステムの後天的信頼性は環境や取扱いなどによって左右

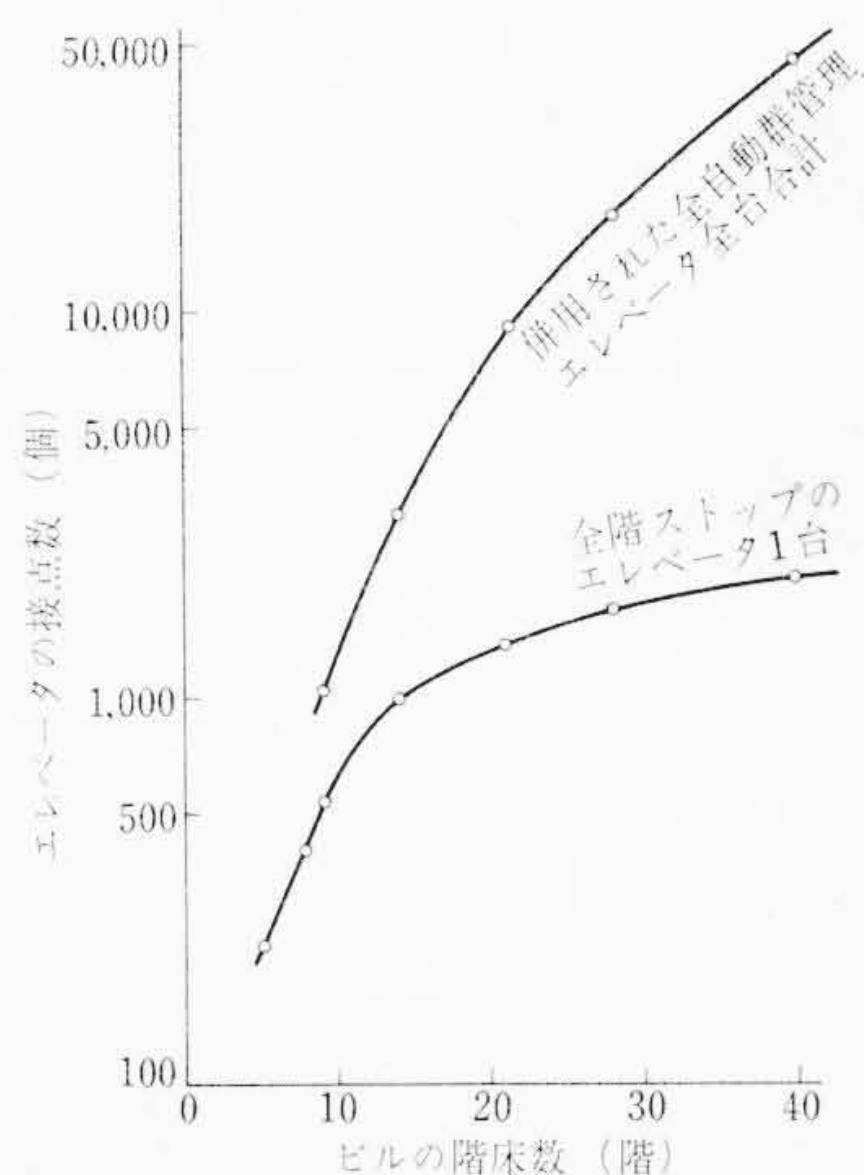
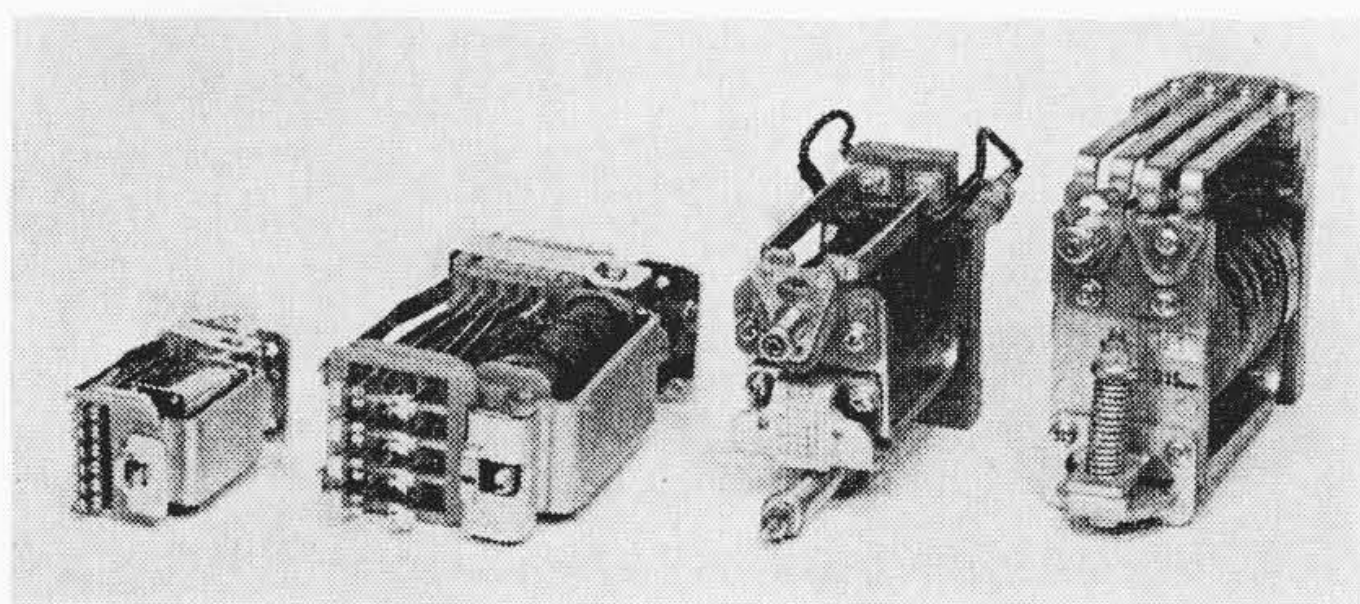


図2 ビルの階床数とエレベータの接点数との関連



(左から MS 形リレー, GS 形リレー, WS 形電圧電流リレー, TS 形タイムリレー)

図3 新しく開発した高信頼リレー

される。最近中小ビル向け自動エレベータが普及するにつれて乗客の操作間違いや、建物の電源設備の故障の比率がふえる傾向にある。もちろんメーカーとして設計品質に現地の実情を織り込んで総合的な信頼性を確保するよう努力しているが、エレベータの需要家や乗客の理解も期待したい。

### 2.3 ビルの超高層化とエレベータの信頼度

エレベータ群は多品種の機器がそれぞれ数多く組み合わせられて、高い機能を発揮している。その場合のエレベータ全台の合計システム信頼度  $R(t)$  は一般の信頼性理論を発展させて、次の(4)式で表わされる。

$$R(t) = \exp \left[ - \int_0^t \sum_{i=1}^m \alpha_i \lambda_i n_i dt \right] \dots \dots \dots (4)$$

ここに、  $n$ : 同じ品種の機器の数

$\alpha$ : 稼働率

$\lambda$ : 故障率

今かりにエレベータ全体の機器の種類数を接点の数で代表させ、ビルの階床数との関連を示すと図2のようになる。このように高階床になるとエレベータ1台当たりの機器の数は指数的に増加し、しかもビルの大形化に伴って複数台が設置される。したがって既存の実績ある機器や市販の汎用品を組み合わせるのみでは(4)式に示すように在来の MTBF を確保するどころか、むしろそれ以下にもなりかねない。そこでまったく新しく高い性能と信頼度をもち、しかも小形な機器の開発が急務となる。さらに少ない機器数で高い機能を発揮する方式やフェールセーフ方式、安全回路をはじめ合理性を盛りこんだ回路上の創意が期待される。

### 3. 高信頼機器

超高層ビル用高速エレベータでは特に高速、高行程、多階床、大容量、高性能の機器が必要となる。かねてから計画的に研究、開発を続けてきたが、そのうち特に安全、高信頼のもととなる新しい機

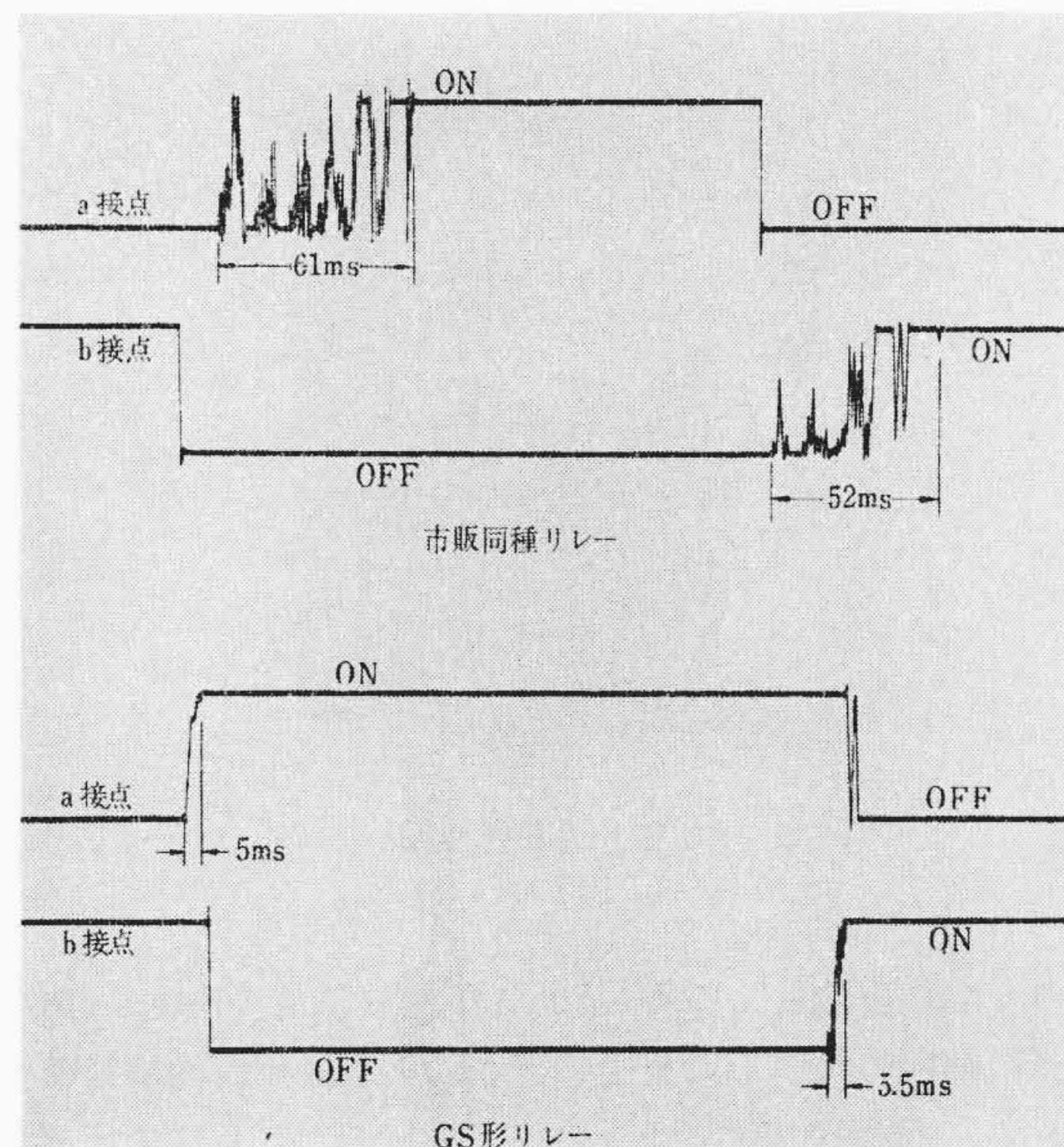


図4 GS 形信号リレーの接点チャタリング

表1 GS 形信号リレーの各種試験項目

| 番号 | 試 験 項 目       | 供 試 員 数      |
|----|---------------|--------------|
| 1  | テーパータブの引張試験   | テーパータブ 300 個 |
| 2  | テーパータブのそう入作業性 | テーパータブ 300 個 |
| 3  | モールド品の経年変化    | リレー 4 個分     |
| 4  | モールド品の破壊試験    | リレー 12 個分    |
| 5  | 締付バンドの応力測定    | リレー 10 個分    |
| 6  | 可動子部分摩擦試験     | リレー 5 個      |
| 7  | 巻線自動化の可能性     | コイル 20 個     |
| 8  | コイル温度上昇測定     | リレー 10 個     |
| 9  | 起動・積放電流測定     | リレー 160 個    |
| 10 | 起動・積放時限測定     | リレー 40 個     |
| 11 | 接触圧力測定        | リレー 80 個     |
| 12 | 接触抵抗          | リレー 80 個     |
| 13 | 接点开きとストローク    | リレー 40 個     |
| 14 | 接点遮断容量        | リレー 8 個      |
| 15 | 絶縁抵抗試験        | リレー 5 個      |
| 16 | 振動試験          | リレー 10 個     |
| 17 | 接触抵抗試験        | リレー 2 個      |
| 18 | じんあい試験        | リレー 5 個      |
| 19 | 低電圧電流開閉試験     | リレー 5 個      |
| 20 | ガス試験          | リレー 18 個     |
| 21 | 温湿度試験         | リレー 10 個     |
| 22 | 寿命試験          | リレー 18 個     |
| 23 | 接触確度試験        | リレー 90 個     |

器は次のとおりである。

#### 3.1 リレー類

図3は新しく開発したリレー類の写真を示したものである。

GS 形信号リレーは主として信号回路に使用されるものである。銀接点の接触機構を解明して圧力、開きなどを極限設計し、パネフインガのカードリフトオフ方式と双子接点を採用してチャタリングをおさえ、接触確度と耐じん性能を確保した。図4は市販の同種リレーとチャタリングを比較したものである。マグネットはリーケージ、フラックスも有効に活用するクラップ形とし、特殊のヒンズ機構を採用して耐振性と長寿命を保証した。また従来に比べ小形軽量化し、同じサイズの盤に約2倍の個数のリレー群で構成できるようになった。

機器の開発に当たっては数多くの供試品数と長期間の寿命試験を実施するとともに、極端に試験条件を加速または過酷にし、かつ長年実績を有する従来品との比較加速信頼度試験方法を使って、能率良く信頼性を確認した。表1にGS 形信号リレーの開発時に実施した試験項目をまとめた。

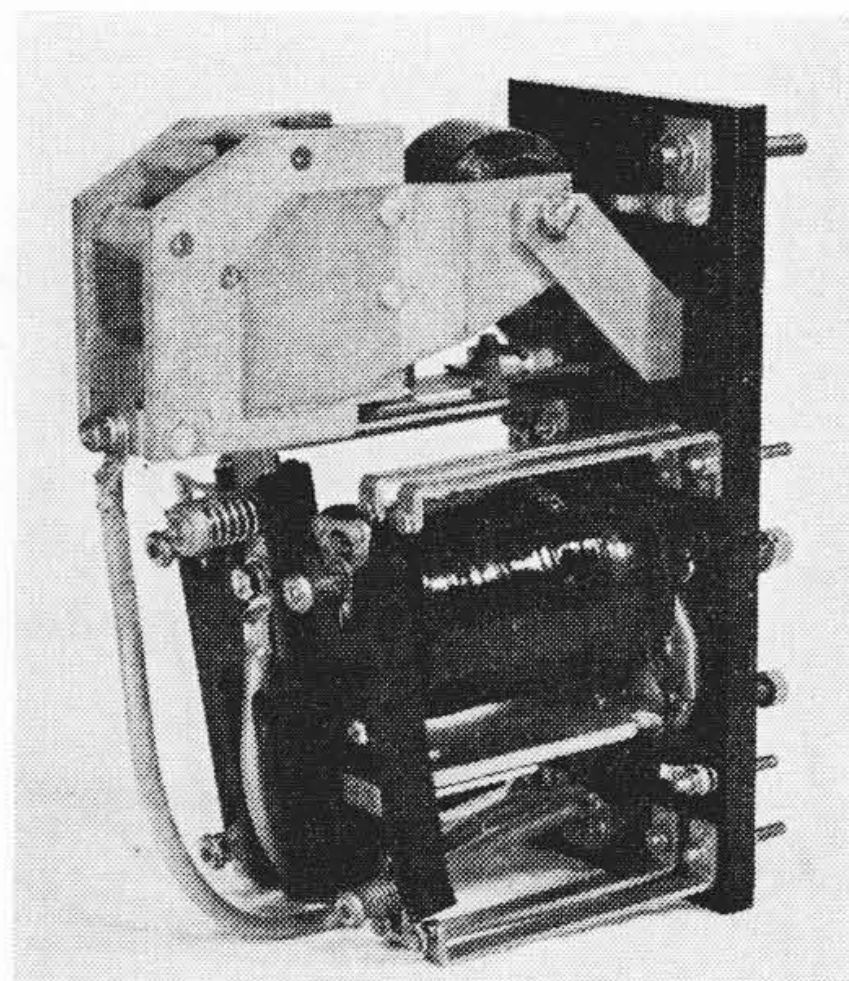


図5 40A用CF形制御リレー

表1のうち代表例としてNo.20のガス試験を簡単に説明する。接触不良の要因の一つに大気中のガスによる接点表面の被膜生成があげられる。最近公害問題などでとりあげられているCoガスはせいぜい1ppm前後であるが、銀に最も悪影響する $H_2S$ および $SO_2$ をえらび、しかも50ppmで湿度90%の条件下で連続開閉または放置し、その接触抵抗の変化を観測した。このガス濃度は温泉の湯煙直上にほぼ匹敵するものである。

試験の結果は従来のものに比べ接触確度は約3倍MTBFは約1けた上昇した。もちろん個々の納入リレーについては発送前に必ず全数を20万回の動作をくり返してデバッグするとともに、抜取りで表1の試験を実施している。

次にWS形電圧、電流リレーは制御回路の電圧やモータフィールド電流の異常を検出して、エレベータの安全を確保するリレーであって起動電流と積放の比が0.7~0.5の範囲にあることが要求されている。このリレーの接点はダブルブレーキとしてストロークを減らし、かつマグネット残留ギャップを大きく設けるなど磁気回路にくふうをこらしてある。

エレベータの器具には使用中さほど振動の加わることはないが、組立後現地搬入までの不慮の事象を自衛上考慮することとし、しかもその条件を1けた過酷に考えて約3gの衝撃振動試験を実施した。これは自動車のエンジンに直接取り付け一昼夜連続走行したのとはほぼ等価である。これらの結果、特性の変動はわずか数%以下という期待どおりの成果が確認された。

TS形タイミリレーは従来のTF形の代わりにエレベータの加減速制御その他の時限制御に使用される。磁気回路を合理的に設計して、時限の安定化を図ってある。また復帰バネのみの調整によって容易に±20%の範囲で時限セットが可能であって取付け面積も従来の52%に小形化されているから限られた盤構造で好みの加減速カーブを得ることができる。また、エレベータは昼夜、休日の別なく使用され、ピーク時には10回/分の高ひん度で1日平均2,000回あまりの起動、停止をくり返し、さらに、ほとんどの器具がシリーズ、シーケンスとなっているためその起動、停止1回ごとに動作し、どの一つにも長い寿命と安定した性能が必要である。TS形タイミリレーは1,000万回の加速寿命試験後の電源電圧による時限の変動がわずか±1.3%である。

CF形制御リレーについてはモータの大容量化に対処して、従来のCFシリーズをもとに図5のような40A定格のものを開発した。

主接点には消弧片とアークホン方式を採用して遮断性能を確保し、かつ銀カーボンを用いて接触確度の向上と溶着事故絶無を図っている。

エレベータの制御回路の電源電圧は70~120%の範囲に変動する。したがってリレーの吸引力や投入積放速度は約1:3の範囲で変

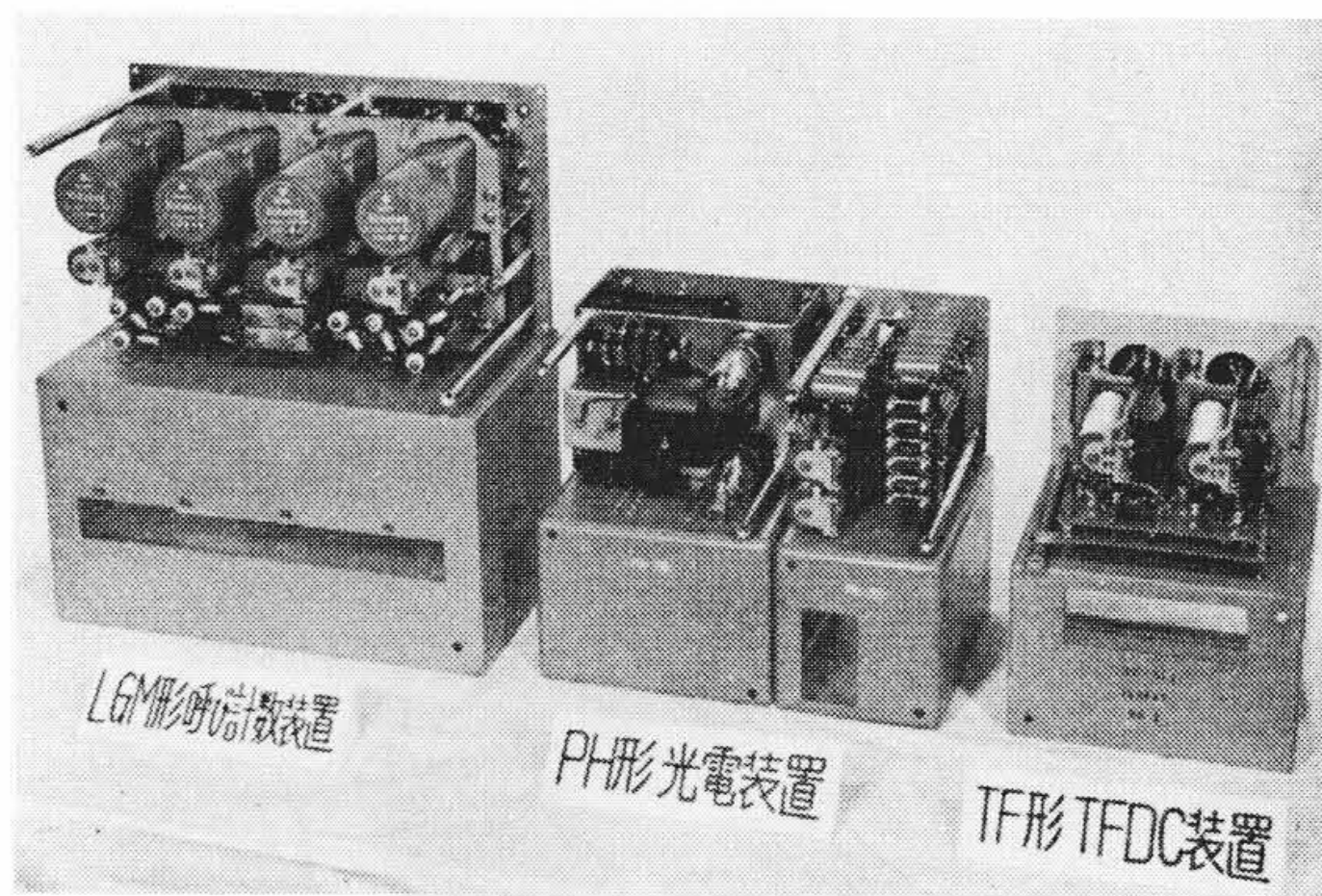
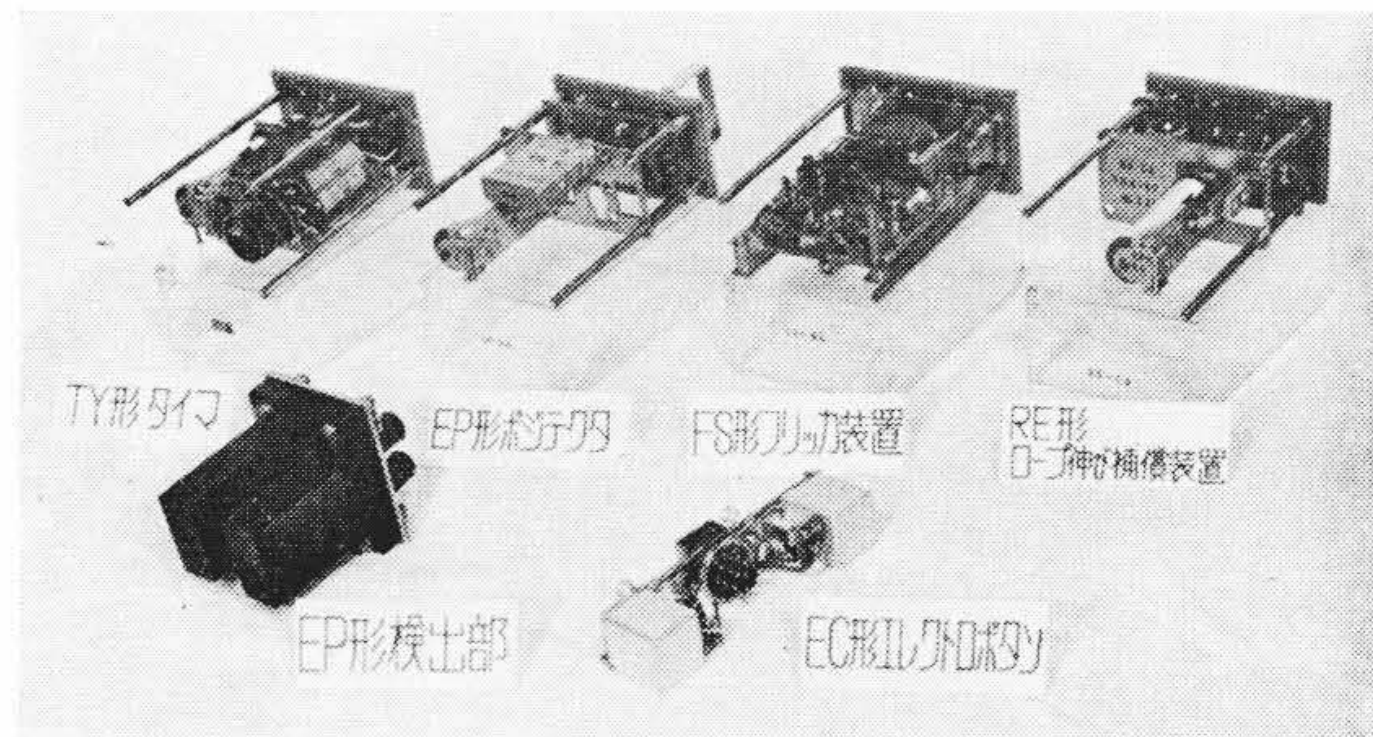


図6 高速エレベータ用電子装置

化する。これらの悪条件下でもあらゆる器具が一定の性能を発揮することが期待される。CF形リレーの主接点はDC110V, 50A, L/R 0.24のときの遮断時間は19msで、条件を上記に準じて変化させても23ms以下となっている。また補助接点もL/R 0.1前後の大きなインダクタンスを連続開閉するが1,000万回の寿命試験後でも消耗は問題にならない程度である。

そのほか接点、磁気回路を極限設計してコイルを従来の $\frac{1}{2}$ に低減し、これを制御する接点の信頼度の向上を図った。またリード線は各種の案について振動試験機を用いて比較加速試験した結果、特殊のパイプターミナル式を採用した。寿命は半永久である。

### 3.2 電子装置

各種電子装置の写真を図6にかかげる。いずれも半導体によるソリッドステートとなっているが、このように電子装置を採用してエレベータ制御の機能と性能を飛躍的に向上した。これら電子装置にはその信頼性を確保するため、できるだけ簡単な回路を使用して部品数を減らし、しかも一つ一つの部品には厳正な試験結果の認定品種の中から選び、定格に比べて余裕をもたせて使用するようにした。保守はほとんど不用であるが、点検、交換の便を考慮してすべてユニット化し、プラグイン方式を採用している。

TY形タイマーは全自動群管理制御の中核となるタイマーで180秒までの任意の時限を制御できる。回路はわずか1石のトランジスタで構成されており、このように半導体の導入によって高性能、小形、高信頼化が可能となるが、一方、高感度で低い耐電圧の半導体がある。すなわち制御回路の直流コイルの遮断時に大きなサージが発生し、直結したラインに高周波となって伝播(でんぱ)し併列に走るラインに静電誘導して半導体に悪影響を及ぼすものである。これに対して半導体回路には十分なサージ保護が施されているので、これらの危険はまったくない。

EP形ポジテクタはエレベータの位置を塔内で直接検出して、その減速、着床、マイクロなどの制御を行なうもので、その検出特性は図7に示すとおりである。検出特性の外乱要因としては電源電圧、温度、湿度およびかごの揺れなどがある。特に半導体回路のため温度、湿度は特性変動に及ぼす影響度が大きく経年的なドリフト

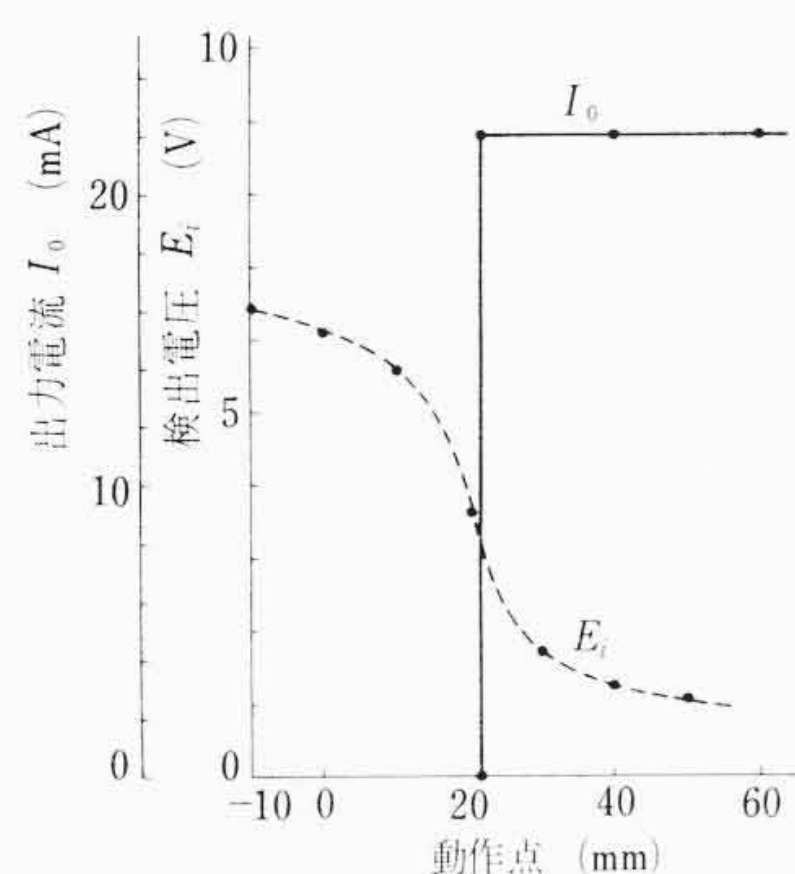


図7 EP形ポジテクタの検出特性

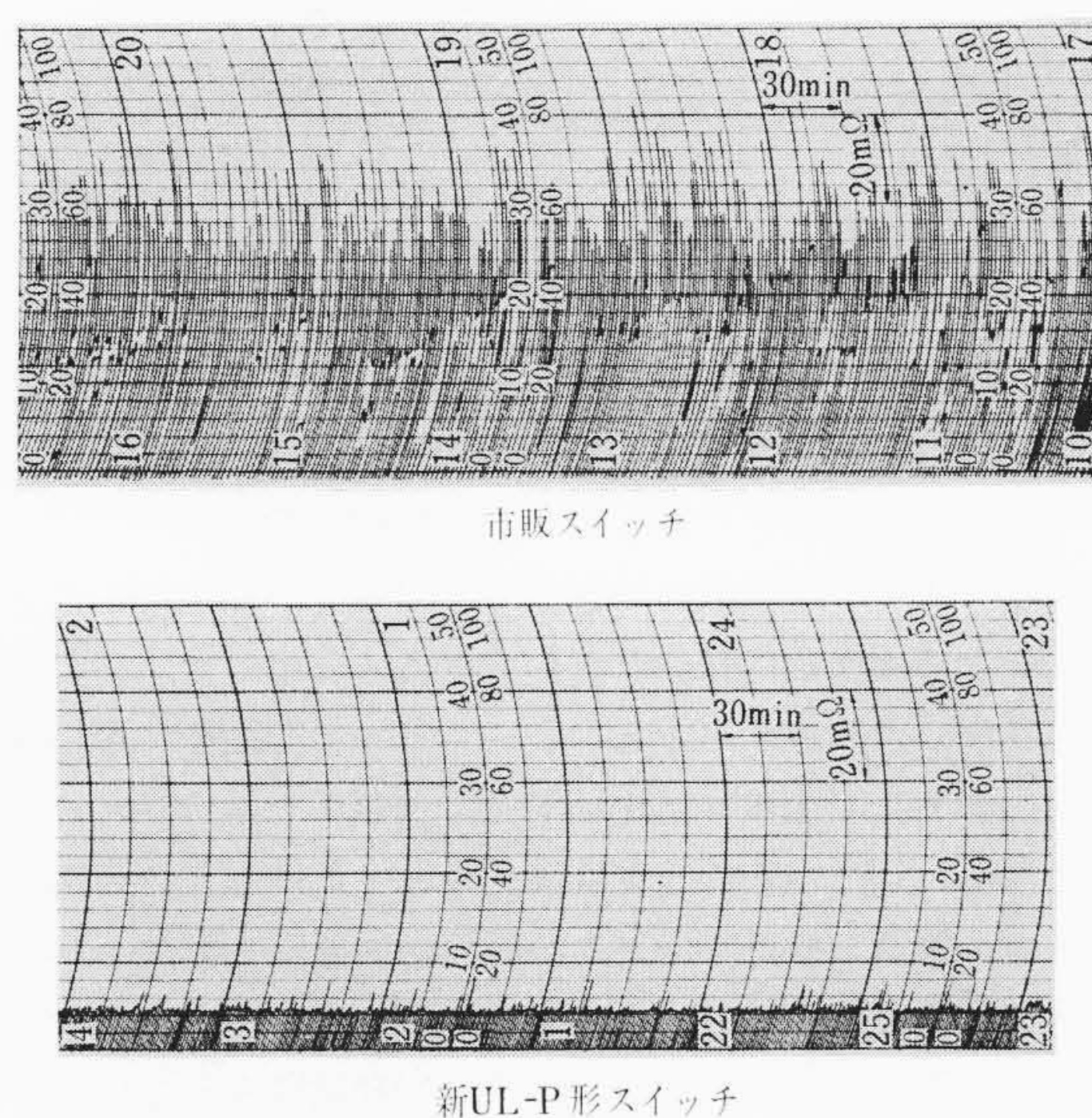


図8 ゴミ試験中の接触抵抗変化

も含め重要なファクタとなっている。EP形ポジテクタにおいては温度が $-20\sim+60^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $20\sim90\%$ の温湿度サイクルをくり返しても検出特性のドリフトはまったくみられない。

EC形エレクトロボタンは従来の押ボタンスイッチに代わり軽く触れるだけで動作する新機軸のボタンスイッチである。すでにEB形を昭和38年に開発し、以来主要エレベータのホールボタンや運転盤の階床ボタンに使用して好評を博したが、今回高階床化に伴う高信頼化と品質確保のため、まったく新しい回路を開発し部品数を従来の $\frac{1}{2}$ に減らした。またボタンの各素子はマージナルチェック方式によって検討されており、最悪の特性同士を組み合わせても十分な性能を発揮する。

### 3.3 制御機器

エレベータの超高層化、モータの大容量化に伴い、従来のBLシリーズの構想をもとにBL60形マグネットブレーキを開発した。プランジャの形状にくふうをこらして吸引力の負特性領域を利用し、制動力の過渡制御を可能ならしめ、ブレーキシューに、ピンレス方式を採用して制動力の安定を図った。制動時にはライニングの発熱によって摩擦係数の低下するおそれがあるが、BL60形マグネットブレーキでは万一の非常時にも $540\text{ m/min}$ の全速からでも安全に制動停止できる。

ドア関係の機器は時に据付時の作業性の向上と、取付けのバラツキを防ぐことに重点をおいて大幅に改良された。特にドアスイッチ、ドアロックスイッチ用としてUL-P形スイッチを開発した。

UL-P形スイッチは使用される数も多くしかも塔内に散在するため据付中はセメント粉が、また稼働中は繊維状および油脂状の有機質、セメント、土砂などの無機質のゴミが機械室、塔内に浮遊し接

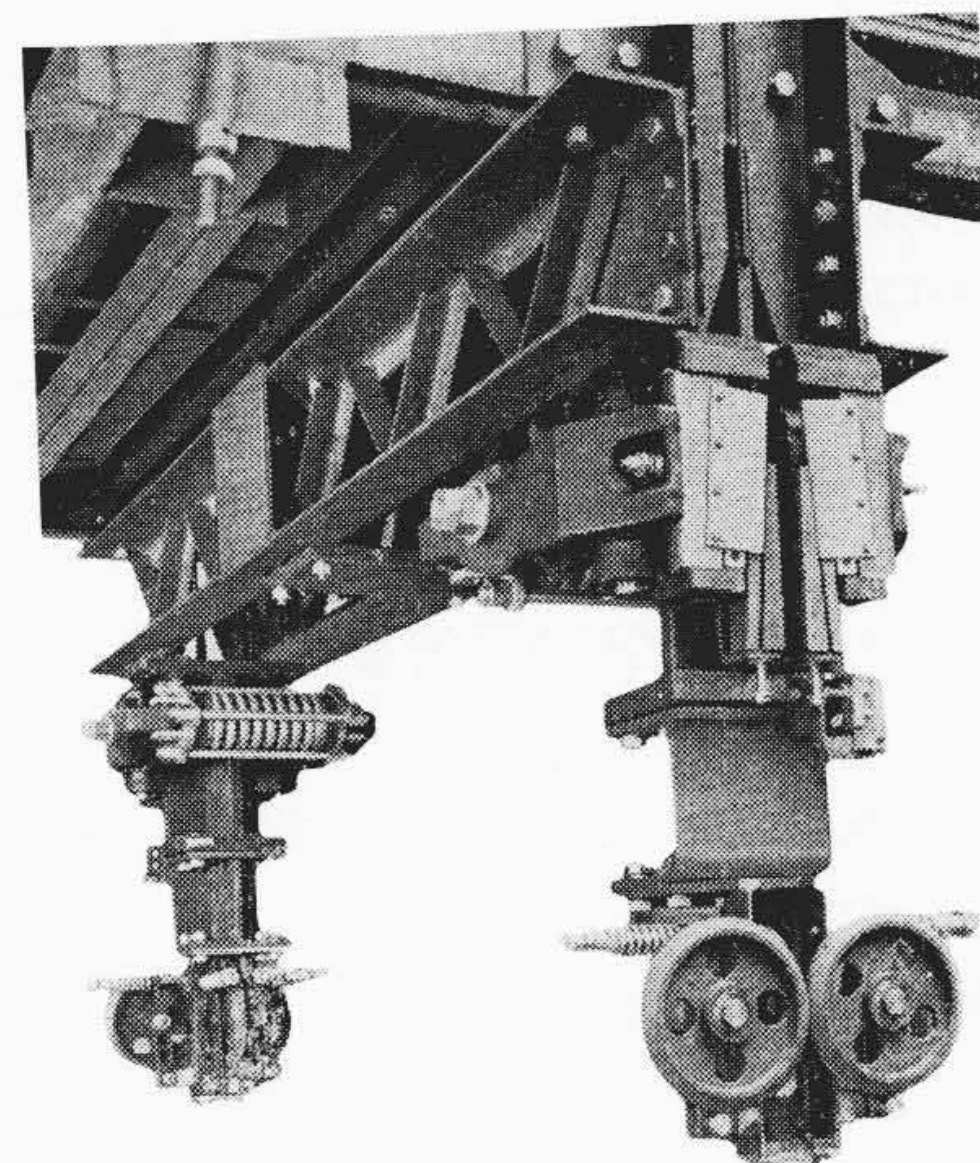


図9 FW302形非常止め

表2 調速機作動速度

| ASC              |                     |                   |                    | 日立エレベータ         |                    |
|------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| 定格速度<br>(ft/min) | 調速機作動速度<br>(ft/min) | 停止距離 (ft/in)      |                    | 定格速度<br>(m/min) | 調速機作動速度<br>(m/min) |
|                  |                     | 最少                | 最大                 |                 |                    |
| 500              | 625 (125%)          | 2-1<br>(636 mm)   | 5-8<br>(1,728 mm)  | 150             | 200 (133%)         |
|                  |                     | 3-7<br>(1,093 mm) | 9-10<br>(2,994 mm) |                 |                    |
| 700              | 855 (122%)          | 6-8<br>(2,033 mm) | 18-6<br>(5,633 mm) | 210             | 250 (119%)         |
| 1,000            | 1,200 (120%)        |                   |                    | 300             | 357 (119%)         |

ASC: American standard Safety Code for Elevator の略

触不良の大きな要因となる。特に超高層ビルでは柔構造のカーテンウォール工法を取り、建物を軽量、耐火とするため壁面、天井にアスベストをもととしたリフライトを吹きつける。これは単なる接触不良のもととなるのみでなく、絶縁物の劣化やしゅう動回転部の摩擦などを招くおそれがある。UL-P形スイッチはこれらの実情を加味し、双子接点や防じんカバーを施し接触確度の向上を図るとともに、作動機構の取付けおよび動作のばらつきをカバーする二重レバー方式を採用している。図8は接触抵抗の変化を連続記録したものである。また $50\text{ mg/m}^3$ のゴミ環境下で連続動作をくり返し接触不良の発生などを観測したが、なんら異常は認められなかった。

## 4. 安全装置と安全性

安全装置としてはドアのインターロック、ドアセフティなど乗客の出入りの安全性を保証するための装置、あるいは昇降速度に関係した安全装置などそれぞれ厳密な安全設計思想のもとに開発されている。特に非常止め装置、油圧緩衝器などは高速化するとともに大形化する傾向にあるため、建屋との取合いやスペース的な制限をうけることになる。かねてからこれらのことを想定し小形で安全性の高い高速用安全装置の開発が行なわれた。

### 4.1 非常止め装置と調速機

エレベータの昇降中万一速度制御部分に異常があると、回生制動、電磁制動機両者の作用によりかごを停止させるようになっている。過速降下する場合はこれに加え、調速機が速度増加を検出して非常止めを動作させる。非常止め動作速度は、制動動作中の安全性の見地から低いほど良いが、一方昇降中振動などの原因による誤動作をさけるため無制限に定格速度に近づけるわけにはいかない。わが国では非常止めの動作速度を定格速度の1.4倍以下としており、また前述の理由から低くとも1.15倍未満に設定すべきでないとしている。日立製作所ではアメリカほか諸外国の規格と国内法規との双方から検討を加え表2に併記した作動速度を採用している。

非常止めは図9に示すとおりロッド引き上げフレキシブルガイドクランプ式が高速エレベータに適しており、この理由は次のとおりである。

- (a) 動作時レールと4個のウェッジが均等に接触し、かつエッジでの無理なしゅう動が自動的に修正される。
- (b) レールは握力が制動中はほぼ一定でありこの値はバネ力によって任意に選定できる。
- (c) 調速機の動作から非常止めが働き始めるまでの降下距離が少ないので、その間でのかごの降下速度の増加が少ない。
- (d) 動作終了後の復元にはかごを数cm上げればよく、レールは握力を解除するための特別な操作と装置は不要である。

いま図10でかごの降下速度が表2の値に達すると、調速機がガバナロープをは握し、かご降下との相対運動で引き上げロッドを持ち上げる。ロッド下端には平常時ガイドレールと一定の間げきを保持しているウェッジがあり、引き上げロッドの動きにより上方に移動する。ウェッジはガイドレールと反対側の面が傾斜しており、上方移動により間げきをつめてレールに接触する。さらにかごが降下するのでローラおよびガイドに案内されたウェッジはハサミを介し圧縮バネを圧縮して制動力が発生し、ボディ上部までストロークしてのち一定は握力での制動が行なわれる。制動が始まってから、かごが停止するまでの距離は図11の範囲に収めるべきものとして間接的に減速度を制限している。アメリカ規格ではこの平均減速度が0.35～1.00gの範囲内に収めるよう規制している。

非常止めの制動力は回生制動、電磁ブレーキに助けられるが、ロープを切り放した状態でかごを十分保持できるよう設計されている。この場合、かごの運動と位置のエネルギーの和を非常止めの吸収エネルギーに等しいと置いて次の関係式が得られる。

$$S = \frac{2g}{4\mu P - W} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、S：停止距離 (m)  
W：かごの総重量 (kg)

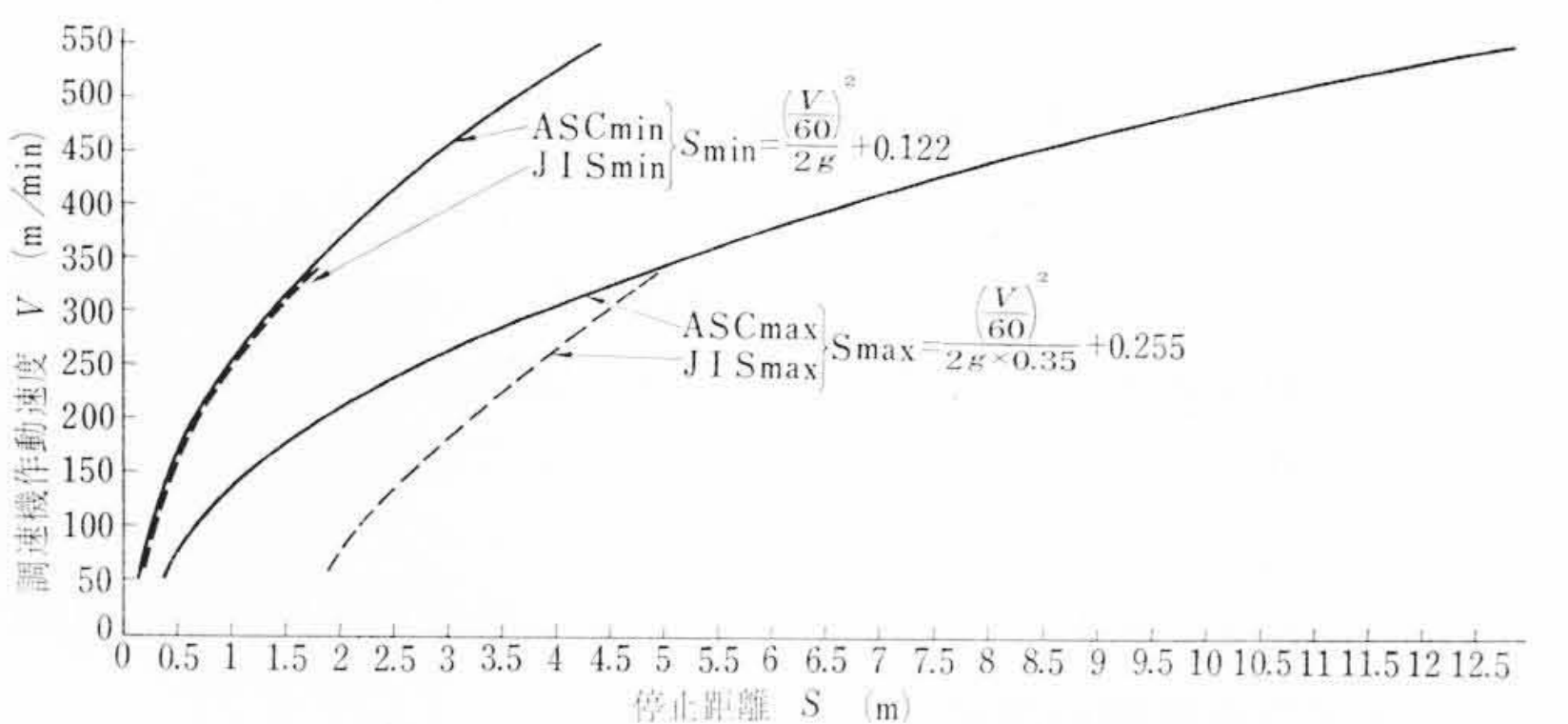


図11 次第ぎき非常止めの停止距離  
(注) ASC; American Standard Safety Code

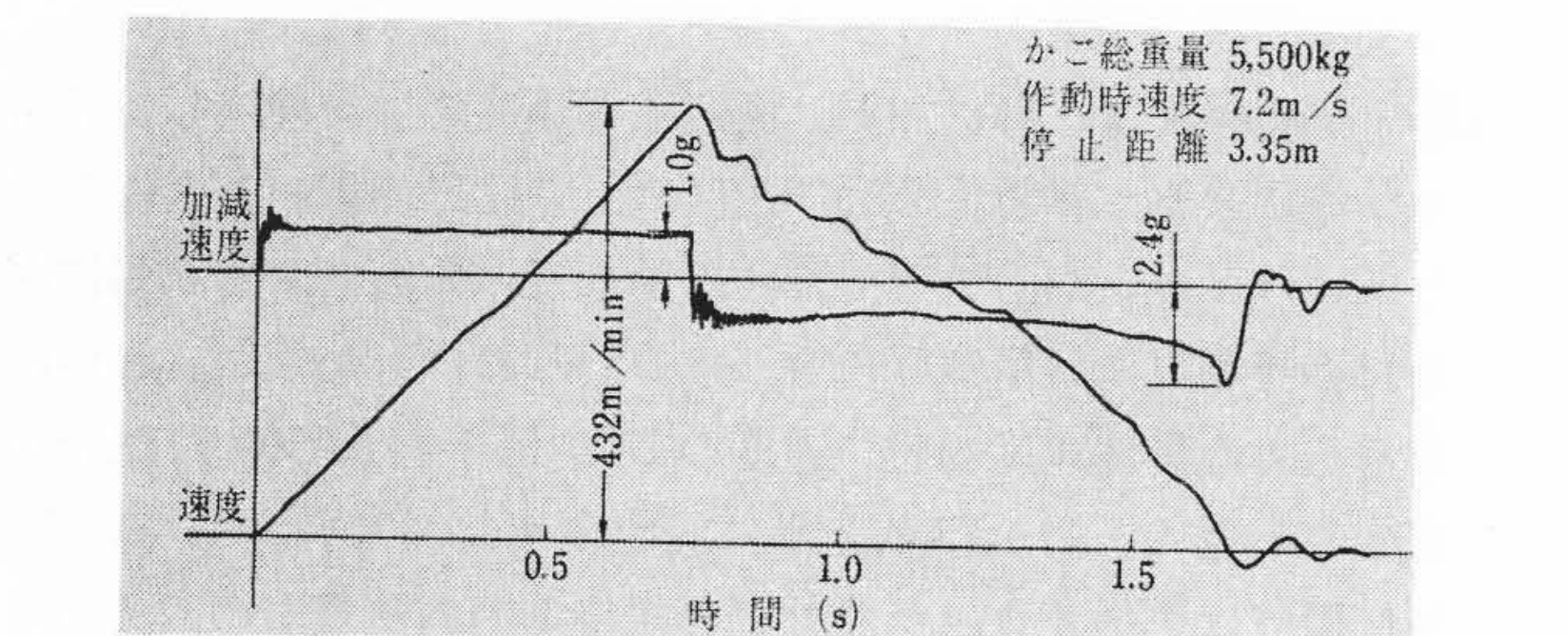


図12 非常止め動作特性

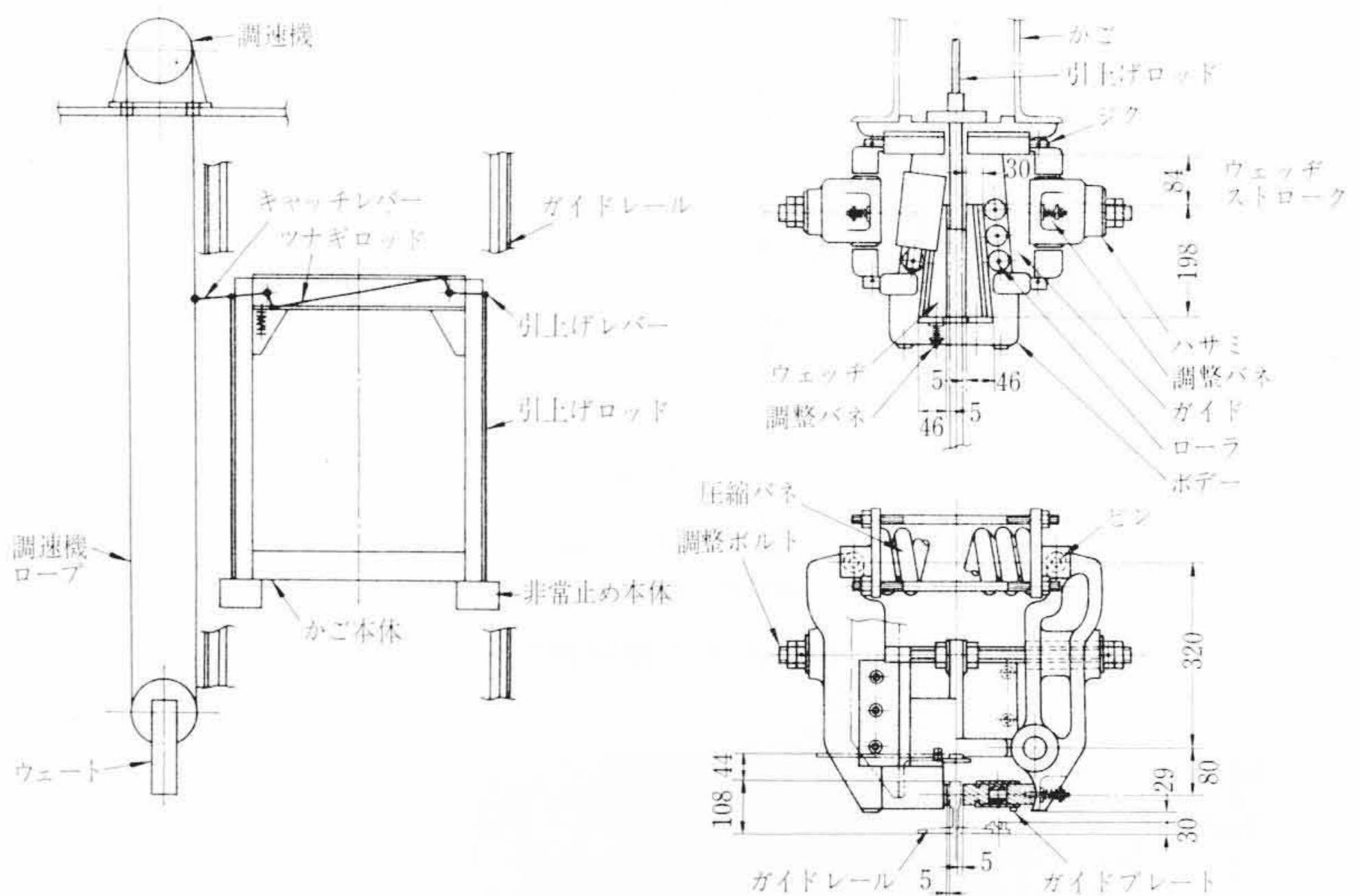


図10 FW 302 形 非 常 止 め

V: 制動開始時のかご速度 (m/s)  
P: レールとウェッジの間の直圧力 (kg)  
 $\mu$ : レールとウェッジの間の摩擦係数

Pは圧縮バネのバネ常数をできる限り小さく選定することにより、作動中はほぼ一定に保つことができる。 $\mu$ はウェッジの材質、形状により大いに相違するとともに、レールとの面圧、摩擦速度に応じて変化する。高速の非常止めでは、制動中ウェッジが高温摩耗するとともに、レール表面を変質硬化させる。硬化面での再試験では摩擦係数が激減し制動不能となる場合がある。これはウェッジの材質を適切に選定することにより完全に防止することができる。日立製作所では種々の材質について多くの制動試験を行ない、レールを変質、損傷させず必要な摩擦係数をもつ高速非常止め専用のウェッジ材質を新たに開発した。

非常止めの特性は、レールとウェッジの摩擦特性いかににかかっている。新ウェッジ材の摩擦特性を十分には握したので、(5)式からあらゆるエレベータの仕様に適したバネ力Pの設定ができる。計算制動距離と実測2回のバラツキが12%以下であることから信頼性は十分あるといえる。図12は非常止め試験におけるかごの減速

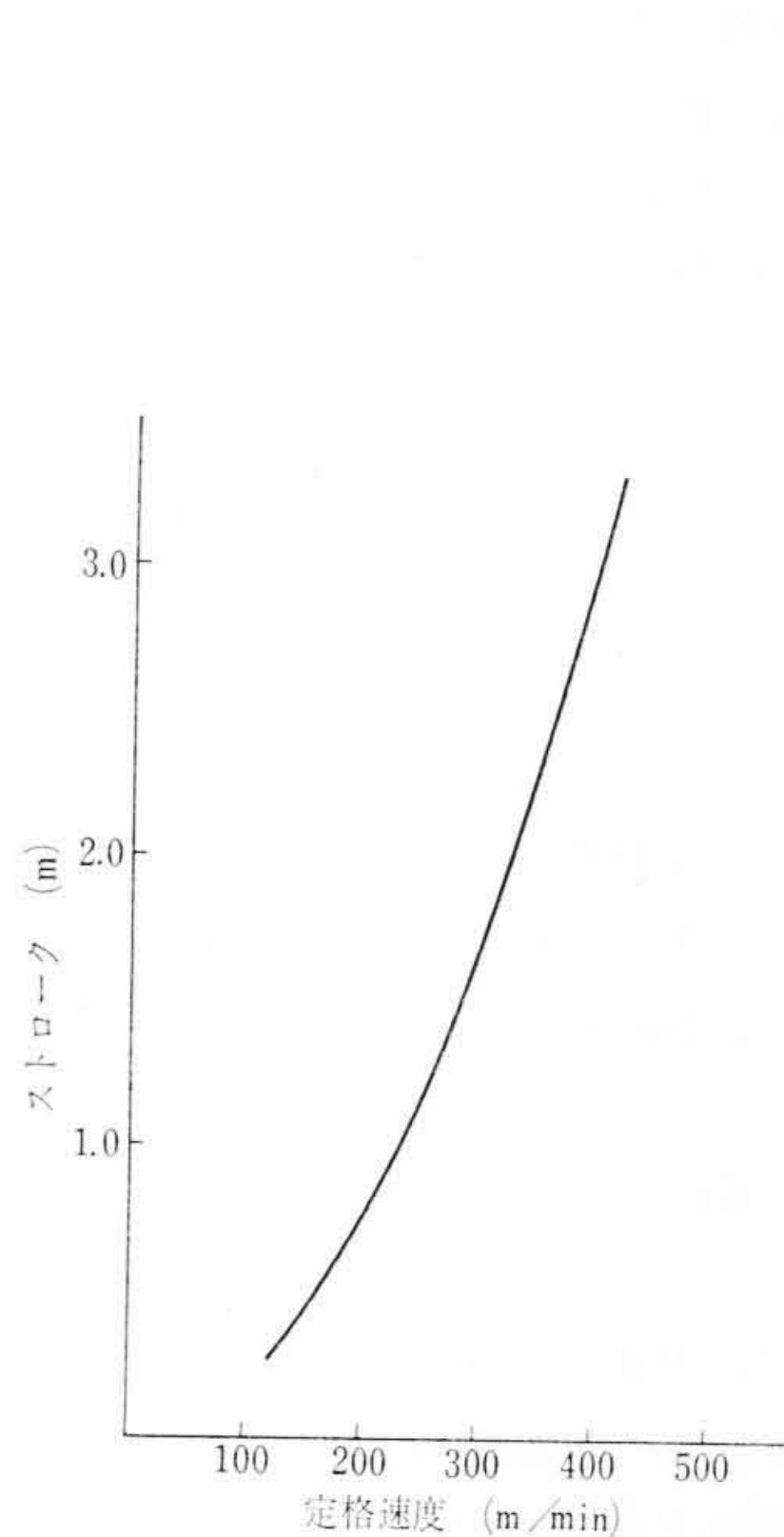
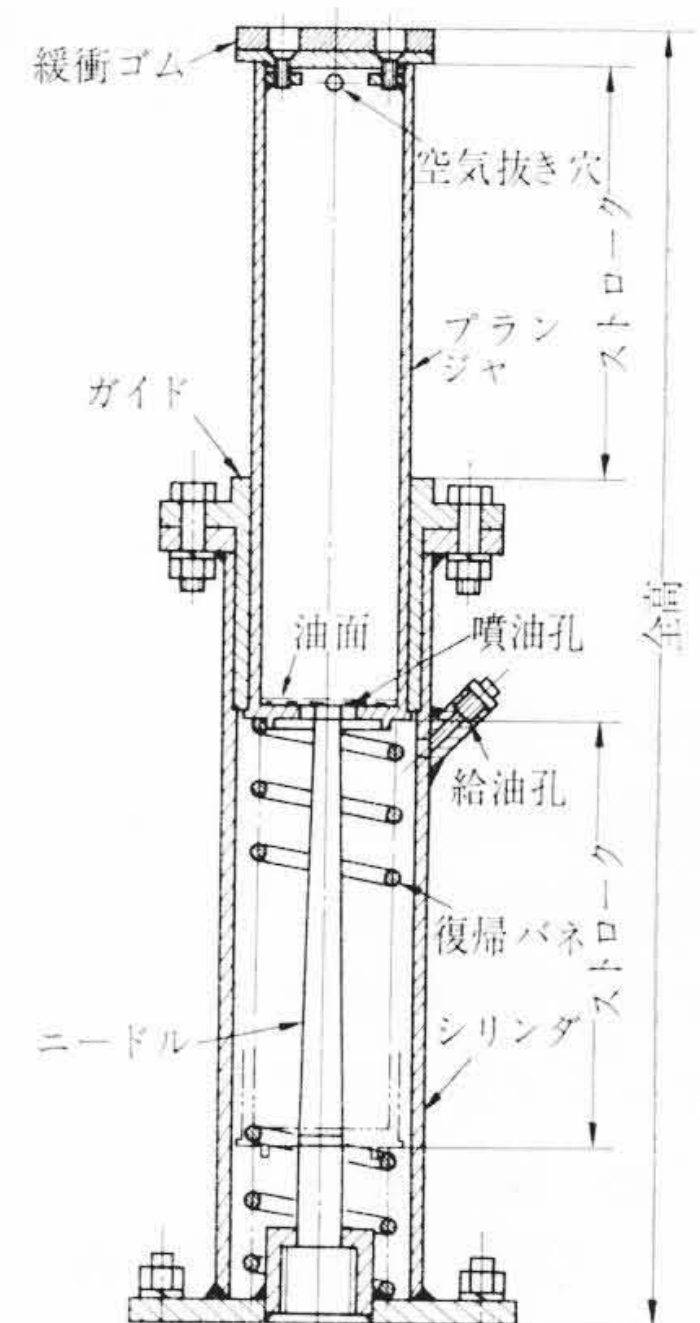


図13 油圧緩衝器の最小ストローク



| 機 種      | 全 高   | ストローク |
|----------|-------|-------|
| OB-N-210 | 2,260 | 828   |
| OB-N-210 | 2,905 | 1,081 |

図14 OB-N 形油圧緩衝器

度を記録したオシログラムの一例である。

#### 4.2 油 圧 緩 衝 器

かごまたはつり合いおもりが正常位置を通過しても停止しないで降下する万一の故障の場合、これを昇降路底部に衝突させないように、下部に油圧緩衝器を設置して緩衝停止させる。

緩衝器の最小ストロークは、定格速度の 115% に相当する速度で降下するかごを、平均減速度  $g$  で停止させるよう規定されている。したがって最小ストロークと定格速度の関係は(6)式のようになる。

$$S = \frac{\left(1.15 \times \frac{v}{60}\right)^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 $S$ ：油圧緩衝器の最小ストローク (m)

$v$ ：エレベータの定格速度 (m/min)

図 13 はこの関係をグラフに表わしたものである。油圧緩衝器の構造は図 14 にその断面を示したとおりで全高はストロークの 2 倍以上を必要とする。エレベータが高速化されると、油圧緩衝器の全高が急激に増大し、非常に深いピットが必要となり不経済である。この問題を解決するため、端階強制減速装置を設け、緩衝器への衝突速度を下げ所定のピットに設置している。

油圧緩衝器を設計するに当たって最も注意を要する点は減速度特性である。降下エネルギーの吸収は、噴油孔とニードルで形成される油路の絞り作用で行なわれ、ストロークの全域にわたって一定の減速度が保たれるのが理想である。かご内に乗客 1 名が乗った軽荷重から、定員が乗った全荷重までを緩衝した場合、全荷重でのエネルギーを十分吸収できるように設計するため、軽荷重での初期減速度が大きくなる。ニードルの断面寸法はストロークの進むにしたがって太くしている。これはストロークの進むにしたがって減少する速度の自乗に比例する油圧緩衝力を、一定に保持せんがためである。

図 15 は終端強制減速装置と併用して 300 m/min エレベータに使用された油圧緩衝器の動作特性である。

#### 4.3 コンペンセーティングロープの保持

高速で長行程のエレベータには、かごの位置に応じて生ずる巻上げロープおよびテールコード重量のアンバランスを補償するためコンペンセーティングロープを設ける。これはロープの両端をそれぞれかごとつり合いおもりの下部に取り付け、ピットに設置したプーリの重量でロープに張りをもたせる。この場合、次式を満足させるようにつり合いおもりとコンペンセーティングロープの重量を選定すれば理想的な補償ができる。

$$W_w = C + \frac{s}{4} W_t \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$W_p = W_r - \frac{1}{4} W_t \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $W_w$ ：つり合いおもり重量 (kg)

$c$ ：かごの重量+1/2×積載量 (kg)

$s$ ：エレベータの行程 (m)

$W_p$ ：コンペンセーティングロープの単位長さ重量 (kg/m)

$W_r$ ：巻上げロープの単位長さ重量 (kg/m)

$W_t$ ：テールコードの単位長さ重量 (kg/m)

巻上げロープにはつり下げたかごその他による張力がかかっているので使用中徐々に伸び、このためウエートプーリが下降する。また次に述べる原因でプーリが上昇する場合も考慮し、上下に行き過ぎ制限スイッチを設け、これが動作した場合エレベータの運転を停

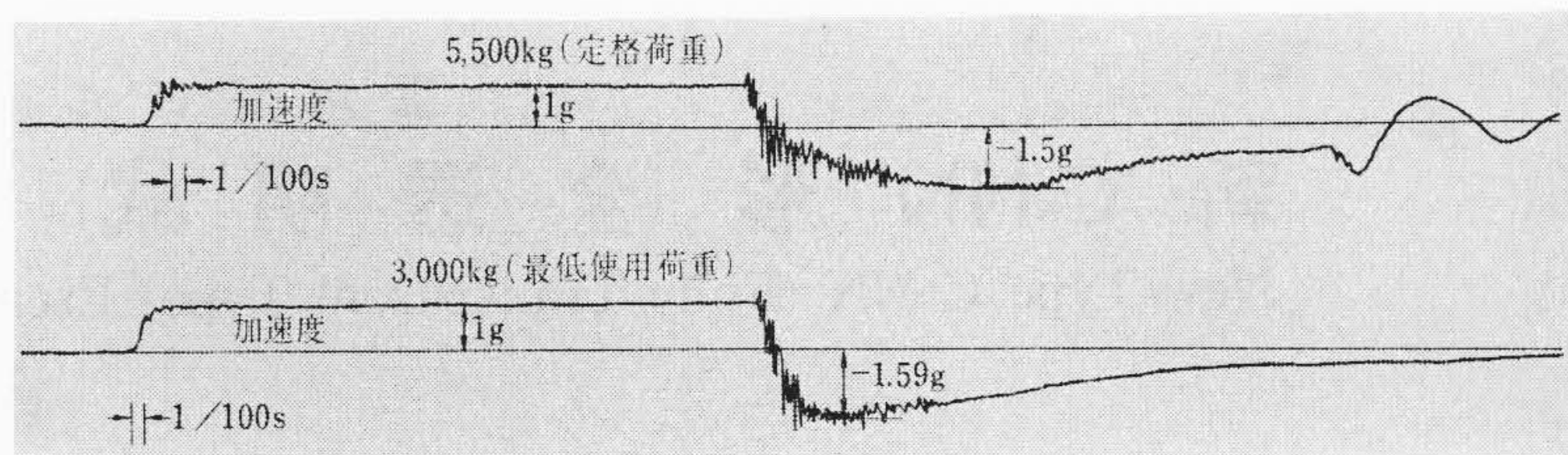


図 15 OB-N-240 油圧緩衝器動作特性

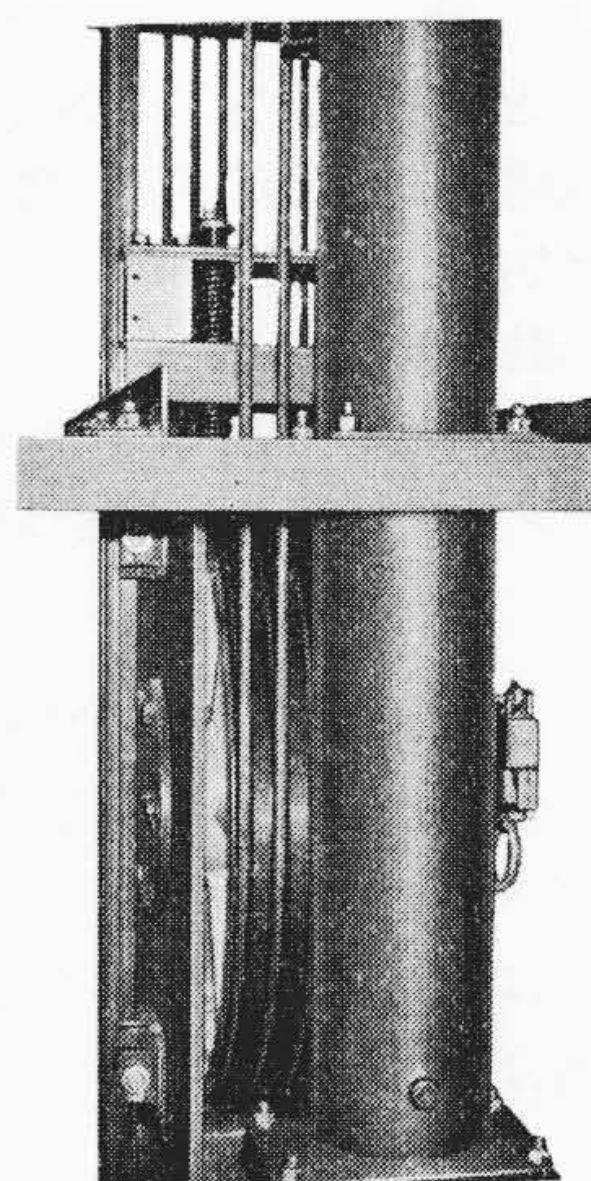


図 16 コンペンセーティングロープ保持装置

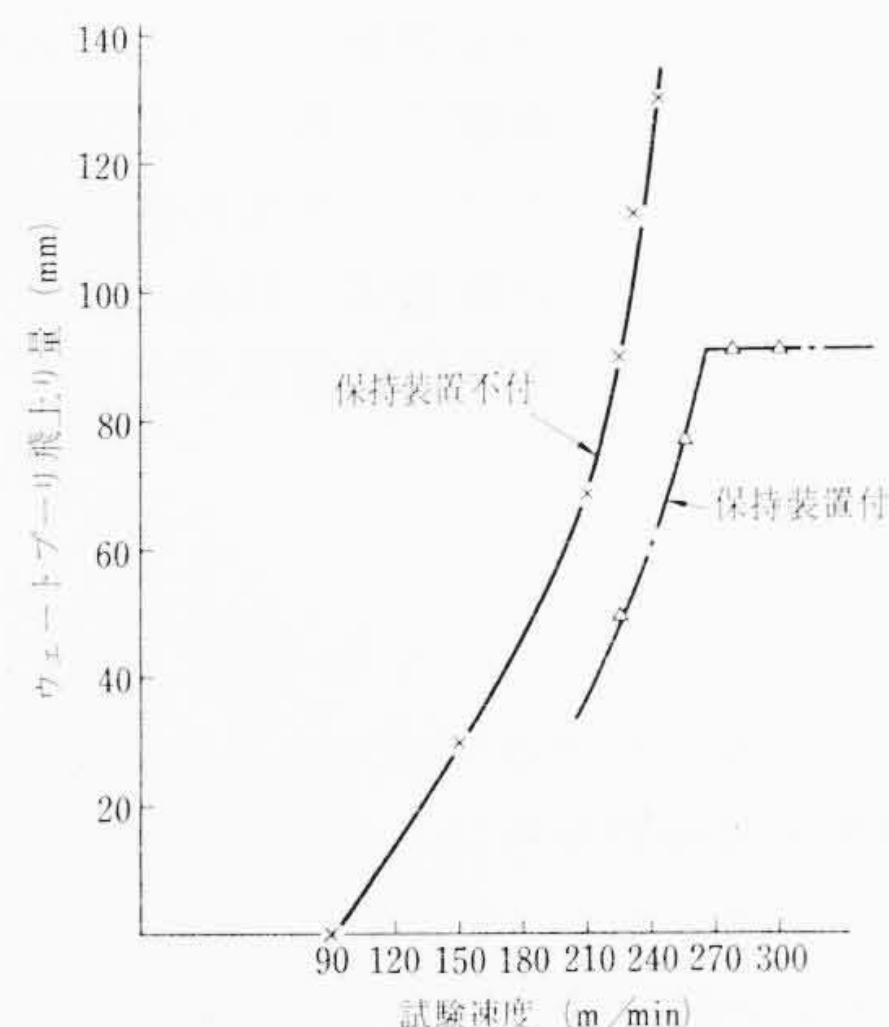


図 17 プーリの飛上り量

止させる。

定格速度 240 m/min 以上のエレベータでは、なんらかの原因で万一非常止めまたは油圧緩衝器が動作した場合、かごまたはつり合いおもりがジャンプするのを防止する装置を設けるようアメリカ規格では規定している。図 16 はこの目的で開発したウエートプーリ保持装置で、プーリの上昇に対してはガイドのレールにくさびがはいてこれを制限し 90 mm の動きしか許さないが、下降に対しては常時ロープの伸びに従って保持装置ともども下降する。

図 17 はつり合いおもりを油圧緩衝器に衝突させる速度を変えて実測したウエートプーリの飛上がり量を示したものである。保持装置を設けない場合 240 m/min を越えるとロープはずれその他の危険が予測され、この装置の必要性を確認した。なお非常止め作動時の飛上がり量は 300 m/min のエレベータでも 40 mm 程度であり問題とはならない。

## 5. 結 言

超高層ビル時代にそなえて信頼性、安全性などの必要技術を計画的に開発するため、既納エレベータの稼働実績を情報源として各種機器の信頼性を飛躍的に向上し、高速エレベータ用の安全用機器を開発するとともに、工場内に地上高さ 90 m の研究塔を設けて実機性能を確認するようにした。

今回その成果を織り込んで、霞が関ビル納エレベータ群を完成した。ビルの超高層化はさらに進むものと考えられるで、それに使用されるエレベータにはさらに高速化が予想される。われわれはこれに対処するため継続して計画的に技術の研さんに努めている。

エレベータも他のシステムと同様その信頼性はメーカーによって決定される。特に先天的信頼性は設計、生産技術の合理性が決め手となるが、一方、後天的信頼性は環境や取扱いなどによって左右される。もちろんメーカーとしてはこれら現地の実情を設計に織り込んで総合的な信頼性と安全性を確保し、顧客の安心感と信頼感にこたえるようさらに努力を続けていきたい。