U. D. C. 621.876.11-7：621.316.71-192

住宅用エレベータの保全性と信頼性の向上

Improved Maintenability and Reliability of Elevator for Residential Building

高橋義典* Yoshinori Takahashi　佐々木六漏* Rokurô Sasaki
福岡卓二* Takuji Fukuoka　頗羅堕彰* Akira Harada

要旨

現在国内には約5万台のエレベータが稼働しており，数年後には2倍の10万台に達する見込みである。最近では特に住宅用エレベータの増加が目だっており，その設置条件，環境，使用状況など一般のエレベータとは異なった特殊要素があり，これを考慮する必要性が生じた。

日立製作所では早くから住宅用エレベータの特殊性を考慮し，メンテナンスフリー化，高信頼度化を目標にエレベータのシステムを回路と構成機器の両面から総合的・計画的に検討しその開発・実用化を推進してきた。

これら回路や機器に対して工場内の研究塔をはじめ信頼度試験室の諸設備を駆使して信頼性の高いビルエースシリーズ(規格形エレベータ)を完成した。

1. 緒言

住宅用エレベータの運転責務は一般に事務所ビルのものに比べると若干低い傾向にあるが，一方，入住条件や建築計画のほか入住者の使い方などに従来の事務所ビル用エレベータと違った面があるのでこれらの解決には新たな見地から設計・製作し，保守性の向上を第一義的に推進しなければならない。

エレベータには円滑な乗りごこちと精密な着床特性が要求され，効率よく乗客を輸送するための速度制御装置をはじめ信号装置や安全装置など多くの装置を必要とする。

エレベータの需要増加は世界的な傾向であるが，建築計画やビル内の交通需要，使用条件などは特にわが国の国情に合致した考慮がたいせつである。また都市集中化や環境の特殊事情から生ずる運転条件は従来のビルより質量ともに今までと違った多様性が考えられ，その設置条件や保守体制などもじゅうぶん考慮して新たな見地からこれら装置の開発をする必要がある。

2. 保全性と信頼性の向上

エレベータは安全性確保のため古くから定期点検が行なわれているが，この保全作業も住宅用エレベータの増加に伴って今後新たな問題が考えられる。したがってエレベータの固有信頼度を高めるとともに保全性向上による稼働信頼度を高める必要がある。

一般に信頼性と経済性は相反するがとくに機器の保全性の向上を第一に取り上げ，適切なエレクトロニクス化を織り込むことによってこれを克服することを進めてきた。

最近高度に発展したエレクトロニクス技術を応用することは信頼度を高めるうえからも，制御性能を向上する点からも有利である。

エレベータの制御装置は動作ひん度が高いうえに，同時に発生する各種信号を効率よく処理させるため，サイリスタやトランジスタなどを積極的に応用してその特性をじゅうぶん活用する必要があり，制御装置をはじめ負荷検出装置や位置検出装置などを無接点化して寿命の延長を図るとともに信頼性を高め，保全性向上を図っている。

一方，有接点器具は取り扱いや保守が簡単で保全性が高く，手動操作や動作状況が目視できるので，信号制御装置や動作ひん度の低いM-G起動装置などに使用し，予防保全を徹底して機器の性能を確保するとともに経済性を考慮している。呼検出装置にはふつう有接点方式を使用しているが，とくに動作ひん度の高いビル用として無接点化したエレクトロボタンも用意している。

表1　エレベータのストレス要因の種類

ストレス	要因	備考
電気的	電圧	−20%～+10%
	電流	
	サージ	接点開閉サージ
	誘導	テールコードによるもの
機械的	衝撃	輸送中
	振動	輸送中
環境	周囲温度	−10℃～+60℃
	湿度	20～90% RH（+40℃）
	塵埃	10 mg/m³
	ガス	5 ppm UF（主として H_2S）
	気圧	1,000 m（標高）

以下，これら装置のうちビルエース用Rとして使用しているエレクトロニクス応用装置およびこれと組み合わせて使用しているリレーについて記述する。

3. エレクトロニクス応用装置

3.1 電子部品および装置の設計と信頼度試験

エレベータにおけるエレクトロニクス応用装置に対し，考慮しなければならないおもな要因を表1にかかげた。この中にはテールコードにおける誘導とか塵埃やガスなど過酷な環境で使用されるので，一般電子機器における使用条件のほかに特にエレベータ用としての特殊性を考慮しなければならない。また装置の設計時点では信頼性および保全性向上のため下記項目を実施している。

（1） 電子部品の選定(認定部品の使用)および負荷の軽減
（2） 信頼度予測（高信頼度回路の採用と標準化）
（3） 外部ストレスからの保護（サージ，温度，電圧変動など）
（4） フェイル・セイフ化
（5） ユニット化による点検，交換の簡単化
（6） 互換性のある部品および装置の使用
（7） 保全マニュアルの完備

電子部品の選定に対しては工場内で認定試験を実施し，エレベータの特殊使用条件において要求する品質をじゅうぶん満足するもの

* 日立製作所水戸工場

表2　電子部品認定試験項目

No.	試験項目	おもな内容	
1	初期特性試験	構造検査	
		一般特性	
		温度上昇	
		絶縁特性	
		端子はんだ浸し	
2	環境試験	温度特性	
		温湿度サイクル	
		振動	
		電気的ストレス	
3	寿命試験	加速寿命	間欠負荷寿命
			高温負荷寿命
			耐湿寿命
			動作寿命
		放置	

表3　エレベータ用主要電子部品の故障率

部品名	エレベータでの故障率 $\times 10^{-6}/h$	
	平均	上限（片側信頼水準 90%）
シリコンダイオード	0.0007	0.0013
シリコントランジスタ	0.0004	0.0009
炭素皮膜抵抗器	0.0003	0.0007
MPコンデンサ	0.0004	0.0009
タンタルコンデンサ	0.0002	0.0005

表4　信頼度試験項目

No.	試験項目	おもな内容
1	構造検査	構造一般 電子部品
2	一般特性試験	動作特性試験 温度上昇試験 絶縁試験
3	温湿度環境試験	温湿度環境試験
4	振動試験	振動耐久試験 共振試験
5	サージ試験	サージ試験
6	ストレス試験	電気的ストレス試験 機械的ストレス試験 環境ストレス試験
7	寿命試験	動作寿命試験 加速寿命試験 放置寿命試験

を使用している。認定試験項目は表2に示すとおりであり，合格した部品についてはさらに品質管理の観点から製造元の製造工程を審査し，厳選している。

表3はフィールドデータから求めたエレベータ用電子部品の故障率を示したもので，この表からもわかるように通常信頼度予測用に使用されているEarlesやDummerの故障率に比べて1～3けた高信頼である実績をもち，部品が厳選され，回路も含めてその使用法が適切であることがわかる。また装置についても表4の試験を徹底して実施し信頼度保証に努めている。

3.2　装置の概要

ビルエースR用エレクトロニクス応用装置は各種あるがそのおもなものについて説明する。

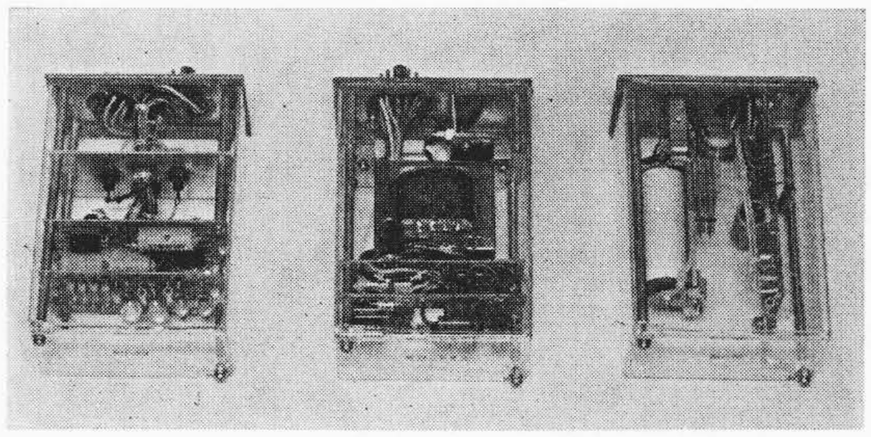


図1　サイリストロニックDB形エレベータ用エレクトロニクス応用装置（左から速度指令装置，移相器，速度ゼロ検出装置）

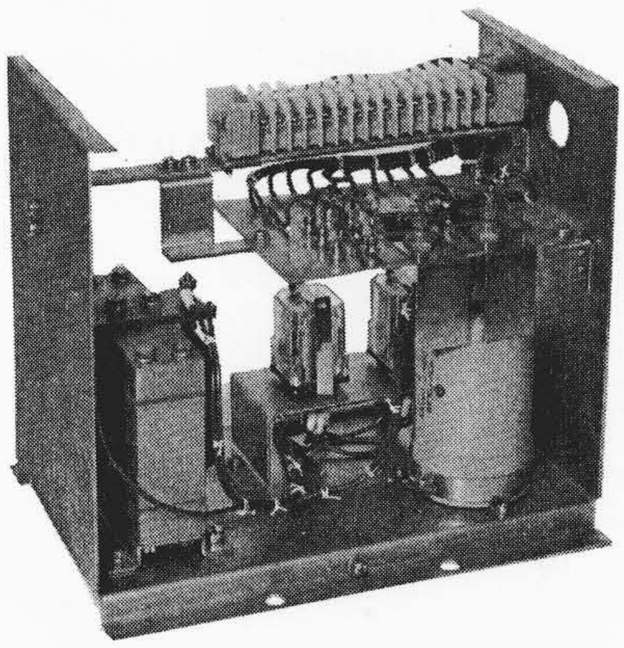


図2　サイリスタドア制御装置

図1はビルエースR（サイリストロニックDB形エレベータ）用速度指令装置，移相器，速度ゼロ検出装置である。

速度指令装置はエレベータの速度指令を移相器に与え，移相器はこの速度指令とエレベータの速度を比較しながらサイリスタを移相制御しエレベータの速度を制御する。速度ゼロ検出装置はエレベータが減速・着床して速度がゼロになったことを検出するものでバックアップとしての動作をする。

実際には直流制動を主体にして減速の全過程を電気的に制動し，円滑迅速に無段着床する。これら装置を使用してエレベータの速度制御を行なう方式は画期的なものであり，この種エレベータの運転時間を短縮するとともにその乗りごこちを一新する。

速度指令回路はCRによる連続速度指令を発生するもので，タンタルコンデンサを使用して特性の安定化を図っている。

移相器は高信頼度化のために工夫されており，サイリスタ点弧角の制御率は5～90%の広範囲にわたっており温度と電圧との補償が行なわれ良好な特性を得ている。

またこれら装置の寿命は半永久的であるが，もし万一必要な場合には簡単に交換できるようプラグインのユニット化が行なわれている。

図2はサイリスタドア制御装置である。この装置はエレベータの運転責務よりもさらに過酷なひん度で動作する。従来は接点方式で制御装置を機械室に設置していた。これをエレクトロニクス化して動作音をなくし，かご上に設置してテールコードをなくした。また閉扉中のエレベータに乗降客があるとき，ドアをスピーディに開くよう応答を早くするなど信頼性を高め性能安全性の向上を図っている。

3.3　信頼度予測とフィールドデータ

装置に要求される信頼度をいかにして達成しうるか，装置全体の信頼性バランスの点で何を改善すべきかなどを確認するため，設計段階では信頼度予測を行なっている。図3はエレベータ用エレクト

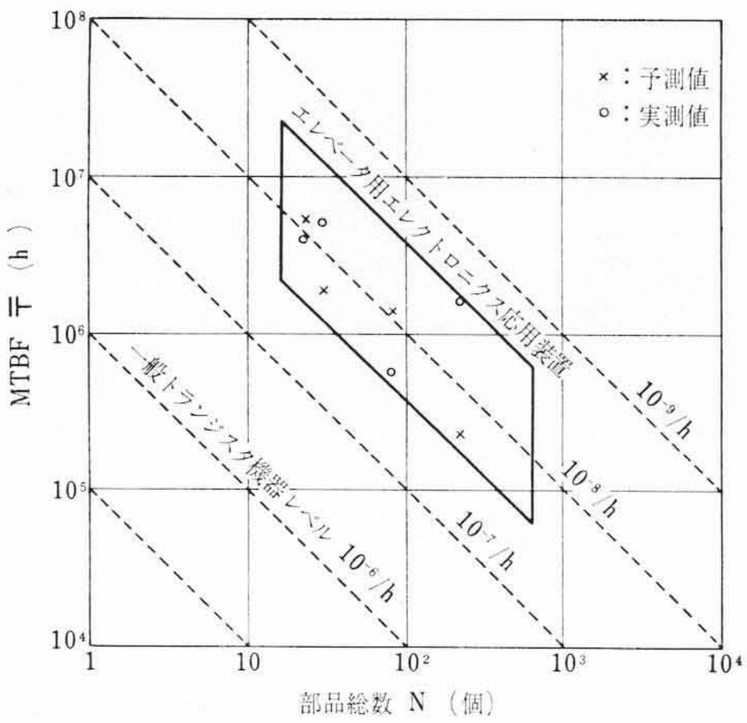


図3　信頼度水準比較

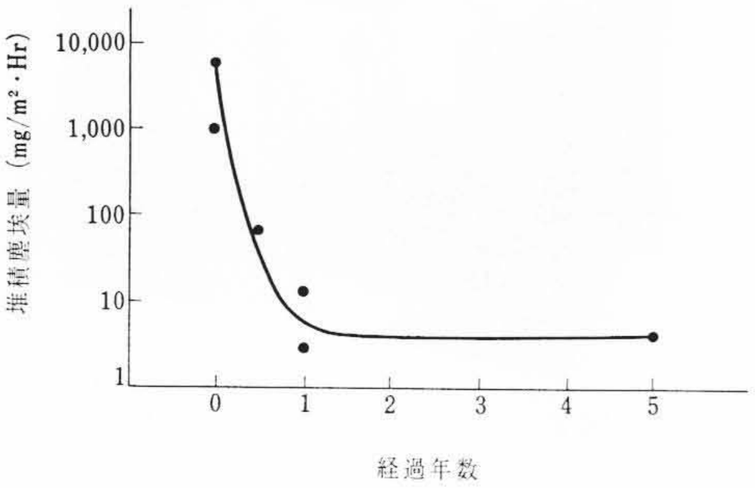


図4　塵埃量の経年変化

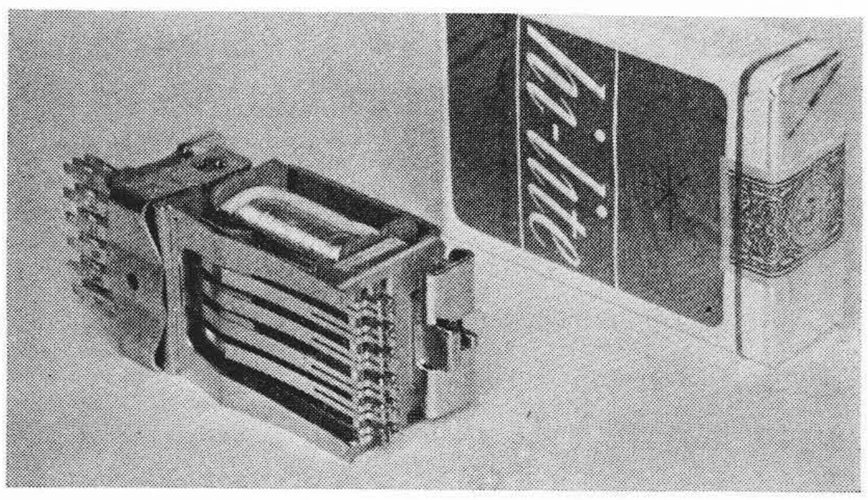


図5　MS形リレー

ロニクス応用装置の予測MTBFとフィールドデータからの実測値を示したものである。

4. MS形リレー

リレー類としてはタイムリレーや過負荷検出リレーなど多種あるが，ここでは使用数が最も多いMS形リレーについて述べる。

エレクトロニクス応用装置と組み合わせて使用するMS形リレーにとって最も重要なことは低電圧低電流回路での使用も含めた接点接触信頼度の高いことである。

エレベータは各機器をビルの建築中に搬入し，据付けなければならずこのとき塵埃は相当多い。また最近公害で問題になっているガス，特に温泉地区や化学工業地帯など特殊環境地区におけるガスの影響も大きい。このため現地における塵埃およびガスの調査を行なった結果塵埃量の時間的変化は大略図4の傾向を示し，特にH_2Sに注目して測定したガス濃度は表5に示すとおりであった。これら塵埃やガスその他接触圧力や接点形状など表6に示す合計15項目の

表5　ガス濃度測定結果

測定場所	測定結果		
日光湯本温泉 某旅館	エレベータ機械室床面（床面より10 cm 上）	H_2S	4 ppm
	ピット（床面より10 cm 上）	H_2S	4 ppm
	浴場（湯面より 5 cm 上）	H_2S	60 ppm
	湯畑（湯面より30 cm 上）	H_2S	80 ppm
草津温泉 某旅館	エレベータ機械室周辺	H_2S	(1)ppm
	ピット	H_2S	(1)ppm
	浴場（湯面より 5 cm 上）	H_2S	5 ppm
川崎 某製鋼所	エレベータ機械室周辺	CO	0.1 ppm
	スラグ捨て場	H_2S	40 ppm
	出銑(せん)口付近	SO_2	30 ppm

注：(1)　ガス濃度は北川式ガス検出器（真空法）を使用した。
(2)　(　)内数字は微弱につき検知不能。ただし微臭あり，普通1 ppm 程度から腐卵臭が感じられることから1 ppm 程度と予想した。

表6　試験の要因と水準

要因		水準 1	水準 2	備考
A	接触圧力	小	大	双子の場合は双子接点にて。固定側は平面で可動側接点の先端形状を鋭，鈍とした。
B	接点形状	鋭	鈍	
C	接点開閉方向	縦	横	
D	防塵カバー	あり	なし	
E	接触指	双	単	
F	接点しゅう動	あり	なし	ありは Flexure 式でなしは Lift off 式で代用した。
G	ひん度	大	小	
H	電圧	DC 110 V	DC 24 V	
J	電流	大	小	L/R≒0.15 の負荷
K	ギャップ	小	大	
L	閉成速度	小	大	
M	開放速度	小	大	
N	塵埃	あり	なし	ポルトランドセメントを使用した。
P	CR火花消去	あり	なし	
Q	油	あり	なし	油＝マシン油

表7　MS形リレーの仕様

項目			仕様
1	接点	負荷電圧	DC 110 V
		通電容量	1 A
		しゃ断容量	DC 110 V　0.1 A　L/R＝0.8（最大しゃ断容量は図10参照のこと）
		構成	6 トランスファ
2	寿命	機械的	1,000 万回以上
		電気的	DC 110 V　0.1 A　L/R−0.18 で 500 万回以上（表8参照のこと）
3	耐圧		DC 1,500 V　1分間

要因を考慮した接点接触信頼度向上のための基礎試験を行ない，防塵構造が必要であること，接触圧力が適切で接点は双子であることなどその基本指針を得た。

4.1 MS形リレーの構造

接点接触信頼度向上のための基礎試験結果を積極的に採り入れたMS形リレーの外観は図5に，その仕様は表7に示すとおりである。

締め付けの必要な部分は部品相互間の機能的な配置によりバネ作用を利用して押える構造とし，部品数を減らして簡単に組立てられるようにしてある。導電部間の絶縁物には凹凸(おうとつ)を設けて実効沿面距離を大きくし，手動操作機構を設けてエレベータの現地調整や可動部分の点検をやりやすくしている。

接点はリフトオフ式の双子で，フィンガのスティフネスを小さくして予備たわみを大きくし，接点チャタリングを少なくするとともに接点消耗による圧力変化をなくし，接点接触信頼度を高くするよ

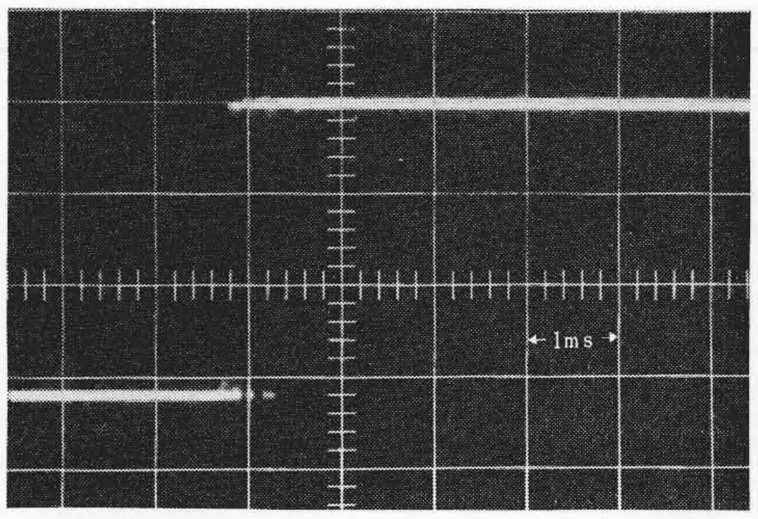


図6　MS形リレー接点のチャタリング

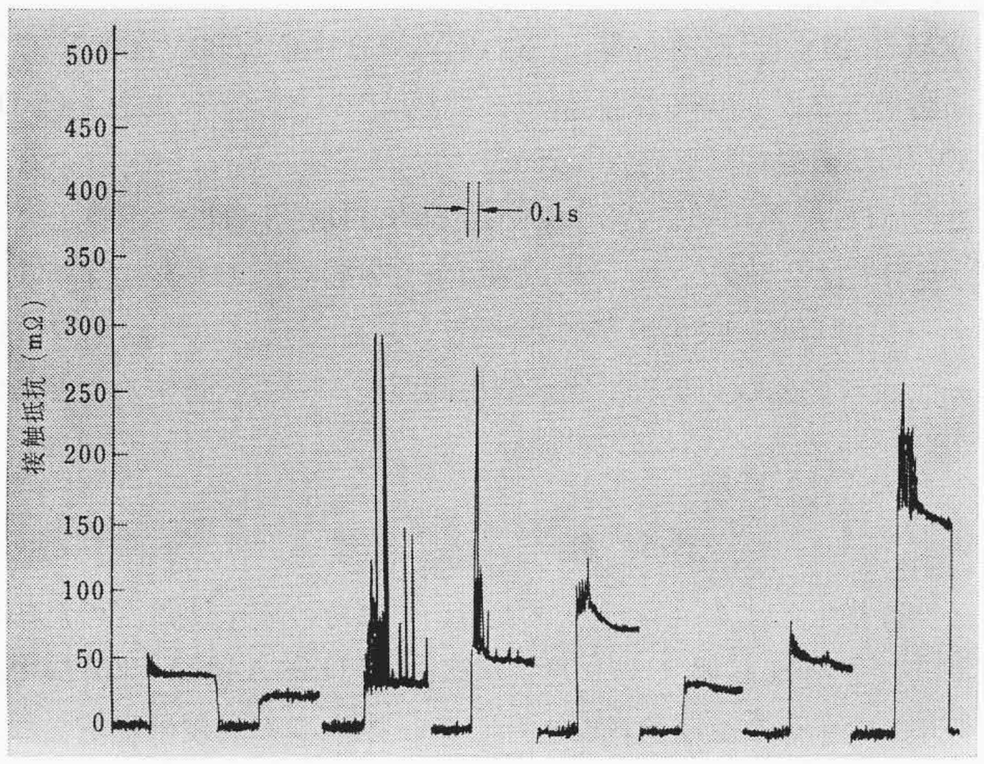


図7　接触抵抗の微妙な変化

う考慮してある。また防塵についてはリレー全体をまとめて防塵構造とするようにしてある。

4.2　接点接触圧力の経年変化と接点チャタリング

接点接触圧力は接触信頼度を大きく左右するものであり，重要な要素である。接点接触圧力が低下すると接点チャタリングが増して接点消耗や接点荒損が増し，接触抵抗が不安定となり接触信頼度が低下する。

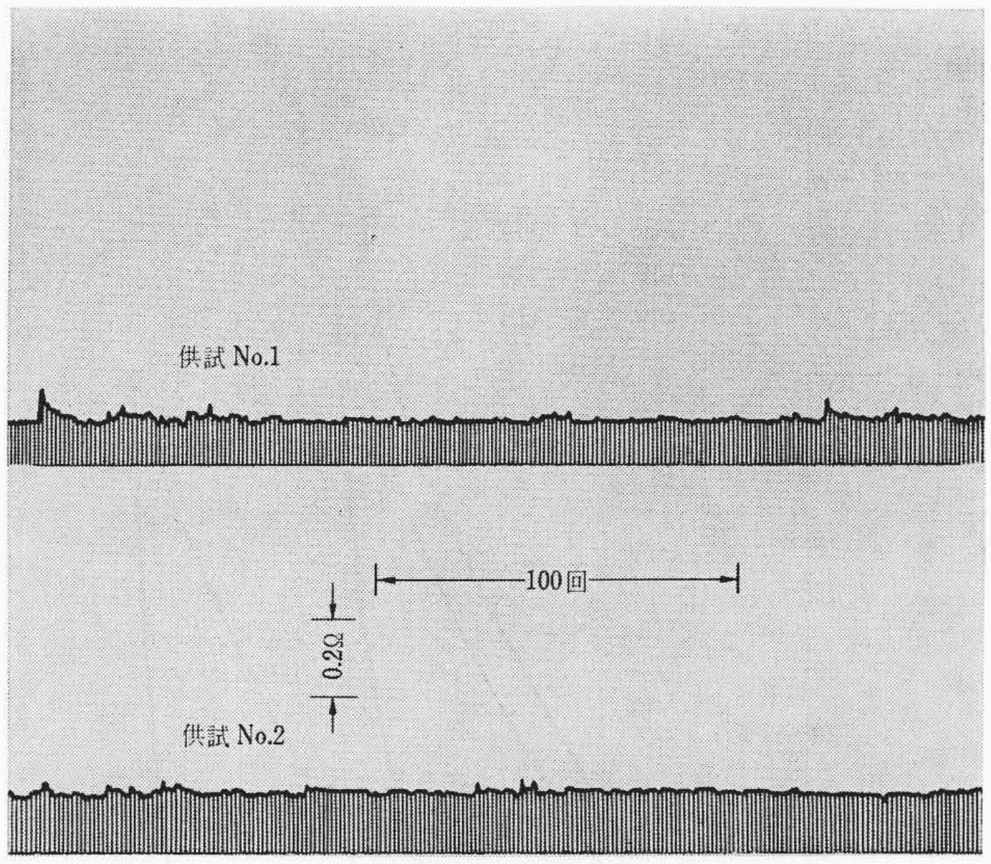
MS形リレーについて1,000万回動作試験を行なったが，接触圧力の変化は最大1グラムで非常に安定しており，その接点チャタリングも**図6**に示すように0.5 ms以下で非常に少ない。エレクトロニクス応用装置と組み合わせて使用するときにはこの接点チャタリングの少ないことは重要な特性である。

4.3　接点接触抵抗

接点接触抵抗が低いことに加えて安定していることがより重要である。接点接触抵抗は1回の接触でも詳細にみれば**図7**のように時間とともに微妙な変化を生じており，さらに開閉ごとに大きくばらついている。したがって接触抵抗の測定は所定の回数だけ開閉させたのち，1回あるいは数回断片的に測定してそのデータから判断するという方法には当然無理があり，連続的にその変化を測定して判断しなければならない。**図8**はMS形リレーについて接触抵抗自動測定装置で測定した動作回数20万回付近の250回の測定結果を示し，**図9**はほぼ同一仕様の市販リレーの性能を比較のため測定したものである。MS形リレーが同種市販リレーに比べ非常に安定していることが明白である。

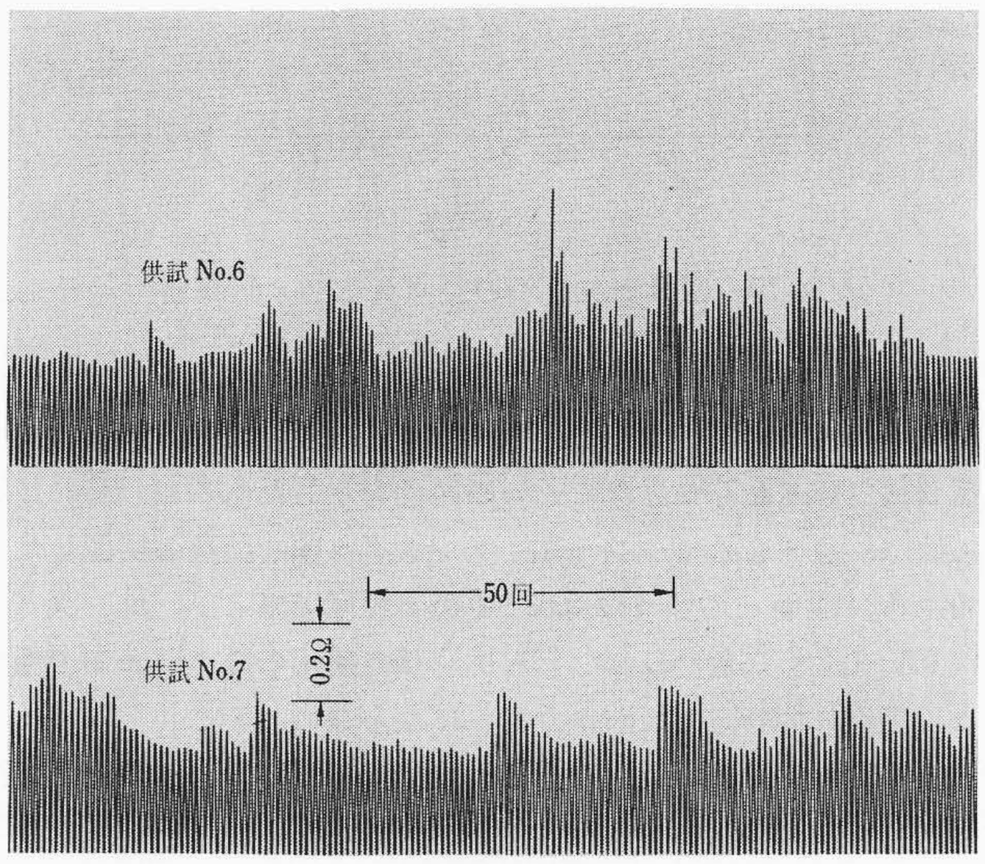
4.4　低電圧低電流および一般負荷回路における接触信頼度

一般にエレクトロニクス応用装置と組み合わせるリレー接点の回路電圧は24Vが多いのであるが，試験を過酷にするためDC 10V，15 μAを接点負荷としてMS形リレー30個の計30接点を直列に接続し1,000万回の開閉試験を行なっている。もちろんどの接点の一つでも接触不良を起こすと試験装置を停止させ，ブザーを鳴らすようにした自動試験装置で試験したものである。



接点負荷はDC 110 V，270 mA，L/R=0.01で配線抵抗を100 mΩ含んでいる。

図8　MS形リレーの接点接触抵抗



接点負荷はDC 110 V，270 mA，L/R=0.01で配線抵抗を100 mΩ含んでいる。

図9　同種市販リレーの接点接触抵抗

この結果1,000万回の動作中接触不良は皆無であり，低電圧低電流回路における1,000万回での接触不良発生率は片側信頼水準90%で0.74×10^{-8} (1/個•回) 以下といえる。

さらにMS形リレーでMS形リレーを順次動作させていくいわゆるアーレン・ブラッドレー回路での接触信頼度試験では100個で1,000万回，10,000個で20万回の開閉試験を実施したが，この結果でも接触不良は皆無であった。この結果DC 48～110 V回路に使用したときの1,000万回での接触不良発生率は片側信頼水準90%で0.23×10^{-8} (1/個•回) 以下といえる。またこのMS形リレーはすでに約50万個の納入実績をもっているが，動作ひん度の大きいものや小さいものを平均して1日300回動作するものとすれば，フィールドデータから取扱い不良も含めて故障発生率は3年間で0.85×10^{-9} (1/個•回) である。

4.5　接点負荷しゃ断試験と接点寿命

接点負荷しゃ断時のアーク時間特性は接点性能の一つとして重要

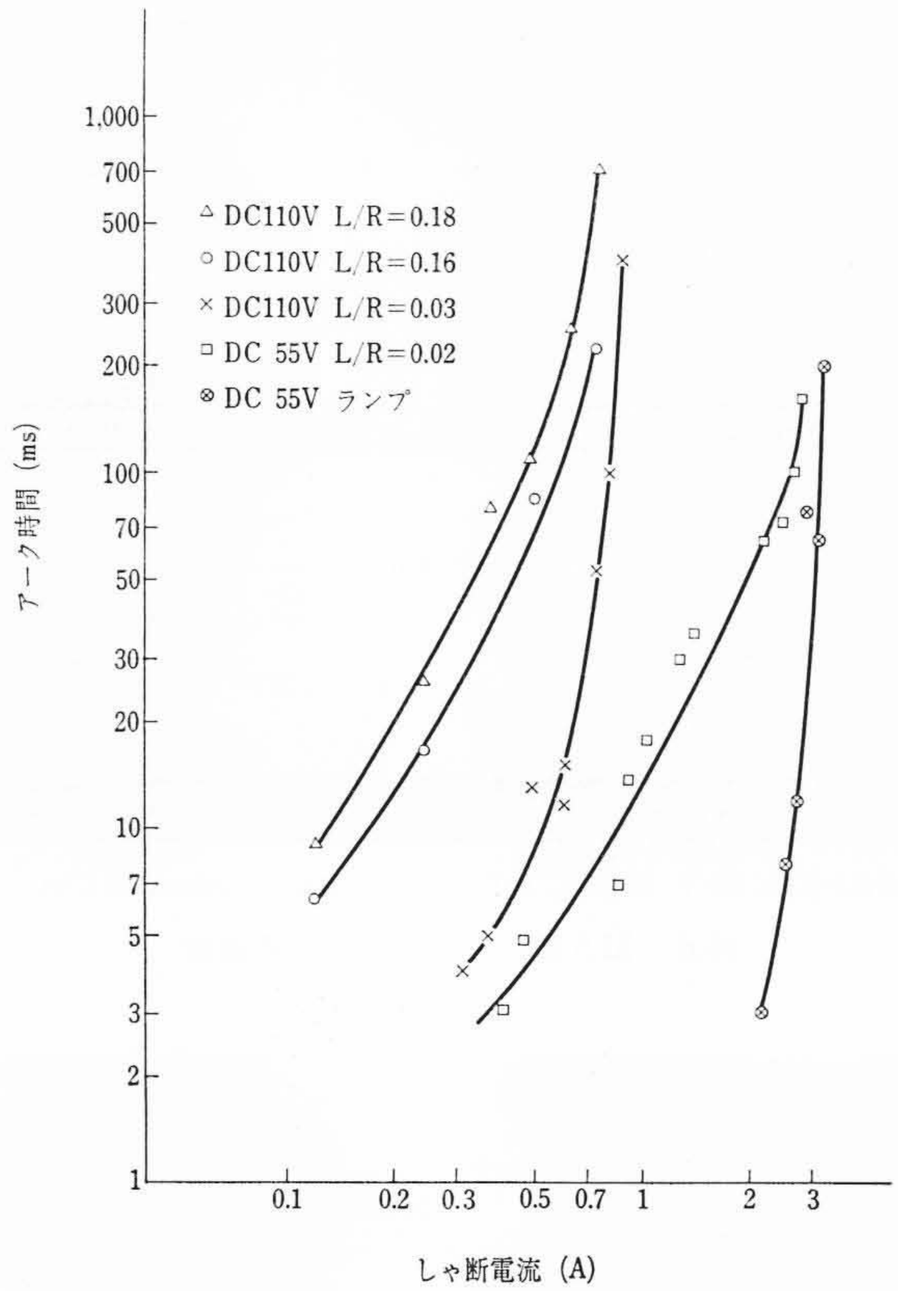


図10　MS形リレーの接点負荷しゃ断特性

であり接点寿命推定の資料ともなりうる。図10はMS形リレーで直流負荷をしゃ断したときのしゃ断特性を示したもので，図中L/Rの数値は，負荷としてリレー類，コンタクタ類を使用し実測したものである。リレーの多くは0.02～0.05 s程度であるが，コンタクタでは0.1～0.2 sに達するものもあり，接点使用の際には負荷の性格をよく把握(はあく)しておかなければならない。

表8は電気的に500万回の寿命を有するMS形リレーの接点負荷をまとめて示したものである。この寿命判定は接点厚みの減少が可動側と固定側の和で0.4 mmを限度として判定したものであり接点厚みは固定側，可動側ともにこれら摩耗をじゅうぶん考慮した厚みにしてある。

表8　電気的に500万回の寿命を有する接点負荷

接点負荷			備考
電圧 (V)	電流 (mA)	L/R	
DC 110	270	0.01	直流コイル負荷
DC 110	180	0.03	直流コイル負荷
DC 110	170	0.07	直流コイル負荷
DC 110	120	0.18	直流コイル負荷
DC 110	500	0	ランプ負荷
DC 55	220	0.03	直流コイル負荷
DC 55	700	0	ランプ負荷
AC 110	500	0.7	交流コイル負荷
AC 110	700	0	ランプ負荷

4.6 耐圧特性

JEM-1021によれば50V以下の回路ではAC 1,500 V，600 V以下の回路では2E＋1,000で試験することになっている。たとえばDC 110 V回路の耐圧試験値は1,200 Vである。

このMS形リレーはAC 1,500 V，50/60 Hz，1分間を保証しており，実用上は2,500 V，コンタクタ類をしゃ断したとき発生するようなサージ波形では3,000 Vに耐えることも実証済みであり，ほぼ同一仕様の従来のリレーに比べ使用範囲を大幅に拡張することができた。

5. 結　言

公共設備としてのエレベータにおいてはその安全性保証のための定期的な点検は必要であり建築基準法やJIS A4302(昇降機の検査標準)でもその定期検査を規定している。この点検や規定された定期検査は当然実施しなければならないが，今後も増加の傾向にあるエレベータの将来を考えてその保全性の向上とメンテナンスフリー化を達成するためエレベータの制御方式および制御機器について総合的，計画的に開発を進めていきたいと考えている。なお今後さらにフィールドデータによる実績を織り込んで，よりいっそうこれらを発展させて保全性の向上に対して積極的な検討を加えていきたい。

参　考　文　献

(1) D.R. Earles and M.F. Eddins: Reliability Physics, 9th NS on R & QC, 1963
(2) 信頼性管理便覧編集委員会: 信頼性管理便覧
(3) 石塚，高橋ほか: 日立評論 50, 846 (昭43-9)
(4) 高橋，頻羅堕: 日立評論 52, 996 (昭45-11)
(5) 保原: OHM 191 (昭41-11)