

ワイヤスプリングリレー生産における統計的手法の応用

Application of Statistic Method in Production of Wire Spring Relay

三井忠夫* 鈴木弘也*

Tadao Mitsui

Hiroya Suzuki

三谷正一* 清水昌*

Shōichi Mitani

Akira Shimizu

内 容 梗 概

近年、生産に対する統計的手法の応用分野は非常に広がっているが、製品を開発実用化して生産に移す場合、とくに実験計画、品質管理はきわめて重要な手法である。

日立製作所においては、早くから統計的手法の導入をはかり、保守が容易で高性能、かつ安定な製品を市場に送るため努力をばらってきたが、昭和29年以降実用化をはかったクロスバ交換機用ワイヤスプリングリレーの各検討に、実験計画法を用いて所期の目的を達成することができた。

すなわち実用化の段階を特性検討、製作検討、量産検討の3期に分け、各段階ごとに実験計画法による工場実験を行って、標準製造工程および、リレー特性値の保証範囲を決定し、必要な特性が得られていることを確認した。

1. 緒 言

近年、生産に対する統計的手法の応用分野は非常に広がり、実験計画法、管理図、抜取検査、資材管理、市場調査など各方面に及んでいる。いずれも生産活動に対して欠くことができないが、すぐれた性能の製品を開発実用化して大量生産に移す場合、とくに実験計画法および管理図の応用はきわめて重要な手法である。

日立製作所においては、保守が容易で高性能、かつ特性の安定な製品を市場に送るために、早くから統計的手法を導入し、その効果をあげているが、今回戸塚工場において、代表的な大量生産製品であるクロスバ自動電話交換機用ワイヤスプリングリレーの開発実用化に対し、大規模な工場実験を行い、このリレーの合理的な生産態勢をととのえ、各特性の保証範囲を求めるとともに、同種量産製品の実用化に有効な資料を得ることができたので報告する。各位のご批判をいただければ幸甚である。

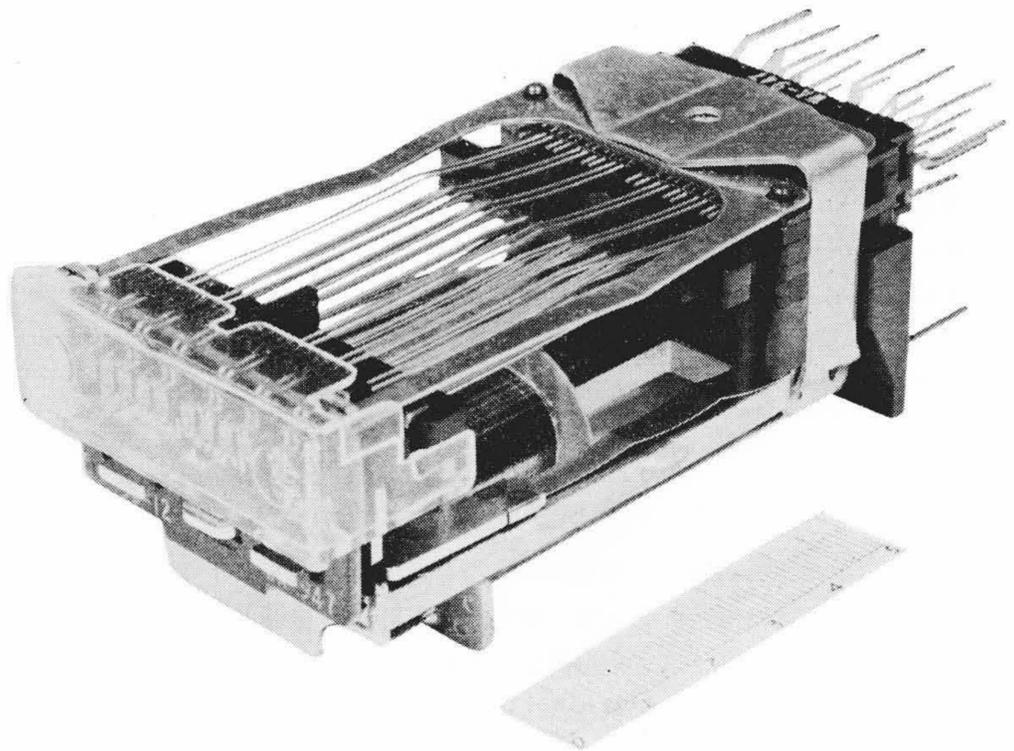
2. ワイヤスプリングリレーの概要

ワイヤスプリングリレー^{(1)~(4)(6)(11)}は、主としてクロスバ自動電話交換機用として、米国ベルシステムにおいて開発された電話交換機一般用リレーであって、従来使用されてきた一般用リレー、たとえば水平形リレーなどに比較し、はるかに保守が容易、長寿命、高性能かつ安定であって、クロスバ交換機にもっとも適した特性をもっている。日立製作所においては、昭和29年よりこのリレーの開発実用化を開始し、昭和32年に日本電信電話公社その他に最初の製品を納入、その後生産量も飛躍的に増加し、その製品は予期どおりの好成績で動作している。構造、特性の詳細については、すでに発表した⁽¹¹⁾ので、以下にワイヤスプリングリレーの設計目標、構造、種類、特長について概要を述べる。

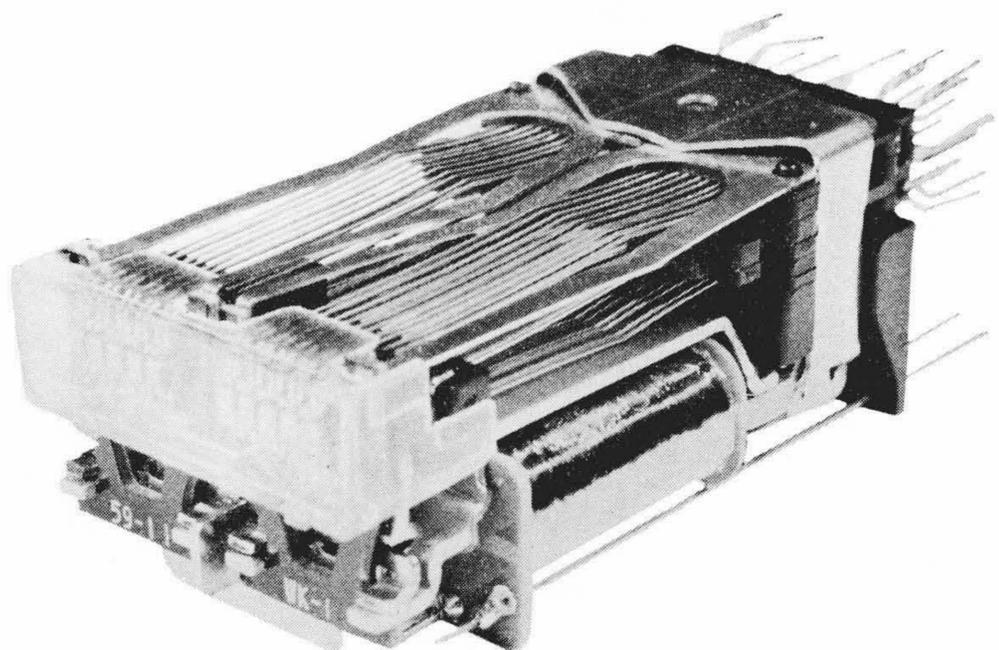
2.1 ワイヤスプリングリレーの特長

ワイヤスプリングリレーは、既存のリレーに対しつぎのような特

* 日立製作所戸塚工場



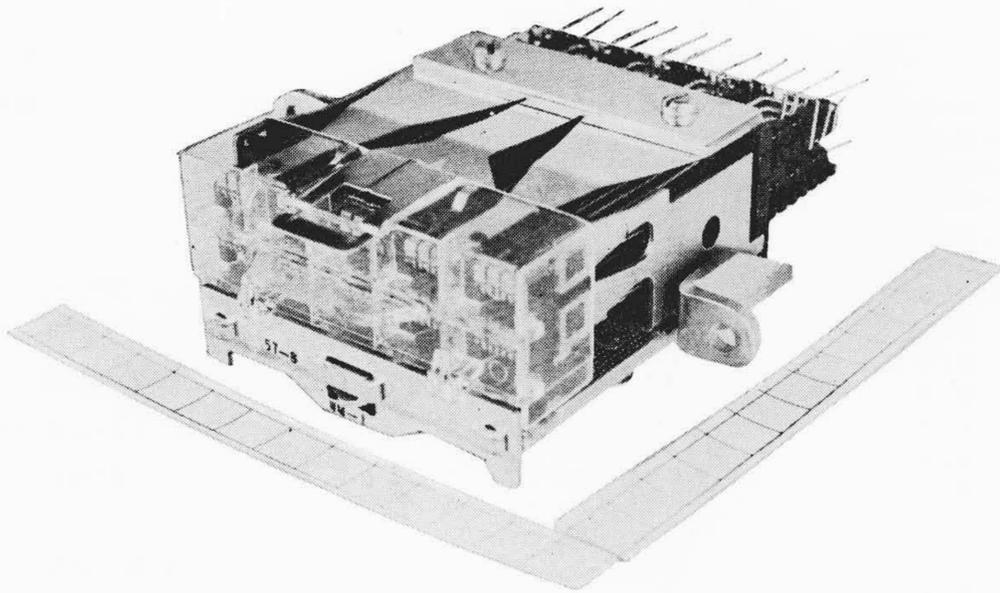
第1図 ワイヤスプリングリレー (WA形リレー)



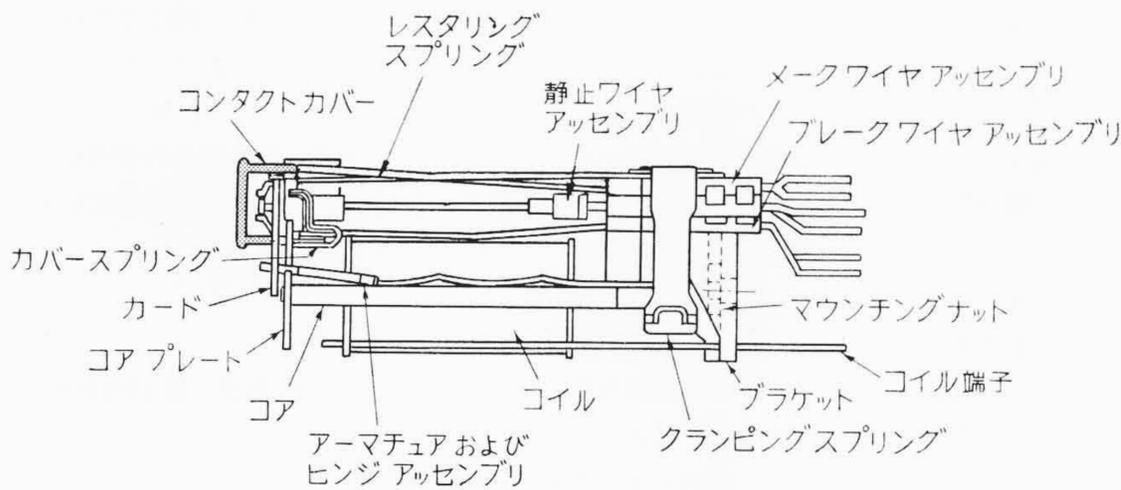
第2図 ワイヤスプリングリレー (WK形リレー)

長を有している。

- (1) 長寿命であること。
- (2) 接点の開閉動作が確実であること。
- (3) 消費電力が少ないこと。



第3図 ワイヤスプリング形マルチコンタクトリレー (WM形リレー)



第4図 ワイヤスプリングリレー (WA形リレー) の構造

第1表 ワイヤスプリングリレーの種類と構造上の特長

種類	用途	構造上の特長
WA系リレー	WA形リレー 速動用一般用 (接点18対以下の場合のみ)	(1) アーマチュアの脚部が短く、厚さが薄い。 (2) コアとの対向面に、ストップ・ピンをもつ。
	WG形リレー 遅緩復旧用	(1) アーマチュアの脚部が長く、厚さが厚い。 (2) コアとの対向面にはストップ・ピンはなく、球面状の押し出しがある。 (3) 標準のリレーでは、スリーブまたは銅環のついたコイルを用いる。必要とする復旧時間によって、4種類のスリーブ、または2,4枚の銅環を選択して用いる。
	WJ形リレー 速動用一般用(重負荷用) (接点19対以上の場合) マージナル動作用	(1) アーマチュアの脚部が長く、厚さが厚い。 (2) コアとの対向面に、ストップ・ピンがある。 (3) 必要により、ラミネート・コアを用いる。
WK形リレー	一般用 (トランスファ接点5組までをもつリレー2組として使用される)	(1) コアはそれぞれ別のコイルをもった2本のアームをもつ。 (2) それぞれのアームに、別々のアーマチュア・カードが組合わせられ、単独に接点パネを動作させる。おのおのの磁気回路をシールドするために、コアの2本のアームの間に、シールド板がある。 (3) ワイヤモールドは、標準のリレーのものを、そのまま用いている。
WM形リレー (ワイヤスプリング形マルチコンタクトリレー)	接続回路用	(1) WA系、WK形リレーと若干構造を異にし大形である。 (2) メーク接点30組をもつ。 (3) 共通配線に適した端子形状をもつ。

(4) 速動用としては動作および復旧時間が短いこと。

(5) 量産に適した構造であること。

この結果、調整箇所がほとんどなく、周囲条件による特性の変動が無視できる程度であって保守のきわめて容易なリレーである。

2.2 ワイヤスプリングリレーの構造

第1図にWA形リレー、第2図、第3図にWK形およびWM形リレーの外観を、また第4図にWA形リレーの構造を示した。すなわち、厚い打抜コアの上にアーマチュアがヒンジスプリングによって加圧されて磁気回路を構成し、また、端部をモールドされた細い可動ワイヤアセンブリ、太い静止ワイヤアセンブリをつみ重ね、可動ワイヤ2本が、静止ワイヤ1本と対向して1組の接点を形成している。可動ワイヤはカードを媒介として、アーマチュアによって駆動される。カードは、レスタリングスプリングによって、アーマチュアをつねに静止位置におくよう力が加えられ、バックストップがアーマチュアの静止位置を規定している。

2.3 ワイヤスプリングリレーの種類

ワイヤスプリングリレーは、WA系リレー⁽¹¹⁾、WK形リレー⁽¹¹⁾⁽¹⁷⁾、WM形リレー⁽¹²⁾の3種類に大別される。それぞれの種類と構造上の特長を第1表に示す。

3. ワイヤスプリングリレーの実用化研究の方針

ワイヤスプリングリレーは、従来の交換機用機器とは異なった画期的な構造をとり入れているので、リレーの実用化にあたっては、材料および生産方法について、まったく新しい技術研究を必要とする⁽¹¹⁾。また、このリレーは、ほとん

んど無調整で、大量生産されるので、最適な標準製造工程の確立と重要な品質管理ポイントの決定によって、安定な特性のリレーを生産する態勢をととのえなければならない。かつ、標準工程によって製造を行った場合のリレーの特性保証値を求めて、所期の必要条件が集団として保証されていることを確認する必要がある。

以上の実用化目標を実現するために、日立製作所においては、実用化の段階を3期に大別し、つぎのように各段階の検討を推進した⁽⁴⁾⁽⁶⁾。

3.1 特性検討段階

リレーを構成する各部品に対して既報の^{(9)~(11)(13)~(16)}のように各種材料の開発製造方法測定方法の検討を行い、また要求される寸法その他の特性、使用する材料の特性について、設計標準値を求め、つぎにこれを実現するための材料および部品の生産方法を検討実用化するとともに、工場実験によってこれらの特性と、リレーの最終特性との関連性を総合的には握する。この結果から所要のリレー特性を得るために必要な材料および部品特性の設計標準値を確定し、生産方法の概要を決定して、リレーの生産がほぼ可能な態勢とする。

3.2 製作検討段階

特性検討によって求めた設計標準値にしたがい、リレーを生産するときの各生産工程における、作業条件作業方法などの因子と、各部品およびリレー特性との関係を一貫した工場実験により求めてこの結果から、材料および部品に要求する中間特性値、標準製造工程および品質管理ポイントの確立をはかり、最良の作業標準を定めて生産を合理化し、リレーの大量生産を可能とする。

3.3 量産検討段階

前節によって決定した標準製造工程により、リレーの大量生産を実施したときの、リレーの特性保証値をロットの変動をも考慮した大規模な工場実験により求め、これが必要条件を満足していること

第2表 特性検討実験わりつけ表

項	要因名	わりつけられた番	備考
1	アーマチュア先端寸法	1	両群に直交
2	コアの磁性	13	両群に直交
3	アーマチュアバックテンション	11	両群に直交
4	リレー接点組数	12	両群に直交
5	コアプレートタンク高さ	2	第1群
6	コア厚さ	10	第1群
7	アーマチュアとヒンジバネの空げき	8	第1群
8	ヒンジバネの厚さ	6	第1群
9	ヒンジバネの圧力	7	第1群
10	アーマチュアの磁性	5	第1群
11	コアの平坦度	9	第1群
12	メークモールド先端寸法	14	第2群
13	メークモールド予備変位	16	第2群
14	ブレークモールド先端寸法	15	第2群
15	ブレークモールド予備変位	17	第2群
16	静止モールド接点整列性	18	第2群
17	静止モールド接点寸法	20	第2群
18	カード寸法(1)	19	第2群
19	カード寸法(2)	21	第2群
20	カード寸法(3)	22	第2群

項5~11はこの中で互に、また項12~20はこの中で互に直交するが、項5~11と、12~20とは直交しない。項1~4は全部の要因と直交する。

を確認して標準工程を確定する。これにより、はじめて完全に保証された特性を有するリレーを生産することが可能となり、開発実用化の段階が完了したことになる。

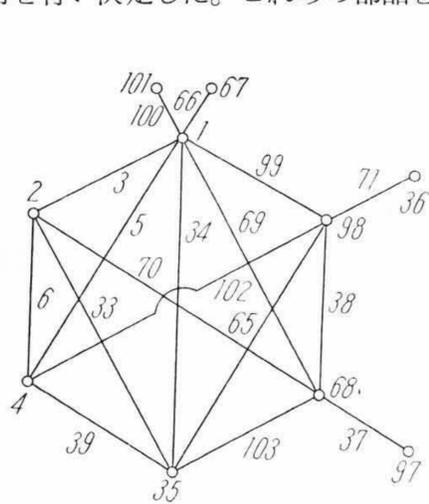
ワイヤスプリングリレーを実用化するための、これらの検討は、日本電信電話公社電気通信研究所のご指導をいただき日立製作所日立研究所、中央研究所、多賀工場、山崎工場、亀戸工場、日立電線株式会社、日立金属工業株式会社およびその他の各関係会社の協力のもとに、また、戸塚工場においては、研究、設計、生産、製作、検査それぞれの担当部門が、密接な連けいを保ちながら進められた。

とくに、検討実験の後期においては、日立製作所中央研究所の電子計算機研究グループの協力によって、実験データの処理に電子計算機HIPAC 101が導入され、計算期間の短縮をはかることができた。

以上の各検討段階ごとに、その要求条件に適合するような計画のもとに、工場実験および寿命試験を実施し、所期の目的を達成して来たが、以下第4~6章に、ワイヤスプリングリレーのうち、もっとも代表的なWA系リレーに対する実験の経過および結果を報告する。

4. 特性検討実験

材料およびリレーの設計標準値は、各部品または中間組立品について、個々に検討を行い決定した。これらの部品をリレーに組立て



第5図 直交配列表 H_{2.128} の線点図

た場合に、はたして所要のリレー特性が得られるか、また個々の部品の特性が標準値からずれた場合に、リレー特性値にいかに関与するかを総合的には握するために、特性検討実験を行った。その概要はつぎのとおりである。

4.1 実験の計画

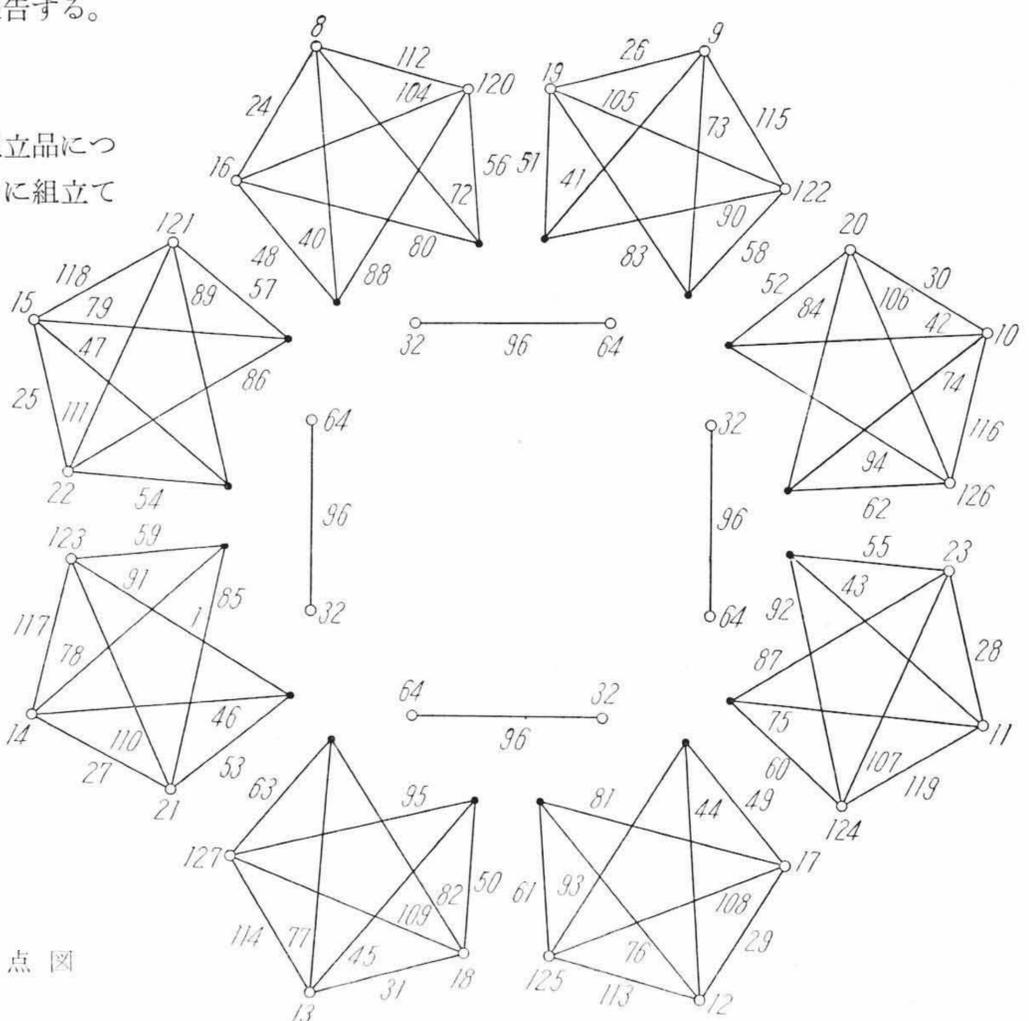
4.1.1 計画上の特色

この実験は、つぎのような諸点を考慮してH_{3.27} (3²²) たい(殆)直交配列表にしたがって実施した⁽⁸⁾。

- (1) 材料、部品の特性と、リレーの特性との関連性を求めるはじめての総合的実験なので、要因数を多くとり、しかも実験規模はあまり大きくせずに行う必要があったので、この配列表を使用した。
- (2) 各要因については、標準値を中心とした変動の効果を見る必要があるため、3水準とした。
- (3) たい直交配列表によれば、すべての要因を直交させることはできず、直交する列は2群に分れるので分析計算はやや複雑になる。しかし、この検討実験においては、とりあげた要因が、リレーの機械的特性(負荷特性)に効果をもつものと、吸引力特性に効果をもつものとに大別できるので⁽⁵⁾⁽⁷⁾、それぞれの要因を、たい直交配列表の2群にわりつければ、分析計算の困難性はあまり問題にならない。

4.1.2 計画の概要

- (1) 実験の特性値
リレーの最終特性および、中間特性(負荷特性、吸引力特性)を実験の特性値とした。
- (2) 要因および水準
おもな部品特性値を要因とし、水準は完成した部品の層別によった。
- (3) わりつけ
各要因を、前記のとおり、機械的特性に効果をもつものと、吸引力特性に効果をもつものとに大別して、第2表のようにわりつけた。
- (4) くり返し数
5回くり返しとし、これを短トラベル2、中トラベル3に分け



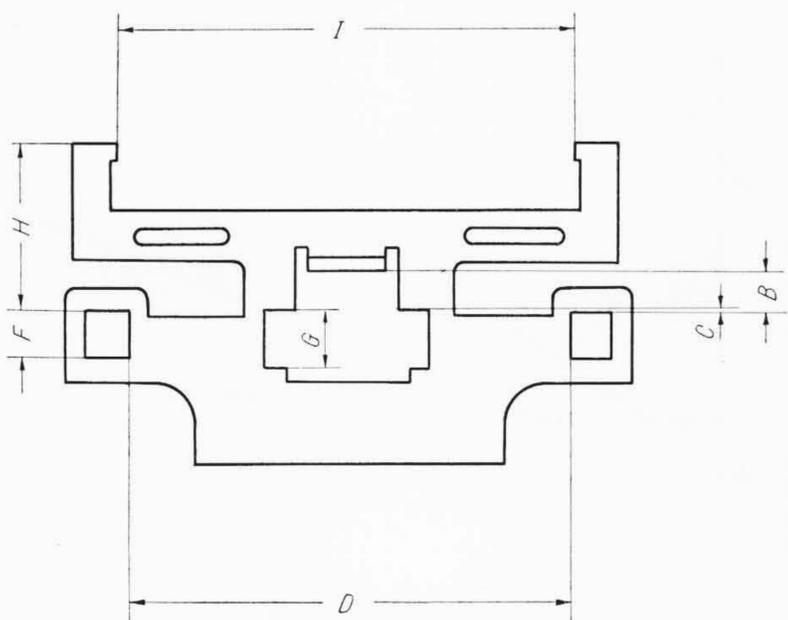
第3表 製作検討実験および量産検討実験にとりあげたリレーの特性値

特性値名	記号
初感動アンペアターン	Δ_0
感動アンペアターン	Δ_2, Δ_4
初開放アンペアターン	Δ_f^*
開放アンペアターン	Δ_1, Δ_3
負荷特性	$P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_f$
接点圧力特性	X_0, X_1, X_2, X_3, X_4
動作時間	$X_{(E)}^*, X_{(L)}^*$
復旧時間	P_c
その他	Top
	Trel
	—

注：*印は、量産検討実験のみ採用

第4表 製作検討実験にとりあげたコアプレートの要因および水準

要因名	記号	水準	
		1	2
材料厚さ	A	規格幅小のもの	規格幅大のもの
材料硬度	B	大	小
抜き工程ストローク	C	大	小
曲げ工程ストローク	D	大	小
メッキの種類	E	ニッケルメッキ	クロムメッキ
メッキ時間	F	長	短



第6図 製作検討実験にとりあげたコアプレートの特性値

た。すなわち、要因のうち、トラベル指定は直交配列表の列外におき、全要因に直交させた。これでWA形リレー、5個、合計135個となった。

4.2 結果

以上の計画によって実験を行い、つぎの結論を得た。

- (1) リレーの最終特性値の大要は、静的な吸引力特性により決定されることがわかった。
- (2) 部品の各寸法の負荷特性に及ぼす効果が、総合的に明らかになった。
- (3) リレーの最終特性は、ほぼ所期の値を満足していることが明らかになった。

これらの結果から、つぎの製作検討にとりあげべき主要部品とその所要特性、部品につき改善を要する点が明らかになった。

5. 製作検討実験

5.1 計画

5.1.1 計画上の特色

第3.2節に述べた目的達成のために、生産工程中の諸因子を要因にとり、部品の中間特性およびリレーの最終特性を、実験の特性値として、直交配列表にしたがって工場実験を実施した。この

第5表 量産検討実験にとりあげた要因

要因名	水準数	備考
接点組数	4	水準値は、WA形とWG形、WJ形リレーとで異なる。
コイル種類	4	上に同じ。
ストップピンの高さ	3	WA形、WJ形リレーのみ。
トラベル	2	
カードの種類	3	
リレー調整者	4	
主要材料ロット	4	
製造時期	4	
接点溶接機械	2	

実験においては、各要因の、部品特性に対する効果と、リレー特性値に対する効果とを同時に得ることが必要であるため、各部品はほかの部品に関係なくそれぞれの工程で、部品としての実験が進められ、最後に全体が、リレーとしての実験にまとめられるような実験構造とした。すなわち、多方向分割法を採用し、 $H_{2.128}$ 直交配列表を8個の $H_{2.16}$ 、1個の $H_{2.32}$ 直交配列表に分割できるようにした。第5図に、この分割法の構造を線点図によって示す。

5.1.2 計画の概要

(1) 実験の特性値

前述のように、部品およびリレーの特性値を実験の特性値としてとりあげた。

特性値の一例を第3表および第6図に示す。

(2) 要因および水準

生産工程中の作業条件、作業方法を要因とした。要因および水準の一例を第4表に示す。

(3) わりつけ

各要因を、 $H_{2.128}$ 直交配列表にわりつけた。わりつけの詳細は省略するが、分割された各群がそれぞれの部品に対応するようになっている。

(4) くり返し数

WA形リレー	3個	合計 384個	} 総計 512個
WG形リレー	1個	合計 128個	

5.2 結果

(1) 各部品およびリレー特性と、工程要因との関係が得られたので、これより、標準工程を決定した。標準工程は、つぎのような条件を満足する工程水準に決定されており、十分なリレー特性が期待できる。

- (a) 所要のリレー特性が得られること。
 - (b) リレー特性のばらつきが最小となること。
- (2) また、部品に要求する中間特性値、リレーの所要特性を維持するために必要な、重要な品質管理項目を決定した。

5.3 寿命試験

上記の実験によって決定した、標準製造工程によれば、単に製造直後の特性が十分なだけでなく、使用中の変動が少なく、所期間の長寿命が満足されていることを確認する必要があるため、本実験の試作リレーについて全数寿命試験を実施し、現在、満足できる状態で進行中である。

6. 量産検討実験

6.1 計画

6.1.1 計画上の特色

前述の目的のために、製作検討実験により求めた最良の特性値が得られる標準工程によってリレーを製造し、その特性保証値を求めた。この実験の計画上の特色は、つぎのとおりである。

(1) 製造時に制御できない製造条件の変動を考慮した。

この実験では、今後生産されるリレーに対する、ロット間の変

動その他を考慮することが、特性値の保証範囲を求めるためにもっとも重要なので、本実験においては、引続き大量生産を行ったときに特性変動の原因となることが予想され、しかも製造時に制御できない製造条件をできるだけとりあげ、これらの条件の変動が、特性保証値に加味されるようにした。すなわち、材料ロット、製造ロット、製作機械、組立調整者の熟練度などの差を実験要因としてとりあげ、リレーの最終特性を実験の特性値として、直交配列表に基いて工場実験を実施し、これらの変動要因の効果に関する資料を得ておくとともに、変動要因の効果をも含めた特性保証値を求めた。

(2) リレーの設計仕様を要因にとりあげた。

特性保証値は、特定のリレーについてではなく、回路上要求される各種の仕様、たとえば接点構成、コイル抵抗値、作動電流値、作動時間値などによってきまる、数多くのコードのリレーに対して求める必要があり、これらの情報を効率よく得るために、上記のような各種の設計仕様を同時にこの工場実験の要因としてとりあげた。

(3) 特性保証値の計算の多くは、相関分析の積重ねによった。

所要の特性保証値を求めるには、リレーの最終特性を実験要因によって直接分析せずに、中間特性値を媒介として相関分析を積み重ねる方法を用いた。たとえば、感動アンペアターンの保証値を求める場合には、これを直接に要因（接点組数、カード種類など）により分析するのではなく、感動アンペアターンと負荷、ゲー징との関係、つぎに負荷、ゲー징と要因との関係を相関分析によって求めて、これらを総合して感動アンペアターンと要因との関係を得た。このような方法による利点は、

- (a) 特性値と要因との関係を、その構成過程に従って解析的に求めることができる。
- (b) 技術的に推定される諸特性間の個々の関係を具体的には握ることができ、一部の特性値を変化させた場合のほかの諸特性の変化量が容易に推定できる。

6.1.2 計画の概要

(1) 実験の特性値

リレーの最終特性値および、第6.1.1節(3)項のために必要な中間特性値を、実験の特性値とした。これを第4表に示す。

(2) 要因および水準

前節のとおり、制御できない製造条件、リレーの設計仕様を要因にとりあげた。要因および水準の概要を第5表に示す。

(3) わりつけ

各要因を直交配列表 $H_{4.64}$ にわりつけた。詳細は省略する。

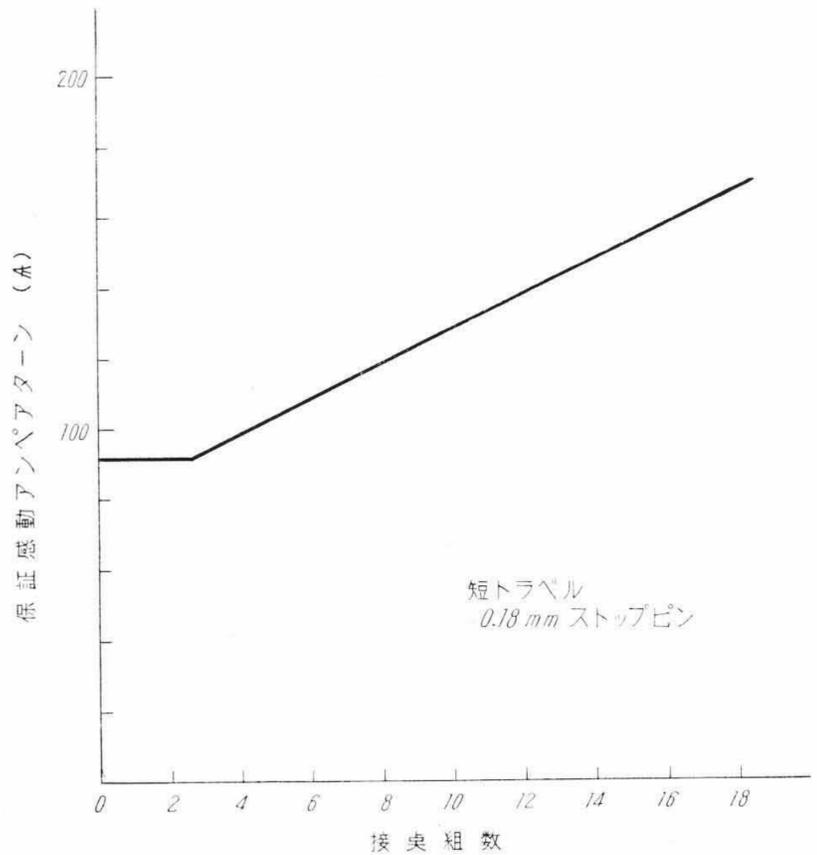
(4) くり返し数

本実験においては、特性保証値を求めるためにばらつきの検討に重点をおいたこと、および層別をくり返して相関分析を行うことが予想されたので、くり返し数をつぎのように多くした。

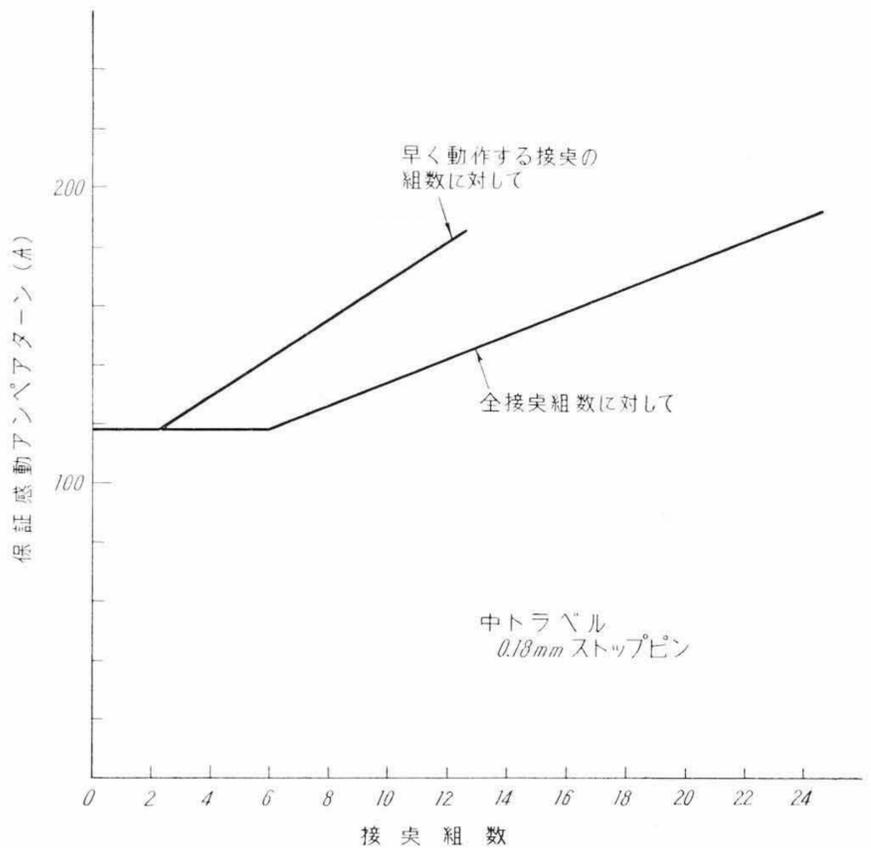
WA形リレー	4個	合計 256個	} 総計 896個
WG形リレー	6個	合計 384個	
WJ形リレー	4個	合計 256個	

6.2 計算に対する電子計算機の導入

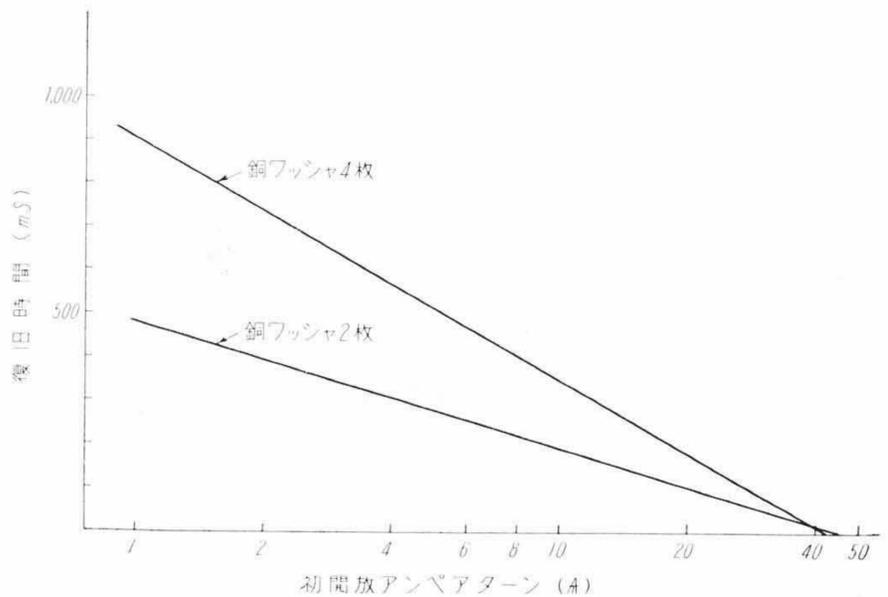
前節の計画からわかるとおり、この実験の規模は相当大きく、特性値も多いので、電動計算機を用いても計算工数は膨大なものとなる。また、今後各種の製品について大規模な工場実験が予想されるので、本実験においては、計算工数を数十分の一にすることを目標に電子計算機（日立製作所製 HIPAC 101）の導入を検討した。とりあえず分散分析計算について、プログラミングを作成した結果、測定データをテープにパンチするだけで必要な計算がただちに行いえるようになり、テープのパンチの時間を含めても、電動計算機に



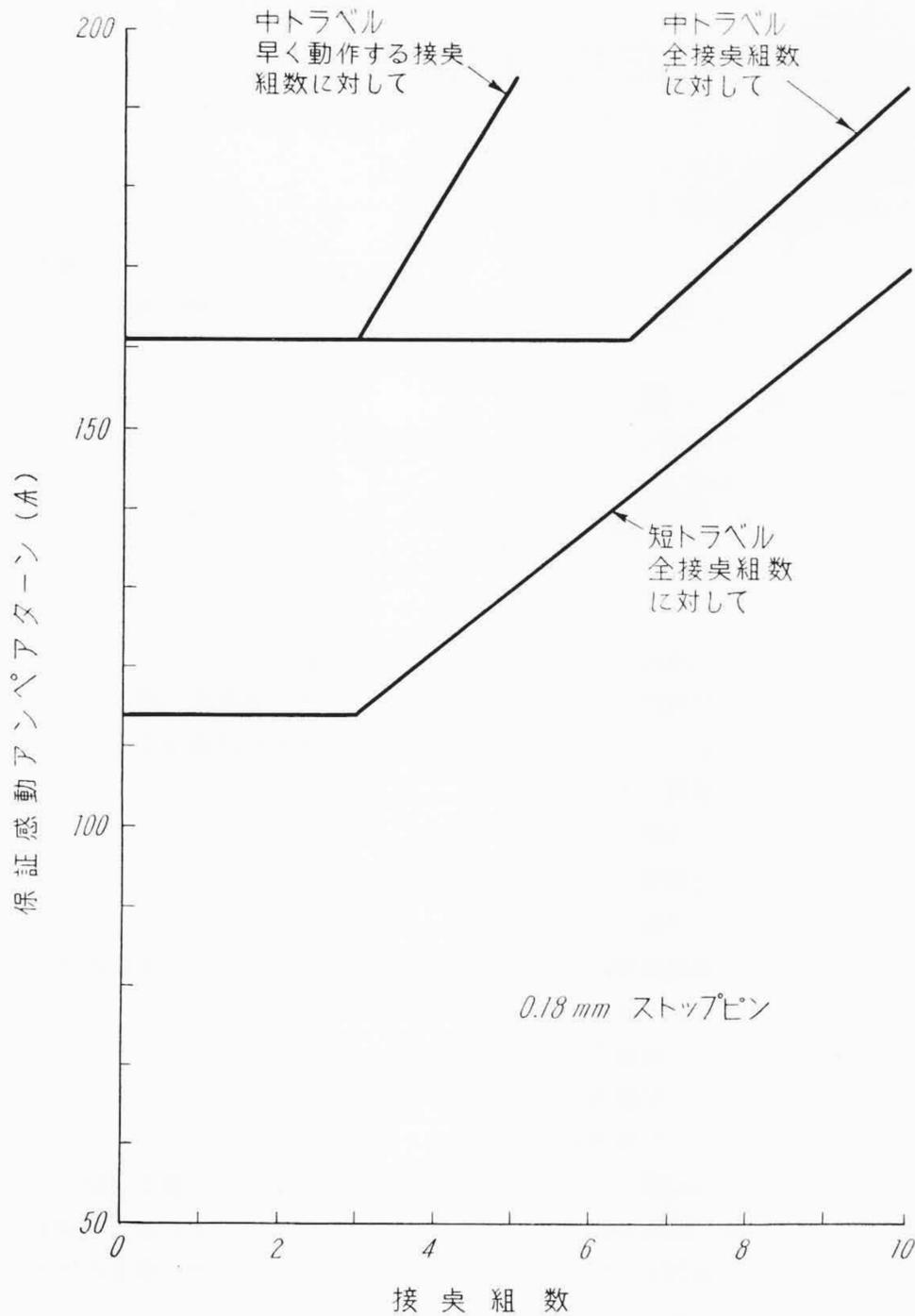
第7図 WA形リレーの保証感動アンペアターン



第8図 WJ形リレーの保証感動アンペアターン



第9図 WG形リレーの初開放アンペアターンと復旧時間との関係



第10図 WK形リレーの保証感動アンペアターン

くれば約 $1/20$ の工数で計算が可能となった。

6.3 結 果

以上の計画にしたがって実験を実施し、所期の各種資料を得ることができた。つぎにその結果概要を示す。

(1) 制御できない製造条件の効果を確認し、安定した特性のリレーが生産されていることを確かめ得た。

(2) 諸特性値間の関連性に関する、多数の技術資料を得た。

たとえば、WA形リレーにおける、リレー動作時の最大負荷 P_f (g) は、つぎの多項式により求められる。

$$P_f = 222 + 1.02(P_0 - 50.0) + 15.22(N - 9.5) + 40.0(\delta - 0.969) + 2.41(N - 9.5)(\delta - 0.969)$$

ここに

N : 接点組数

δ : アーマチュア・トラベル(mm)

P_0 : アーマチュア・バックテンション(g)

(3) リレーの特性保証値を得た。これにより、所要の特性目標が達成されていることを確認できた。求められた特性保証値については次章に述べる。

7. ワイヤスプリングリレーの特性保証値

WK形リレーおよび、WM形リレーについても、上述のWA系リレーと同様の検討実験を行って、特性保証値を算出し、いずれも回路上必要な条件を満足する十分な性能をもって生産されていることを確認した。代表的な特性保証値を、以下第7~10図に示す。

8. 結 論

以上実験計画法を応用した各検討実験によって、ワイヤスプリングリレーの実用化は、必要な技術的情報を効率よく得るとともに、各特性の保証範囲を決定し、合理的な生産態勢を短期間に確立することができた。この各検討実験による効果を要約するとつぎのとおりである。

(1) リレー製造の各工程における作業条件と、部品およびリレーの諸特性値との相互の関連性を確実に把握することができた。

(2) もっとも合理的、かつ大量生産に適した安定な標準製造工程が決定できた。

(3) リレーの品質管理に必要な管理項目が決定できた。

(4) 上によって決定した諸条件で生産を行った場合の、ロットの変動をも含めたリレー特性値の保証範囲が求められ、保守が容易で高性能、安定なリレーの生産態勢が確立できた。

(5) 今後、同種新製品の開発実用化を、もっとも短期間に有効に推進するための、種々の実験方法およびデータ処理方法を会得することができた。

9. 結 言

現在、ワイヤスプリングリレーは、実用化および量産化の段階を終り、クロスバ交換機はもとより他方面の用途にますます増加する需要に応じて、生産態勢のいっそうの強化に努力を続けているが、今後さらに検討、改善を加えて、保守の容易な製品を、経済的に生産できるように努めるつもりである。

また、実験計画法、管理図の応用をはじめ、データの処理に対する電子計算機の導入に対してもさらに研究を進め、情報効率の向上と検討期間の短縮とによって、保守の容易な高性能の製品を経済的かつ短期間に納入できるように努力したい。

終りに、種々のご指導をいただいた日本電信電話公社電気通信研究所もと室長補佐篠原博士はじめ、窪小谷調査役、田口主任、関屋主任、ご協力をいただいた関係各会社、日立製作所社内関係事業所の方々、電子計算機にご指導ご協力を得た中央研究所主任研究員島田博士、ご激励いただいた小林戸塚工場副工場長、久米生産技術部長、中野有線部長、関係幹部およびとくにご推進をいただいた故田島有線部副部長にあつくお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) A. C. Keller: B. S. T. J. Vol. 31, 6 (1952-11)
- (2) I. S. Rafuse: B. S. T. J. Vol. 33, 5 (1954-9)
- (3) T. H. Guettick: B. L. R. Vol. 46, 12 (1958-12)
- (4) 小林, 篠原: WA系継電器, 通研月報 (昭32-8)
- (5) 篠原: 電磁継電器に関する研究, 通研研究実用化報告 第8巻 第1号 (1959)
- (6) 篠原: ワイヤスプリング継電器, 電気通信学会 (昭35)
- (7) 篠原: 電磁継電器の動特性, 通学誌 41, 2 (昭33-3)
- (8) 田口: 実験計画法 (上) (下), 丸善 (昭32, 33)
- (9) 二見: 日立評論 39, 905 (昭32-8)
- (10) 北条: 日立評論 39, 1151 (昭32-10)
- (11) 小林, 田島, 三井, 鈴木: 日立評論 40, 385 (昭33-3)
- (12) 三井, 飯島: 日立評論 40, 535 (昭33-4)
- (13) 日比野, 飯島, 岡島: 日立評論 40, 849 (昭33-7)
- (14) 中村, 長屋: 日立評論 40, 994 (昭33-8)
- (15) 鈴木, 岡島: 日立評論 別冊 27, 29 (昭33-11)
- (16) 西口, 飯島: 日立評論 41, 429 (昭34-3)
- (17) 三井, 菊地, 林: 日立評論 42, 758 (昭35-7)