

電動機用熱動形過負荷・欠相保護継電器

「日立2Eサーマルリレー」

Overload and Phase Failure Sensitive Thermal Relays

—Hitachi 2E Thermal Relays—

寺上義和* Terakami Yoshikazu

近年では、電動機過負荷時の焼損保護に加えて、欠相時の保護に対する要望も多くなってきている。

日立製作所は、これらの要望に応じた小形で経済的な保護リレーとして、サーマル式過負荷・欠相保護(2E)リレーの開発に取り組み、欠相検出用差動機構導入に関する技術的な問題を解決することにより製品化に成功した。

本稿は、低圧三相電動機保護リレーの動向について概略を述べ、高度化しつつある顧客の要望に十分対処できる「日立2Eサーマルリレー」の構造、性能、取扱い性及び安全性などについて紹介する。

1 緒言

電動機を使用する分野で、システムの最適運用の見地から、電動機保護に対するニーズはしだいに高度なものとなりつつある。現在、実用されている保護機器としては、小形で安価なサーマル式のものから高価な半導体式のものまで各種あるが、使用量ではサーマル式が圧倒的に多い。

しかし、サーマル式のものでは欠相に対する保護が不完全であるという欠点があり、性能面で他の方式に一步譲っている感があった。また、上記欠点を補うために欠相検出用の差動機構を採り入れる考案は昭和32年ごろから種々発表されていたが、高性能化を図ればサーマル式本来の小形、安価という長所を生かしにくく、実用化には大きな壁があった。

国内では永年にわたって小形で安価な2素子形サーマルリレーが使用されてきた背景もあって、過負荷・欠相保護(以下、2Eと略す)サーマルリレーの製品化はヨーロッパに比較し遅れていたが、日立製作所では昭和46年に3素子形サーマルリレーを標準品として市場に送り、同時に2Eサーマルリレーの研究にも着手し、以後、基礎的な研究を重ねることにより製品化に成功した。本開発品は、寸法的には従来の3素子形サーマルリレーとほぼ同様という画期的な小形ながら、安定した特性と優れた取扱い性及び安全性を備えており、高度化したニーズにも十分に応じられるものである。

なお、過負荷・欠相・逆相保護(以下、3Eと略す)リレーとしては、現在半導体式3Eリレーが使用されている。これは、半導体式の動作原理上、逆相動作機能を付加させることは極めて容易なため、早くから市販されてきたことによる。

3Eリレーが必要となるのは、過負荷や欠相による電動機の焼損保護のほかに、電動機の逆回転による機械の故障や事故の防止をも目的とする場合であるが、この分野でも寸法及び経済性の面から2Eサーマルリレーに逆相動作ユニットを追加した3Eリレーに切り換わっていくと予想される。

2 電動機保護リレーの動向

2.1 国内における動向と欠相保護に関する考え方

従来、電動機焼損防止のために使用される保護リレーは、

過電流検出素子を3線中2線だけに入れた2素子形サーマルリレーがほとんどであった。これは三相過負荷保護については2素子で十分であることと、欠相によって電動機が焼損するケースは極めてまれであり、経済性も考慮すれば2素子が良いとされていたからであった。この背景の一面には、配線用しゃ断器の普及が進み、欠相になる機会が少なくなってきたこともあった。

しかし、回路の断線、接続不良、接触不良などによる欠相事故は皆無でなく、更に Δ -Y、又はY- Δ 接続変圧器の一次側欠相や電動機の複数接続という特殊なケースの欠相などでは一相だけ過電流となることが理論的、実験的に指摘され、3線のすべてに過電流検出素子を入れることが推奨された^{1)~3)}。

これが欠相保護に関する当初の考え方であり、国際的な規格ともいえる国際電気標準会議(IEC)にも昭和44年に3線中2線だけ通電した場合の動作に関する項目が追加され⁴⁾、これに準拠させるためには3素子とすることが必要となった。

この動きに従って国内各メーカは、注文に応じて3素子形サーマルリレーを供給できるように生産体制を整え、日立製作所では昭和46年から3素子形を標準品として生産し、欠相保護に対する考え方の面で他社よりも一歩進んだ体制をとっている。

しかし、欠相状態での電動機の温度上昇に関する研究が更に進むにつれ、中容量以上のかご形誘導電動機などは、使用負荷条件によっては3素子としても欠相時の保護ができないとの指摘がなされ^{5),6)}、欠相時にも焼損を防止するリレーとして、差動タイプ2Eリレーなどの使用が示唆された。

これが欠相保護に関する最近の考え方で、昭和50年にはIECにも欠相保護付サーマルリレーの動作に関する項目が更に追加された⁷⁾。

国内でも建設大臣官房官庁営繕部発行の電気設備工事機材標準に单相運転防止電流の形でIECと同じ内容が定められ⁸⁾、2Eリレーを要求されるケースはしだいに多くなってきている。

一方、水中ポンプなどの熱容量が小さな電動機に対し、短時間動作が可能な面で優位性を持つ半導体式保護リレーは、

* 日立製作所中条工場

大形で高価ではあるが、動作原理上欠相保護機能を付加させることが容易で、半導体式2Eリレーとして市販されている機種はいずれも極めて小さな電流ではば瞬間的に動作するものとなっており、厳密な欠相保護の要求に対して一部使用さ

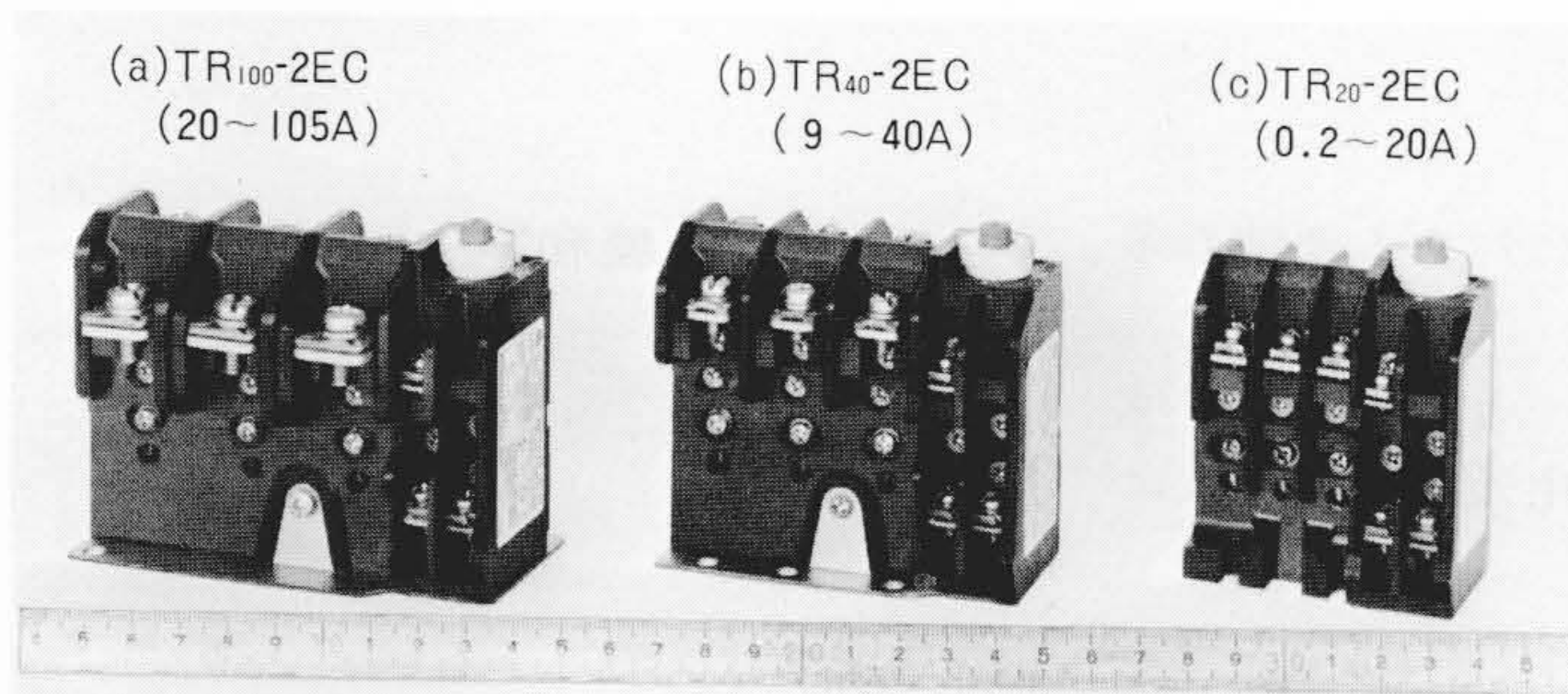


図1 日立2Eサーマルリレー 基本機種は上記の3種類とし、変流器とTR20-2ECとの併用を含めて200V級の場合、132kWまでに適用できる。

れている。

2.2 外国での2Eサーマルリレーの動向

ヨーロッパでは昭和20年代の後半には既にサーマル式の欠相保護リレーが発売されていた。これは発電所などの特に重要な設備に使われる電動機の保護リレーで、寸法的にも極めて大きなものであった。

昭和30年代に入るとしだいに小形化された製品が出現し始め、現在の2Eサーマルリレーの原型的なものが、EAC社(イギリス)、MTE社(アメリカ)、FPE社(アメリカ)などから発売されたが、寸法的には現在のものより、はるかに大きなものであった。

しかし、昭和40年代の中ごろを過ぎると更に小形化が進み、Siemens社(西ドイツ)、Telemecanique社(フランス)などが従来の過負荷保護用サーマルリレーと同等の寸法のものを発売し、今日に至っている。

ヨーロッパでの2Eサーマルリレーの発展が特に進んでい

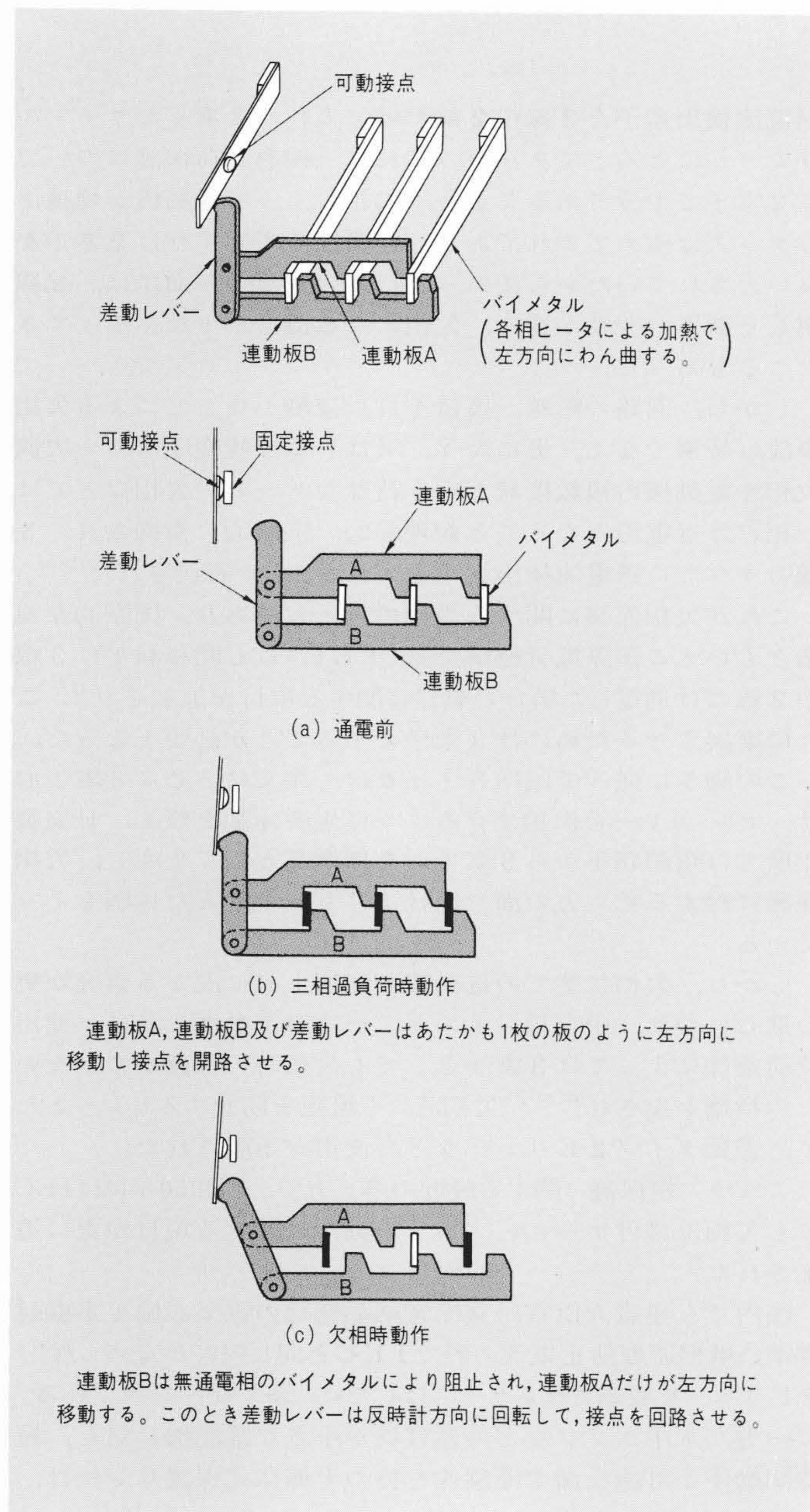


図2 欠相検出方式-1の構造と動作原理 この方式はストレート状差動レバーを使う。構造が簡単で小形化が容易であるが、欠相動作性能確保の面で制約が多い。

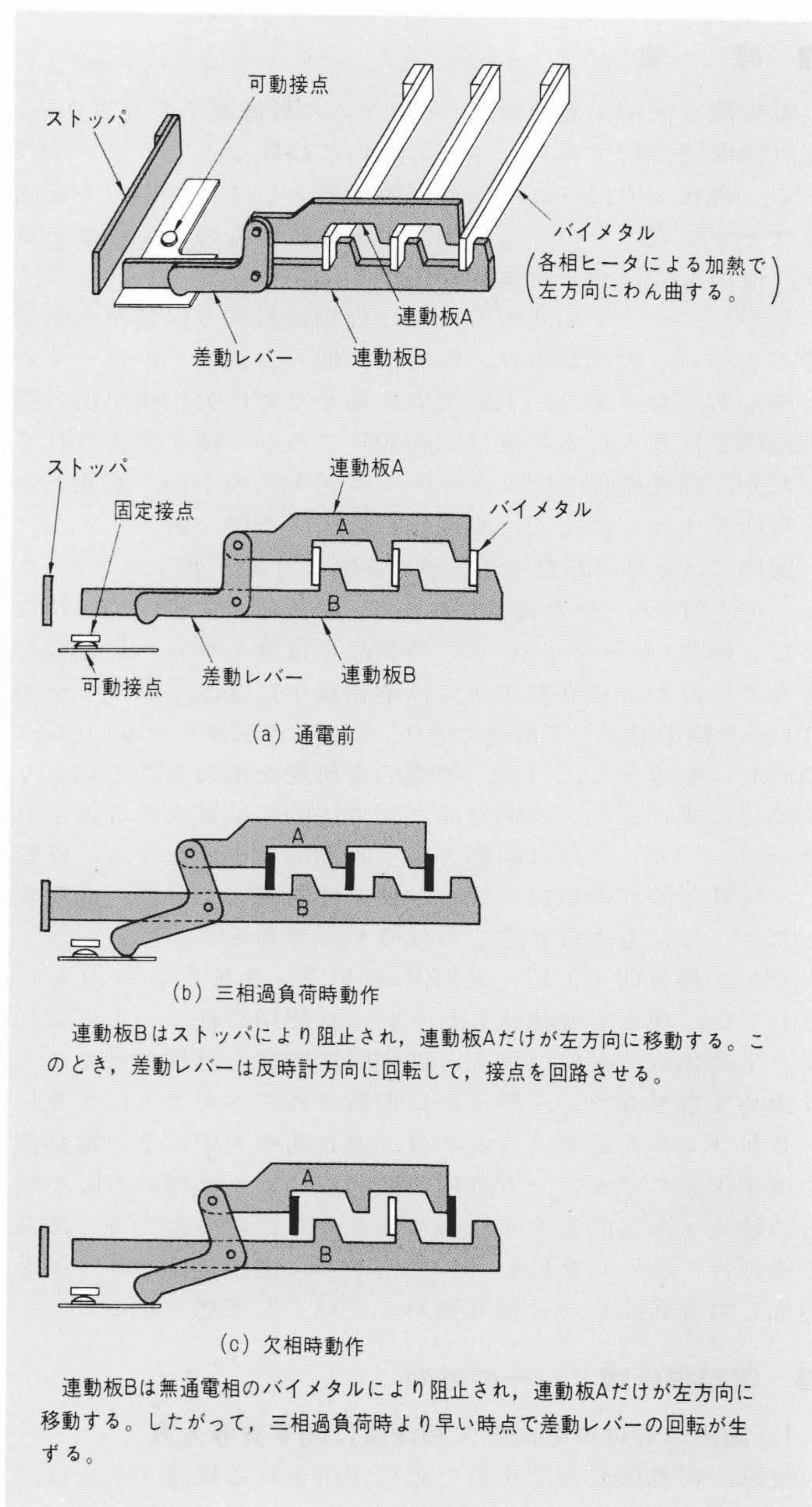


図3 欠相検出方式-2の構造と動作原理 この方式はL状差動レバーを使う。性能面での制約は少ないが、大形になる欠点を持つ。

る背景としては、配線保護機器としてのヒューズの使用率が高いことや、回路電圧が高く、サーマル リレーに対する性能面での要求が高度であるなどが挙げられよう。

3 2Eサーマル リレーの開発

従来の半導体式 2Eリレーは、操作用電源や欠相検出用変流器が必要なことから、大形、高価であり広く普及されるに至っていない。今後は小形で経済的な 2Eリレーの要求が多くなるものと予想される。

日立製作所はこの点に着目してサーマル式 2Eリレーの開発に取り組み、このたび図 1 に示す「日立 2Eサーマル リレー」の製品化に成功した。

3.1 欠相検出方式の選定

サーマル式で欠相を検出する方法は、昭和32年ごろから種々発表されてきているが、いずれも通電相バイメタルと無通電相バイメタルのわん曲量の差を拡大して接点を動作させる差

動機構によるものである。

これらを原理上で要約すると図 2、3 に示すように、ストレート状の差動レバーを使う「方式 1」と、L 状の差動レバーを使う「方式 2」とに大別でき、それぞれ次の特徴を持つ。「方式 1」は、構造が簡単で小形化が容易であるが、欠相動作性能確保の面で制約が多い。

「方式 2」は、性能面での制約は少ないが、大形になる欠点がある。

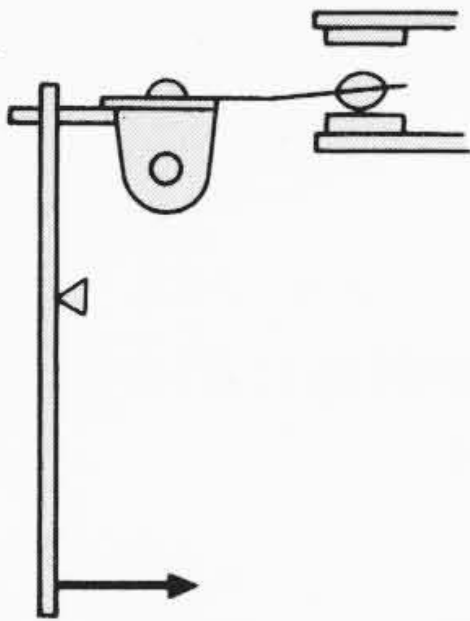
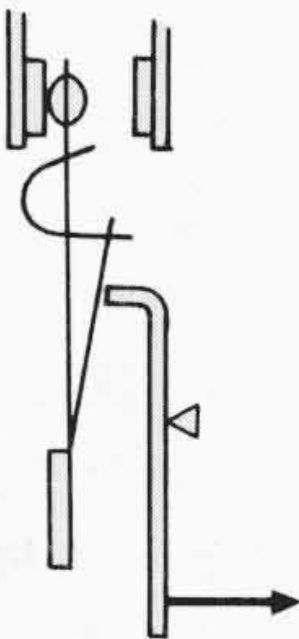
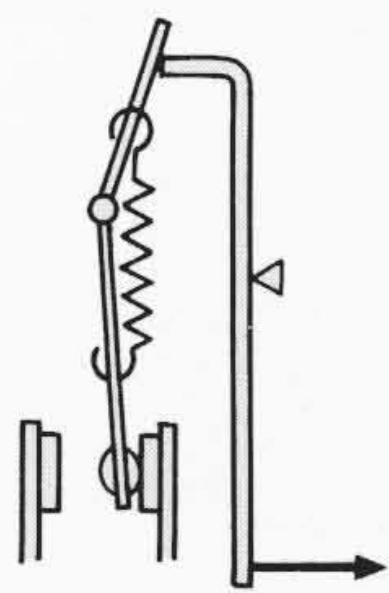
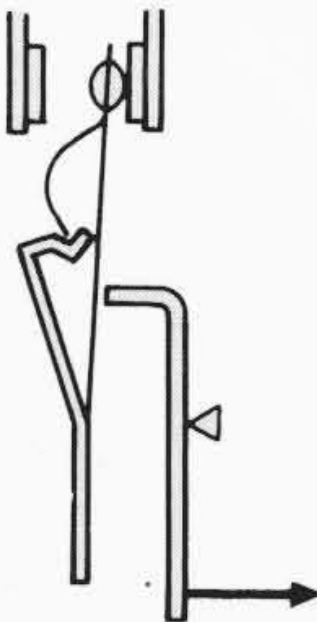
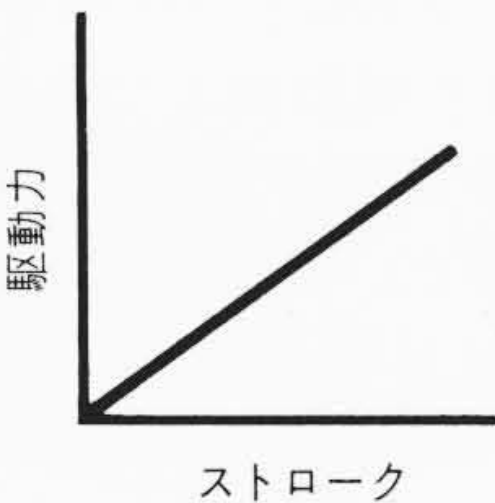
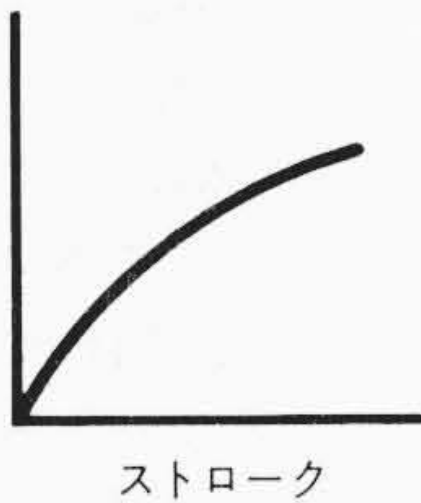
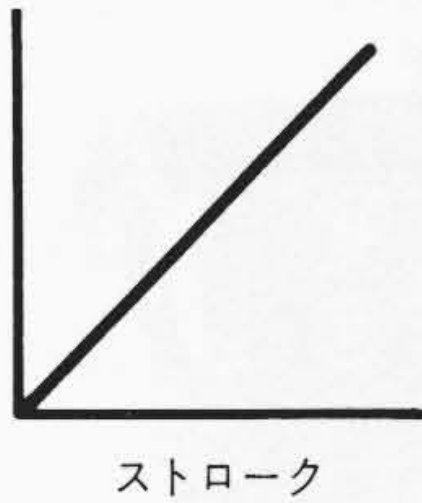
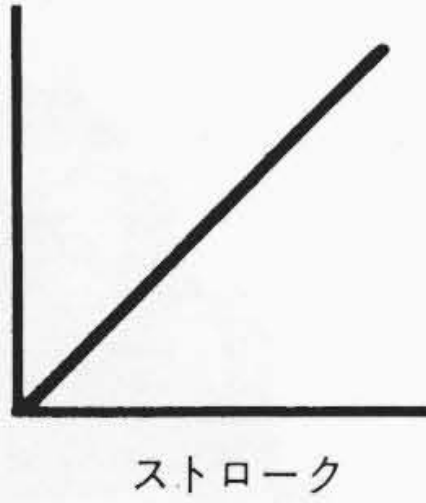
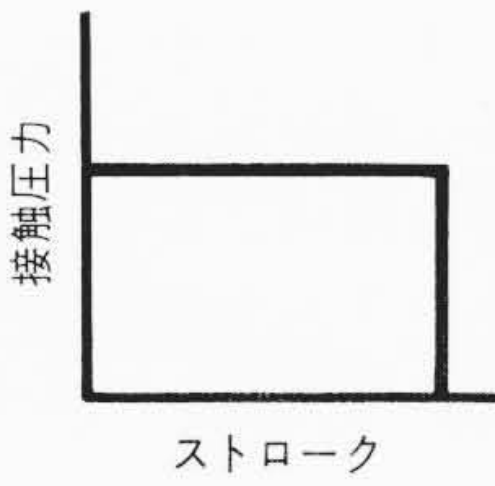
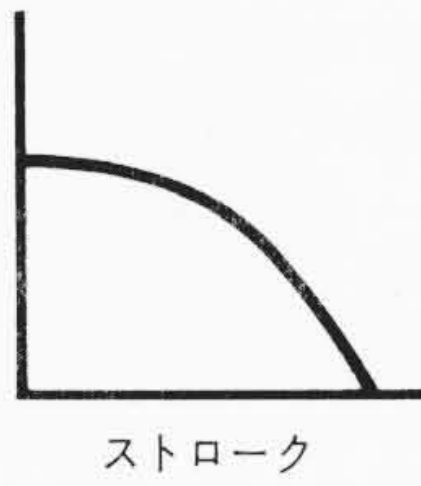
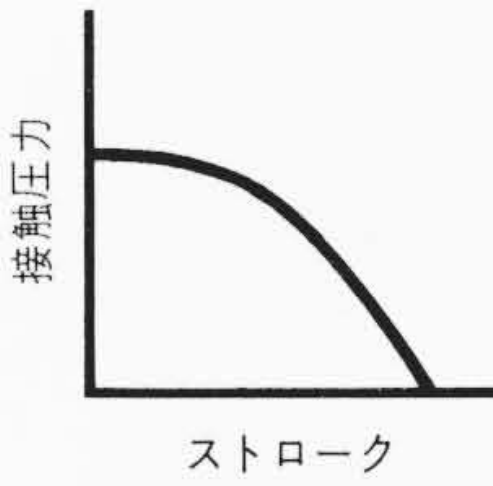
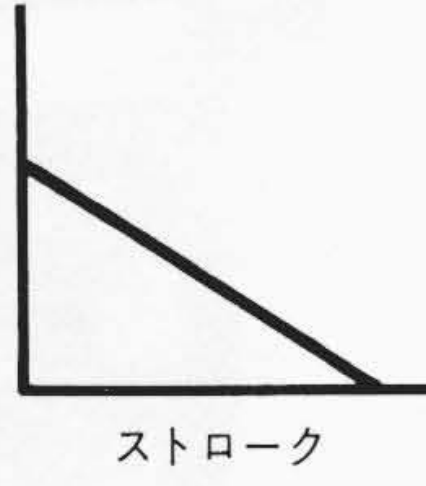
欠相検出方式の選定に当たっては、2Eサーマル リレーの開発条件として、小形、安価が第一要件であるため、「方式 1」を採用することとし、性能確保のための技術的な問題については個別に実用化を検討した。

3.2 実用化に対する問題点

3.2.1 接点引はずし方式

内蔵補助接点の駆動に要する力は、バイメタルのわん曲を妨げる方向に働く。三相過負荷時は 3 本のバイメタルが均等

表 1 接点部引はずし方式 引はずし方式の種類別にその性能、機能及び適用性について示した。

分類		ラ ッ チ 方 式	ク イ ッ ク 反 転 方 式			一 体 形
			反 転 ば ね 分 離 形			
			圧 縮 ば ね		引 張 り ば ね	
			薄 板 ば ね	コ イ ル ば ね		
略 図		1. 	2. 	3. 	4. 	5. 
特 性	駆 動 力					
	接 点 の 接 触 圧 力					
復 帰 方 式		手動復帰のみ	手動復帰 自動復帰	手動復帰 自動復帰	手動復帰 自動復帰	手動復帰 自動復帰
部 品 数		やや多い	やや多い	多い	多い	少ない
部品加工上の注意点		ラッチ部の摩擦抵抗力の除去	弓形ばねの寸法精度管理	部品個々には少ない。	ヒンジ部の摩擦抵抗力の除去	板ばねの寸法精度管理（困難）
組 立 上 の 問 題 点		――	――	組立工数がかかる。	組立工数がかかる。	――
開発品への適用性		✕ 自動復帰方式にはできない。	○	✕ コスト高となる。	✕ 接触圧力が低下しやすい。	✕ 接触圧力が低下しやすい。

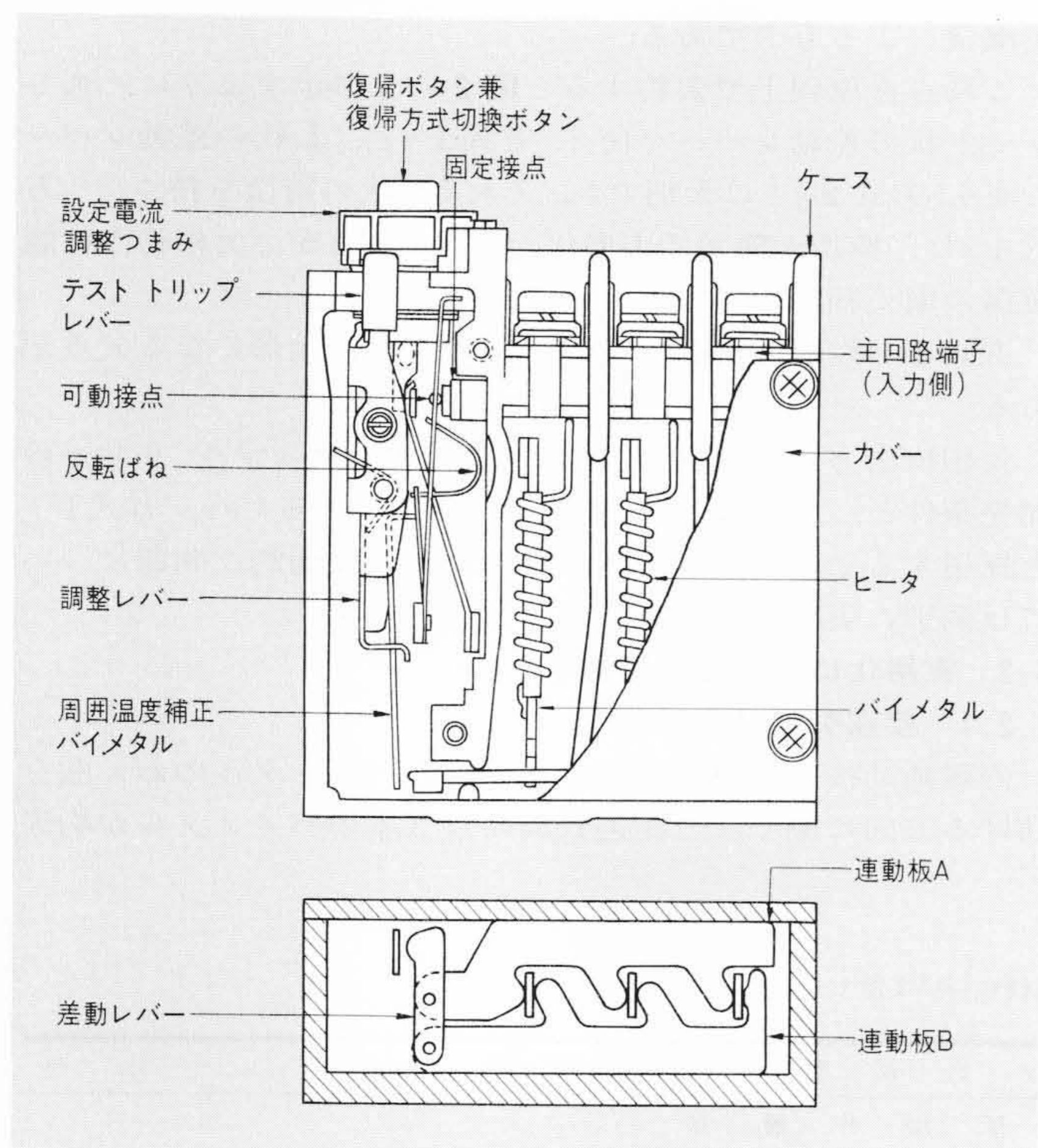


図4 「日立2Eサーマル リレー」の内部構造 TR₂₀-2ECの内部構造と主要部品の名称を示す。

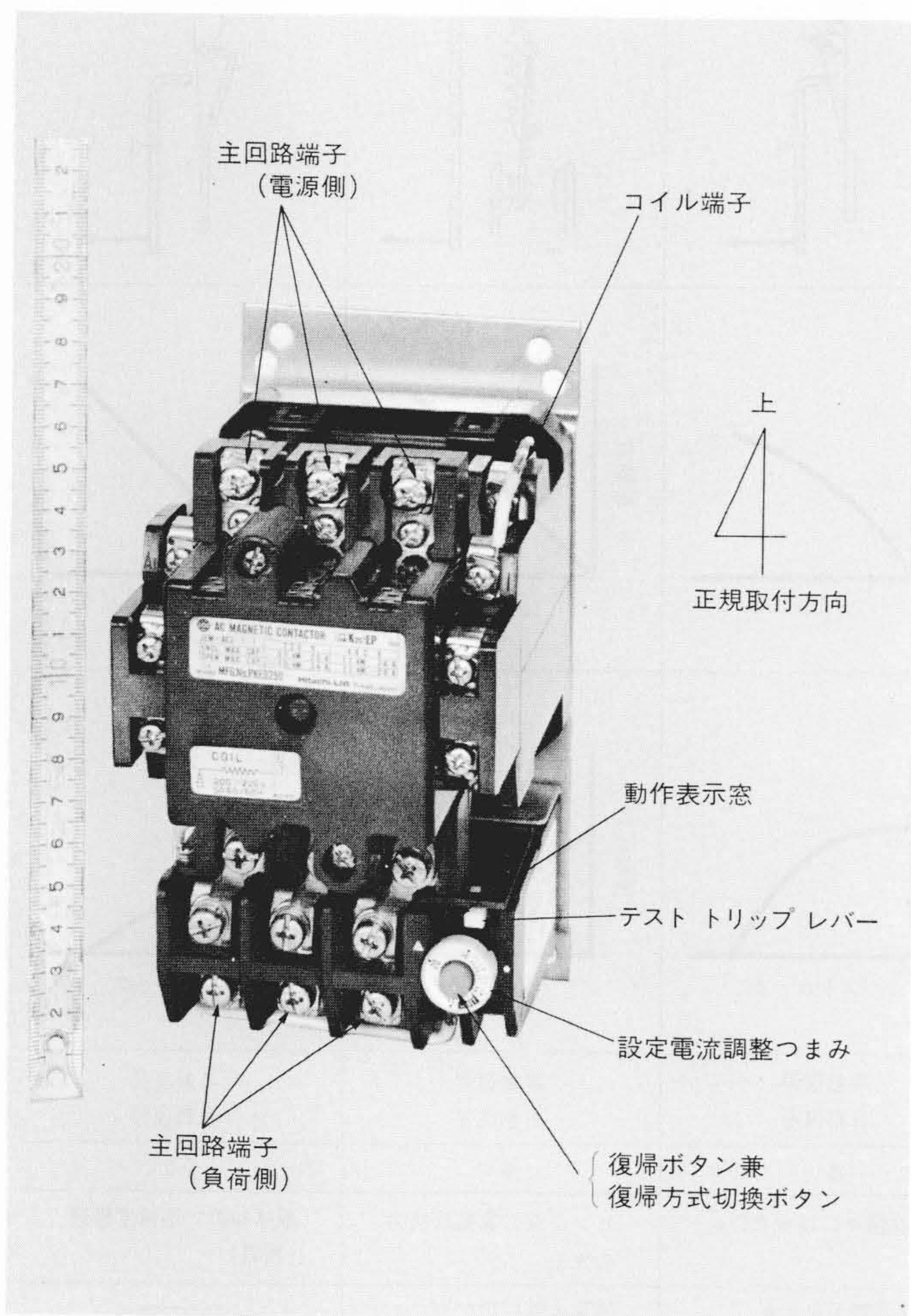


図5 2Eサーマル リレー付「日立電磁開閉器」(K₂₅-EP₃Kの例) 電動機保護リレーは電磁接触器との組合せが容易なものでなければならない。

に駆動力を分担するためにその影響は少ないが、欠相時は各バイメタルの受け持つ力が大きくなり、わん曲の損失が増大して欠相動作感度に悪影響を及ぼす。

この影響を少なくするためには、接点の駆動力を小さくする必要があるが、安易に下げると振動に対するチャタリング発生や接触不良につながる虞がある。これを避けるためには接点の接触圧力が高く、駆動力だけ小さくすることができ、しかも市場の大勢として製品に具備すべき機能である復帰方式の両用(手動復帰、自動復帰)も可能な引はずし方式にする必要がある。

引はずし方式には表1に示すように、ラッチ式とクイック反転式とがある。

このうち、ラッチ式は動作過程で接触圧力が全く低下しない点で有利であるが、自動復帰の要求に対処できない。反転方式は復帰方式の変更が可能であり、この中から、駆動力が小さく、接触圧力の低下が動作途中まであまり低下しないものを理論的に選定した結果、表1に示すNo. 2のものを採用することにした。具体的な寸法については、実用可能な範囲内のすべての条件による計算結果と試作品の実験による確認に基づいて最適な値を決定した。

3.2.2 バイメタル相対位置

欠相状態でのバイメタルのわん曲量は極めて小さなものであり、どの相が欠相した場合も同じ動作特性とするためには、各相バイメタルの相対位置を正確に合わせる必要がある。

このため、連動板の加工方法やバイメタル位置調整方法の改善を行なった。

3.3 構造

開発した「日立2Eサーマル リレー」(TR₂₀-2EC)の内部構造を図4に、電磁開閉器に組み込んだ状態の外観構造と各部の名称を図5に示す。

3.4 仕様

「日立2Eサーマル リレー」の仕様を表2にまとめて示す。機種数は、TR₂₀-2EC、TR₄₀-2EC及びTR₁₀₀-2ECの3種類とし、変流器とTR₂₀-2ECとの併用も可能で、これにより200V級の場合、132kWの電動機までに適用できる。

近年では、復帰方式の変更が可能なことや、テストトリップが容易にできることなど、補助機能に対する要求の多様化が見られ、「日立2Eサーマル リレー」では全機種に従来まで要求のあったこれらの補助機能を具備させた。

3.5 性能

絶縁材料の耐熱性向上に伴い、電動機も小形化の傾向をたどっているが、このため熱容量が小さくなり、過負荷による焼損時間も短くなっている。したがって、保護リレーの動作は更に鋭敏なものにする必要がある。

一方、周囲温度変化や振動によってリレーが誤動作し、システムの停止を招くことも多大な損失につながるため、正しい使用状態で不要な動作を行なわないこともまた大切な問題である。

「日立2Eサーマル リレー」は、以上のことを十分考慮して開発されており、表3に示すようにJIS(日本工業標準規格)、JEM(日本電機工業会標準規格)、建設省「電気設備工事機材標準」、IECなどに準拠する性能を持っている。

図6に動作特性の一例を示す。

3.6 特長

3.6.1 他社2Eサーマル リレーとの比較

(1) 構造全般

(a) 小形である。

表 2 「日立 2 E サーマル リレー」の仕様 附属仕様を豊富にそろえ、顧客が操作するもの(表中*印付)は、すべて前面に集中配置してある。

	形 式	TR ₂₀ -2EC	TR ₄₀ -2EC	TR ₁₀₀ -2EC	CT+TR ₂₀ -2EC
主 仕 様	適 用 電 流 (RC中心値)	0.2~20A	9~40A	20~105A	100~500A
	適 用 電 動 機 (三相 200V級)	5.5kW以下	2.2~11kW	5.5~30kW	30~132kW
	外 形 寸 法 (mm)				—
	重 量	0.17kg	0.3kg	0.38kg	1.23kg
附 属 仕 様	内 蔵 接 点	 COMMON NO NC AC 220V 2.5A(自動復帰のときは1A) AC 440V 1.2A(自動復帰のときは0.5A)			
	設定電流変更幅*	R C 中 心 値 ± 20 %			
	復 帰 装 置*	あ り 復 帰 ボ タ ン を 押 し 反 時 計 方 向 に 90 度 回 す と、自 動 復 帰 に セ ッ ト で き る。こ の と き、復 帰 ボ タ ン は 沈 み 込 ん だ 状 態 と な り、自 動 復 帰 に セ ッ ト さ れ た こ と を 明 確 に 表 示 す る。切 換 は 可 逆 的 で あ る。			
	復 帰 方 式(手 動,*自 動) 切 換 装 置	(共 用)			
	動 作 表 示	あ り 機 械 的 表 示 を 行 な う(手 動 復 帰 の と き だ け)。			
	ト リ ッ プ フ リ ー	あ り 復 帰 ボ タ ン を 押 し た ま ま の 状 態 で も 動 作 す る。			
	テ ス ト ト リ ッ プ*	あ り			
	単 独 取 付	可 能			

- (b) 全機種そのまま単独取付けができる。
- (c) 全機種「日立 3 素子形サーマル リレー」と互換性がある。
- (2) 取扱い性
 - (a) 補助機能の種類が豊富
 - (b) リセット ボタンが電流調整つまみの中央にあり、押しやすい。
 - (c) 操作部の前面集中配置により操作しやすい。
- (3) 安 全 性
 - (a) 操作部と補助端子は十分離してあり、操作時に誤まって感電するおそれがない。
- (4) 性 能
 - (a) 耐振性が高い。
 - (b) 高温使用時の動作変化がない。

3.6.2 半導体式 2 E リレーとの比較

- (1) 構造全般
 - (a) 極めて小形、軽量である。
 - (b) 操作電源が不要である。
 - (c) 125 A まで変流器が不要である。
- (2) 取扱い性
 - (a) 電圧選定の必要性がない。
 - (b) 配線箇所が少ない。
 - (c) 復帰方式の変更が可能である。
- (3) 性 能
 - (a) サージやノイズによる誤動作がない。
 - (b) 波形ひずみの影響を受けない(実効値動作)。
 - (c) 電子部品を使用しないので、経年変化に対する信頼性が高い。
- (4) 経 済 性
 - (a) 極めて向上する。

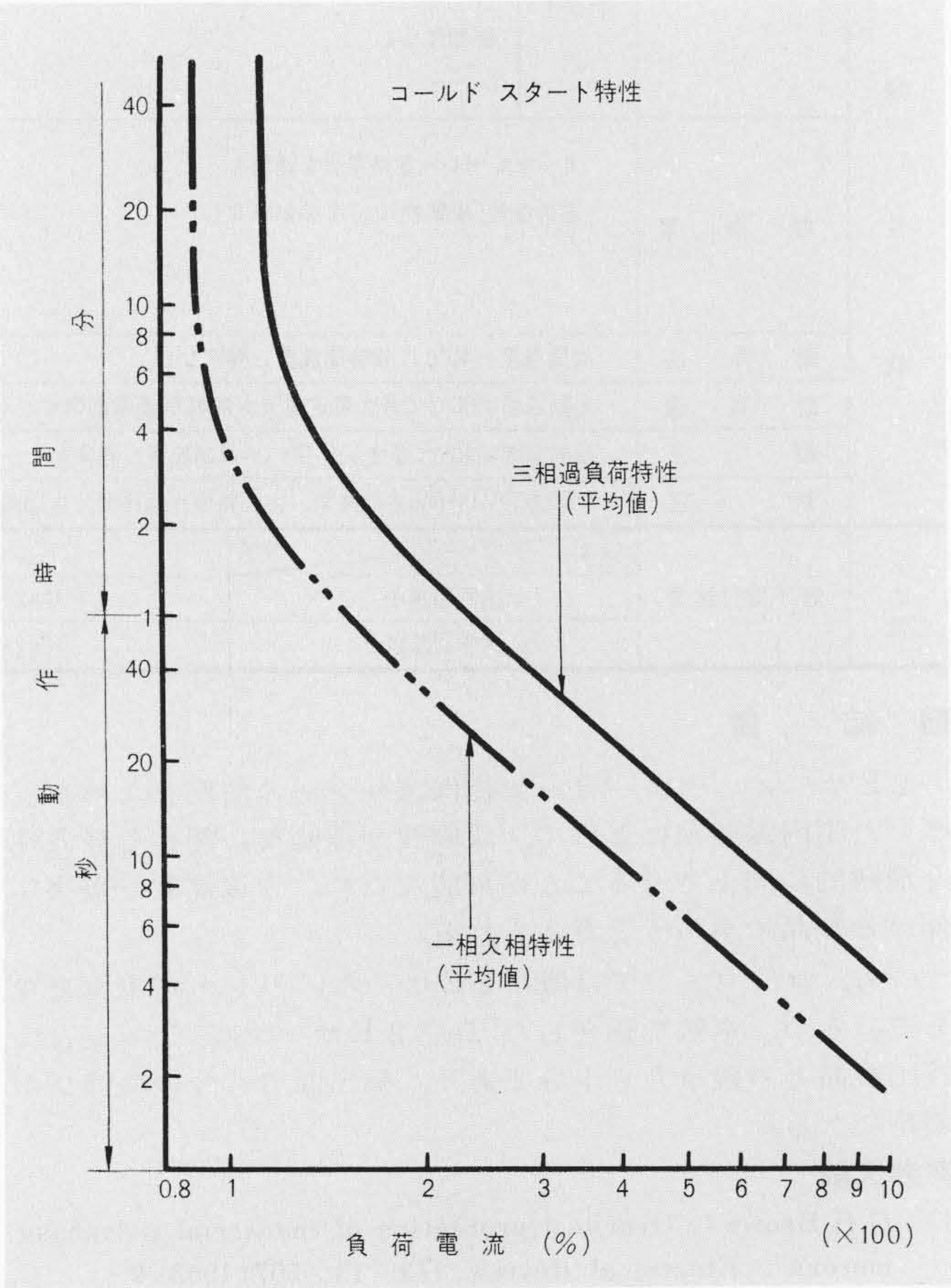
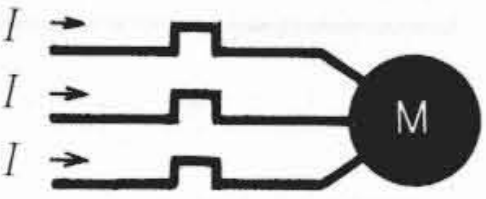
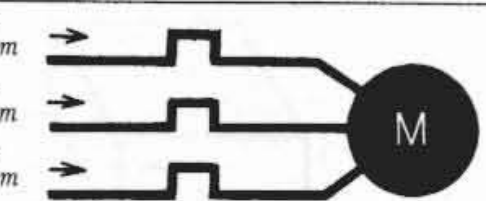
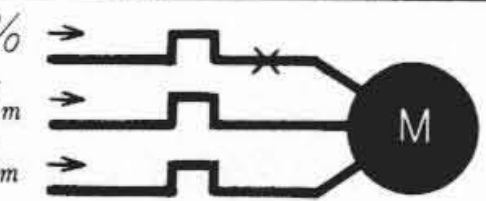
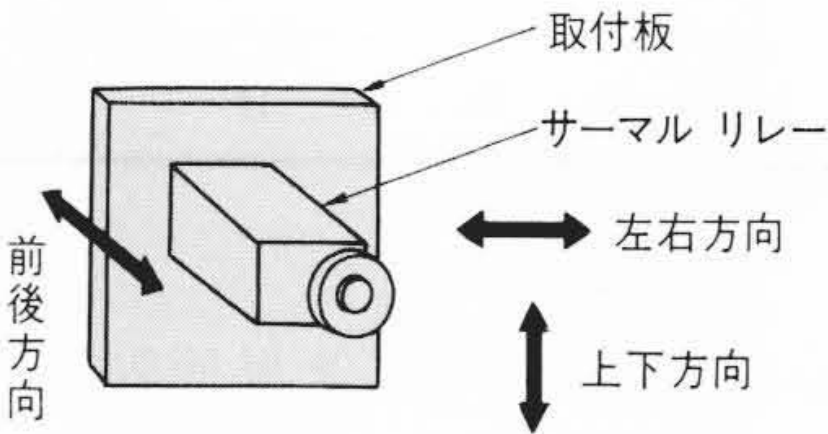
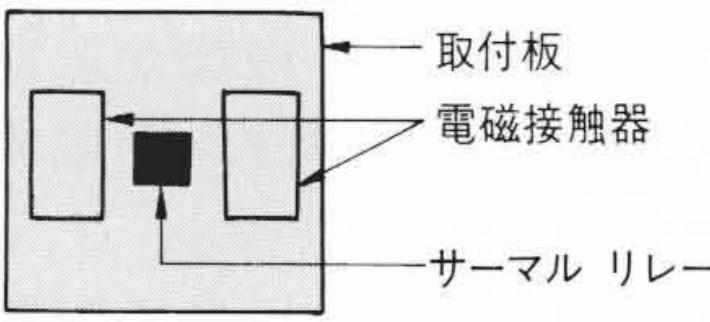


図 6 「日立 2 E サーマル リレー」の動作特性(TR₂₀-2ECの例) 欠相時は三相過負荷時より速く動作することが分かる。

表3 「日立2Eサーマルリレー」の性能 JIS, JEM, IECなどの主要規格に準拠している。

項目	性				能				
	故障の種類	回路負荷条件		周囲温度 (°C)	動作				
動作特性	過負荷 (1)			40 20 -5	100% I_m 不動作, 120% I_m 2時間以内に動作 105% I_m 不動作, 125% I_m 2時間以内に動作 105% I_m 不動作, 130% I_m 2時間以内に動作				
	過負荷 (2)		同上	40	100% I_m 不動作, 200% I_m 4分以内に動作				
	拘束		同上	40	600% I_m で30秒以内に動作				
	不平衡	軽度の不平衡		40	不動作				
		欠相		40	2時間以内に動作				
					I_m : 電動機定格電流				
接点容量			手動復帰方式		自動復帰方式				
	定格通電電流		3(A)				閉路しゃ断時力率: 閉路時0.6~0.7 しゃ断時0.3~0.4		
	定格使用電流		AC110(V) 2.5(A)	AC220(V) 2.5(A)	AC440(V) 1.2(A)	AC100(V) 1.0(A)		AC220(V) 1.0(A)	AC440(V) 0.5(A)
	閉路(C) しゃ断(O)電流		AC110(V) C : 27.5(A) O : 2.75(A)	AC220(V) C : 27.5(A) O : 2.75(A)	AC440(V) C : 13.2(A) O : 1.32(A)	AC110(V) C : 11(A) O : 1.1(A)		AC220(V) C : 11(A) O : 1.1(A)	AC440(V) C : 5.5(A) O : 0.55(A)
寿命	電氣的寿命		1,000回						
	機械的寿命		1,000回						
環境性能	耐振動	耐振性 (1)	サーマル リレーは無通電で各方向に加振異常なし		右図各振動方向 複振幅4mm 振動数16.7Hz (加速度2.2g) を加振 				
		耐振性 (2)	サーマル リレーに定格電流を通電し各方向に加振誤動作なし						
	耐衝撃	サーマル リレー定格電流を通電し 右の条件(衝撃約10g)で誤動作なし		電磁接触器を1秒1回 (一方を投入, 他方を 猶予なく釈放を1回)の 頻度で30回 					
	耐低温	周囲温度-40°Cに48時間放置し異常なし							
耐高温	周囲温度+60°Cで最大整定電流を96時間通電異常なし								
耐湿	周囲温度+40°C, 湿度90%RHで1週間放置し異常なし								
耐圧	AC2,500V1分間(主回路間, 主回路操作回路間, 主回路アース間)異常なし								
その他	端子締付強度	端子形式	TR ₂₀ -2EC		TR ₄₀ -2EC		TR ₁₀₀ -2EC		
		主回路端子		15kg-cm	30kg-cm	50kg-cm			
		操作回路端子		10kg-cm	10kg-cm	10kg-cm			

4 結 言

2Eサーマルリレーは、欠相保護リレーの使用をためらっていた国内需要家にとって、設備費や補修費に関する経済性を飛躍的に向上させることが可能なため、今後需要が着実に伸びる製品であろうと考えられる。

一方、ヨーロッパでは既に2Eサーマルリレーが主流をなしているが、本稿で紹介した「日立2Eサーマルリレー」は、外国製品との競争力も十分であり、輸出面でも今後の伸びが期待できる。

参考文献

1) G.H.Brown : "Overload protection of industrial polyphase motors", Electrical Review, 173, 13, 507 (1963. 9)
2) 小林 勲 : 「欠相による三相電動機の焼損の防止」, 電設工業, 124 (昭39.12)

3) J.F.Mcpartland : "Protect the motor and entire circuit against operating overloads", Electrical Construction and Maintenance, 66, 12, 81 (1967-12)
4) IEC, 292-1 : "Low-voltage motor starters, Part. 1 Direct-on-line a.c. starters" (1969)
5) P.G.Sperling : "Betrieb eines Drehstrommotors bei Ausfall einer Phase", Siemens-Zeitschrift, 43, 2, 107 (1969)
6) P.B.Greenwood : "Motor overload protection", Electrical Review, 195, 2, 45 (1974. 7)
7) IEC, 292-1 C (1975)
8) 建設大臣官房官庁営繕部 : 「電気設備工事機材標準」 (1975)