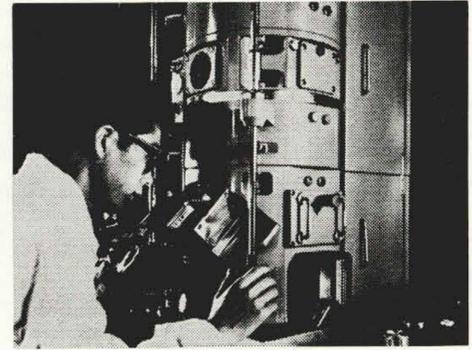


# 1 研究

Research and Development



## 総説

資本の自由化、技術革新の急速進展などからわが国にとって重大な時代である1970年代を迎えて、わが国の代表的な企業である日立製作所の責務は重大である。

新しい時代に特に要望されるのは自主技術の開発であり、それをささえる研究開発の促進である。日立製作所は創業当初から「国産技術の開発」を旗印とし、研究開発を重視してきており、現在では中央研究所、日立研究所、機械研究所をはじめとして事業部、工場に属する研究開発部門を設け、数千人に及ぶ研究従事者、年間約200億円に及ぶ研究開発費を投入している。しかし世界競争に耐え、かつ打ち勝っていくにはまだまだじゅうぶんではなく、さらにいっそうの拡充を必要としている。その際、

自主技術開発を長期経営計画に織り込んでいくこと、

研究開発と製品計画、生産、市場開拓との調和を図ること、

研究開発の企画、運営をシステム的に行なうこと、

が重要であると考えている。その一環として研究所の基本方針としてあげてきた、お手本のある研究はとりあげまい、プロジェクト中心に協力しよう、タイミングよく成果をあげよう、の3項目は効果を発揮していくであろう。

日立製作所の研究開発は多岐多様で、とうてい全容を示し得ないが、その内容はしだいに大形化し、システムの比重が増大している。政府の大型プロジェクトである火力発電所排ガス脱硫装置(大型プロジェクトとしては昭和44年9月終了)、高性能電子計算機、MHD発電装置には引き続いて協力し着々成果をあげており、新しく発足する海水淡水化のプロジェクトにも参加している。また直流送電に使われる10kV高耐圧サイリスタの開発、水中ブルドーザの開発、テレビ電話など将来の産業の中心的役割を示すような問題、科学技術の飛躍を夢みるレーザ追跡装置、現在の生活に楽しさを加えるオールトランジスタ・カラーテレビなど多くの分野ですぐれた業績を得ている。このほか直接外部には現われないが、研究開発の成果は設計、製作、検査の自動化、信頼性の向上、価格低減に大いに役だっている。

以下幾つかの研究成果を簡単に紹介するが、これらは全く氷山の一角である。あとに述べている多くの製品もすべて過去における研究開発の結果の積み重ねから生まれたものである。

技術の向上、製品の開発・改良は新技術、新市場を見通し、これを育成、開拓しようとする意欲により促進される。日立製作所の技術改善は、旺盛(おうせい)な意欲のもとに、研究所、工場はもちろん、系列会社を含めての緊密な協力のもとに進められており、不断の努力によりいっそう飛躍的な発展を期している。

## ■ 高速炉 炉心設計のための基礎研究

原子炉設計に当たって、要求性能、安全性、製作技術などからくる種々の基準、制約を満たす範囲で最も経済的な設計点を求める必要がある。そのため単能的な設計解析コードと数理計画法とを結合した総合的な最適設計システムを開発中であり、その各部について昭和44年度の成果を概観する。

### (1) 最適化システム

構造、核、熱、コストなどの計算を含む各サブシステムの変数間の関係を線形近似して、線形計画法を適用した。300 MWe 原型炉の一例では、設計変数 15、制約条件 15 程度の問題となり、当初経験的に仮定した設計点に比べ経済性の良い設計点が得られた。線形計画法の副産物として制約条件が最終結果に及ぼす効果が、いわゆる shadow price として得られ、研究開発などの経済性に及ぼす影響を知ることができる。このシステムを改良拡張したものは図1のような構成となっている。

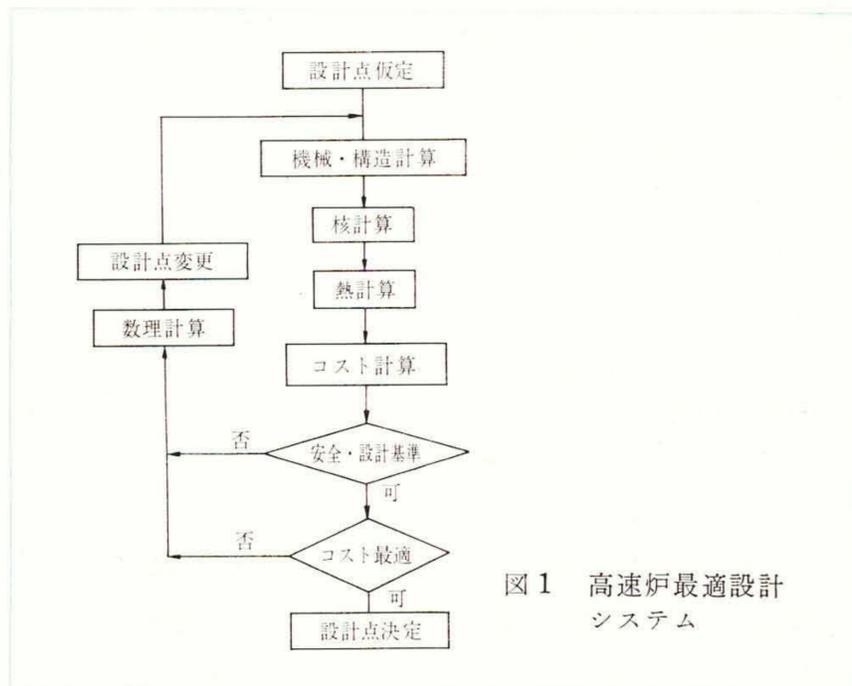


図1 高速炉最適設計システム

### (2) 核設計

設計システムにとって重要なのは、部品(サブシステム)の精度である。核設計計算には現在まだ計算法の点でも核定数の点でも不確かさが残っている。これに対処するため、Pu-239の $\alpha$ 値やU-238の捕獲断面積などの核定数を評価して高速炉用群定数セット HIM-1を作成するとともに、臨界実験データの解析により核特性の計算精度の向上を図った。これと並行して共鳴吸収の計算法に新しい手法を導入して群定数計算法を改良し、中性子束計算、摂動計算、燃焼計算と合わせて一貫した核計算コードシステムを作成した。

### (3) 安全解析

安全性は、将来数多くの商用炉が建設されるにつれてますます重要性をおびてくる問題である。そこで従来の事故解析の精度向上を図る一方、安全性をより高めるために、原子炉の安全系の信頼性、その運転と検査の手順などから事故の発生確率を算出し、災害期待値を決定する手法を開発した。これにより、災害期待値の大きい事故から重点的に対策をたてることができ、バランスのとれた安全設計を効率よく実現できることになる。これをさらに発展させて、事故を未然に、あるいは初期の段階ですみやかに検出する原子炉の異常診断システムの開発に着手している。また、ひん度の高い過渡現象を解析してその結果、炉が損傷を受けないための条件を安全基準として数量化して設計システムに提供した。

### (4) 燃料交換の最適化

炉心を幾つかの領域に分割して燃料を装荷し、所定の交換時期に

どのような濃縮率の燃料を何分の一ずつ交換補給すべきかという問題は、燃料費にとって重要な問題である。それには出力分布、燃焼などの炉物理のほか熱的制限、運転上の要求もからむが、簡単な炉物理モデルのサーベイにより、300 MWe 程度の炉についての結論を得た。それによるとこの程度の大きさの炉心では、運転中の出力分布の変化は小さくて考慮の要はなく、所定の燃焼度を達成するための装荷燃料の濃縮率とペレット直径の最適な値が定められる。領域数は2で、両領域の出力ピークが等しいように濃縮率の関係が決まる。ブランケットの交換法はコストに大きくきくが、Pu 蓄積の見積り、Na 流量配分の余裕、再処理費、加工費と金利のバランスなどが問題となり、今後の重要課題の一つである。

## ■ クレーン構造物の実働荷重を考慮した 疲れ設計に関する研究

荷役作業の高能率化をめざして、最近の各種クレーンには高性能化、大容量化の要求がますます強くなっている。これらの要求を満たすためには、クレーンのなかで主要な重量を占める構造部分の軽量化がとくに必要である。このための最も効果的な方法は、クレーン構造物の受ける実働荷重を正確には握し、それをもとにして強さを精密に検討することであると考えられる。しかし従来は一般にこれらの点に関してあまり突っ込んだ検討が行なわれていなかったようであり、各国ともクレーン設計時には実働荷重などに対して比較的過度の安全率がとられているように思われる。

そこで、日立製作所では以上の点に着目し、総合的な研究を進めてきた。すなわち、まず実働荷重計測用の各種機器類(たとえば荷重ひん度計、クレーン動作記録装置、応力波形合成装置など)を開発し、これらを用いて製鋼所用大形レドールクレーン、大形陸揚機、普通形天井クレーンなど(合計7台)について実働荷重を測定した。そしてこれらの結果に検討を加え、各種クレーンについてそれぞれ一般的な衝撃係数、慣性力、応力ひん度、巻上げ荷重ひん度、耐用寿命中の荷重繰返し数などの値を求めた。

一方、クレーン構造物の疲れ強さをは握するために、新しく油圧式実働荷重疲れ試験機(10t および 40t)を開発した。この試験機は、試験片に任意の引張り圧縮変動荷重を自動的に繰返し与えることのできるものである。この試験機を用い、各種クレーンの応力ひん度分布に従ってそれぞれプログラム疲れ試験を行なった。試験片は実構造物の接合部を模擬した溶接継手である。

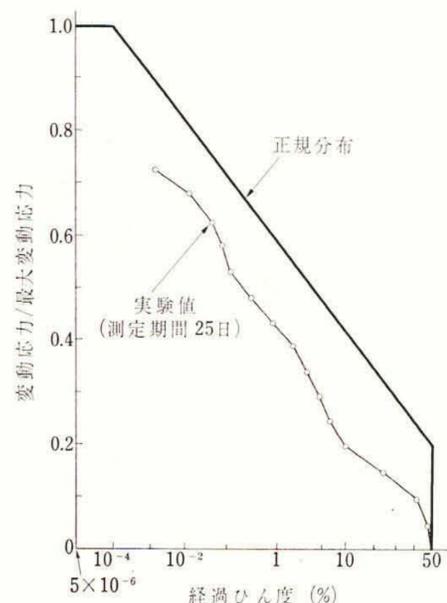


図2 普通形天井クレーンの応力経過ひん度分布の例



る拡散技術が確立され、10 kV サイリスタに対してもじゅうぶんな  $\alpha_{12}$  の値が得られるようになった。

(2) マイクロ波による半導体素子の動特性の解明

半導体素子の諸特性は注入キャリアのふるまいによって支配される。したがって、素子内部における注入キャリア濃度の時間的変化や分布を測定することが、素子の内部現象や諸特性を解明するかぎである。半導体中のキャリアの挙動を調べる方法としては、正孔の存在を示したヘインズ・ショックレイ法がある。しかし、製品化された複雑な構造の半導体素子におけるキャリアの挙動を調べることはむずかしい。また、サイリスタのターン・オン時におけるキャリアの広がり方を測定する方法としては陰極とゲート電極間の電圧波形を測定する Mapham の方法や陽極と陰極間の逆電流波形を測定する Longini の方法がある。しかしこれらの方法では、直接にキャリア濃度を測定することができないため、ゲート点弧した場合のゲート電流分布とターン・オン特性との関係を解明することができない。そこで、半導体素子の接合表面へマイクロ波を入射し、その反射波を測定することにより、素子内部のキャリア濃度の時間的変化を測定する方法を検討した。その結果、従来の方法とは異なった立場から、半導体素子内部の微小部分におけるキャリア濃度の時間的変化を測定できるようになり、素子内部の諸現象や諸特性の解明が可能になった。この方法を用いて、サイリスタをゲート点弧した場合のキャリアの広がり方を調べ、ターン・オン時の動特性を解明することができた。図8は、サイリスタに順電流  $I_f$  を通電した場合のマイクロ

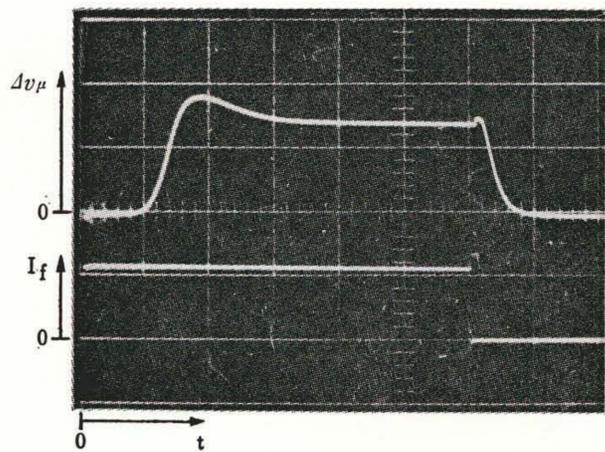


図8 マイクロ波検出電圧と通電電流の測定例  
( $I_f$ : 17 A/div,  $t$ : 500 μs/div)

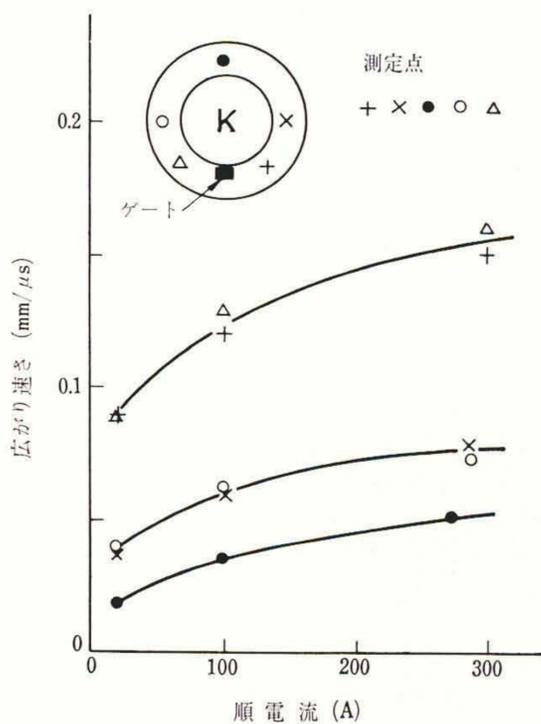


図9 広がり速度の測定例

波検出電圧の変化分  $\Delta v_\mu$  を測定した一例である。ここで、 $\Delta v_\mu$  はサイリスタ接合の  $n$  ベース中のキャリア濃度とともに増大する関係にある。図9はゲートから測定点までの距離とゲート電流パルスを加えてから測定点において、キャリア濃度が増加し始めるまでの時間から求めたキャリアの広がり平均速さの一例である。

高性能電子計算機用 LSI

LSI は、高性能電子計算機に関する通産省大型プロジェクトの一環として開発され、適当な機能と集積度を有する IC チップ複数個を配線基板に取り付け、全体をパッケージに封入する形のいわゆるハイブリッド LSI 方式であり、電子計算機本体論理に用いるのを目的とする。ハイブリッド LSI は、高性能電子計算機に用いられる超高速 IC チップの歩どまりがじゅうぶんでない現状では、超高速 LSI を実現する唯一の方法と考えられ、純粋なモノリシック LSI と並んでかなり恒久的な技術である。

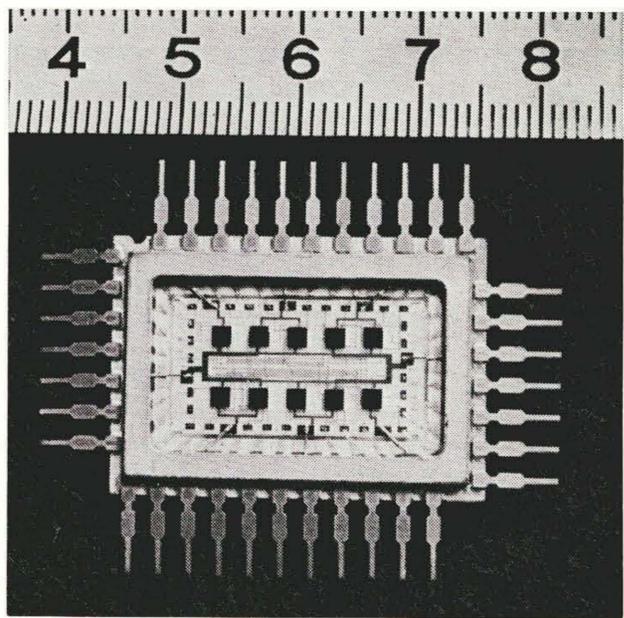


図10 LSI の試作品 (キャップなし)

本 LSI をささえる技術は、第一に超高速 IC 設計、製作技術、第二に配線基板(2層配線)製作技術、第三に両者を結合するフェースダウンボンディング技術、最後に LSI 組立て技術の四つに分けられる。このうち、新技术である配線基板とフェースダウンボンディング技術について簡単に述べる。

(1) 2層配線基板

11×21mm のアルミナセラミック基板上に第1層のアルミ配線を施し、次いで絶縁層を付着し、さらにその上に第2層アルミ配線を施してある。第1, 2層配線間の連絡は導通孔によって行なわれる。IC チップが取り付けられる場所には電極パッドの位置に合わせてペDESTAL と称する台状のアルミが積み上げられるが、これはフェースダウンボンディングに必要である。

(2) フェースダウンボンディング

前記ペDESTAL に IC チップ電極パッドを位置合わせし、チップの背面から超音波エネルギーを印加して、両者の電極間を溶接する。

ハイブリッド LSI の成否のかぎを握る重要技術であるが、信頼性をそこなう因子を究明し、実用に供しうるようにした。

本 LSI の主要特性、構造は次のとおりである。

- (1) パッケージ 36リード・プラグイン式, 外形 21×34 mm
- (2) 実装チップ数 最大 10
- (3) 集積度 最大 39ゲート, 460素子

(4) 遅延時間 ゲート当たり平均1.5 ns 以下  
 ゲート当たり平均遅延時間 1.5 ns 以下の LSI を実現したのは、国内はもちろん国外でもほとんど例をみない。

図 10 は、試作 LSI の外観であるが、これを約 300 個実装したパイロット計算機を現在神奈川工場稼働試験中である。

### ■ 超高性能電子計算機システムの開発

通産省大型プロジェクト、超高性能電子計算機の研究開発の一環として、「システムの具体的設計」ならびに、「大容量ファイル記憶装置に関する研究試作」を受託し、本番試作に先だて、まず各種ハードウェア技術の確立のためのパイロットモデルの試作を行なった。

パイロットモデルは、別途委託の超高速 LSI を主要論理としたプログラム内蔵の電子計算機で、次のようなものである。

- (1) 命令数: 47 種
- (2) 基本素子: CML 回路  
 LSI: 9 種 302 個 (36 ピン, 最大 39 ゲート, 2.5 W)  
 ICP: 5 種 1,598 個 (16 ピン, 最大 4 ゲート)  
 ゲート当たり遅延時間: 回路固有のもの平均 1.5 ns 以下
- (3) メモリ: 16 ミル 2½D-3 Wire 方式  
 サイクル時間 450 ns 容量 64 kB
- (4) プラグイン: 論理 2 層合計 6 層の多層プリント基板  
 最大 LSI 24 個 信号 98 ピン, 27 種 63 枚
- (5) バックボード: 論理 4 層合計 8 層の多層プリント基板,  
 最大 54 プラグイン, 2 種 2 枚

図 11 はパイロットモデルの外観を、図 12 は LSI, ICP をのせた基本実装単位であるプラグインを示したものである。超高速の論理回路を大形計算機に使用する場合、実装密度をあげて伝送線路(特性インピーダンス 50Ω の線路)の長さを短くし、必要かつじゅうぶんな条件のもとに使用しないと、回路素子(LSI など)の性能も生きてこないし、また計算機全体の性能も発揮されない。この点で基本的役割を演ずるのが配線規則と実装構造であり、パイロットモデルによって、これらのハードウェア技術の確認を行ない本番試作への重要な足がかりを得た。

一方、システム全体としてはバッファメモリ方式を採用した場合の性能評価、論理構造、メモリとのバランスなどの基本線を確認し



図 11 パイロットモデル

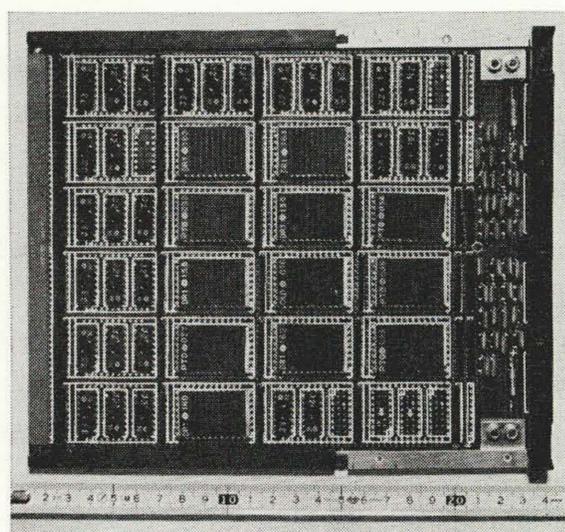


図 12 LSI, ICP を実装したプラグイン

た。さらに、システム全体としては、本体の大形化、高速化とあいまって、ランダムアクセス形ファイル記憶装置の重要度が高まってきた。委託をうけた大容量ファイル記憶装置は記憶容量 10 億バイト、情報記録密度 200 BPM (ビット/mm)、トラック密度 8 TPM (トラック/mm) の性能であるが、まずプロトタイプ試作、磁性メッキ、磁気ヘッド、ヘッドの浮動機構、アクセス機構に関し、可能性の確認を行なった。

### ■ ゴム、プラスチックケーブルの課電履歴と絶縁耐力

近年、ゴムプラスチック電力ケーブルの開発が進み、低圧配電線路に広く利用されるすう勢にあるが、高電圧ゴムプラスチックケー

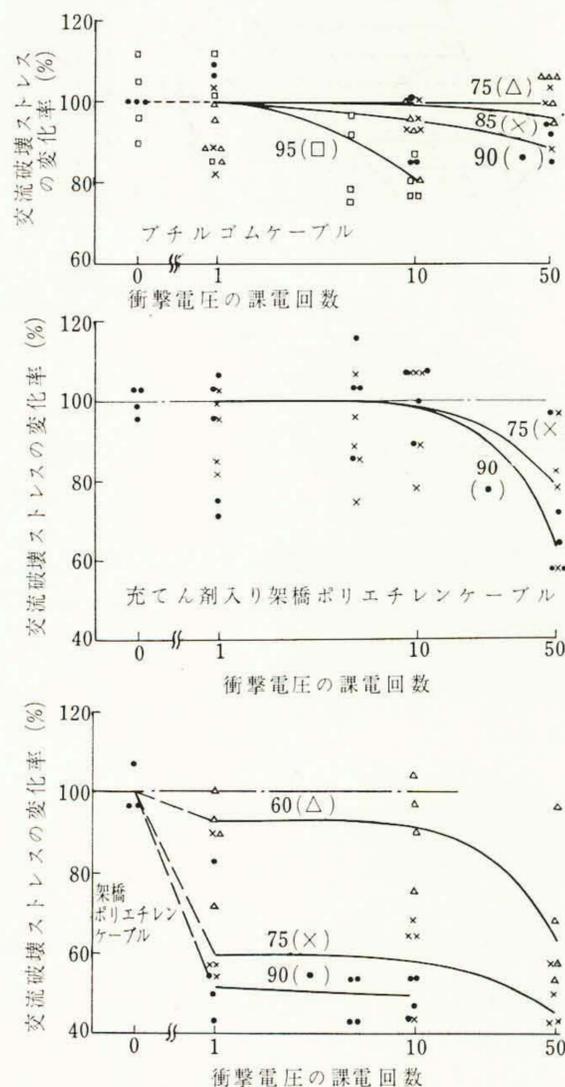


図 13 衝撃電圧の課電履歴を受けたケーブルの交流絶縁耐力の変化

注: 図中の数字は課電履歴として加えた衝撃電圧の大きさ(破壊ストレスに相当する電圧を 100 として表わす)

ブルの開発に際しては、その絶縁破壊機構を解明し、使用限界を明確には握しておく必要がある。電力ケーブルの交流絶縁耐力は種々の要因で低下するが、われわれは雷サージの侵入によって生ずる衝撃性異常電圧の課電履歴がそのひとつの大きな原因となることを発見した。

図 13 は 3 種のゴムプラスチックケーブル(ブチルゴムケーブル、非充てん架橋ポリエチレンケーブル、充てん剤配合架橋ポリエチレンケーブル)について絶縁破壊電圧以下(絶縁破壊電圧の 60~95%)の衝撃電圧を課電履歴として加えたのちにケーブルの交流絶縁耐力がどう変わるかを調べた結果である。破壊電圧の低下は特に非充てんの架橋ポリエチレンケーブルに著しく現われるが、これに充てん剤を配合したものの低下は比較的少ない。この充てん剤配合架橋ポリエチレンは良好な電気絶縁性能を有するものとして 60~70kV 級ケーブルに使用されている。

われわれは衝撃電圧の課電履歴によって生ずる交流絶縁耐力の低下がどのような機構によるかについても研究を進め、課電履歴を加えることによってケーブル絶縁体中に部分的に進展するトリーが生ずることを確認した。

### ■ 特殊樹脂の開発

電気機器、電子部品の含浸あるいは注型材料として、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂などが広く使われている。しかし樹脂のき裂、

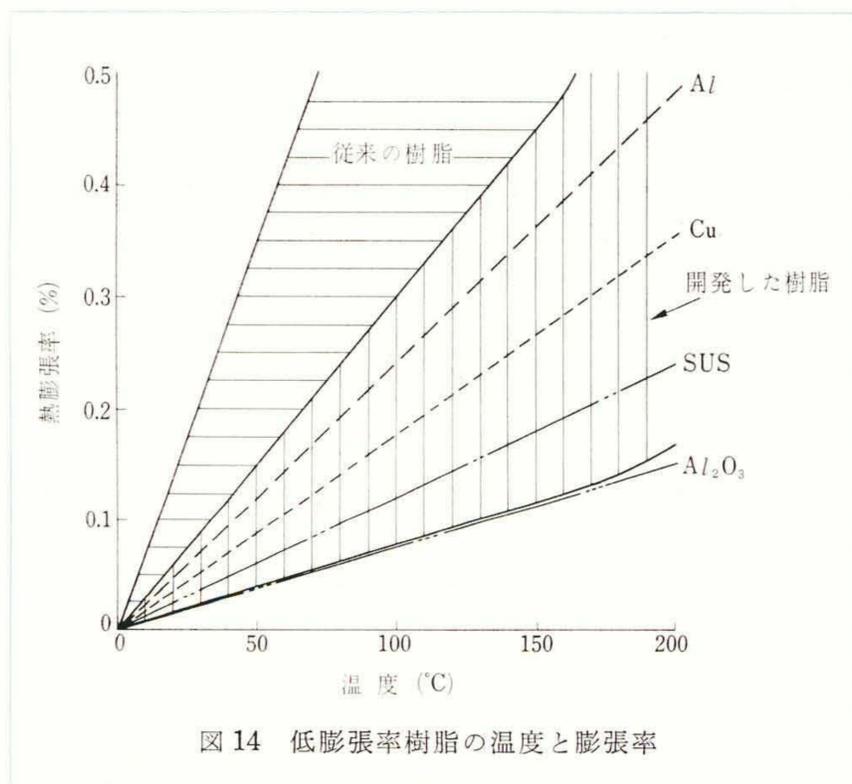


図 14 低膨張率樹脂の温度と膨張率

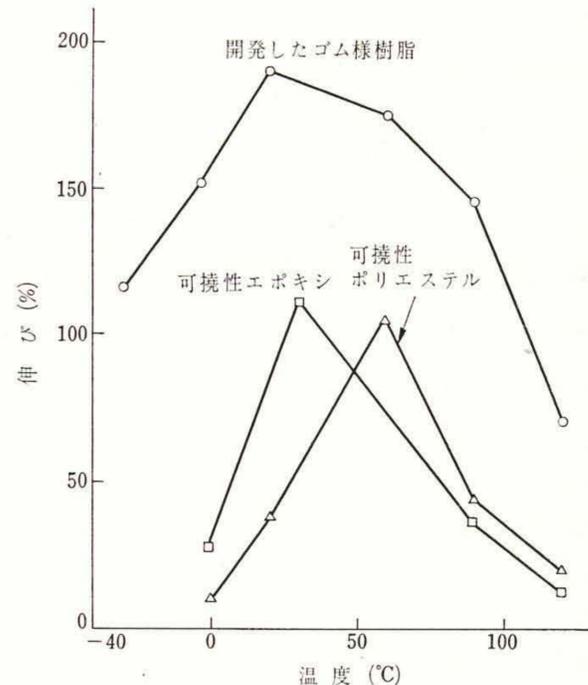


図 15 ゴム様樹脂の伸び温度特性

ハク離、部品の断線とか、絶縁物体のひねり、組込み作業の困難さなどの問題にしばしば遭遇する。き裂、断線の問題は導体などと樹脂の間に生ずる熱応力に由来するもので、当該導体などと樹脂との膨張係数の差を極小とするか、樹脂にゴムのようなたわみ性を与え応力を緩和する方向で解決が図られてきた。しかしそれぞれに作業性の低下、電気特性の悪化など欠点を伴い、今日まで十分な解決をみていない。これに対して次のような二つの特殊な樹脂を開発した。

#### (1) 低膨張率樹脂

各種の樹脂~充てん剤系の特性を研究し、 $8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  の線膨張係数を持ち、作業性も良好な特殊樹脂組成物を開発した。図 14 のように Al, Cu, SUS などの金属やアルミナなどのセラミックスと膨張率を合わせられるので、き裂、断線などの問題を解消し、モールド品の信頼性を飛躍的に向上できた。注型材料、低圧成型材料、また接着、封止材料などとしてその応用範囲は広い。

#### (2) ゴム様樹脂

開発した樹脂は図 15 に示すように室温で 190% に達する伸びをもつ高耐き裂性であり、電気特性も可撓(とう)性ポリエステル、可撓性エポキシなどと比べ、50°C 以上で 100 倍以上の比抵抗をもっている。また 60°C で 6 ヶ月浸水しても特性の変化はほとんどなく、含浸、注型用として特異な効果を発揮する。なお、この樹脂の硬化性、粘度など作業性の調節は自由にできる。