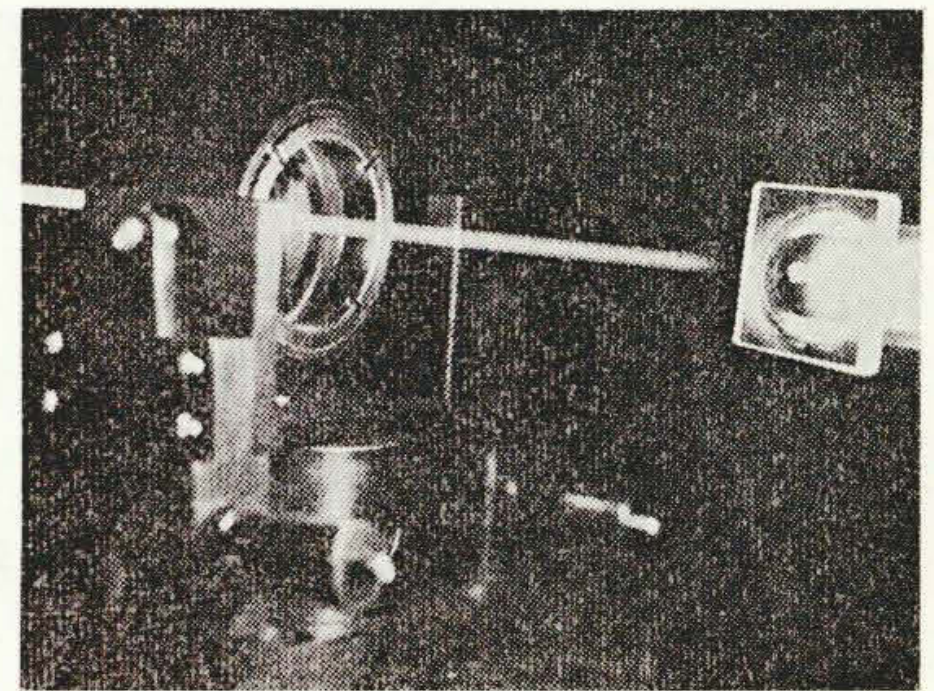


1

研究

Research and Development



総説

自由化時代を迎えて広汎(こうはん)な工業製品を取り扱う日本の代表的企業である日立製作所の使命はますます重大である。豊富な自主技術によって時代の要求に応じた機能と品質をもったすぐれた製品をタイミングよく市場に送り出すことが社会に対する任務であり、ひいては企業発展にむすびつくものと考えている。自主技術を生み出す原動力が研究開発である。

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いるが、現在社長に直属する中央研究所、日立研究所、機械研究所、事業部に所属する家電研究所があり、また各工場においてそれぞれの製品に応じた開発を行なう組織があって、研究開発にたずさわる従業員は数千をかぞえ、研究開発費も年間約150億円に及んでいる。しかし「国産技術の開発」といっても創業当時と現代とでは大いに様相が変わっている。近代工業における技術は非常に高度化、複雑化し、かつ進歩も著しく早くなっている。世界的競争に打ち勝っていくには研究態勢をさらに充実、長期計画を確立してそれにのっとって効率よく成果をあげていかねばならないと考えている。また一企業で全般をカバーできるものでもないで、大学や国家的研究機関の利用、場合に応じて内外他社との共同研究や技術導入も考えている。われわれは技術供与と技術導入の共存によって相互繁栄を考えているが、問題は供与と導入のバランスであり、導入過多は永続的繁栄にむすびつかない。わが国戦後の輝しい発展は大幅な技術導入に負うところ大であったが、今や自主技術に基づく供与を増していかなばならない時期である。研究所の基本方針として10年ほど前から

- (1) お手本のある研究はとりあげまい。
- (2) プロジェクトを中心に協力しよう。
- (3) タイミングよく成果をあげよう。

の3項目をあげてきたが、その成果もようやくみのりつつある。この基本方針は今後も続けていくつもりである。

日立製作所の研究開発は多岐にわたっているが、重電重機関係、エレクトロニクスおよびその応用、公害防止を含めた生活環境の改善に関するものに大別できる。その内容は個々の機器に関するもの主体から次第にシステムの比重が増しつつある。電子計算機を使ったシステムはもとより、家庭の集中式冷暖房もこの傾向の一つの現われである。研究開発課題にはMHD発電装置、高性能電子計算機、火力発電所排ガス脱硫装置のように政府の大型開発プロジェクトに協力して成果をあげつつあるもの、高性能鉄道車両、新しい通信、放送機器開発など公共事業に寄与しているものもあれば、外国特許依存を大幅に低減した半導体製作技術の開発や、自動食器洗い機の開発のように家庭生活向上に資するものに至っており、限られた紙面でその全貌(ぼう)を明らかにすることはできない。以下いく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。あとに述べられている多くの製品も過去の研究開発の成果の積み重ねから生まれたものであり、また信頼度の高い機器をいかにして安価に作るかという表面に現われない研究開発も多い。

日立製作所の技術は研究所、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形成されており、不断の努力によりいっそう発展していくことを確信している。

■ 長時間 MHD 発電の研究

MHD 発電は高効率直接発電方式の中では唯一大容量化の可能なものとして早くから脚光をあび、その開発研究は世界の主要国において大きな進展をみてきた。わが国においても、いち早く通産省の大型プロジェクトとしてとりあげられ、工業技術院を中心に各メーカーが協力して、主要コンポーネントの開発にあたるという研究開発体制が作られた。

その一環として、日立製作所は実用化へのかなめとなる「長時間運転用 MHD 発電機の試作研究」を受託し、目標を上まわる好成績で開発を終わり、工業技術院電気試験所への納入を完了した。試作実験装置(図 1)は電気出力 2kW、連続運転 100 時間を目標に計画設計されたもので、そのおもな仕様は表 1 のとおりである。

長時間発電における最大の問題は発電ダクトの耐久性である。本装置の発電ダクトは全長 900 mm、30×120 mm の定断面のファラデー発電機である。したがってダクトの耐久性は主として絶縁壁と電極の耐久性に帰着する。さらに発電ダクトの特性として長時間運転による絶縁性の劣化を極力抑制しなければならない。これらの要求を満たす発電ダクトの開発にあたっては、まず材料(耐火セラミックおよび耐熱鋼)の基礎研究を行ない、その結果選ばれたもので電極あるいは単位絶縁壁構造を作り小形燃焼装置による予備実験を行ない、最後に本装置に应用するという三段階制をとった。こうして、たとえば電極については数種の導電性セラミックと十数種の耐熱鋼について、耐酸化性、耐アブレーション性などの基礎実験および調査を行なった。絶縁壁構造については電解液ループによる最適設計法の検討も行なわれた。

これらの基礎研究をもとに、本装置用には絶縁壁構造の異なる 3 種類の発電ダクトを試作した。本装置による発電実験の総計は約 270 時間に及び、耐久性、発電特性(最大出力 4.2kW)熱損失などに関する多数のデータを得た。

単一ダクトによる連続運転では、実験時間 110 時間 17 分、実験終了時での電気出力 1.9kW という、世界的水準をゆく長時間発電に成功した。この発電ダクトは水冷された複合金属製の電極をそなえ、絶縁壁は水冷ジャケット、空気フィルム冷却壁と呼称される日立製作所独自のアイディアになるものである。すなわち、水冷金属表面上にセラミックスをプラズマ溶射し、その表面に多数の小孔をもうけて空気によるフィルム冷却を併用したもので、これは日立製作所におけるセラミック溶射技術やガス・タービン翼冷却の研究などの技術的背景のもとに考案された。

本装置のほかの部分、たとえば燃焼器、デフューザおよび排気処理系などについても、構造(冷却)、製作法などについて詳細な検討が行なわれた。排気処理系までの各部分にはすべて水冷構造が採用されている。本装置は長時間運転を行なうため、(1)在来火力発電所とほぼ同様な制御計測装置、(2)安全性向上のためのインターロックや危急遮断装置、(3)排ガス中のカリウム量を減少させるための排気ガス処理装置、(4)酸素量を節約しかつ予熱空気による運転実績の蓄積を目的とした空気予熱器などの設備を備えている。特に排気処理系の設計のために、シード物質が燃焼器で添加されてから煙突が出るまでの間で、どのような挙動を示すかを、主として、流路内付着物によって検討した。この結果、排気処理装置をつけることにより、排ガス中のカリウム量を低く押えることができた。

本装置による社内実験は昭和 42 年 12 月をもって終了し、ただちに電気試験所田無分室への据え付けを開始した。昭和 43 年 5 月より、現地で再組立、調整を終わった本装置による実験を開始、9 回、

累計 50 時間に及ぶ運転試験を順調に終わり、同 6 月をもって全部の試験を完了した。

現在、「長時間発電機の研究」に引き続き、大型プロジェクトによる「シード回収の研究」を受託実施中のほか、新しい電極材料(主としてセラミック系電極)の開発研究、超音速ホール形発電の基礎研究などに鋭意取り組んでいる。

表 1 おもな仕様

燃 料	軽 油 (重 油)
酸 化 剤	酸 素 富 化 空 気
ガ ス 流 量	約 0.5 kg/s
ガ ス 温 度	2,800°K
ガ ス 流 速	800 m/s
熱 入 力	3,600 kW
電 気 出 力	2 kW (目 標)
連 続 運 転 時 間	100 h (目 標)

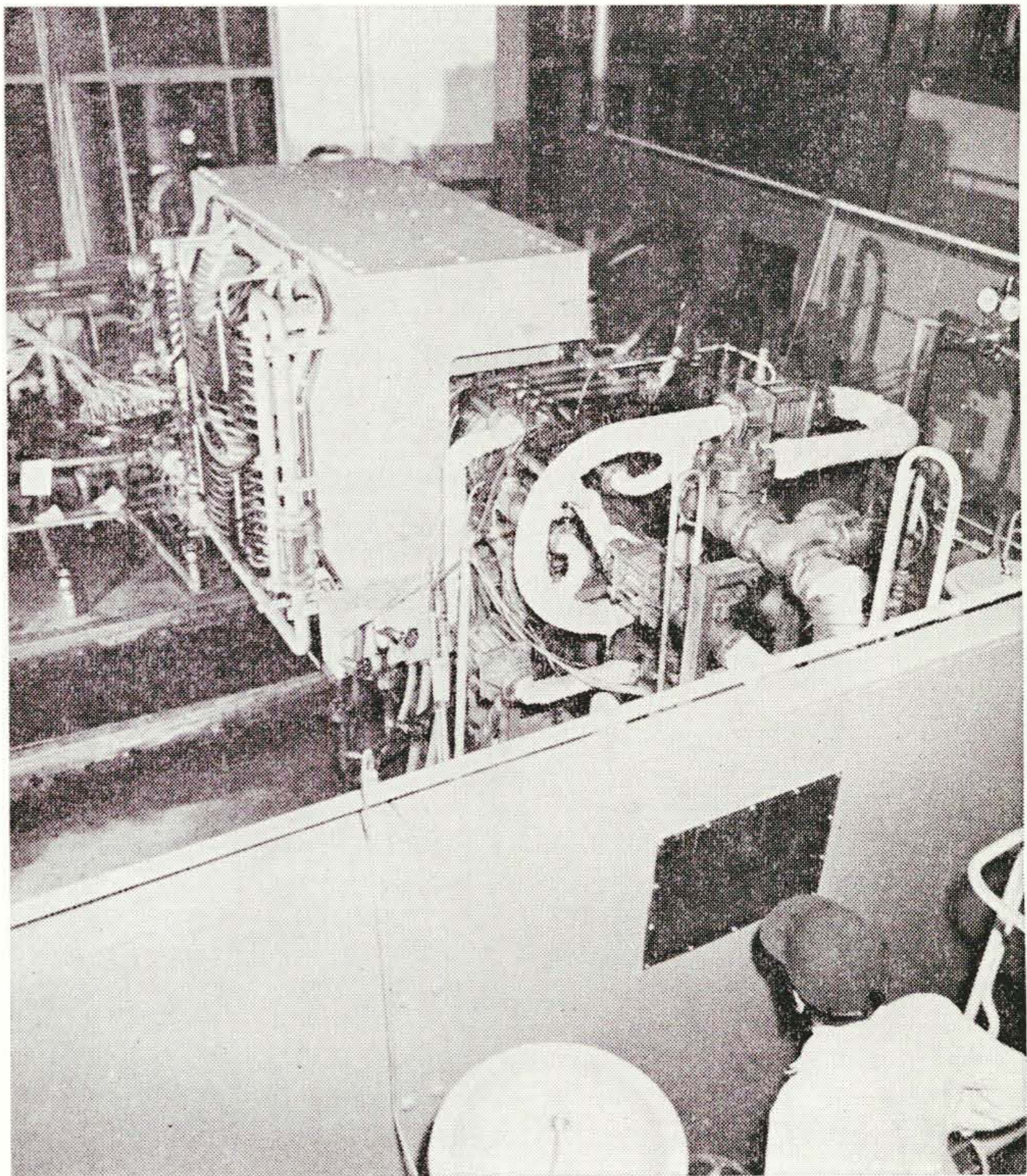


図 1 長時間運転 MHD 発電機

■ 高速電気車両の走行安定性の研究

高速走行時においてじゅうぶんな走行安定性を確保するためには台車のだ行動防止や曲線通過時の横圧低減に主眼をおいた台車構造を採用する必要がある。われわれはさきに日立製作所日立研究所に設置されている台車実験装置による実験や実車走行結果と理論解析値との対比を行なった結果、高速走行中における車体および台車の運動状況をあらかじめ計算機で予測しうる方法を確立した。

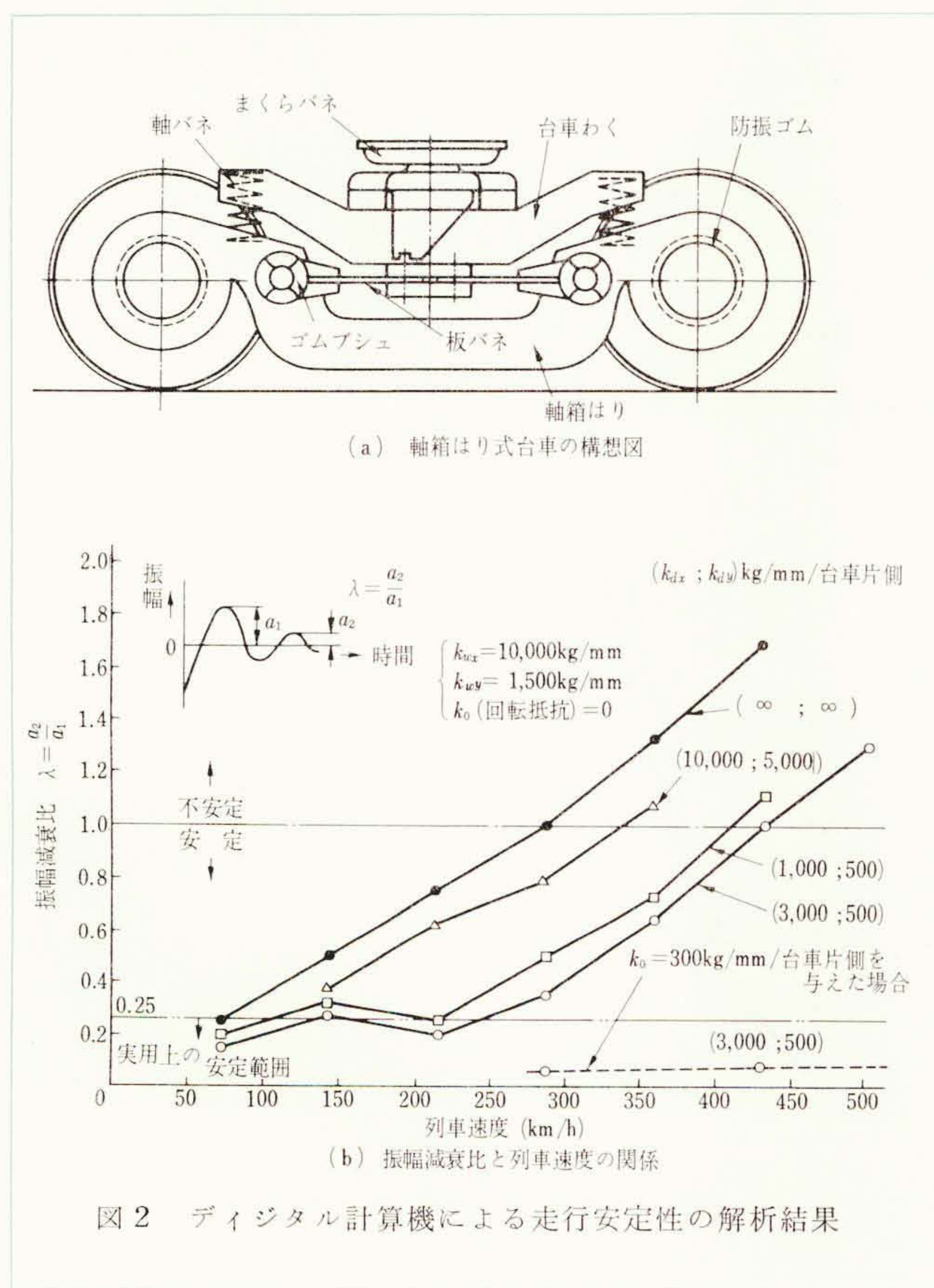
この方法を現在計画中の山陽新幹線電車用台車の走行安定性を調べるのに適用し、250 km/h で走行するために必要な台車構造やその構成諸定数を求めるための検討を行なった。一般に台車の車体に対する回転剛性を増すことは、だ行動の安定性向上にきわめて効果的であるが、反面曲線通過時の台車転向横圧を増すので回転抵抗は

適当な数値範囲に止める必要がある。そこで解析ではまず台車の回転抵抗を0とした場合について、できるだけ行動の安定限界速度を向上させるような台車構造を求めることにした。

台車構造は図2(a)に示すように渦電流ブレーキ取付の必要上輪軸と台車わくの間に軸箱はりが設けられ、その上に軸バネを介して台車わくが乗っており、輪軸と軸箱はり間の連結剛性 k_{wx} (前後)、 k_{wy} (左右)および軸箱はり台車わく間の剛性 k_{dx} , k_{dy} の各組み合わせを広い範囲に変えて走行安定状況を調べた。

解析の結果は図2(b)に示すように輪軸に初期変位を与えて走行させた場合の台車のだ行動波形を求め、その波形より振幅減衰比と速度との関係を調べて整理した。現行新幹線形は $k_{dx}=k_{dy}=\infty$ に相当するが、 k_{dx} , k_{dy} に適当な値を選定すると限界速度は向上し、現行形に比べて50%以上の向上(約430 km/h)を期待しうることが明らかとなった。さらに車体と台車間に回転抵抗剛性を適度に付加すると限界速度は各方式とも向上する。特に軸箱はり式では最高限界速度約800 km/hにまで達しうることがわかった。

本解析の結果は山陽新幹線電車原形となる試験電車の台車構造を定めるための有効な資料となった。



電解加工における加工形状の解析

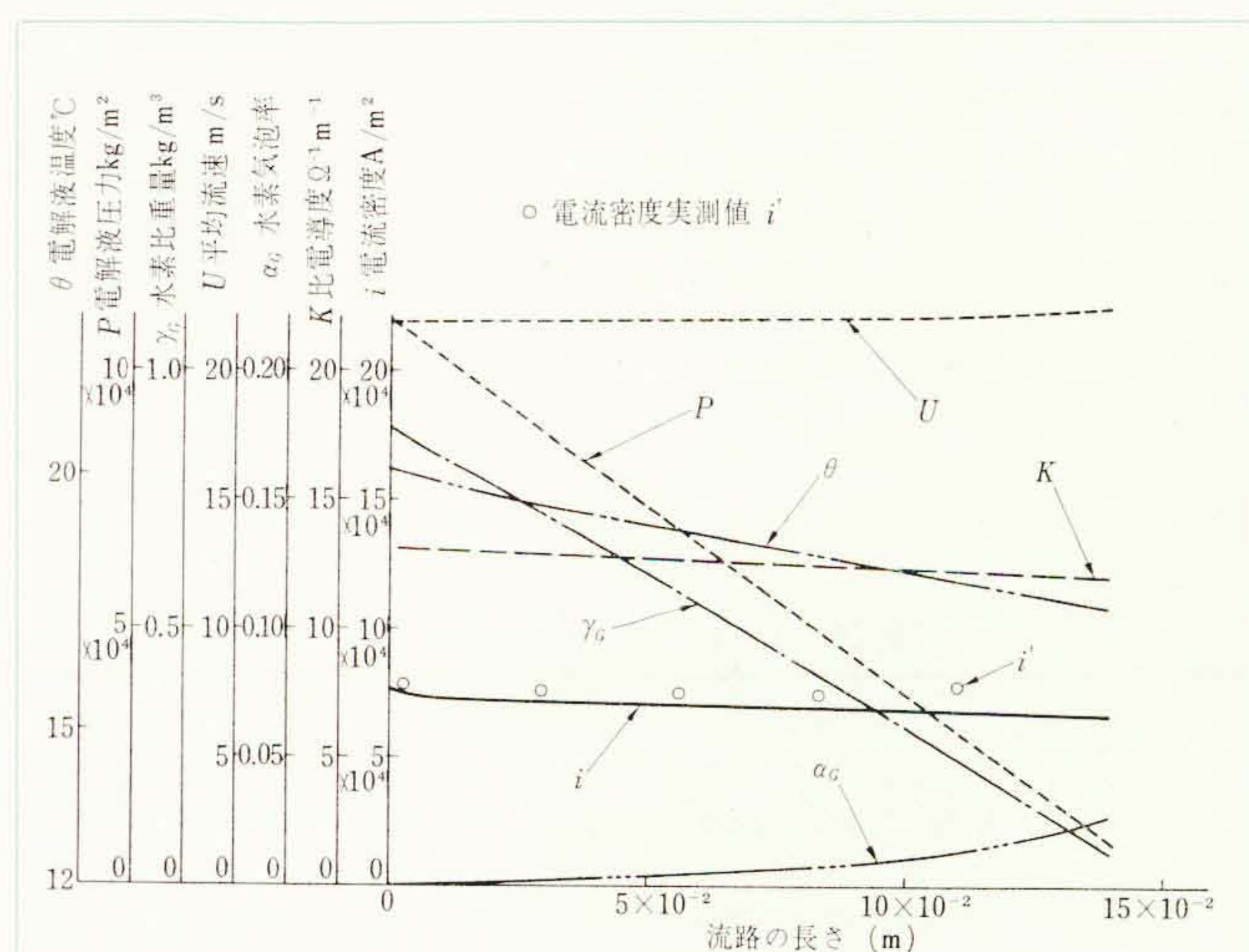
電解加工は被加工物の硬度、じん性に関係なく加工できるため難切削材の加工も容易に行なえとともに、広い面積を同時に加工することができるため金型の形彫り加工などを高能率で行なうことができる。電解加工の場合には電極と被加工物との間には電気分解を支援なく継続させるため高速で流動する薄い電解液層の存在が必要

であり、それが加工間げきを形成している。したがって被加工寸法は必然的に電極寸法と上記加工間げき量を加算したものとなる。ところが加工間げき量は加工条件および加工形状によって変化する。したがって与えられた加工図どおりに電解加工を行なうためには、それに使用する電極形状を設計する理論と、それに基づく電極の製作法を確立する必要がある。このため、まず電極と被加工物を単純な平面とし、加工間げき内には純粋な電解液が存在するという理想化した仮定のもとで両極間に一定電圧を印加し、電極を一定の送り速度で被加工物に向かって送り込む場合について平衡間げきの生成過程を明らかにしたのち、それを基礎として台形電極を使用して加工する場合の加工形状の形成過程を解析した。その結果加工形状は加工が進行するに伴って変化する過渡状態を経て、加工時間と無関係に一定の加工形状を保持する定常状態に到達することを明らかにし、過渡加工形状および定常加工形状をあらわす理論式を誘導した。

これにより、良好な加工精度、再現精度を得るためには安定した定常加工形状と与えられた加工図とを一致させるように電極形状を設計すべきであることを示し、定常加工形状の理論式を用いて電極形状との間に存在するSine法則を誘導し電極設計の理論的根拠を得た。次に加工中の状態を静的に模擬する電解そう相似法を用いて間げき内の電場の模様を調べ、上述のSine法則を一般の自由曲面形状にも適用できるように普遍化した。

さらに電解加工中に加工間げき内の電解液流中で起こる種々の物理的ならびに電気化学的現象に検討を加え、加工条件に関連する諸因子の流路に沿う変化が加工形状に及ぼす影響を定量的に求める理論式を誘導した。図3は理論値と実験値との比較の一例を示したものである。

これらの結果と、上述の理想化した仮定のもとに誘導したSine法則とを組み合わせることで厳密な電極設計理論をたてたのち、実際面を考慮して実用的な電極設計理論を導き、それに基づく電極の製作法を確立して実際の電解加工に適用している。



縦続接続形光変調器

コヒーレントな光であるレーザーは計測、通信、情報処理などの各分野において積極的に利用されている。これらの応用に際して、最も共通な基幹技術の一つに光変調があげられる。

日立製作所では、DKDP (KD_2PO_4) の Zcut 結晶を 5 個縦続接続した光変調器を試作した。一般に光変調器として要請される条件は

- (1) 変調効率が高いこと。
- (2) 直交ニコル場中にそう入した場合、完全に消光すること
- (3) 透過率が高いこと
- (4) ビデオ信号帯内の圧電共振を押えること
- (5) 長時間安定に動作し得ること

などである。試作した光変調器は上記条件を次の手段により解決した。(1)に関しては、KDP グループ結晶の中で電気光学効果の最も大きい DKDP 結晶を 5 個縦続接続させた。(2)に関しては、結晶の加工、Z 面の研磨を精度よく行ない、結晶の保持法に特別のくふうを施した。また保持には、ステアタイトのディスクを用い、その中央部に結晶を装荷する方法によって消光度 0.001 を得た。なおステアタイトは精密加工が可能で、誘電特性がすぐれている。(3)に関しては、誘電損失が少なく、しかも結晶の屈折率に近いシリコンオイル (DC 200) を光変調器内に封入して、透過率 90% 以上を得た。結晶 5 個を縦続接続した光変調器では、両端の窓ガラスを含めて 12 の反射面を有するので、透過率が 50% 程度となる。したがって、シリコンオイル封入の効果は非常に大きい。これは結晶の防湿の役目にも効果がある。(4)に関しては、結晶をステアタイトディスクに装荷する際の接着剤の選択によって解決した。接着剤としてシリコンゴム、メタラックなどを使用すると、結晶にひずみを与えず圧電共振の影響をかなり除去することができる。(5)に関連する変調効率の不安定性は外気の温度変動に起因する。封入したシリコンオイルは結晶の温度変化を制御する効果を有するが、その反面熱膨張係数が大きいために、光変調器の内部圧力が増加し不安定となる。これを解決するために、ケースに可動ピストン部を設け、 0°C ~ 40°C の温度範囲内での使用を可能にした。また室温において、数日間の連続運転を行なったが、安定に動作することが確められた。

試作した光変調器の特性、すなわち半波長電圧 (100% 変調に必要な電圧)、透過率、消光度、有効口径、静電容量、圧電共振帯などの値を表 2 に示す。図 5 は波長をパラメータとした半波電圧の測定結果を示したものである。

表 2 試作した光変調器の特性

光 変 調 器	LM No. 1			LM No. 2			LM No. 3		
波 長	4,880 Å	5,145 Å	6,328 Å	4,880 Å	5,145 Å	6,328 Å	4,880 Å	5,145 Å	6,328 Å
特性									
半波長電圧 DC (V)	1,000	1,100	1,480	720	800	1,070	700	780	1,090
半波長電圧 AC (V _{p-p})	650	700	1,000	550	600	820	500	550	800
透 過 率 (%)	91	91	90	91	91	90	90	90	92
消 光 度	0.001			0.001			0.001		
有 効 口 径 (mm)	4.5			4.1			3.8		
静 電 容 量 (pF)	12.5			11.5			11.5		
圧電共振帯 (kHz)	500/560			500/550			510/620		
安全印加電圧 DC (kV)	6.0			6.0			6.0		

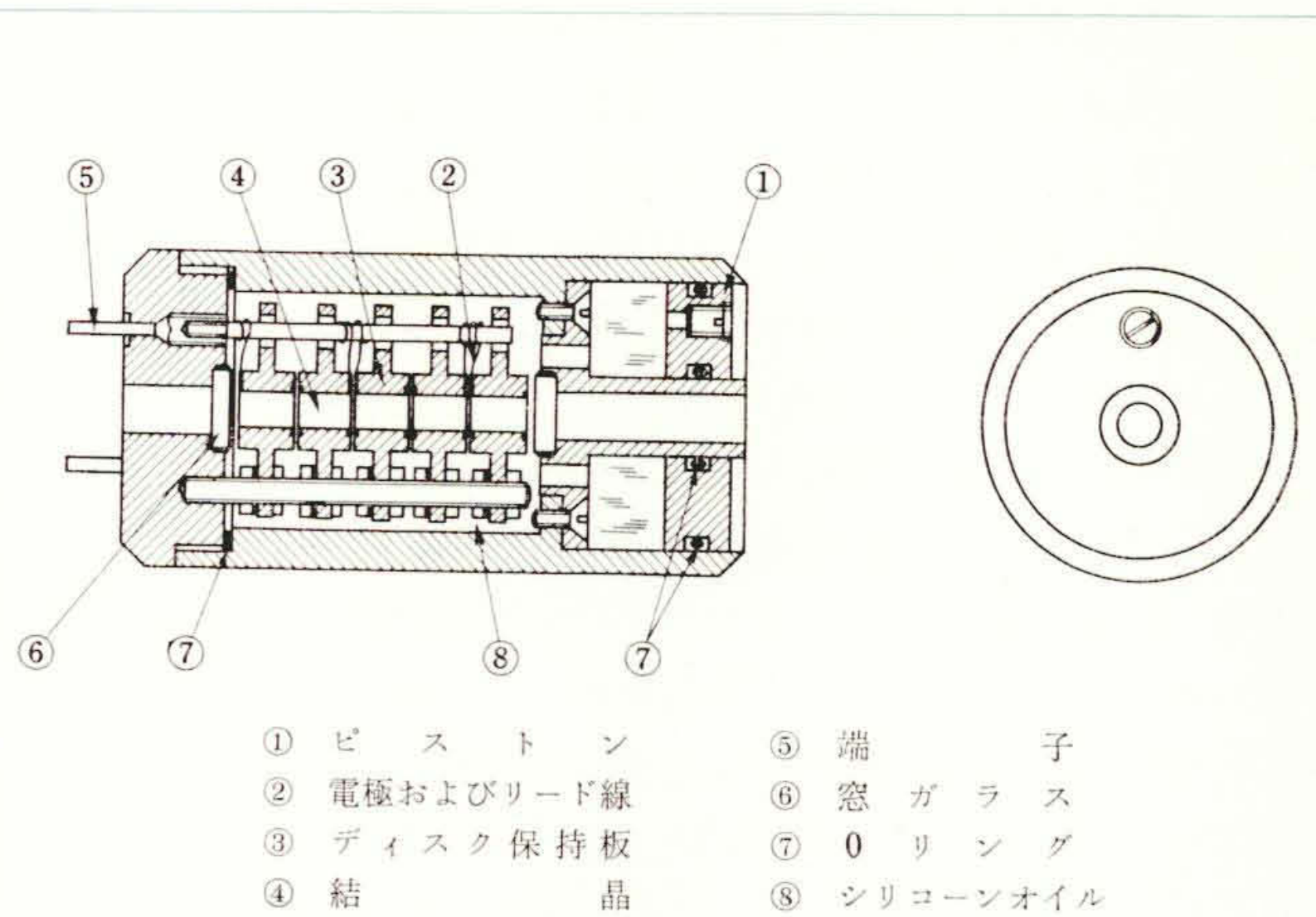


図 4 光変調器の断面図

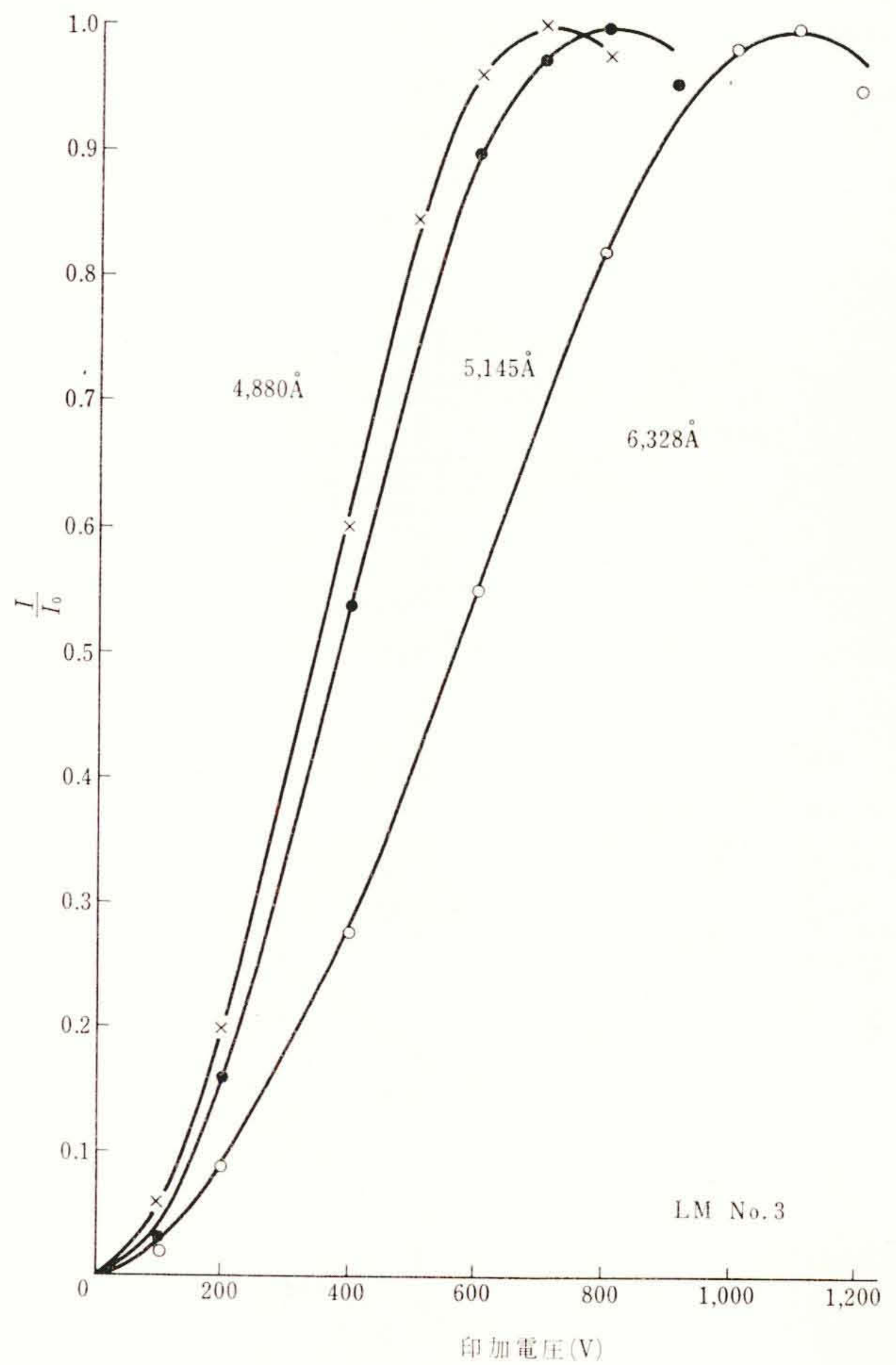


図 5 半波長電圧 (DC) の波長依存性

■ 実時間論理シミュレータ (RTL S)

最近、電子計算機が高速化するにつれて、その論理設計において、非同期的な設計法が採用されるようになり、クリティカル・パス、ハザードなど論理素子あるいは配線の遅延に起因する問題が重要視されるようになった。特に、計算機の入出力関係の論理回路は非同期論理回路で、従来からハザードやクリティカル・レースの問題が重要視されていた。これらの問題を解決する手段として、非同期論

理回路を対象とし、論理素子および配線の遅延をもシミュレートできる実時間論理シミュレータ (Real Time Logic Simulator) を開発した。この RTL S の開発によって、実際の信号をシンクロスコープで観察するように、各信号の間の時間的な関係を知ることができる。

RTL S の仕様は次のとおりである。

- (1) 使用計算機: HITAC 5020 (記憶容量 49K 語)
- (2) 対象とする論理回路: 非同期論理回路および同期論理回路
- (3) シミュレーション方式: コンパイル方式とインタープリティブ方式との混用
- (4) シミュレートできる素子の種類: AND, NAND, OR, NOR, EOR, Monostable Multi-vibrator, Wired OR, Wired AND (ただし, Flip Flop は論理素子で構成される)
- (5) シミュレートできる素子の数: 最大 5K 素子
- (6) シミュレーションの実行時間: 約 $N \times 65 \mu s$ / 単位時間 (ただし, N はシミュレートする素子の数)
- (7) シミュレートできる故障: 論理素子の出力を“0”または“1”に故障させることができる。
- (8) 論理回路の記述言語: アセンブラ形式で論理素子と 1 対 1 の対応が付き、論理図より機械的に記述できる。
- (9) 入力信号列の記述言語: 絶対記述と相対記述の二つの記述法があり、相対記述はくり返し信号の記述に適している。
- (10) シミュレーションの結果: 指定した信号をタイムチャート形式で印字する。

論理シミュレータは計算機的设计自動化において、論理設計が仕様どおり正しく行なわれているかを検査する有力な手段として使用されている。これによって、人間では検出不可能な設計ミスも発見することができ、設計期間を短縮することができる。特に、RTL S では、前述のように、信号の間の時間的な関係を明らかにするため、高速論理回路、入出力関係の論理回路において、その効力を発揮する。また、RTL S は非同期論理シミュレータであるが、タイミング信号も非同期信号の一つとみなせば、同期論理回路もシミュレートできるものである。論理設計の検査のほかに、RTL S は非同期論理

回路の解析、論理回路の故障診断などの目的に使用することもできる。

最後に、論理シミュレータにおいて、論理素子および配線の遅延をシミュレートする試みは筆者の調査ではほかに例をみない。今回開発した RTL S は問題を摘出するための第 1 次試作であり、これを使いやすくするための改良を現在行なっている。

動特性解析のための汎用ソフトウェア DDS

DDS (Digital Dynamics Simulator) と名付ける動特性解析用の汎用ソフトウェアを開発した。これは自動制御系のブロック線図の構成を数表の形のデータとして計算機に与えれば時間応答が自動的に得られるもので、従来のように問題をフォートランで書く場合と比較すると格段に便利なもので、フォートランを全く知らない人でも楽に使いこなすことができる。本 DDS は約 60 種の要素 (非線形要素, 論理要素および特殊要素) を内蔵しているので、従来取り扱いの便のため線形化していたものでも実在系に近い形で解析できる。また複雑な判断を含むような制御系、さらには一般の動的システムのシミュレーションにも適している。

本 DDS の特長は (1) 多種の要素を有していることおよび融通性に富んだ運用が可能なこと, (2) 積分方式も計算幅の自動調整機能を有し、使用者が計算幅の選択に考慮を払う必要がないこと, (3) 初期計算と称し、任意の計算を行なわせてから微分方程式の計算にはいる機能を備えているので、計算時間の短縮、微分方程式でない単なる演算もできることである。

本 DDS は HITAC 5020 用のものであるが、フォートランで書かれているので HITAC 8000 シリーズにも比較的簡単に流用できる。この種の分野は従来アナログ計算機の得意とする分野であるが、DDS ではスケール・ファクタを考慮する必要のないこと、複雑な非線形性を簡単にシミュレートできるなどの長所を有しており、計算速度の向上に伴い漸次実用的な手法になりつつある。図 6 はあるサ

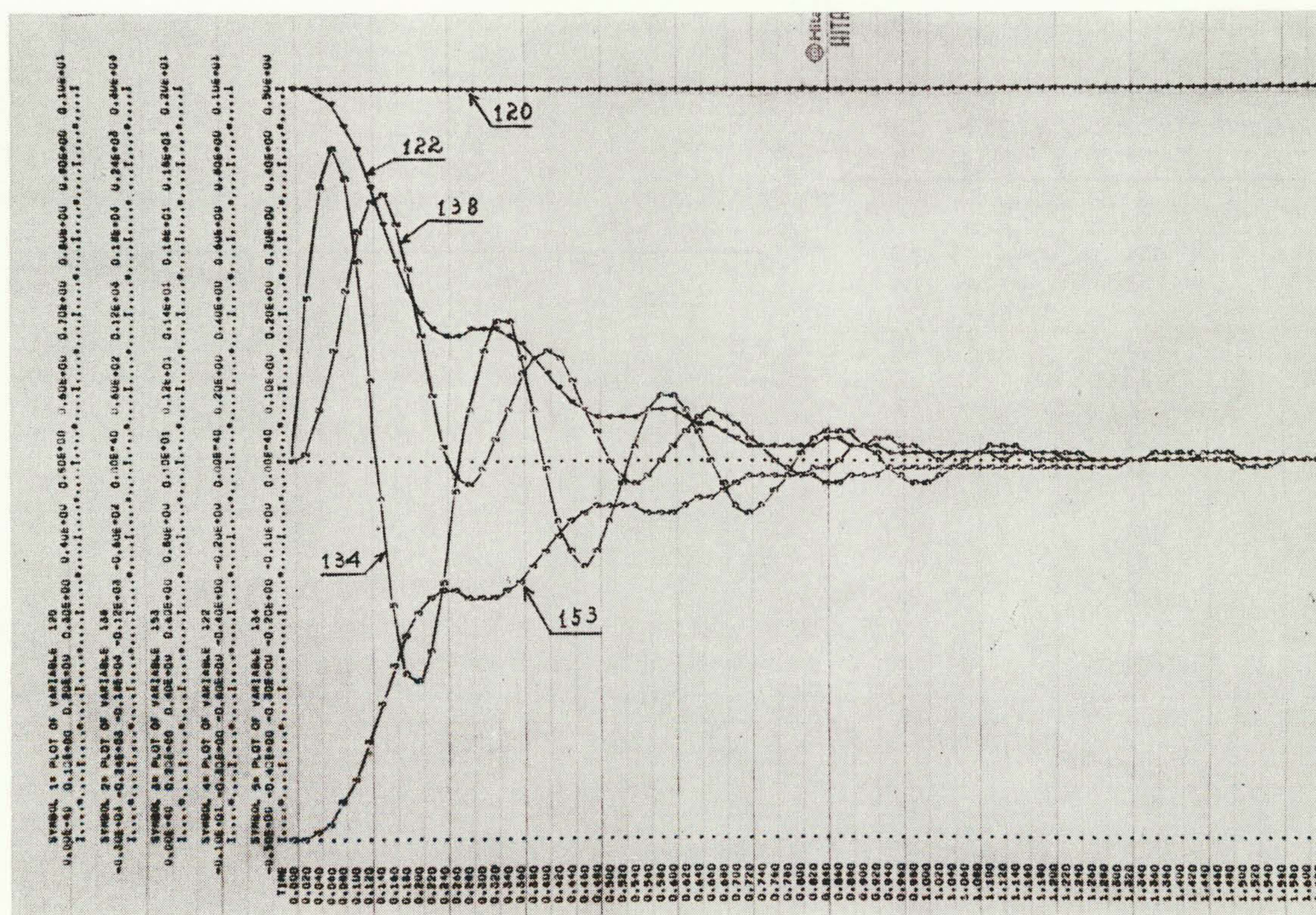


図 6 あるサーボ系の過渡応答

ーボ系の過渡応答をラインプリンタで図形表示したものである。この制御系のブロック線図は、図の余白に書き込んであるが、四つの非線形要素を有するもので、計算時間は HITAC 5020 で数十秒、HITAC 5020F の場合にはさらにこの 1/5 程度に短縮されることが期待できる。現在本ソフトウェアは社内において自動制御系の設計に利用されている。なおこの種のソフトウェアの使用はアメリカで特に盛んで、多くのものが開発されているが、本 DDS はこれらにかなり接近したものといえることができる。

■ ポリエチレンのトリー劣化防止

高電圧ケーブル絶縁にポリエチレンあるいは架橋ポリエチレンを使用する場合、最も問題となるのは高電圧課電のもとでクリープ絶縁破壊を起こしやすいことである。これはポリエチレン中の微小ボイド、不純物、酸化防止剤などの添加物の分散不良部における局所的な高電界の発生により局所破壊を起こし、これが樹枝状に発達し、いわゆるトリー破壊を起こすためと考えられる。図 7 はポリエチレンにそう入された針せん端から生長したトリーである。このようなトリー劣化の機構とその防止法について系統的研究を進めているが、すでにいくつかの大きい成果をあげた。

その第一はこのような劣化防止に役だつと思われる広範な有機化合物の探索研究の結果、添加剤を少量加えることにより加えないものに比べトリー発生電圧を約 2.5 倍に向上できるものを見だし、すでにそれを高電圧架橋ポリエチレンケーブルに適用し、信頼性を増すことができた。

またポリエチレン絶縁ケーブルを通気性のない湿った土中に直埋しておく、図 8 のような化学的トリーがポリエチレン中に発生することを発見した。このトリーは土中の腐食性成分が絶縁物を透過して導体を腐食し、その腐食生成物がポリエチレン球晶界面に進入し、トリーをつくることを確認した。この防止法についても絶縁物組成、ケーブル構造などを変えて実験し多くの知見を得ている。

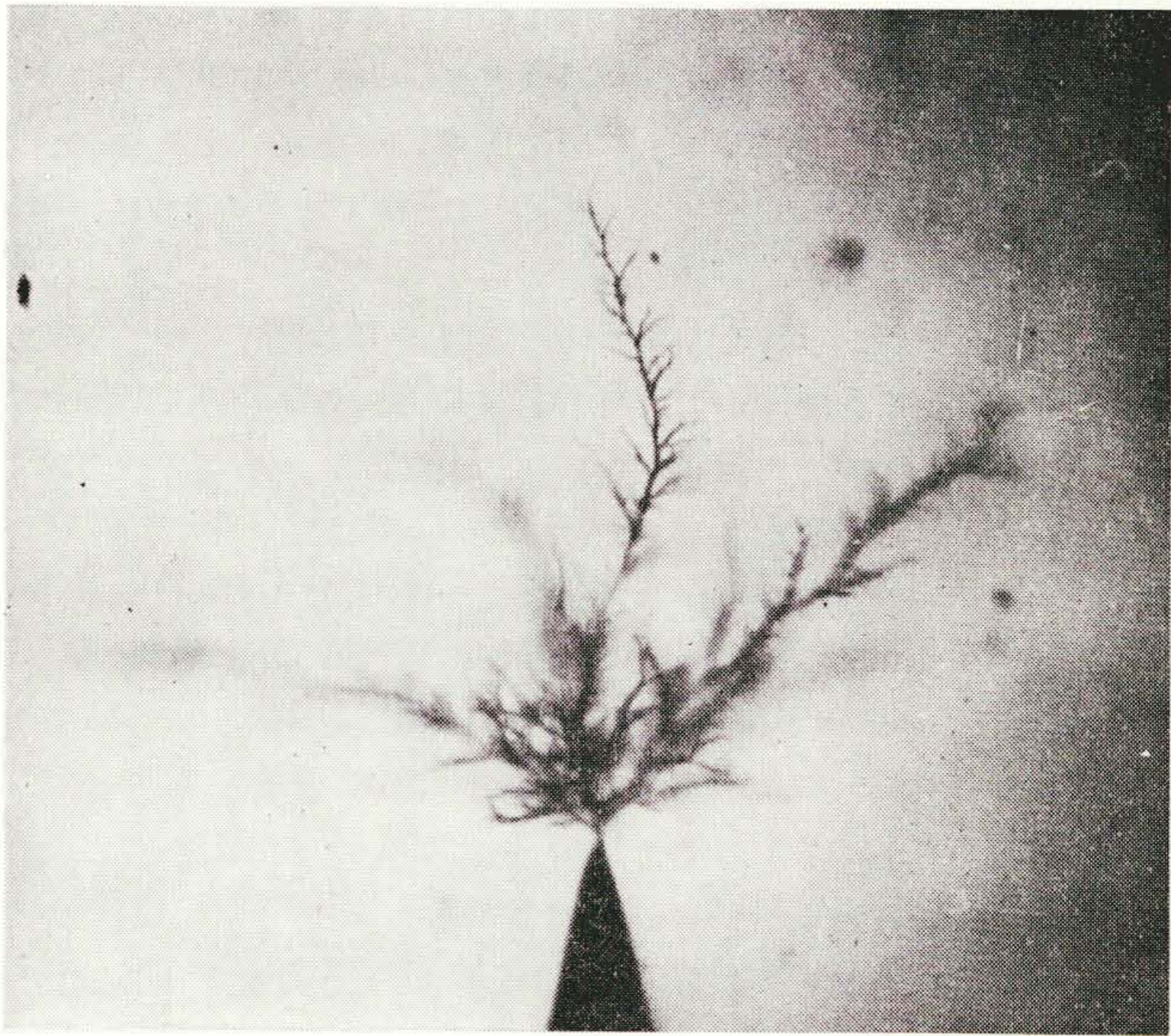


図 7 ポリエチレンにおける針せん端からの電氣的トリーの生長

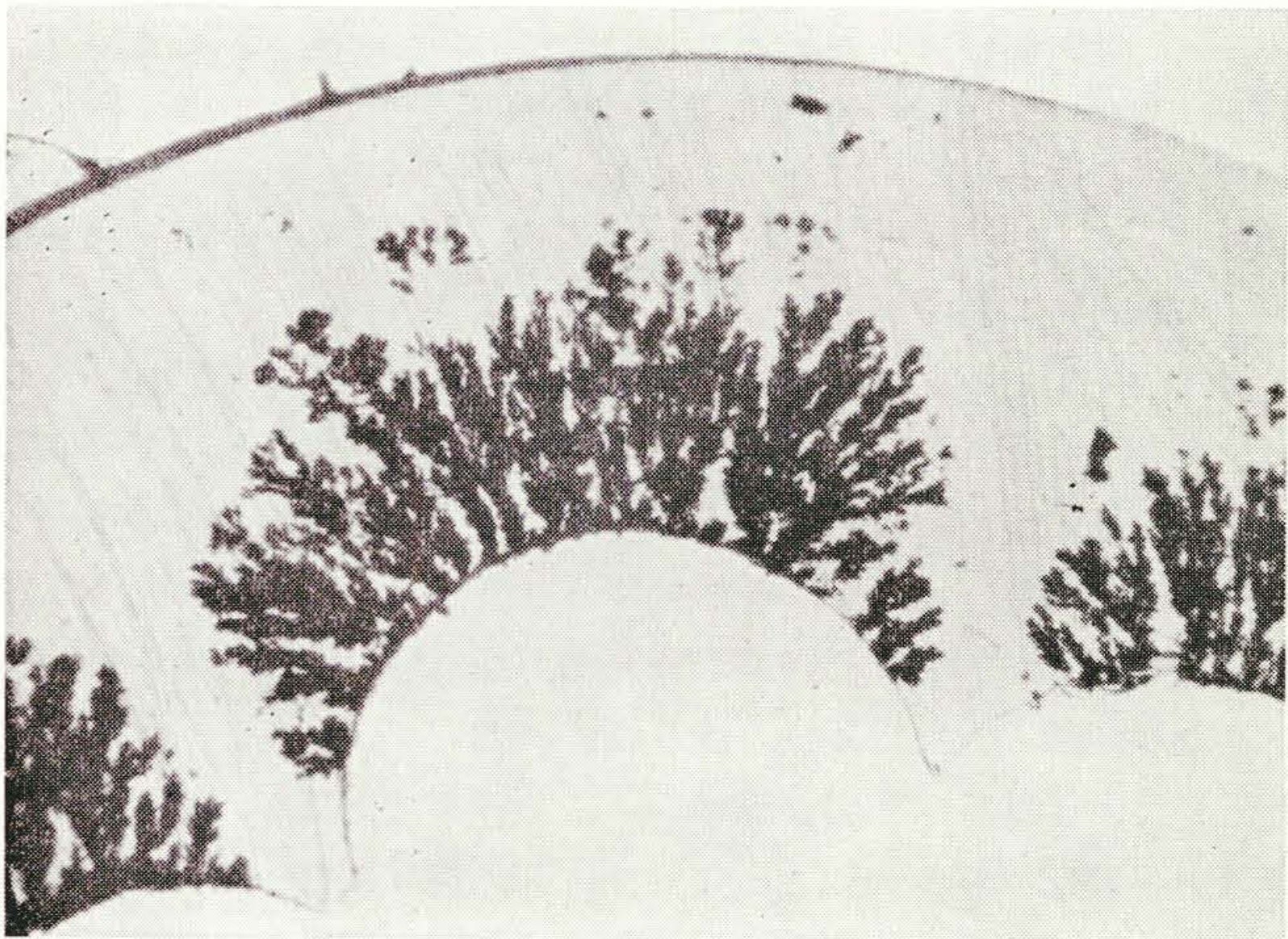


図 8 ポリエチレン絶縁ケーブル中に発生した化学的トリー



昭和 43 年度における日立製作所の社外寄稿、講演の成果
(昭和 42 年 10 月～昭和 43 年 9 月)

			社 外 寄 稿	社 外 講 演
関 係 部 門	電	機	424	82
	車	両	53	3
	機	械	95	22
	プ	ラ	26	11
	建	設	17	0
	汎	用	1	8
	商	品	53	22
	家	電	83	5
	自	動	13	1
	通	信	136	47
	コ	ン	82	27
	ン	ピ	180	32
	電	子	115	27
	計	測	266	838
主 催 先	研	究	11	37
	経	営	18	0
	そ	の		
	ほ	か		
合 計			1,573	1,162
主 催 先	学	会	851	714
	協	会	181	144
	そ	の	541	304
	ほ	か		
合 計			1,573	1,162

日立製作所の工業所有権増減表

日立製作所所有の特許権、実用新案権、意匠権、商標権の昭和 42 年 10 月より昭和 43 年 9 月末日までの 1 年間の増減は下記のとおりである。

	昭和 42 年 9 月末現在 件	当期間増 件	当期間減 件	差引増減 件	昭和 43 年 9 月末現在 件
特 許 権	5,871	1,032	262	(増) 770	6,641
実用新案権	10,963	1,386	809	(増) 577	11,540
意 匠 権	2,192	387	248	(増) 139	2,331
商 標 権	881	58	8	(増) 50	931
計	19,907	2,863	1,327	(増) 1,536	21,443

日立製作所の外国特許権、商標権

日立製作所が昭和 43 年 9 月末現在で諸外国に所有している特許権、商標権は次のとおりである。

特許権 1,001 件 (アメリカ、イギリス、ドイツ、フランス、インド、スイス、イタリアなど 21 個国に登録)
商標権 896 件 (アメリカ、イギリス、カナダ、フランス、ポルトガル、イタリアなど 93 個国に登録)