

昭和46年のドルショックに続く大幅の円切り上げ，輸出環境の急変に加え，GNP第一主義から社会福祉優先への移行など，今やわが国の経済は大きな転換期にさしかかっている。このような情勢下において，日立製作所が国際企業として一段の飛躍を遂げるためには，内外の環境変化に即応した新技術，新製品の研究開発が必要不可欠であることはあらためて言うまでもない。

研究開発の推進にあたっては，日立製作所の各研究所の総力をあげて先行開発を旗印に各事業部，工場を支援しつつ技術転換の促進を図っている。具体的には，国際的な視野に立ち研究の計画性と創造性との調和を図りながら，プロジェクトの重点化と大形化，マーケットニーズの把握(はあく)，研究のスピードアップとタイミングのよい企業化などを強力に進めるよう鋭意努力している。

また国家的な要請である自主技術の確立と環境改善技術開発の推進に対し，日立製作所としては，政府の大型プロジェクトの一環であるパターン情報処理システム，海水淡水化，電気自動車用サイリスタチョッパ制御などに参加し鋭意研究を進めている。

そのほか官，公庁からの助成，研究依頼などによるものとしては液晶を用いた表示素子の試作や汚泥(おでい)処理技術の開発などから，原子炉異常検出による安全性の評価に至

る広範囲なプロジェクトに参加し，その数は十数件に及んでいる。

日立製作所の製品は以下各章に述べるように多種多様であり，研究開発の内容も，新技術，新製品をめざした先行開発から，顧客に歓迎される製品とサービスの供給を目標とした現製品の開発，たとえば性能と信頼性，取扱いやすさの改善，価格低減のための設計，生産の省力化・自動化が各製品ごとに強力に実施されている。

これらのうち先行開発について，近く実現するものとしては半導体関係にガリウムヒ素インパットダイオード，高純度高速シリコンエピタキシー，半導体レーザ素子，緑色発光ダイオードなどがあり，情報機器関連には手書き漢字・かな文字オンライン実時間認識法，触覚ロボットがある。また，メディカルエレクトロニクス関係には脳波自動解析装置，海洋関係には水中ブルドーザの開発がある。さらに基盤技術としては溶接部の脆性(ぜいせい)破壊防止の研究，消弧現象の研究，原子力機器の耐地震の研究など多数の新技術が開発された。

ここに採録したものは研究成果のごく一部であって，成果の大部分は2章以下の各製品に盛り込まれている。

日立製作所研究陣は常に開拓者精神をもって不断の努力を重ね，技術の日立へ基盤作りを推進することを念願している。

メサストライプ形半導体レーザにより 低電流，単一モード発振に成功

GaAsと $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ のヘテロ接合結晶作製技術の進歩により半導体レーザの室温連続発振が実現されて以来，半導体レーザは光通信や光情報処理のための小形，低電圧，高効率のレーザ光源として注目を集め，内外でその研究開発が活発化している。日立製作所はGaAs- $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ダブルヘテロ接合結晶成長条件の最適化を図るとともに，メサストライプ形と呼ぶ新しい構造の素子を開発し，低電流，単一モードのレーザ発振に成功した。

図1はメサストライプ形GaAs- $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ダブルヘテロ接合レーザ素子の構造を示すものである。在来の平面的均一電極形のレーザではFabry-Perot鏡面の間でフィラメント状のレーザ発振が起こり，その制御が困難であったが，図1の構造の素子はキャリアの再結合とそれに伴うレーザ発振は短冊(たんざく)形に局限された活性領域の中でのみ効率よく

起こる。その結果，在来の素子ではレーザ発振に必要とするしきい電流は200mA以上であったのに対し，この素子では最低31mAにまで低下させることができ，レーザ発振が著しく容易となった。またレーザ発振のモード特性も改善され，特にメサエッチをGaAs活性層の直上でとどめた素子ではほぼ縦単一，横単一最低次のモードの発振を実現することができた。これらの特性改善は光通信，光情報処理などへの応用に対して有効であり，今後素子の信頼性の確保によって実用化が期待される。表1はメサストライプ形レーザ素子の主要特性を示すものである。

表1 メサストライプ形半導体レーザの特性

動作電圧	2 V
発振しきい電流最低値	31 mA (室温)
発振しきい電流密度最低値	900 A/cm ² (室温)
発振波長	8,500 Å
発振出力	30 mW (cw), 150 mW (パルス)
微分量子効率	40%
エネルギー変換効率	5% (cw)

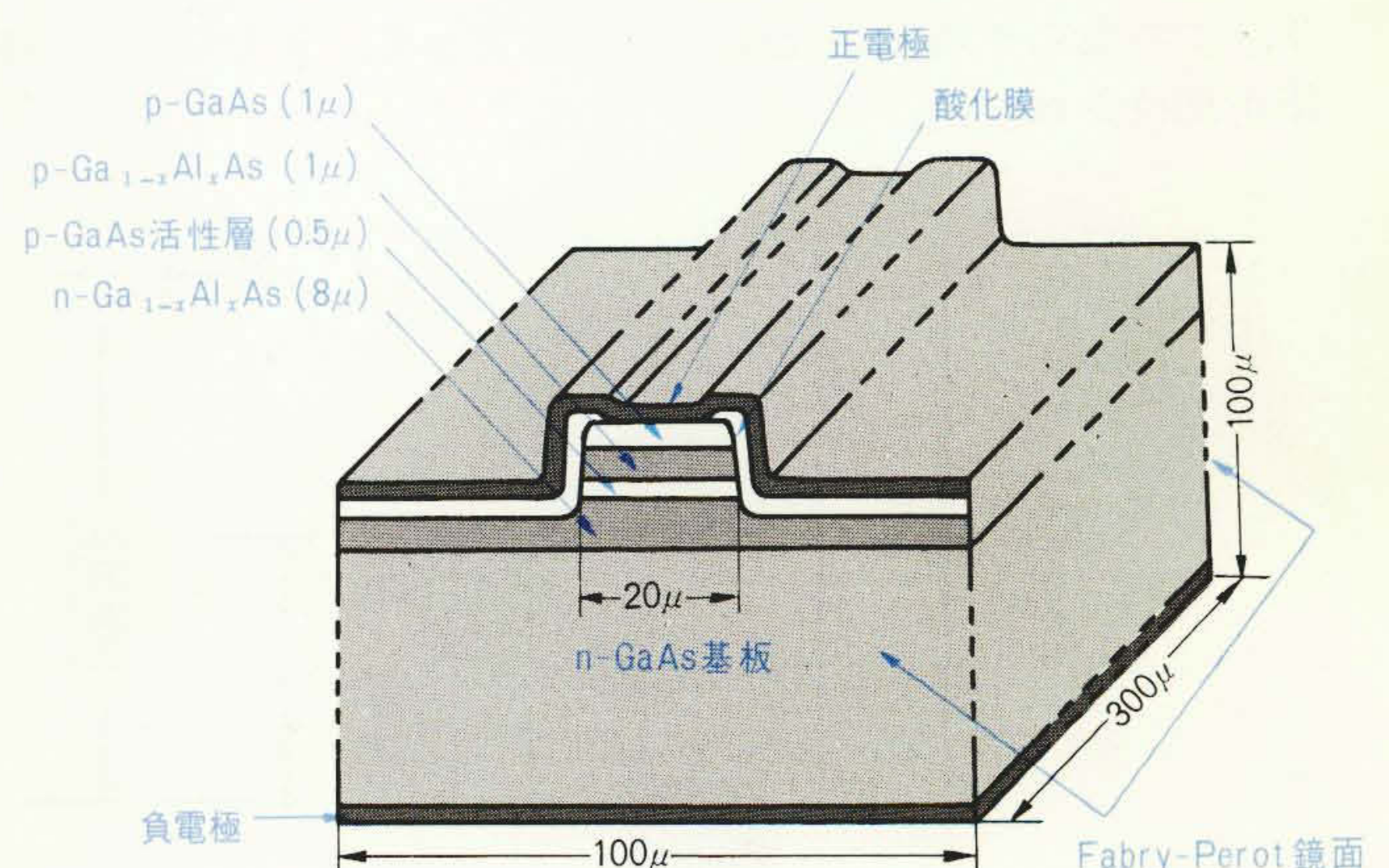


図1 メサストライプ形半導体レーザ

省力化・定量化を図った脳波自動解析装置

脳細胞の活動電位を頭皮上より記録した脳波を、高度の知識と長年の経験を持った専門医が多量の労力をかけ診断しているが、その省力化と定量化を図るため、脳波を自動的に解析し、異常の有無を判定する脳波自動解析装置を開発した。

すなわち、12チャンネルの脳波と1チャンネルの心電図をオンライン・リアルタイムで処理するため、各信号より極大点、極小点の時間、電圧および二次微分値などを専用ハードで抽出し、てんかん性患者に現われる棘波（きょくは）の検出、定常的に出現する背景波の分析などの波形処理を各チャンネルにつき順次行なう。次いで、左右差、振幅分布などの異常の判定を行ない、判定結果を印字する装置を試作し、85%の診断精度で使用する見通しを得た。

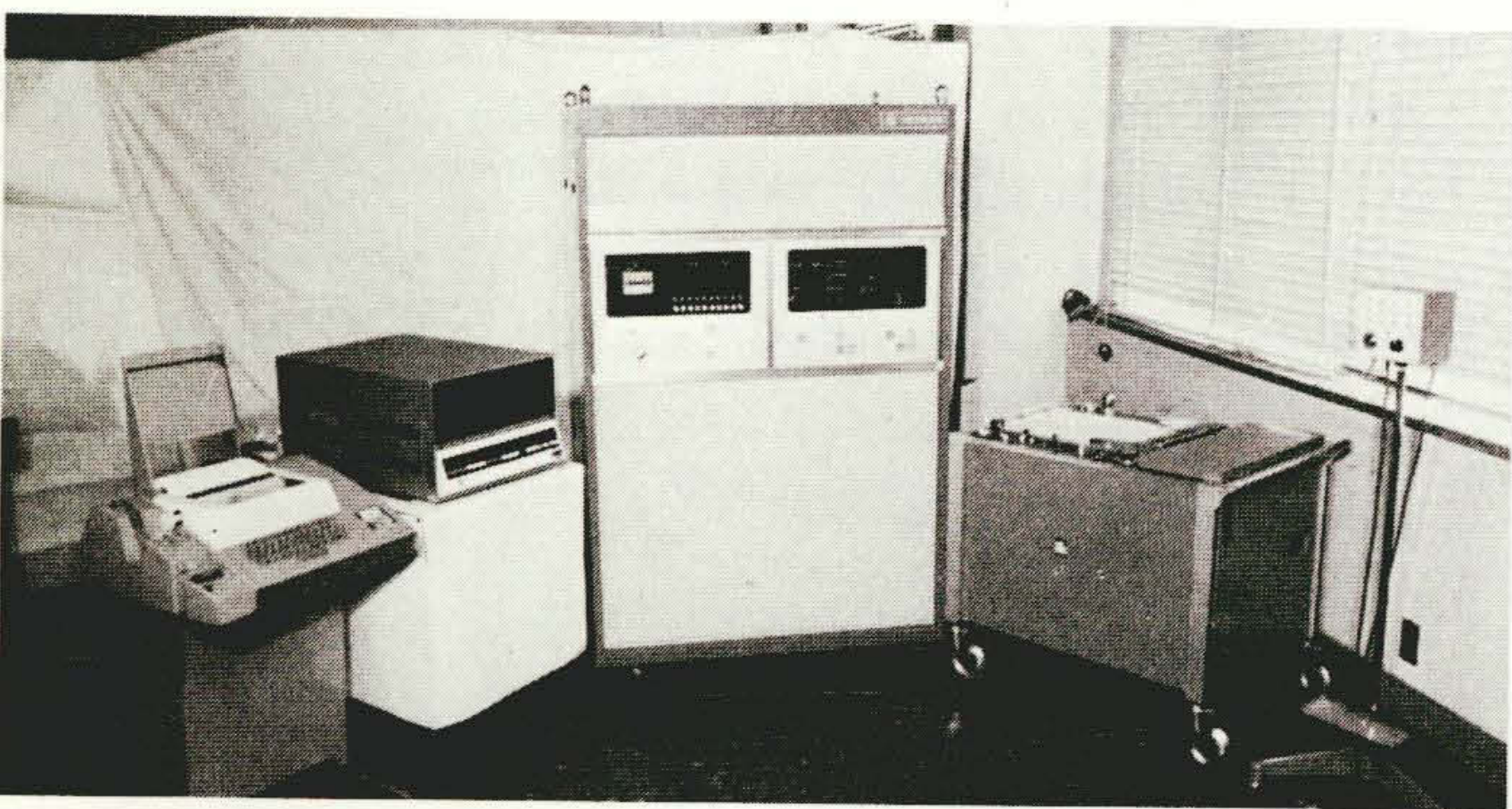
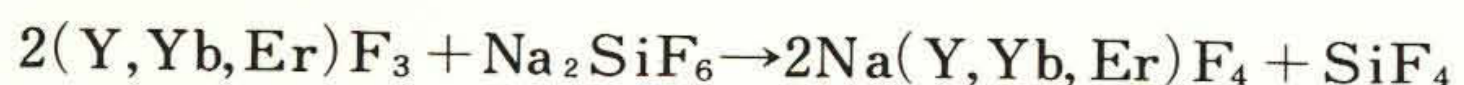


図2 脳波自動解析装置

高効率緑色発光赤外可視変換けい光体

赤外光を緑色光に変換する新けい光体 $\text{NaYF}_4:\text{Yb, Er}$ を次の新しい合成法によって開発した。



このけい光体は、従来品 ($\text{LaF}_3:\text{Yb, Er}$) の4～5倍の効率を持ち、効率3%、10%のGaAs:Si赤外発光素子に塗布すると、おのおの効率0.03%、0.2%の緑色発光素子(図3参照)が得られる。この効率値は、現在各社で盛んに開発中のGaPを用いた緑色発光素子と比肩しうる水準である。このタイプの発光素子は、真緑色に発光し、基板結晶に比べて発光面積が大きいので、見やすい光表示ができる特長を持っており、この高効率新けい光体の開発によって、新しい用途の開拓が期待される。

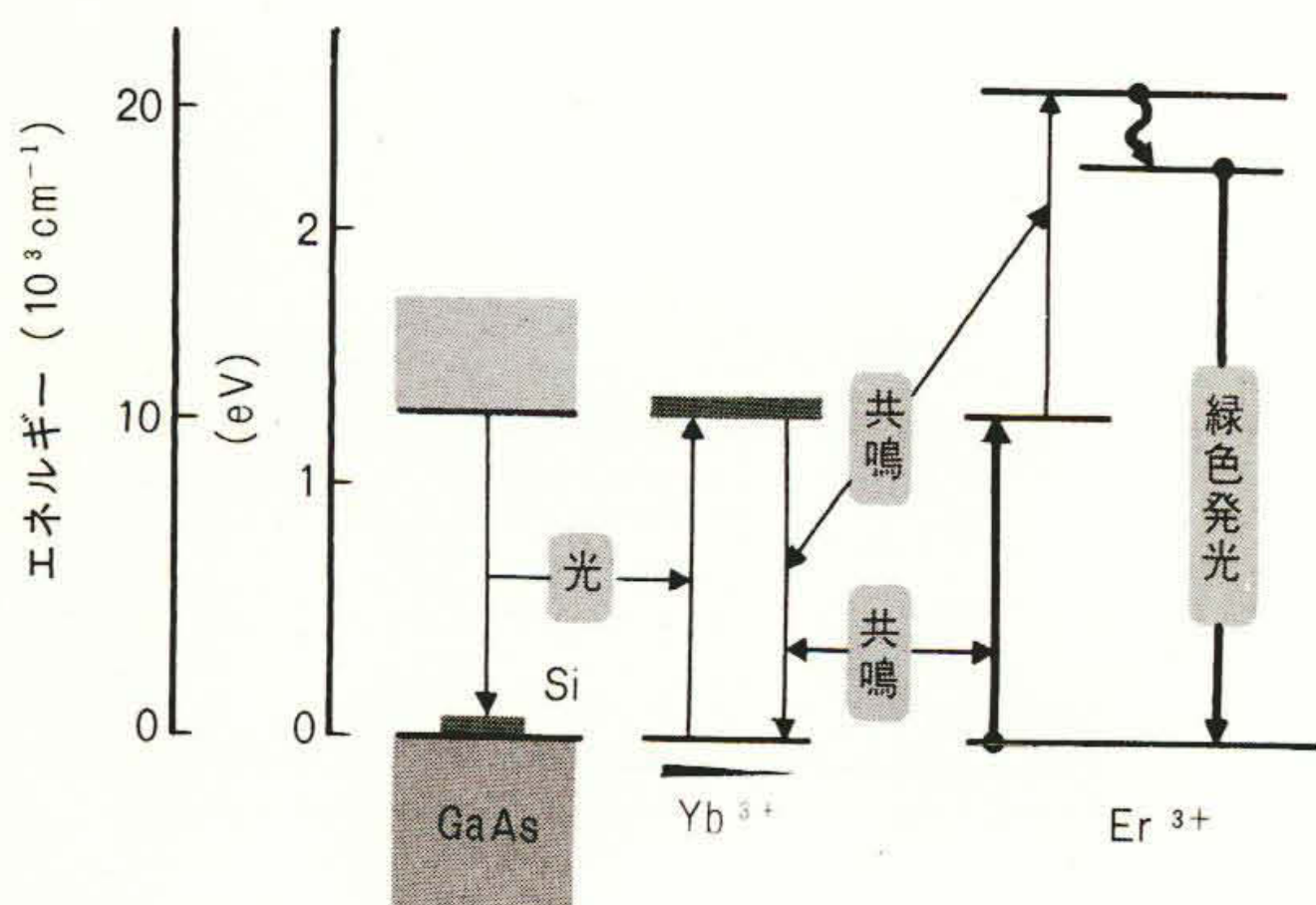


図3 緑色発光赤外可視変換けい光体の発光機構

GaAsインパットダイオード

ミリ波帯近くで動作するショットキー接合形GaAsインパットダイオードを試作したところ、Siインパットダイオードより高効率、高出力となり、すぐれた特性を持つことがわかった。

使用したGaAs結晶は液相成長法で製作したもので、これにPtを真空蒸着してショットキーバリアを形成し、合金法によってヒートシンクに接着してダイオードを作った。この方法によって30GHz帯で最大連続波出力438mW、効率約12%を記録し、出力200mW級のダイオードが容易に得られた。さらにPt層にCuを厚めつきしてヒートシンクを作る方法により30GHz帯で最大連続波出力725mW、最大効率12%が得られた。

図4は試作ダイオードの発振特性の一例を示す。最大出力電力が動作周波数の二乗に反比例して小さくなることを考慮すると、得られた値は世界的水準にある。

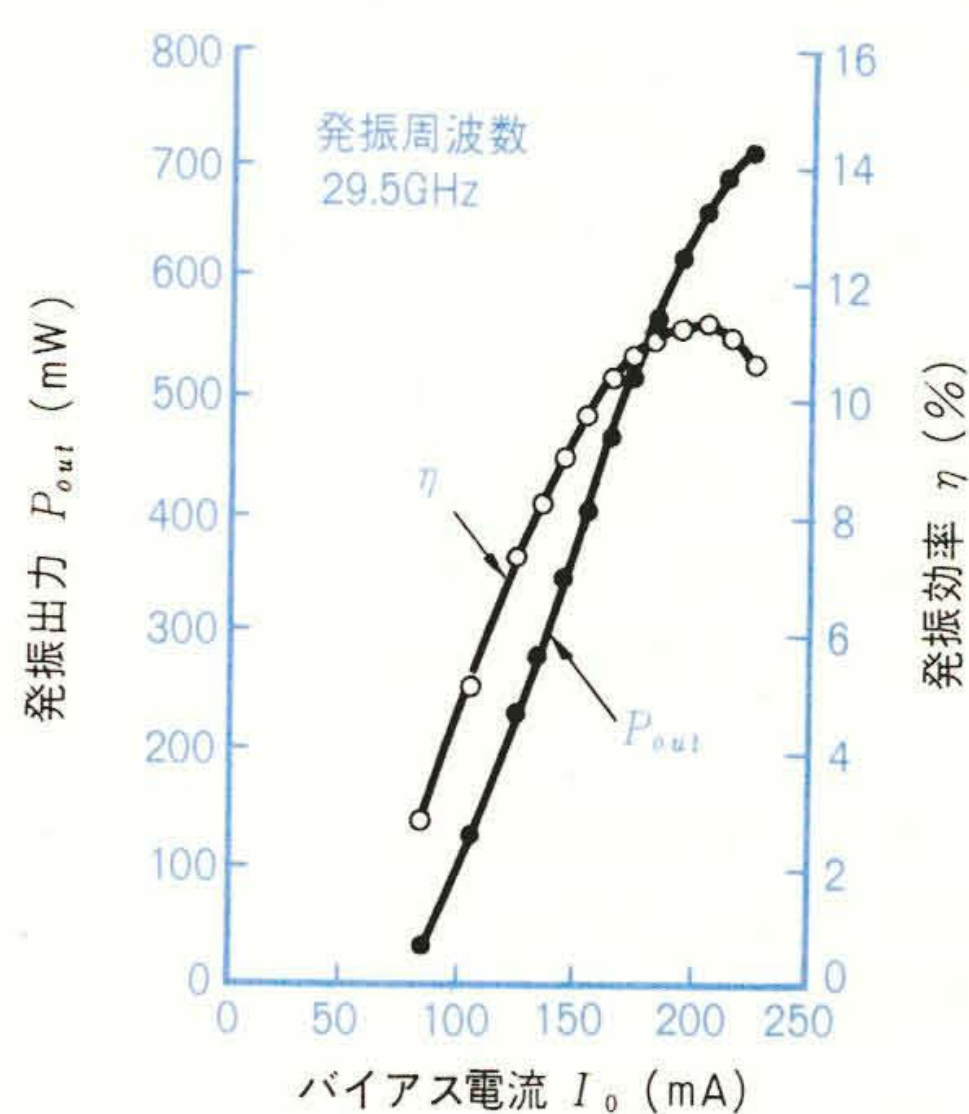


図4 GaAsインパットダイオードの発振特性例

高純度、高速シリコン・エピタキシー

Si単結晶基板上に同じ単結晶層を気相反応により形成させるエピタキシャル成長 (epitaxial growth) 技術は、トランジスタやIC (集積回路) 素子の製造に大量に適用されるようになって以来大きな進展を遂げたが、最近、電力用半導体素子にもこの結晶成長技術の応用が要求され始めている。電力用素子に適用する場合は高耐圧、大電流容量が必要であるため、成長層の純度、結晶性、均一性などに対する要求は従来の小電力のトランジスタやIC素子の場合に比べて格段ときびしいものになる。さらに厚い成長層を必要とするため高速成長が望まれる。

成長層の純度は(1)反応に使用される原料ガスおよび成長装置のガス配管系や炉系からの汚染、(2)成長反応直前の気相エッチング工程において、エッチングガス自体に含まれる不純物や基板がエッチ (etch) されることによって発生する不純物による汚染、(3)基板ウェハにはドーパント不純物を多量 ($10^{18} \sim 10^{19} \text{ atm/cm}^3$) に含んだ結晶が多く使用されるが、反応中にこれらの不純物が成長層内に取り込まれることに起因する汚染などの影響を受ける。装置とプロセス上の改善によりこれらの問題を解決し、量産的規模でドーパント不純物濃度が $10^{12} \sim 10^{13} \text{ atm/cm}^3$ のオーダの高純度成長層を形成する技術を確認した。また、成長速度に関しては原料ガスのモル比を増加することによって従来よりも数倍速い $3 \sim 11 \mu/\text{min}$ の高速成長が可能になった。図5はこのような高純度成長層内の厚さ方向のドーパント不純物濃度分布の例を示したものである。これによって、従来よりも1～2けた少ない 10^{13} atm/cm^3 オーダま

での不純物濃度制御が可能となった。

結晶中の酸素と炭素は素子製作プロセス中に抵抗率変化や析出など望ましくない現象を示す。したがって、それらの含有量はできるだけ少ないことが必要である。本法による成長層中の酸素と炭素の含有量を低温赤外吸収法によって分析した結果、酸素は $1 \sim 3 \times 10^{16} \text{ atm/cm}^3$ でCZ結晶より約1けた少なく、炭素も検出限界の $1 \times 10^{16} \text{ atm/cm}^3$ 以下で通常のCZ, FZ結晶よりも少ないことがわかった。また、素子の試作に応用した結果、この高純度エピタキシャル成長技術は逆耐圧2,000V以上、キャリア・ライフタイム数10 μ s以上を必要とする電力用半導体素子にも適用可能であることが確認された。

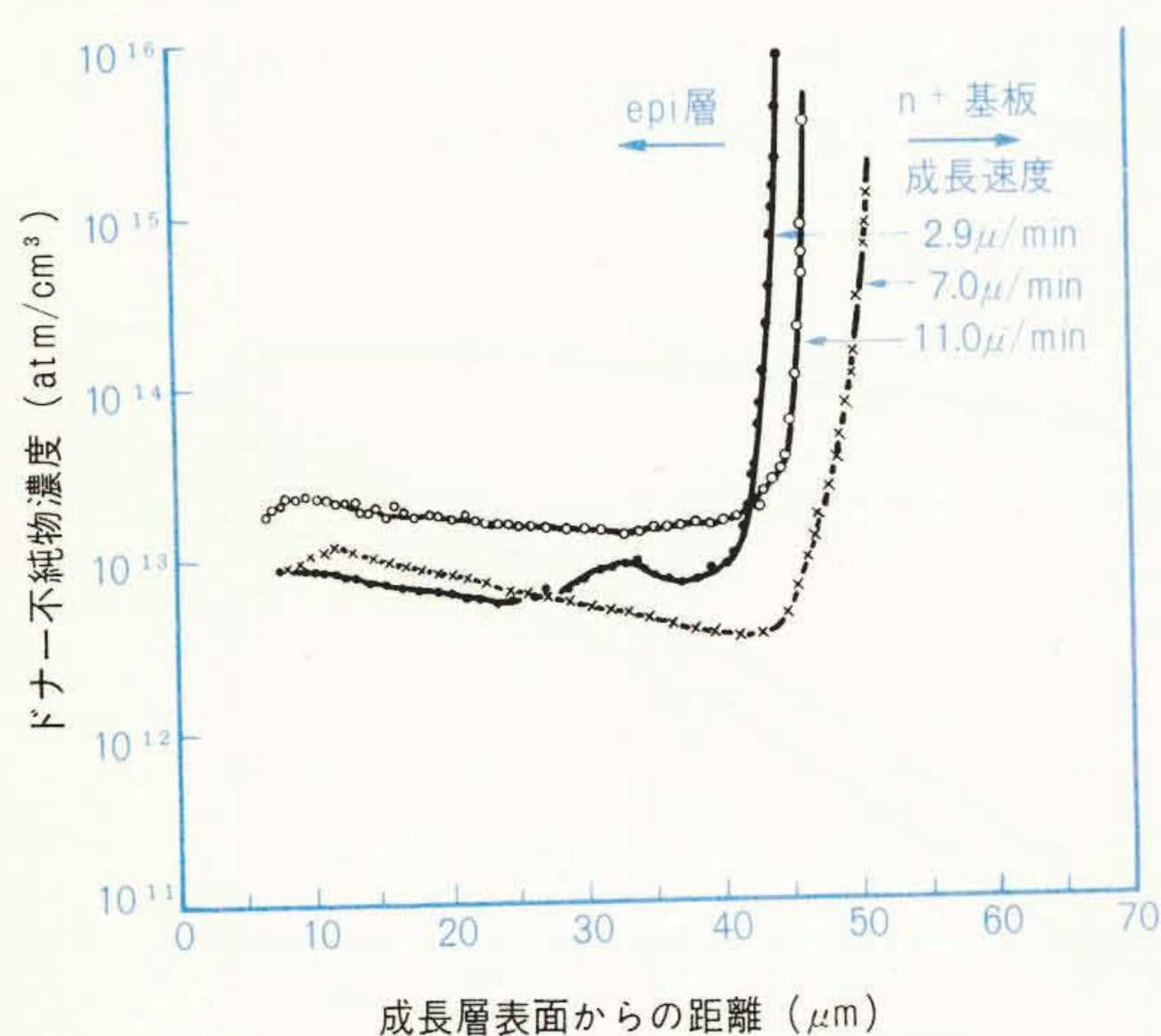


図5 高純度エピタキシャル成長層のドナー不純物濃度分布の例

手書き漢字・かたかな文字のオンライン認識システム

漢字テレタイプに代わる簡便な漢字入力方式の一つとして、手書きしていく漢字・かたかな交じり文を実時間で認識し、直接入力することのできるシステムを開発した。データタブレット（筆点座標入力装置）とコア16K語、ドラム、ディスク付のHITAC-10で構成され、原稿用紙に入力ペンで漢字かな交じり文を書くと、各文字の画数とその各画の形状を判定し、必要ならば各画の位置関係、大小関係などを調べて文字を認識する。一文字の認識時間は約250msで、少しの訓練によって90～100%の認識率が得られる。

オンライン手書き認識であることから、新聞社、出版社での校正、編集システムや情報検索でのキーワードの入力、銀行窓口での氏名、サインの認識などに広く利用されるものと期待される。

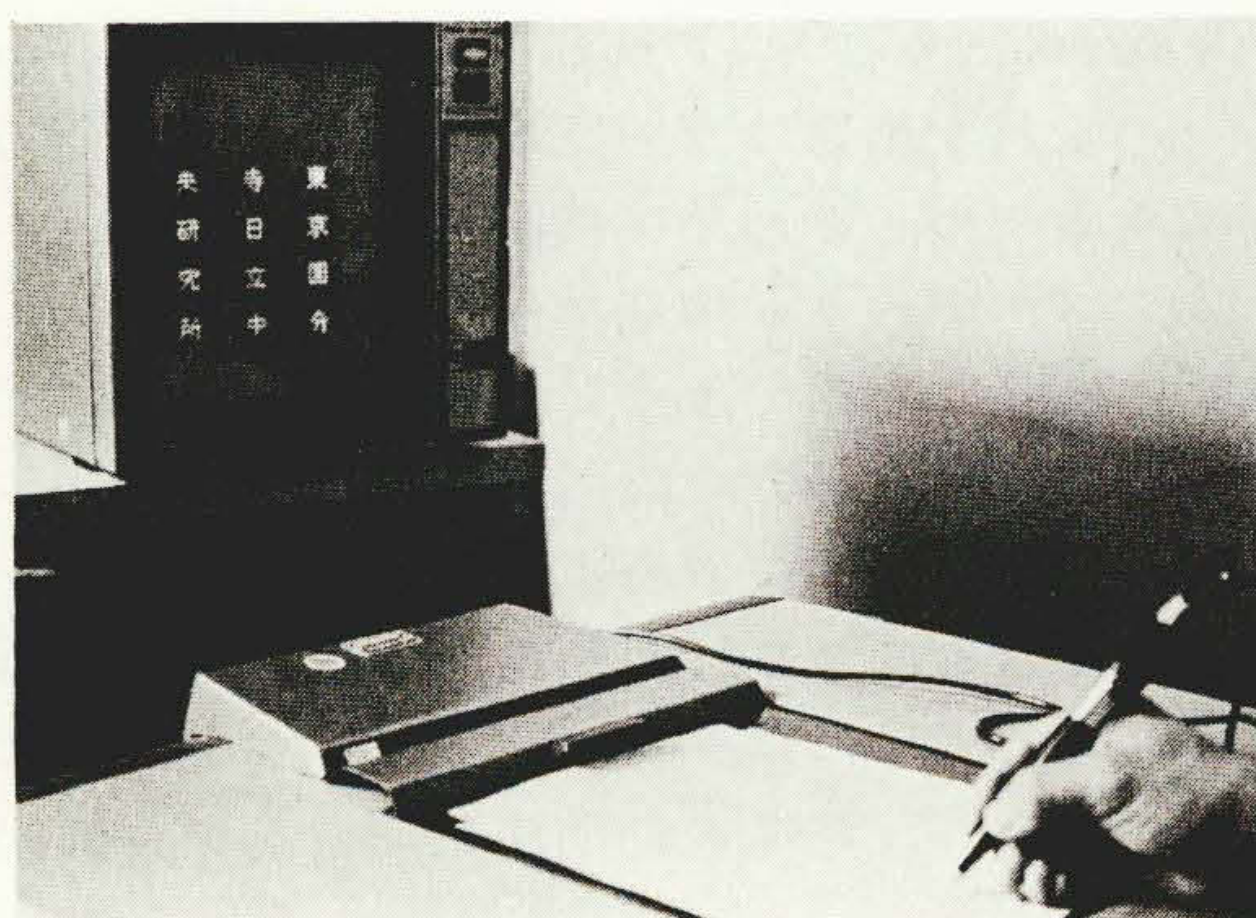


図6 手書き漢字入力装置および認識結果の表示例

手さぐりで物体を検知し、箱詰めする触覚ロボット“HI-T-HAND”

触覚ロボット“HI-T-HAND”（ハイティーハンド）は、計算機制御により、(1)手先の触覚によって物体の位置を探索する。(2)触覚により物体の姿勢に指の位置方向を合わせ、中心位置近くをつかむ。(3)つかみ幅の寸法を測定して形状や姿勢を認識する。(4)あと作業に都合のよいつかみ方向を判断し、必要あれば物体の姿勢を変更する。(5)つかんでいる物体を対象面にあてがって位置決めする。(6)置いた物体を対象面に押しつけて位置決めするなど、手先の感覚によって器用な手作業をする機能と判断機能をもっている。希望の箱詰めパターンを簡単な表の形で指示することにより、箱詰め作業を自動的に進めていくことができる。

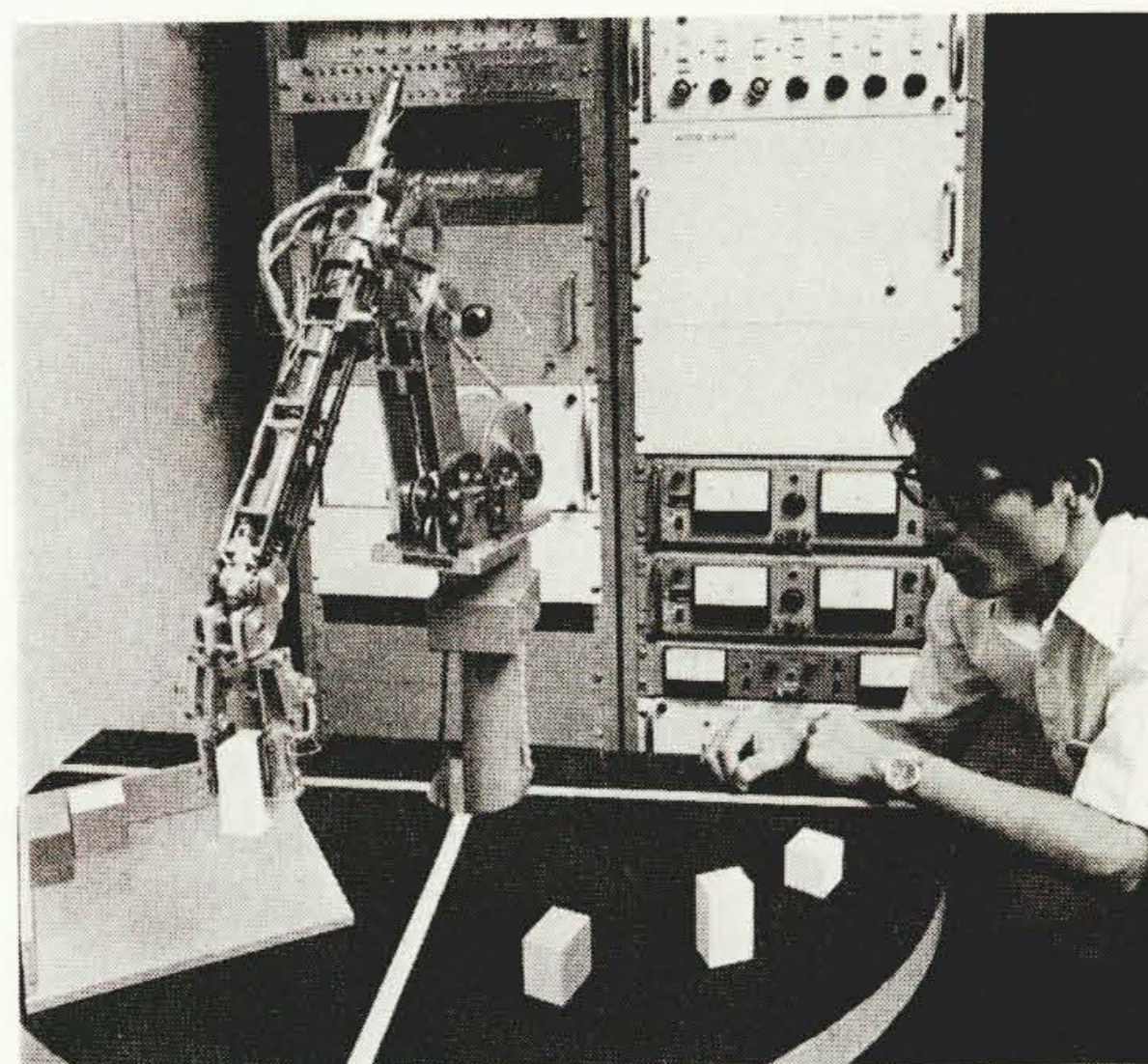


図7 触覚ロボット“HI-T-HAND”による箱詰め作業実験

真空中で開閉する永久電流スイッチ

MHD発電用、超高速列車の浮上装置用などの大形超電導電磁石を運転する際は、励磁電力の節減のため、永久電流により励磁する方法が採られる。この際、電流の減衰を少なくするため、接触抵抗のきわめて小さい永久電流スイッチが要求される。今回、接点部を真空中に設けた新方式のものを試作した。本方式によるスイッチは接点部分が真空中に置かれて、接点表面が常に清浄に保たれるため、試作器でも、30kgの軽い接触力で0.18 $\mu\Omega$ と低接触抵抗が得られ、安定した特性を維持し得ることができた。このスイッチは、たとえば10Hの超電導コイルの永久電流を30日後でも、わずか5.5%の減衰に押えることができる。また4.2°Kにおける連続開閉試験においても、異常はなんら発生しないことを確認した。



図8 試作した永久電流スイッチ

真空スイッチの高周波多重再発弧現象の解析

真空スイッチは、時代の要求にあった数々の長所を有しているので、広く普及してきている。また従来、唯一の欠点とされた電流さい断現象によるサージ発生の問題も、低さい断レベルの電極材料の開発あるいは適宜なサージ抑制策により解決されている。しかし、最近になって高周波多重再発弧サージという特異な現象が電力中央研究所にて発見され問題となった。日立製作所では、いち早くこの現象の把握(はあく)と解析に着手しその全貌を明らかにすることができた。すなわち、この特異なサージは、投入時の先行放電あるいはしゃ断時の再発弧放電時に見られるもので、その代表的オシログラムを図9および図10に示す。本解析により、このようなサージが発生するのは、真空スイッチが強力な消弧力を持つため、先行放電や再発弧放電の電流に過渡的に重畳してくるMHzオーダの高周波電流をもしや断してしまうのが直接の原因であり、そしてこのため高周波消弧と再発弧が交互に何度もくり返され、発弧サージが連続的に現われるのが特徴であることが明らかになった。そこで本解析をもとにシミュレーションプログラムを開発し、発生サージを予測できるようにした。図11はその結果である。実際には真空中での放電電圧のばらつきのため、実測のほうサージ発生領域は広がっているが最大値はよく一致している。なお、日立製作所では本研究をもとにサージ対策規準を設け、効果的に対策を構

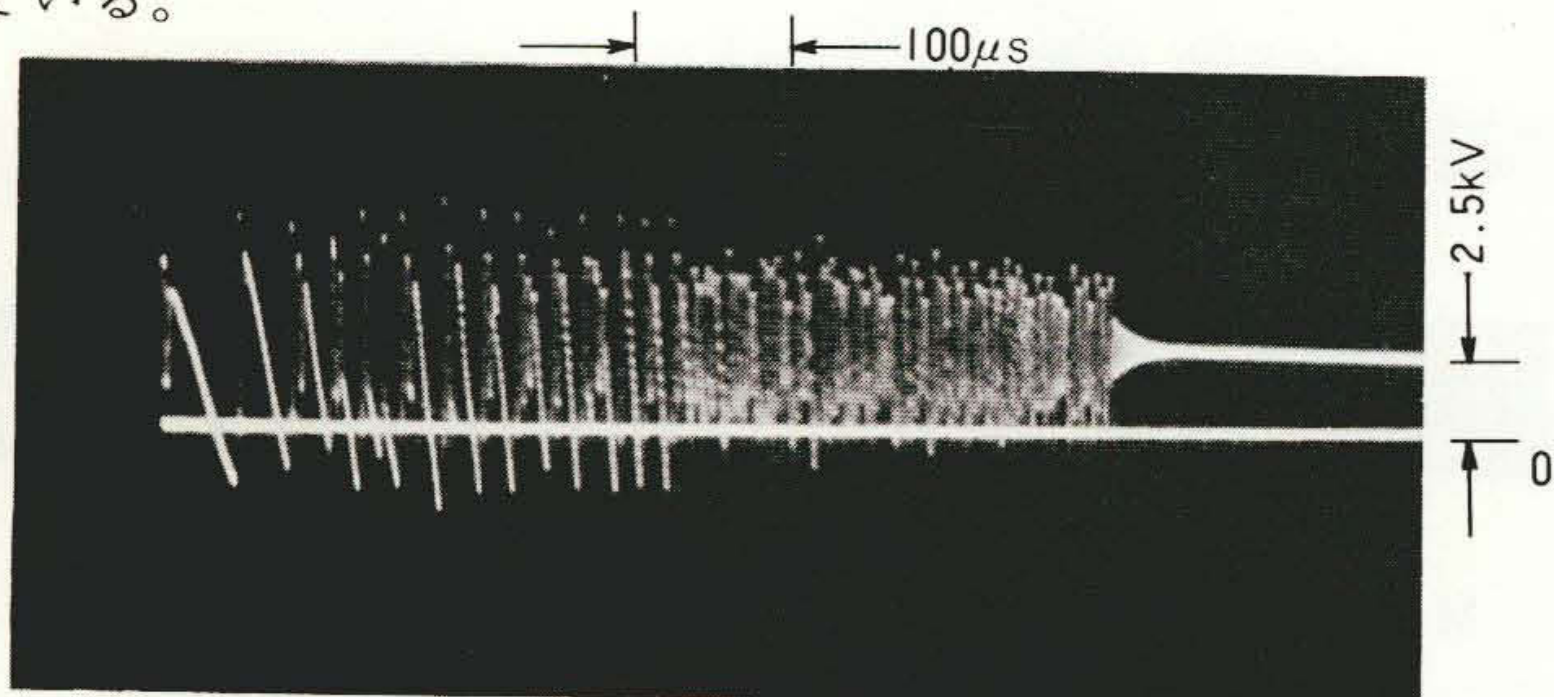


図9 投入時多重再発弧サージ

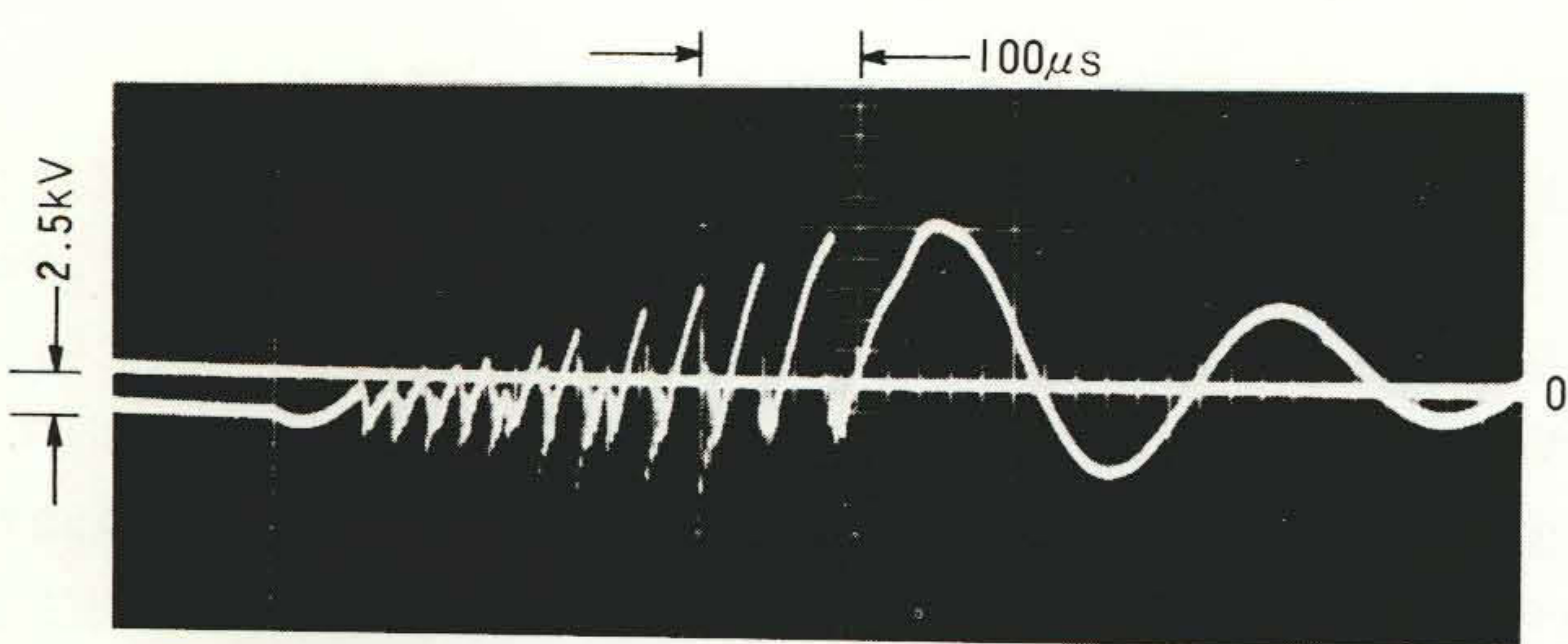


図10 電動機起動即しゃ断時多重再発弧サージ

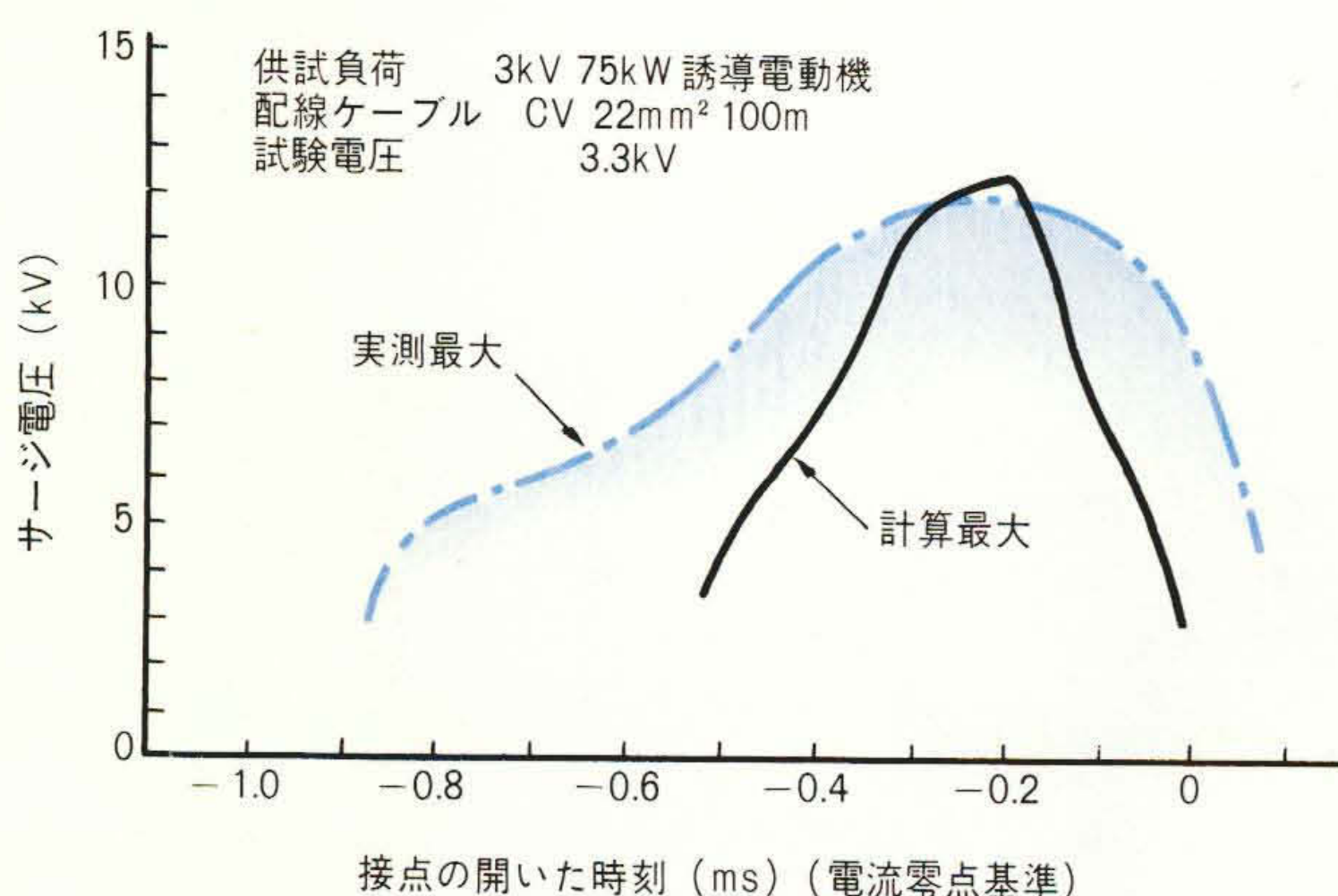


図11 電動機起動即しゃ断時多重再発弧サージ

ヒドラジン-空気形燃料電池

熱や騒音を出さない新発電方式として注目される燃料電池の中でも、この形は燃料が扱いやすい液体という大きな利点を有する。しかし、燃料利用効率が高く、かつ水素やアンモニアを排出するのが欠点で、これが実用化をはばんでいた。

日立製作所では、この改善に努め、このほど広い電流密度範囲にわたって燃料利用効率が90%以上で、かつ水素やアンモニアをほとんど排出しないすぐれた電池を開発した。これは化学的に還元して得られる微細な銀を焼結ニッケル板に付着させた電極を用いるもので、図12に示すように従来の電池に比べて燃料効率が著しく向上している。なお、この電池が1年以上の連続放電に耐えることもわかったので、目下、日立化成工業株式会社で製品化を進めている。

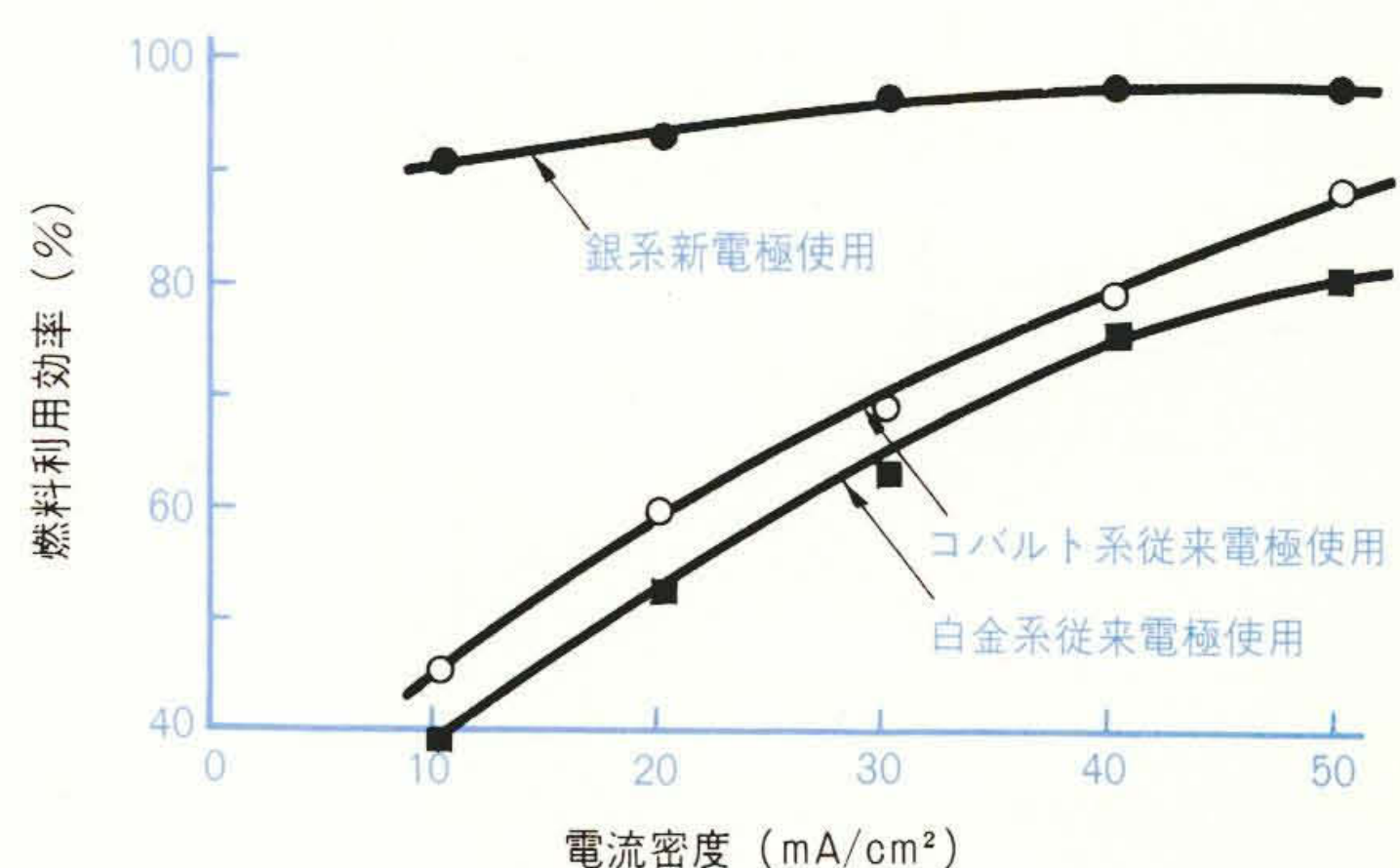


図12 燃料の利用効率

深海形水中ブルドーザシステムの開発

各種の港湾工事および海中の橋脚や沈埋函トンネルなどの基礎工事に使用することを目的として、水深5～60m前後の海底で土木建設作業ができる深海形水中ブルドーザシステムを開発した。

このシステムは水中ブルドーザと母船により構成され、次のような特長を有している。

- (1) ブルドーザの位置監視用ソナー、排土板直前の地形判定用ソナー、水中ブルドーザの方位および傾斜を検出するジャイロ装置などの計器により、海底のブルドーザの挙動を知り、船上の操縦室から遠隔操作により海底で建設作業(掘削、均(なら)し、掘戻し)をすることができる。
- (2) ブルドーザを浮上、沈降させるために、水中ブルドーザにはエアタンクを設け、母船には油圧ウインチを設けている、したがって作業現場への往復移動にはブルドーザを浮上させて曳航(えいこう)できるうえ、海底で走行中にへどろなどのため走行が困難になった場合でも、容易につり上げることができるため、きわめて機動性に富んでいる。
- (3) ブルドーザが海底で作業を開始すると、母船を大きく移動させることができないため、非自航として電源、空気源、制御装置など必要な諸設備をすべて搭載(とうさい)してある。作業中の母線の位置修正は四方に張ったアンカーワイヤを巻き取るにより行なわれ、ブルドーザをつり上げて大きく移動する場合にはタグボートにより曳航する方式としてある。
- (4) ブルドーザは電動油圧駆動方式で、母船から水中電動機

に送られる3.3kV回路と制御計測用の低圧回路とは1本の特殊複合ケーブルにまとめられている。

表 2 深海形水中ブルドーザシステムのおもな仕様

ブルドーザ	陸上32t 水中24t
走行速度	前後進 0～3km/h
水中電動機	150kVA 3,300V
油圧モータ	100PS×2
母 船	非自航バージ 全備重量 約120t
電 源	ディーゼルエンジン 360PS
	発電機 300kVA 3,300V
空 気 源	7kg/cm ² 10.3m ³ /min

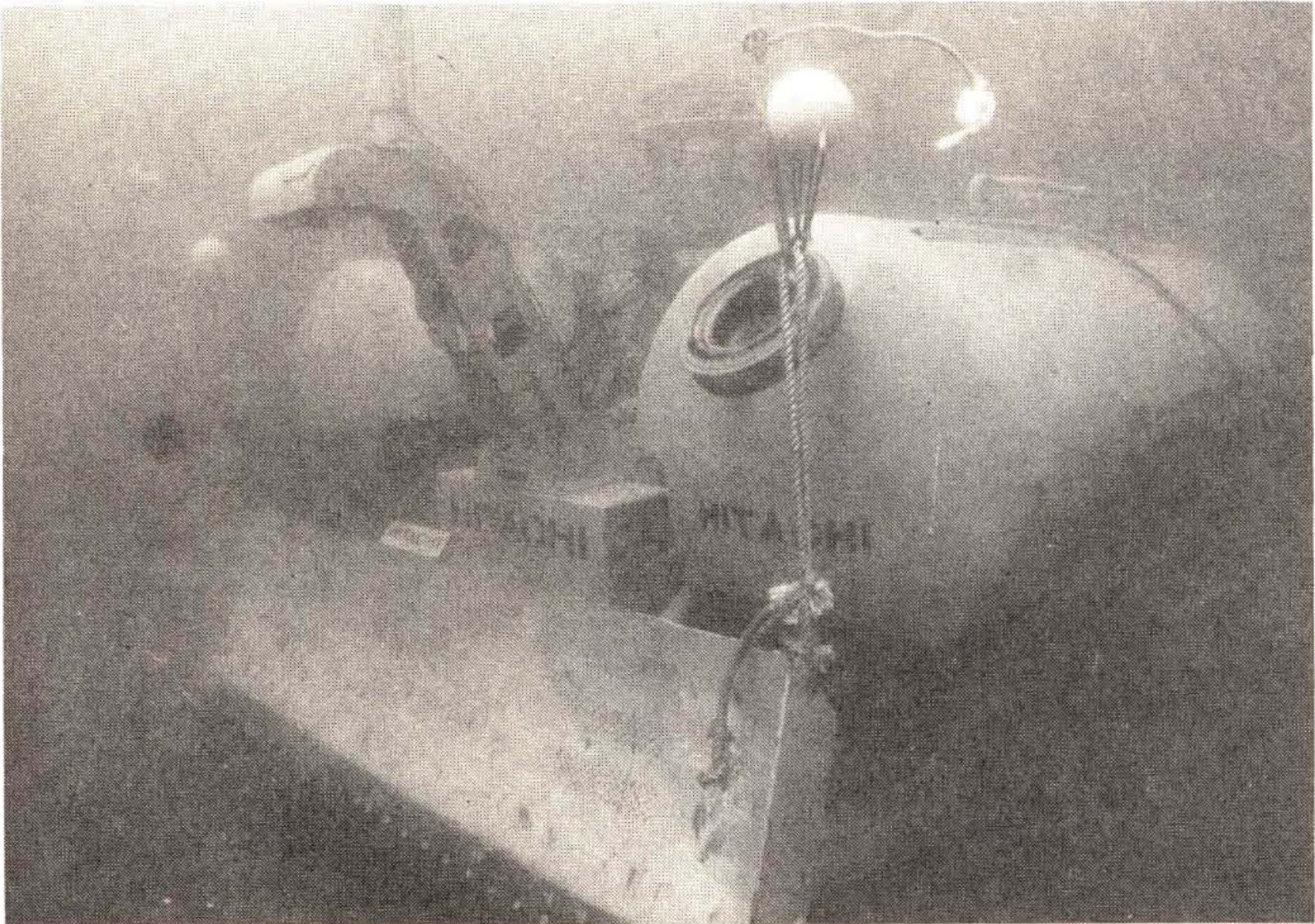


図13 海底における水中ブルドーザ（久里浜港 水深15m）

原子力機器の地震応答解析

原子力機器の地震時の応答をより精度よく求めることを目的として以下の諸研究を行ない、それぞれ成果を得た。

(1) 多入力励振問題の研究：静変位変換行列を導入した振動モード重ね合わせ法の研究を行ない、配管に適用した。

(2) 有限要素法の応用研究：容器類の計算を目的として、三角平板要素および任意形状曲面板要素を用いた殻体の振動計算プログラムを完成した。また、曲六面体要素を用いた三元次弾性体の振動計算プログラムも完成した。

図14は原子炉容器模型の要素分割法と計算結果を示したものである。

(3) 機器の減衰に関する研究：非直交性減衰をもつ任意の系に対する応答計算法を検討した。

(4) がた系の非線形振動の研究：燃料などの支持部にがたのある系についての応答計算法を完成し、この非線形特性を検討した。

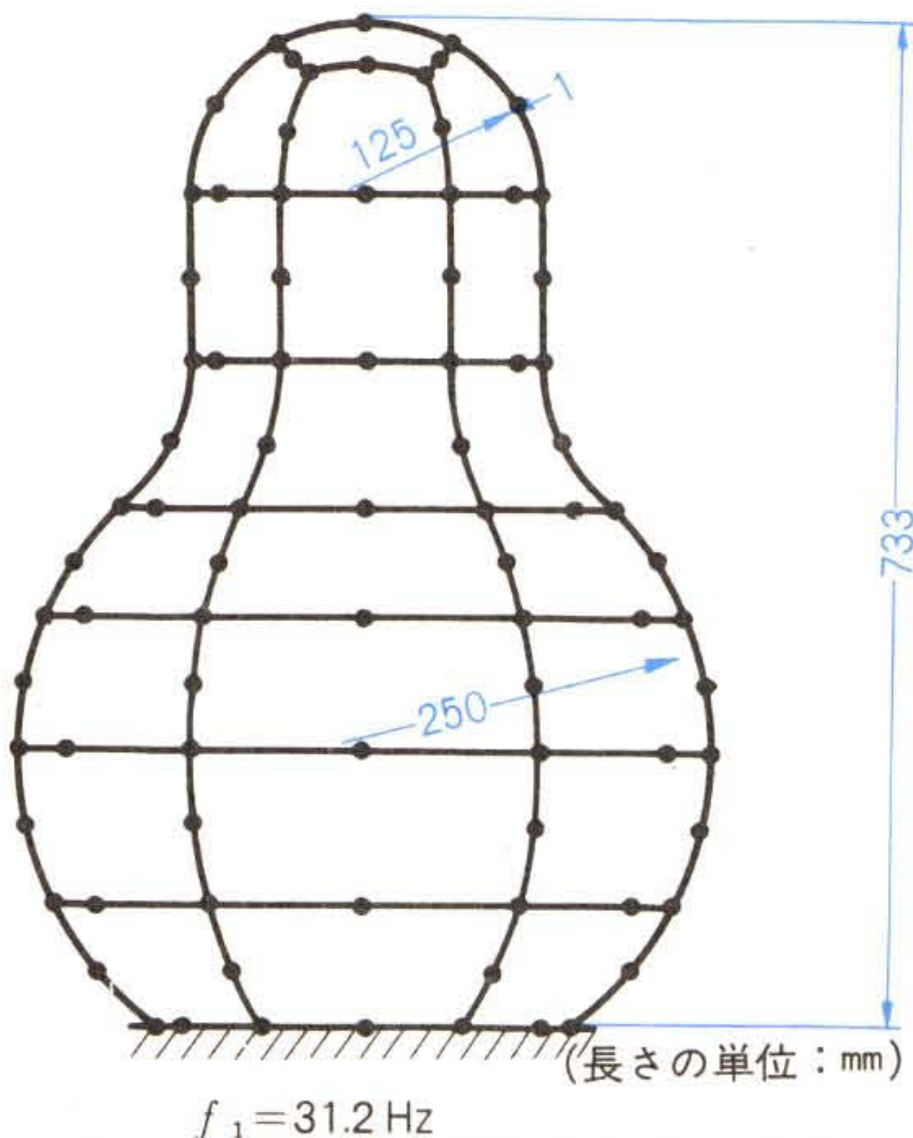


図14 曲面板有限要素（22要素，85節点）による原子炉容器模型の振動計算

混流形流体機械インペラ・ランナ流れ解析

遠心ポンプのインペラ内の流れの解析に、電子計算機を使用した手法がいくつか発表されているが、これらのうち九州大学の妹尾，中瀬両教授によって開発された手法を，ポンプ水車ランナ内の流れの解析に発展させ，実験値とも比較して良好なる一致をみ，性能解明のうえで十分有効であることがわかった。

図15は，各種のモデルポンプ水車ランナの，実測値と計算値の比較を揚程について示したもので，図16は，モデルポンプ水車の水車運転時の羽根面の静圧分布を，実験値と計算値で比較したものである。

本解析により，ランナ内の圧力，流速分布，流線の状況が明らかになり，幾何形状，入口流れおよび回転数の性能に及ぼす影響が解明され，性能開発期間が大幅に短縮されたほか，ランナ強度の解析にも精度が向上することになった。

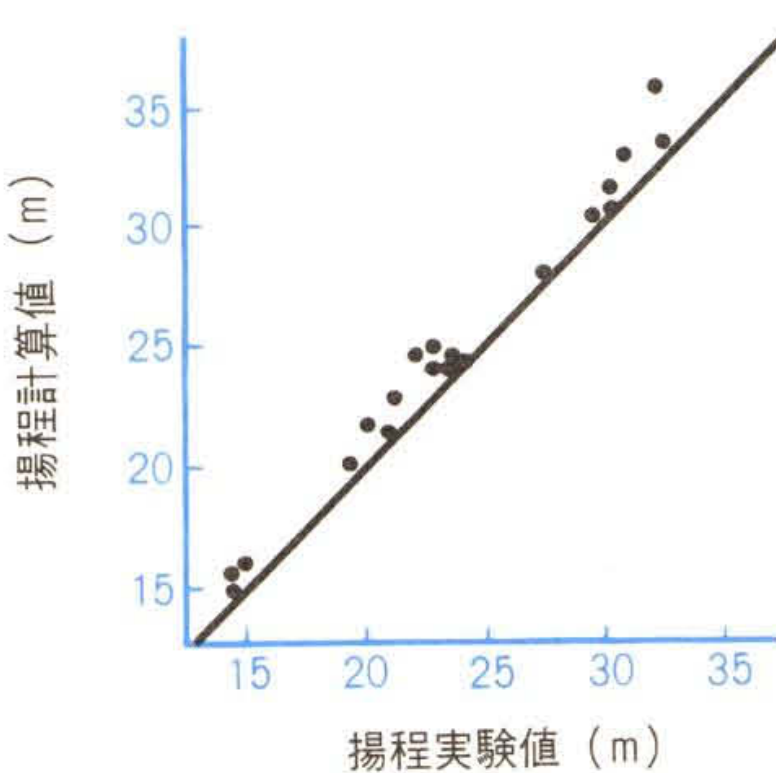


図15 揚程の実験値と計算値

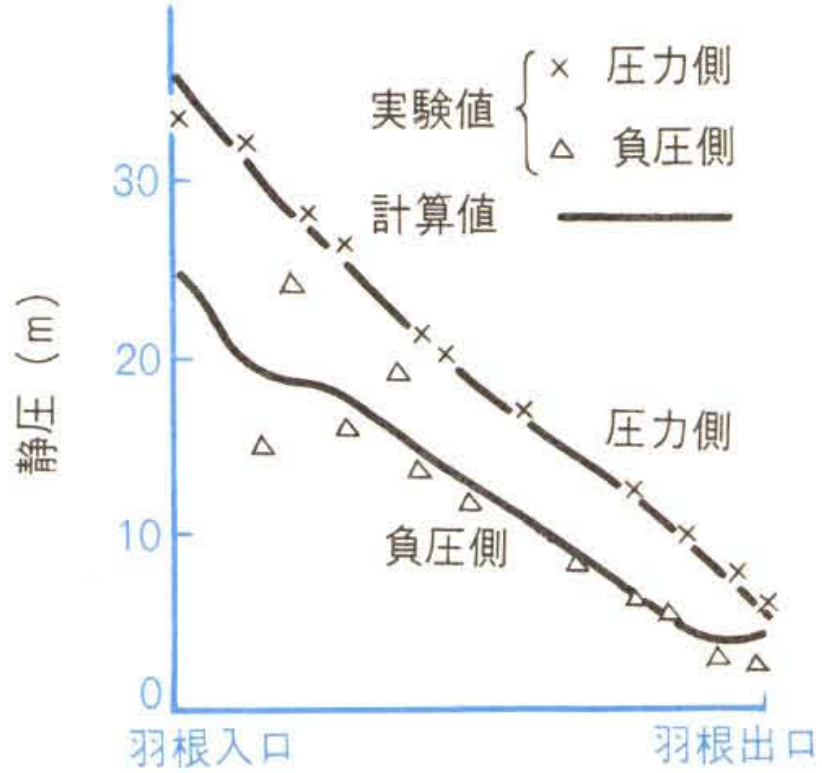


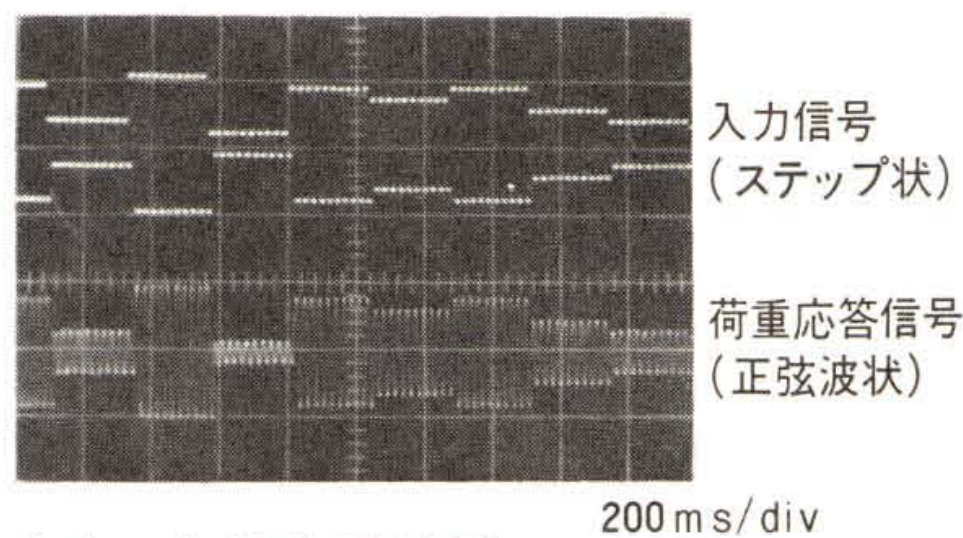
図16 水車の静圧分布

HITAC 10を応用した材料強度試験システム

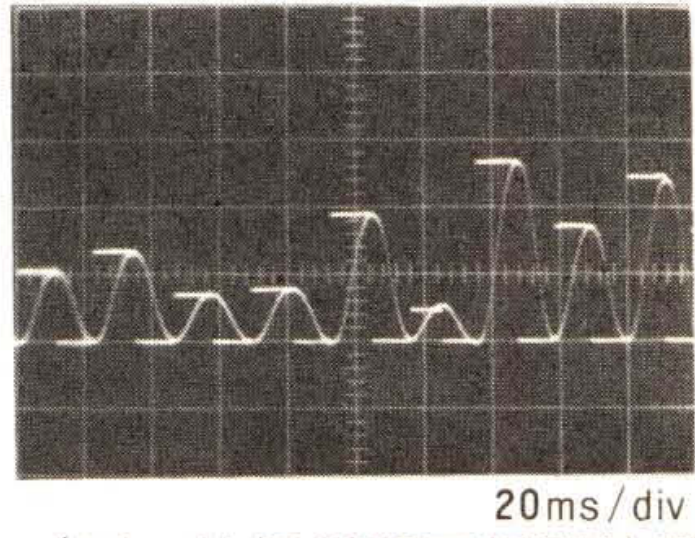
機械装置の大形化，高速化に伴ってその信頼性の確認が一段と重要になってきた。そこで，日立製作所では最新の材料強度理論を積極的に導入して強度評価の精度を上げるとともに材強試験システムの自動化，高性能化を進めている。

図17は小形電算機HITAC 10で電気油圧式疲れ試験機を制御して実施した実働状態シミュレーション疲れ試験の荷重波形例である。制御部をデジタル化したこの試験システムを用いれば，同じくHITAC 10を組み込んだデータ処理装置を使って疲れ破壊の見地から前もって解析処理した実働応力データを再現して試験片に負荷することができる。

さらに，小形電子計算機を用いて，X線残留応力測定，疲れき裂発生伝ば特性試験，塑性ひずみ挙動測定などの自動化を計画しており，これらの試験結果を基にして総合的に機械装置の信頼性を評価する。



(a) 多段多重波形



(b) 片振引張不規則波形

図17 疲れ試験波形例

大形構造物における高張力鋼溶接部の脆性(ぜいせい)破壊防止

機器の大容量化に伴い、溶接構造物はますます大形となり、このため設計応力を高め厚板の高張力鋼を使用しなければならない状態にある。しかし高張力鋼を使用した压力容器の脆性破壊事故が2～3報告されており、溶接施工と関連した脆性破壊防止が特に重要になってきた。厚板80kg/mm²高張力鋼を実用化するにあたってこの点を重視し、溶接割れ防止対策ならびに欠陥が存在する場合の脆性破壊特性についてこれを明らかにし、材料選択、設計、製作基準を確立した。

溶接割れについては溶接施工時、水圧試験および運転中の割れに及ぼす化学成分、構造物の拘束度(剛性)、残留応力および開先形状の影響について検討し、溶接施工時の溶接割れ発生防止予熱温度略算式 P_{HY} および P_{HK} を開発した。

また水車ケーシングの水圧試験を想定して考えると今回検討したサブマージークおよび手溶接継手は割れ発生の潜伏時間が非常に長いために十分管理された水圧試験においては割れ発生の危険がほとんどなくなるものと推定される。

次に脆性破壊特性については手溶接およびサブマージーク溶接継手ボンド部の発生破壊を角変形付広幅引張試験で求めた。入熱45kJ/cmで溶接した継手に欠陥がなければ30/1,000の角変形が存在しても0℃以上では低応力破壊はしない。特にサブマージーク溶接継手は著しく高い伸びを示し延性破壊した。また欠陥がある場合の破壊特性を破壊力学的に検討した結果、破壊靱性(じんせい)は応力除去焼なまししたものに比べ溶接のままだと高く、残留応力が存在しても0℃以上では十分な強度を示すことが明らかにされた。

対地30kV同軸架橋ポリエチレンケーブル

東北、上越新幹線のき電方式は東京近辺で東海道新幹線と同じ吸上変圧器(BT)方式が採用され、この給電用フィーダとして同軸架橋ポリエチレンケーブルが使用される計画がある(同軸では内部導体がトロリー、外部導体がレールと接続される)。本ケーブルのおもな特長は、(1)リアクタンスが小さい。(2)しゃへい層誘起電圧がゼロである。(3)隣接した通信回線への誘導障害がないなどがあげられる。また内部絶縁30kV、外部絶縁6kVという構造は世界的にも例をみないものである。このため、日立電線株式会社はケーブルおよび付属品(ケーブルヘッド、直線接続部)の試作開発を進め、初期の目標性能を得ることができ、現在、長期性能確認のため実負荷試験中である。

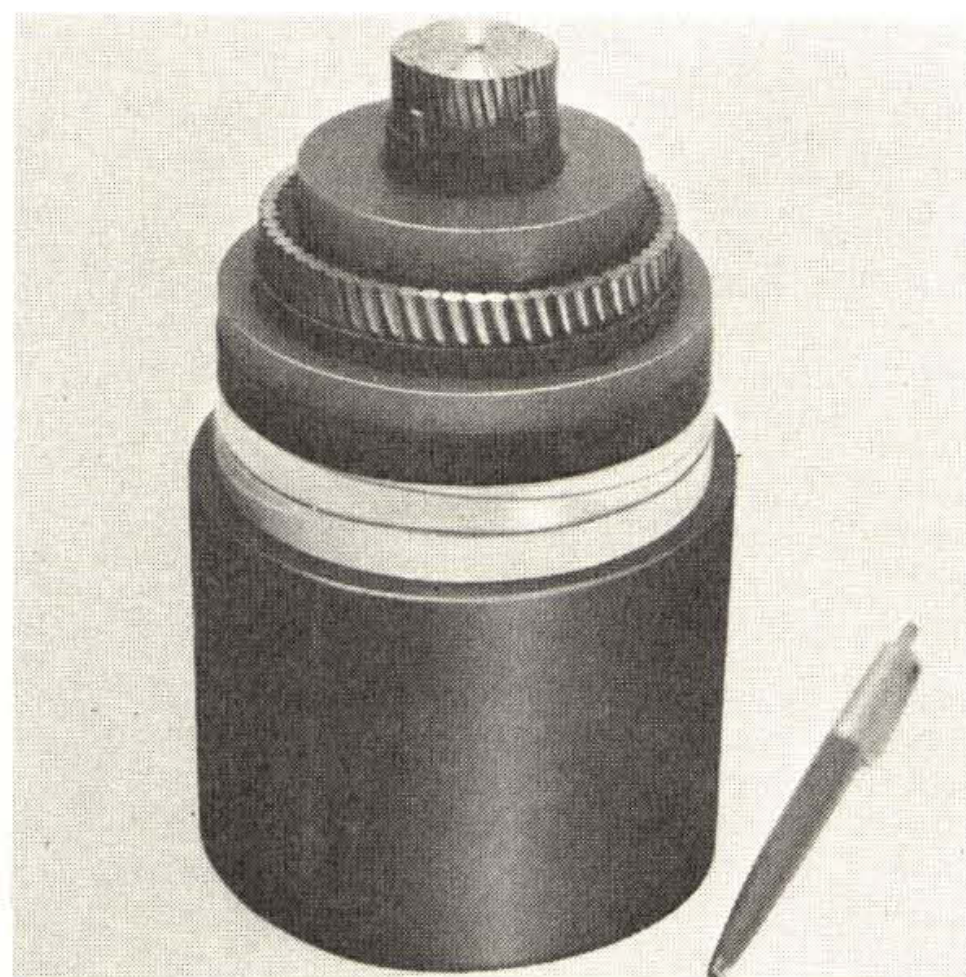


図19 対地30kV同軸架橋ポリエチレンケーブル

新流動鑄造型法(スーパNプロセス)の開発

最近の鑄造業界においては生産の合理化、省力化が真剣に考えられている。その一例としてソ連で開発された流動鑄型(FS法)があるが、従来のつき固め方式に比べ充填(じゅうてん)性が劣る。また鑄物に吹かれ欠陥が発生しやすい。

日立製作所ではNプロセス砂に流動性を与え、上述のような欠点のない鑄型砂を開発する研究を進めてきた。その結果乾燥けい砂と同程度の流動性がある新しい流動鑄型砂を用いる鑄造技術を開発した。この方法をスーパNプロセスと呼ぶことにした。この流動砂は注入するだけで所望の充填性が得られ、発熱脱水して硬化するので鑄はだのよい鑄物が得られる。実用結果では約20%以上の工数低減が可能となった。



図18 スーパNプロセス砂の注入状況

FRPの機械的性質に関する時間、温度依存性

繊維強化プラスチック(FRP)は用途が広くなるとともに広い時間範囲の機械的性質の究明が必要となった。一般に単一の高分子材料には、低温、長時間の現象が高温、短時間の現象と同一であるという時間、温度換算則が成立するが、これが複合材料であるFRPにも果たして成立するかを究明したものである。その一例を図20に示す。左図は各測定温度におけるクリープコンプライアンス $D_c(t)$ である。これを横に平行移動すると(右図)、基準温度 T_0 で各温度の $D_c(t)$ は1本に重なり、広い時間範囲のマスタ曲線が得られ、時間、温度換算則が成立する。この関係は破断強度についても成立する。

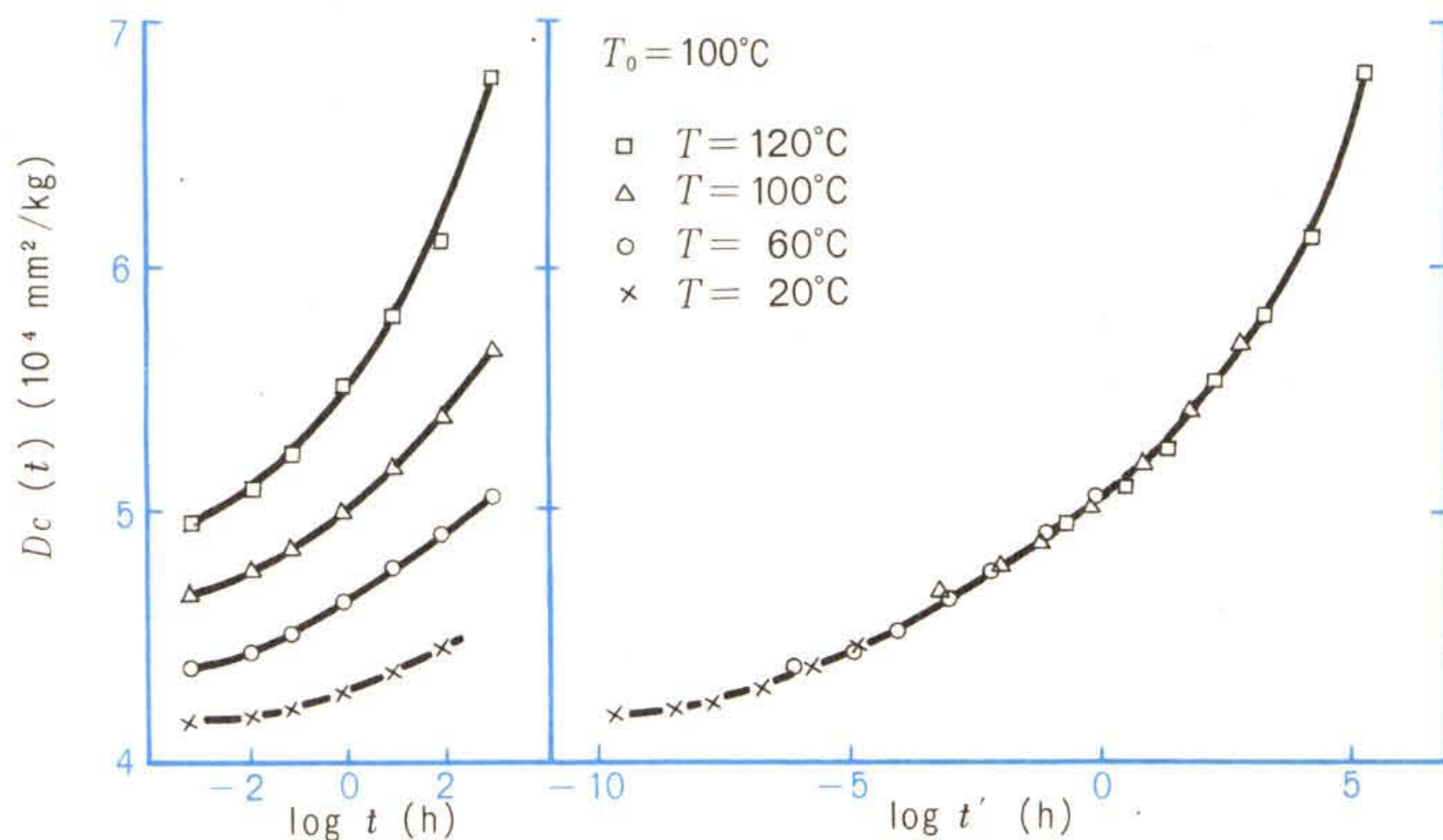


図20 FRP(平織ガラス布+不飽和ポリエステル樹脂)の $D_c(t)$ のマスタ曲線