研　究

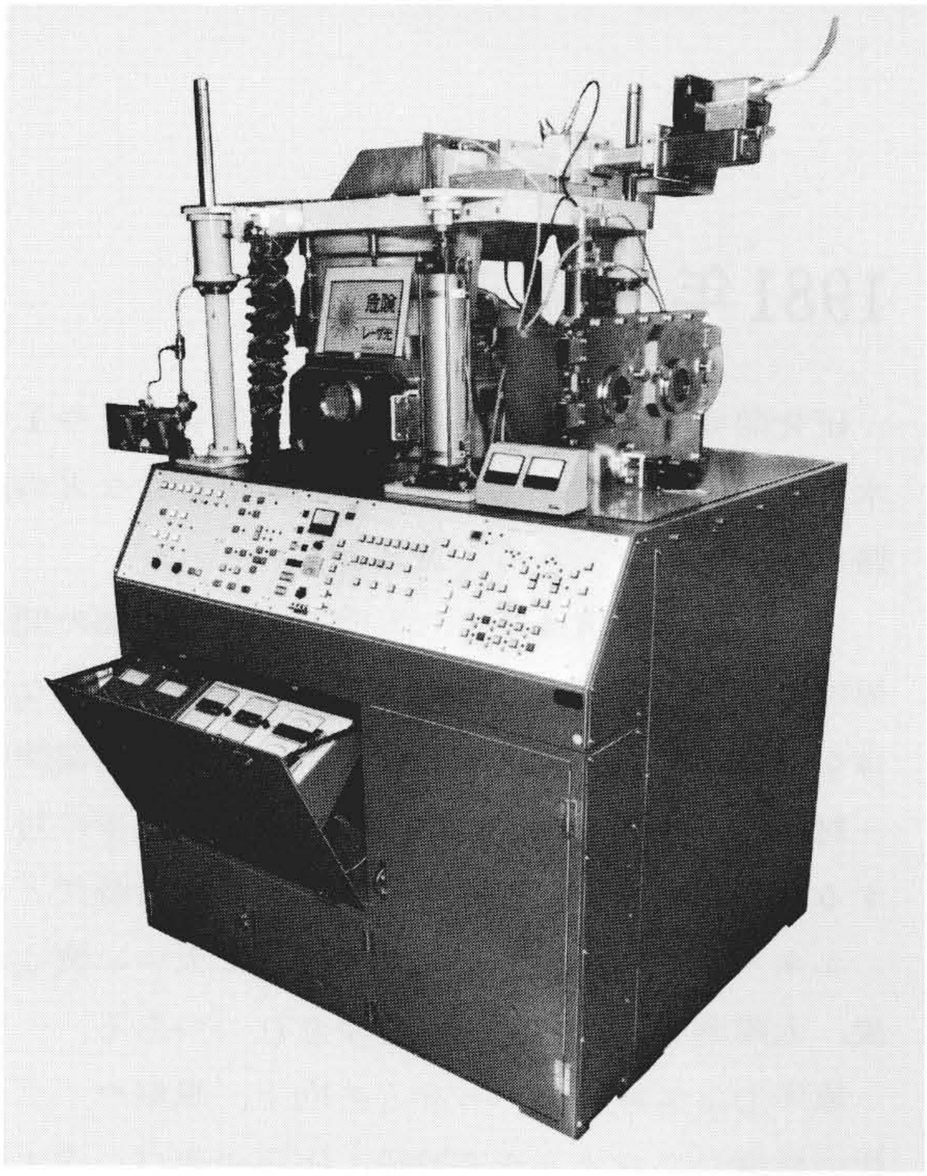

図１　開発したマイクロ波プラズマエッチング装置

’80年代に入って我が国の経済，及び社会環境は大きく変貌しつつある。国内的には資源の制約下で生活，産業両面の質的高度化が求められ，これに役立つ技術への期待が高まり，また世界的な低成長の定着により世界市場で我が国の地位を確保するためには，技術的なオリジナリティが必要不可欠となりつつある。

このような時代の要請にこたえる新技術・新製品の実現が’80年代の発展のかぎになることは明らかであり，’80年代が技術開発の時代と言われるゆえんでもある。

以上の問題意識を背景に，日立製作所は昭和55年11月創立70周年記念事業の一環として「日立技術展」を開催し，新技術を広く公開して日立製作所の技術研究に対する姿勢に理解を請うた。

日立製作所の製品分野は，原動機・重電機，電子・通信・計測機器，家庭電気製品，産業機器，交通機器など広範囲にわたり，これらの分野で絶えず新技術・新製品を生み出すとともに，分野間の技術交流も活発に行ない総合的な技術力の向上に努めている。新技術開発の原動力となり，また技術交流による総合力向上に重要な役割を果たしているのは，中央研究所，日立研究所，機械研究所，エネルギー研究所，生産技術研究所，システム開発研究所，デザイン研究所及び家電研究所の８研究所である。工場・事業部はこれら研究所の支援を得て新製品・新技術の実用化開発を行ない，特に重要な課題は日立独自の特別研究制度により全社的プロジェクトを編成して推進している。

国家プロジェクトにも積極的に参加し，大形技術では資源再生利用技術，光応用計測制御システムを，サンシャイン計画では太陽熱・光発電，石炭ガス化，産業用ソーラーシステムを，ムーンライト計画では廃熱利用技術，高効率ガスタービンの開発に努め，更に，医療福祉機器技術にも参加している。また助成を受けているものにジョセフソン集積回路などがある。

最近では新しい技術の応用に対するユーザーの期待もますます増加しており，これにこたえるための共同研究も活発化している。

本章では，以上のような広範な研究開発の中から，特に社内研究所主体で進めてきた最近の研究成果の一端について紹介する。分子線成長法によるシリコン薄膜形成，マイクロ波プラズマエッチング装置及び零温度係数圧電セラミックスは，いずれもエレクトロニクス分野の新しい材料・加工技術として重要な役割が期待できるものである。メタノール燃料電池及びソーラーグリーンハウスはエネルギー分野での注目すべき進歩の，また対話形構造解析強度設計プログラム“HIDESS”，及びシステム構造化技法“PPDS”は，製品・システムを支える新しいソフトウェア技術の一端を紹介するものである。このほか，高耐圧電力変換素子として，従来の壁を破る光直接点弧サイリスタ，各種製品の軽量・高信頼化に役立つ耐熱性新エンジニアリングプラスチック，新しい微視観察を可能とする超音波顕微鏡，生体分析用の新方式固定化酵素センサ，更には核融合の基礎技術向上を目的とするトカマクプラズマの位置制御の研究についても紹介する。

分子線成長法によるシリコン薄膜の形成とその応用

分子線成長法は，超高真空（～10^{-10} Torr）下で行なう新しい薄膜形成技術である。超高真空状態は，いわば超清浄なクリーンルームであるが，清浄固体表面の利用が可能であるため，従来の薄膜形成法と異なった特徴が幾つかある。その代表例は，結晶化温度を著しく低くすることができることであり，更に，単原子層単位で薄膜形成を制御できることである。日立製作所はこの分子線成長法をシリコン薄膜作成に応用する研究を行なっているが，幾つかの興味ある結果が得られた。まず、単結晶シリコン基板上へのエピタキシャル成長（分子線エピタキシーと呼ばれる。）を検討したところ，従来技術よりも500～600℃ほど結晶化温度を低くできることが分かった。しかも，このような低温で形成したエピタキシャル膜の電気的特性は十分良好であり，そのホール移動度は1,750cm^2/V·sで，バルク結晶の最高値に迫るものである。このエピタキシャル層を用いてMOS形トランジスタを試作したところ，高移動度が得られ不純物濃度分布の精密制御と合わせて，高速論理素子などへの応用の展望が開けた。

また，ガラス基板上でシリコン薄膜を作成したところ，ガラスの軟化点以下の温度で結晶化が起こり，多結晶シリコン膜が得られた。ガラス基板上の多結晶膜は，平面表示装置用薄膜トラ

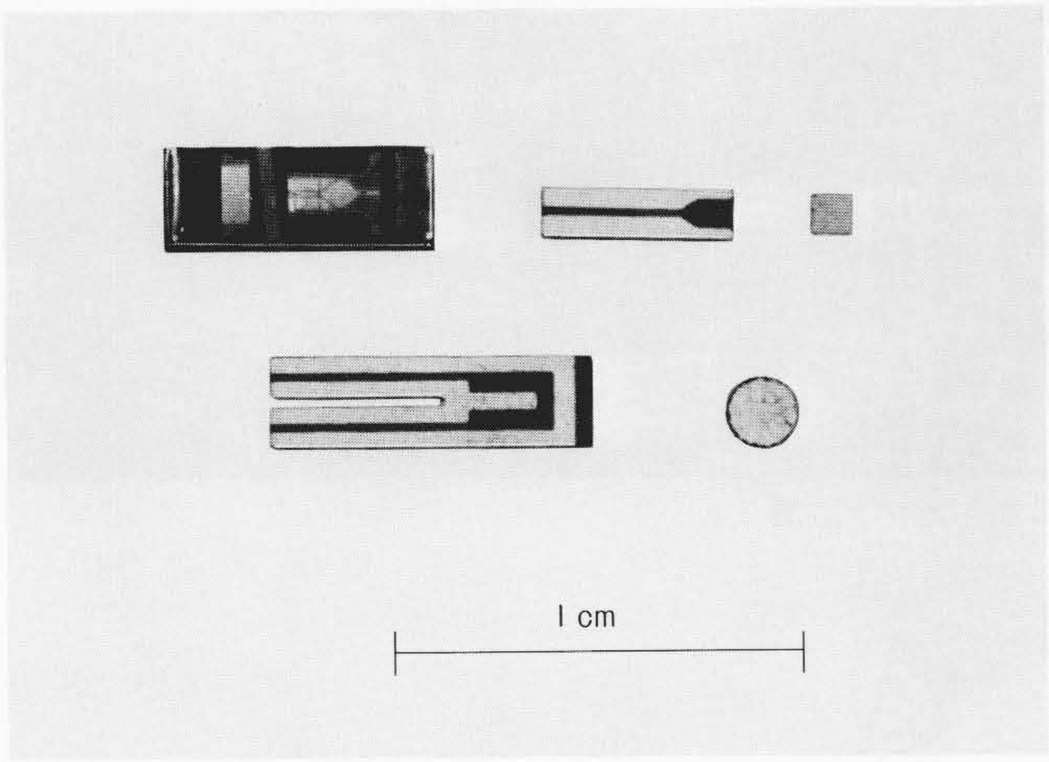

図 2　各種セラミックス振動子

図 3　高耐圧光直接点弧サイリスタ

図 4　メタノール燃料電池

ンジスの材料として期待されるものである。この多結晶シリコンを用いて薄膜トランジスタを試作したところ，液晶表示素子などの駆動用トランジスタとして十分な特性が得られ，初の実用的薄膜トランジスタの出現として期待される。

マイクロ波プラズマエッチング装置の開発

半導体集積回路は年々微細化，高集積化されており，1980年代後半には1ミクロンからサブミクロンの微細加工が要求される。本装置（**図1**）はこれに対処するため，日立製作所独自の技術により開発したドライエッチング装置である。

本装置は，従来のドライエッチング装置で用いられているRF(Radio Frequency)放電の代わりに，低ガス圧力(10^{-4}Torr)で高密度（$10^{11}cm^{-3}$）のプラズマが得られる磁場中でのマイクロ波放電を用いていることを原理的特徴としており，以下に述べるような実用的特長をもっている。

(1)　広範囲のガス圧力(10^{-4}～10^{-1}Torr)でエッチングが可能であるため，Siのサブミクロン加工やエッチング断面形状の制御が可能である。

(2)　イオンの入射エネルギーが低いため，試料表面損傷がなく無電極放電であるため，電極材料による表面汚染がない。

(3)　試料の温度上昇が低いため，熱に弱い電子線描画レジストをマスクとして使用できる。

(4)　分光フィルタを用いたシリコンエッチングの終点検知法を確立しており，エッチングの再現性が良い。

(5)　ウェーハ間，ウェーハ内のエッチングの均一性が±5％以下である。

(6)　試料交換を含めた自動操作が可能である。

MOSVLSI試作に本装置を適用し，良好な結果を得ている。また，Si以外の半導体関連材料もエッチングが可能である。本装置は昭和55年末に製品化され，昭和56年初頭に1号機が完成する予定である。

零温度係数をもつチタン酸鉛系圧電セラミックスの開発

温度特性の極めて優れた圧電セラミックスの開発を行なった。本圧電セラミックスは，チタン酸鉛（$PbTiO_3$）を母体とし，その構成元素の一部をNd(ネオジム)，In(インジウム)及びMn(マンガン)で置換したものである。このチタン酸鉛系セラミックスのNd及びIn量を適当に選択することにより，厚み，径方向，屈曲振動(音さ形)，弾性表面波などの各振動モードの周波数特性の温度係数を零にすることができる。**図2**に各種振動子の例を示す。特に顕著な例は弾性表面波モードの場合で，水晶のSTカットの弾性表面波モードの温度特性をしのぐ温度安定性をもっている。本セラミックスの期待される応用分野は，家庭用電気品，通信用フィルタ，標準振動子，ME(Medical Electronics)，工業用探触子，各種センサなどがある。

高耐圧光直接点弧サイリスタの開発

高圧直流送電用の交流直流変換装置では，多数の高耐圧大電流サイリスタを直列に接続して使用する。このため，高圧の主回路と低圧の制御回路の絶縁，及び主回路その他から制御回路への誘導障害の防止が重要な課題である。これらを解決し，変換装置を小形化，高信頼化するために，光信号で直接点弧できるサイリスタが望まれていたが，このほど世界最高耐圧の素子試作に成功した(**図3**)。開発に当たっては，超高耐圧を得るため独自のpn接合形成技術を用いるとともに，阻止電圧，臨界順電圧上昇率と最小点弧光入力との両立を図るため受光部構造に工夫を凝らした。試作素子の主な性能は阻止電圧6kV，平均順電流1.5kA，臨界順電圧上昇率2kV/μs，最小点弧光入力10mW以下である。

メタノール燃料電池の開発

酸性電解液形メタノール燃料電池は，家庭用電気品や産業用機器のポータブル電源として，原理的には最適と考えられながら，実際には単電池電圧が低く電流密度も小さいために，現状では実用化が困難とされてきた。

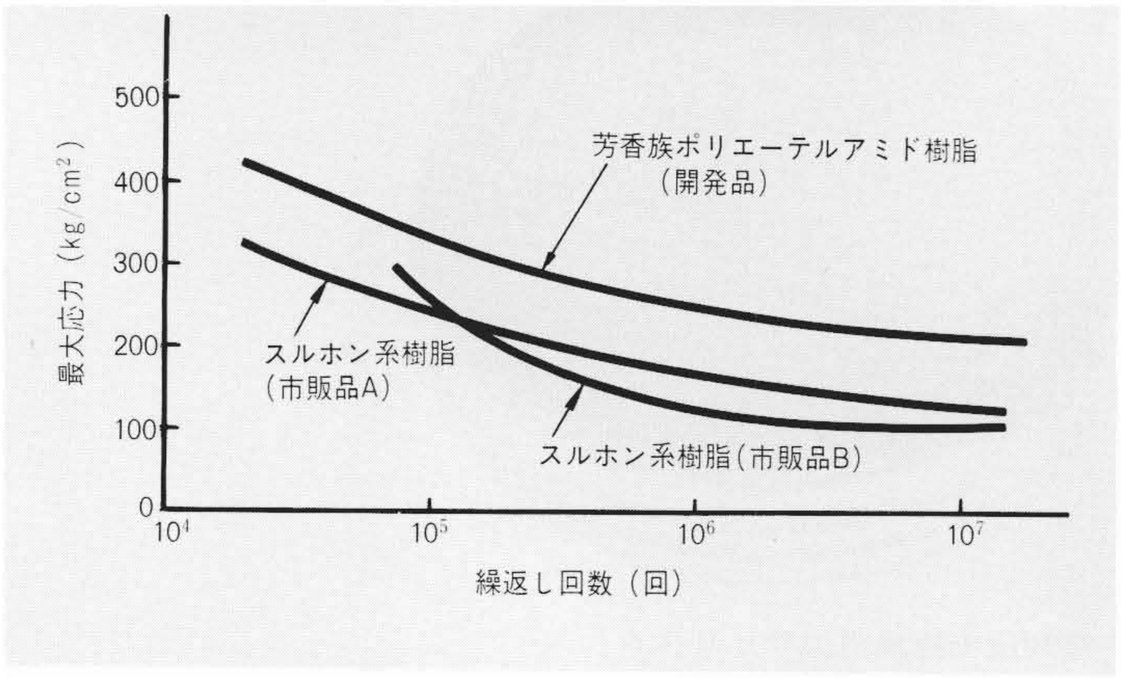

図 5　芳香族ポリエーテルアミド樹脂の耐疲労性（引張り）

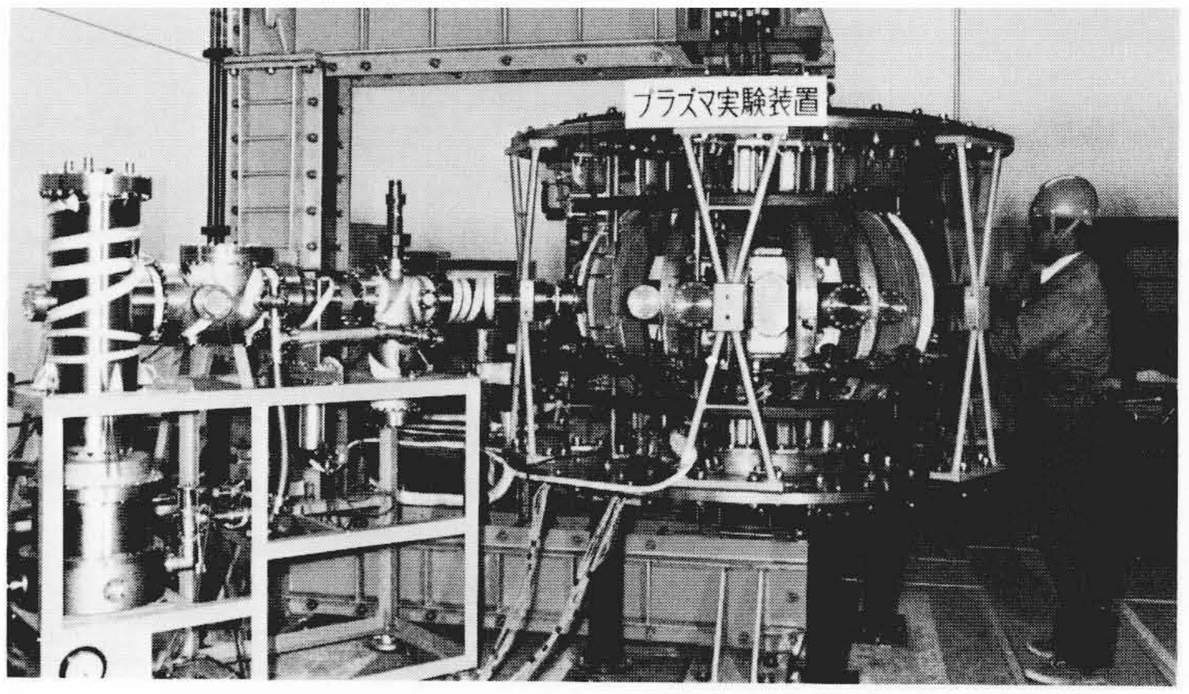

図 7　日立トカマク装置

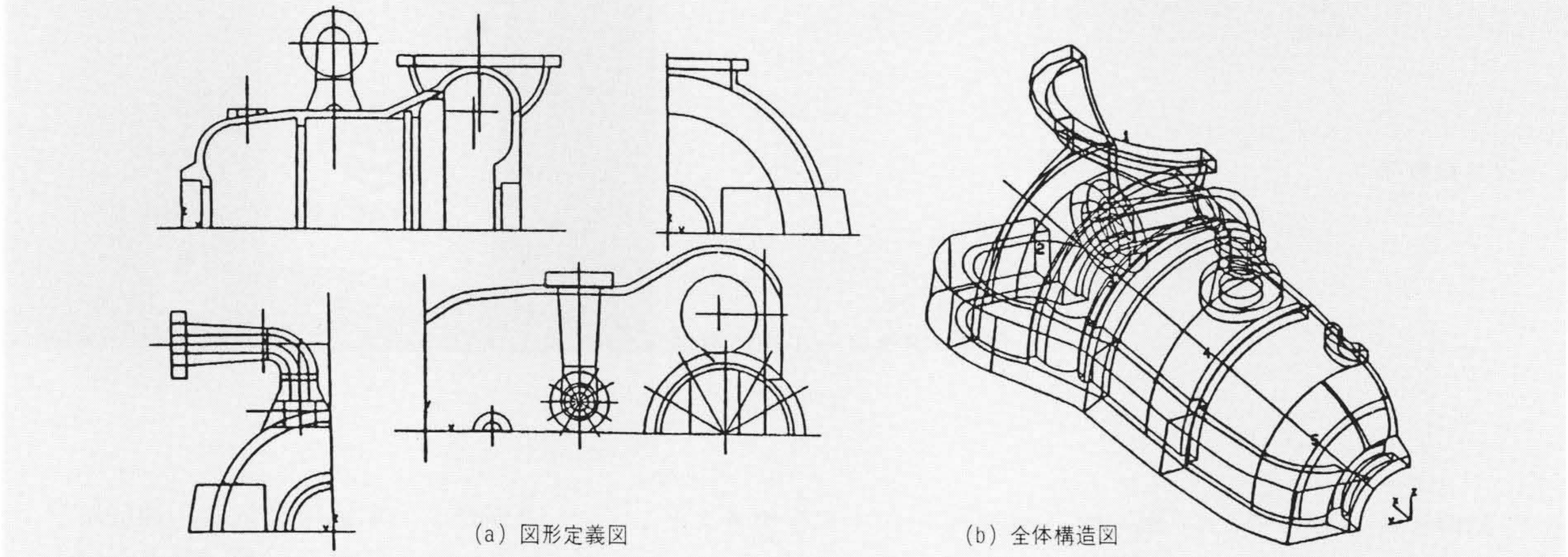

図 6　蒸気タービンケーシングへの適用例

日立製作所では，この問題解決のために，まずメタノール電極の開発に取り組み，従来の白金単独触媒の代わりに白金－ルテニウム触媒を用いた高活性電極を開発し，単電池電圧0.4V－電流密度60mA/cm²の高い性能を得た。従来値は，0.4V－20mA/cm²である。

次に，イオン交換膜を電解質とする新しい電池構造を開発し，これと上記の電極を組み合わせた結果，自動車用鉛蓄電池と同一形状・寸法で，重量が$\frac{1}{2}$，定格電圧，電流が，12V，5Aのコンパクトな電池を試作することができた（**図 4**）。この電池は，燃料を補給しさえすれば長時間連続使用が可能である。

耐熱性新エンジニアリングプラスチック

機械的強度，耐熱性に優れ，しかも射出成形ができる新しい芳香族ポリアミド系の樹脂を開発した。本樹脂は，エーテル結合を含む特殊なジアミンと芳香族ジカルボン酸から合成したもので，次に述べるような特長をもっている。

(1)　熱変形温度が195℃と高く，耐熱劣化性も優れており，150℃で連続使用が可能である。

(2)　添加剤を加えなくとも難燃性である（UL94V－0相当）。

(3)　引張り強さ910kg/cm²，曲げ弾性率34,000kg/cm²，アイゾット衝撃強さ16kg/cm²で，強靱性が優れている。

(4)　耐疲労性（**図 5**）及び耐摩耗性も優れている。

本樹脂は，成形品，フィルムなど各種の形態で使用でき，軸受材，精密機構部品，自動車部品などへの適用が期待できる。

対話形構造解析・強度設計プログラム“HIDESS”の開発

有限要素法による応力・振動計算から強度評価までを，一貫して対話形で行なえるプログラム“HIDESS”を開発した。構造解析には多数の要素ライブラリと解析手法をもつ汎用プログラム，及び幾つかの高能率専用プログラムを取り入れた。プログラムのすべてに十分な対話性をもたせたが，特に構造定義については，座標値入力が不要の図面入力方式を考案するなど，3次元で複雑な構造物にも適用できるものとした。**図 6** に，実際上入力データの作成が不可能であった構造物への適用例を示す。強度評価では，各種の破壊解析による評価，規格に基づく評価，機器別の実績に基づく評価を採用した。また，各材料の強度データ，製品の実績データを備えたデータベースを開発し，高度な強度評価を可能にした。

トカマクプラズマの位置制御

磁場閉じ込め型の核融合装置の設計・製作技術の研究を目的として，小型（主半径35cm）のトカマク型プラズマ実験装置（**図 7**）を製作し，研究を進めている。本装置の特徴は，(1)縦長の非円形断面プラズマを発生できること，(2)D形コイルにより強いトロイダル磁場を得ていること，(3)プラズマの位置，断面制御のため5種類のポロイダル磁場コイルを配置していること，である。

円形断面プラズマの位置制御実験を実施し，位置変動幅の小さい安定な放電を得た。これまでに得られたプラズマ特性は以下に述べるとおりである。

(1)プラズマ電流：～20kA，(2)一周電圧：～2V，(3)放電持続時間：～20ms，(4)平均電子密度：$3\times10^{19}m^{-3}$（トロイダル磁場，0.8T）

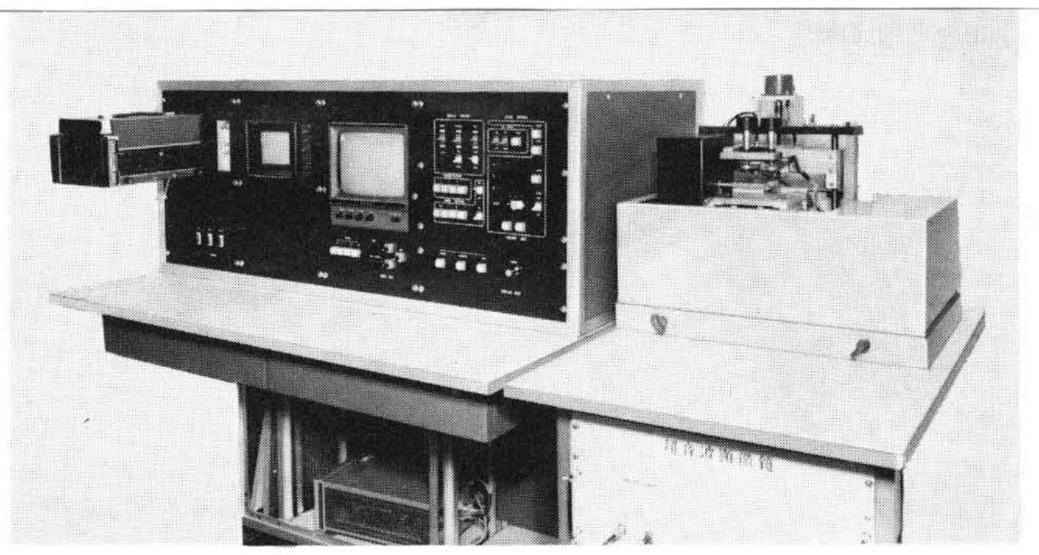

図 8　超音波顕微鏡の外観図

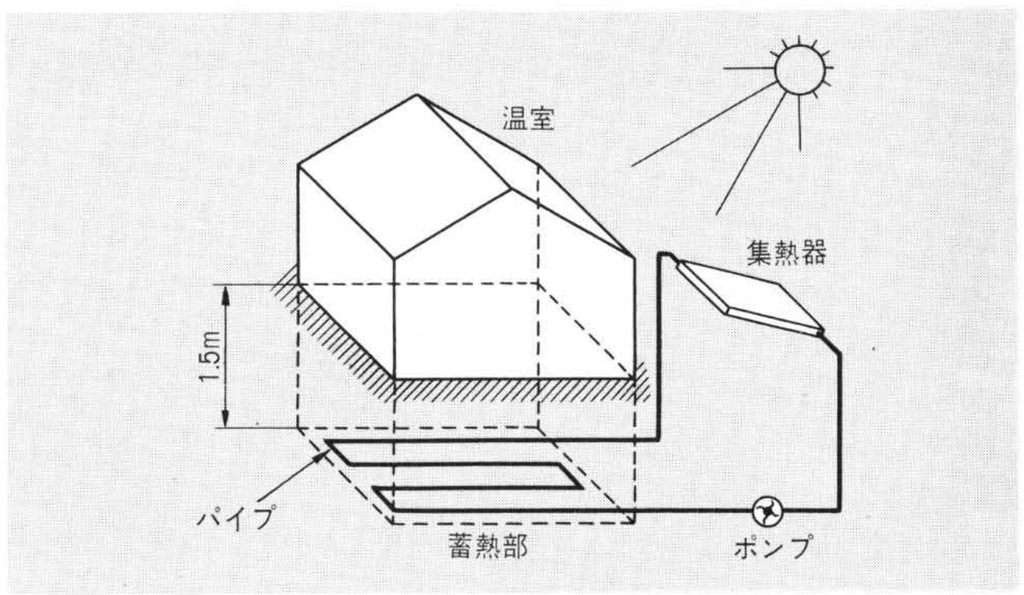

図 9　ソーラーグリーンハウスの構成

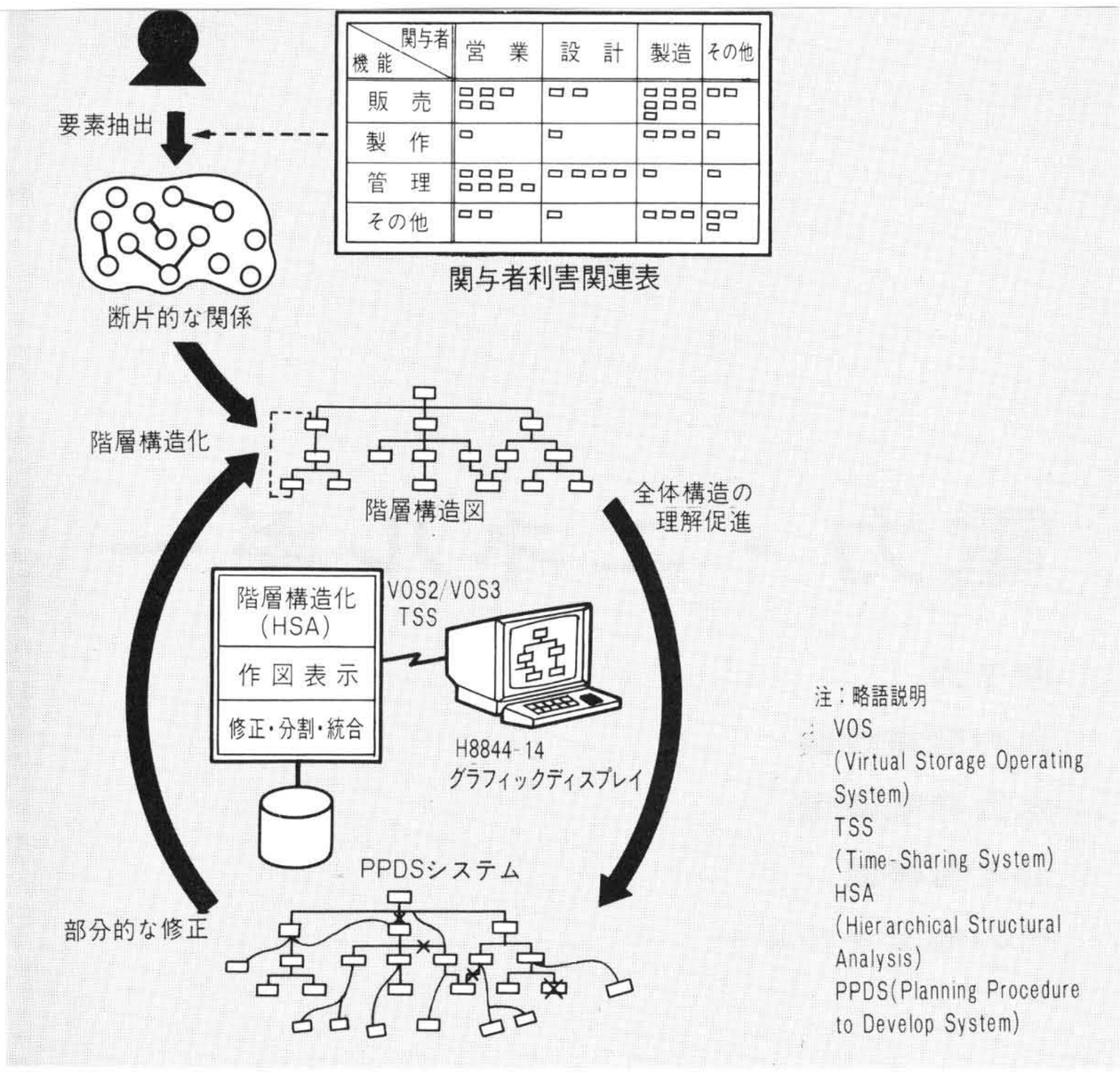

図10　システム構造化の方法

超音波顕微鏡

超音波顕微鏡は光学的に不透明な物質をも透過するので，物体の内部まで観察が可能である。その上，取り出される情報は物体の弾性，密度，粘性などの物体の性質を反映するので，光学顕微鏡などでは得られない構造まで描画できる。

このような特長をもつ超音波顕微鏡で，微小口径音響レンズの製作法や高性能圧電薄膜の作成技術を確立し，更に安定に動作する機械走査形試料台を開発したことにより，1 μmの方位分解能を実現できた。また，干渉顕微法を開発し深さ方向の分解能を0.3μmまで向上できた。

本装置の実現により無染色の生物試料の観察や，複雑な多層構造をもつ半導体デバイスの内部構造を非破壊で観察できるなど，新しい応用分野への利用が期待される(**図 8**)。

固定化酵素センサの開発

薄くて緻密なスキン層と多孔性のスポンジ層から成る非対称膜の孔中に，酵素を固定化した新しい酵素膜を作り，これと各種の電極とを組み合わせ，グルコース，尿酸，マルトース，尿素，コレステロールなど各種の生化学物質を測定できる固定化酵素センサを開発した。

これらのセンサは，新しいタイプの酵素膜を使用しているため，応答速度が速く，安定，長寿命でしかも全血試料がそのまま測定できる。またこれらを利用した医療用分析計は，小形・軽量，単純な機構にもかかわらず従来(比色法)のものよりも優れた特性を示す。この例を，グルコースセンサとそれを利用したグルコース分析装置で**表 1** に示す。

表 1　グルコースセンサ及びフロー式グルコース分析装置の特性

グルコースセンサ		フロー式グルコース分析装置	
ベースセンサ	H_2O_2電極	分析対象物	全血，血漿，血清，グルコース
保管安定性	6箇月		
分析件数(膜1枚当たり)	>2,000件	測定範囲	0～1,000mg/dl
活性のばらつき	±4%	分析処理数	150～200/h
レスポンス	15s	再現性	2.5%(全血)

したがって，全血試料を用い，ベッドサイドで迅速に分析結果を出さねばならない緊急検査装置用センサに最適である。

ソーラーグリーンハウス

省エネルギーの社会的要請にこたえるため，太陽熱を地中に長期蓄熱する温室暖房システムの研究開発に成功した。

この温室システムは，夏から秋にかけて集熱器によって得られる温水を，地下1.5mに埋設したパイプに流して地中に蓄熱し，冬季に地表面から自然放熱させる方式である(**図 9**)。水温は，地中微生物への影響と蓄熱の効果を考慮して55～65℃とし，10月から12月までの期間蓄熱した。以後自然放熱により3月中旬まで暖房を継続できたが，この間室内温度は外気よりも10℃以上高く，野菜(かぶ，春菊など)の収獲が可能であった。

この方式は，従来の短期蓄熱に比べて冬季の天候に左右されぬ利点があり，一冬当たり2 l/m^{2}以上の石油が節約されるので，大幅な省エネルギーの効果が期待される。

システム構造化技法“PPDS”の展開

システムの複雑に絡み合った多数の構成要素間の関係を1対ごとに入力し，グラフ理論を用いて全体の構造を計算機で合成し，ビジュアル化することにより，全体構造に関するシステム分析者の理解を促進するシステム構造化技法“PPDS”(Planning Procedure to Develop Systems)を開発した(**図10**)。最近のシステム，ソフトウェアの大規模，複雑化の傾向に伴い，PPDSは多数の分野で適用をみており，システム的問題の解決に大きく寄与している。具体的には，新製品開発の目標，課題の設定，計算機応用システムの計画，プラントの安全性，信頼性解析，大規模設備計画モデルの構造決定などに適用されており，システム的問題の分析に要する工数が約$\frac{1}{2}$に，また分析の質が向上されるという結果を得ている。技術的にも，IEEE（米国電気電子学会)，電気学会で発表し高い評価を得ている。