

発行

昭和62年度  
日立技術の展望

## 研究

昭和61年9月にまとめられた産業構造審議会の「21世紀産業社会の基本構想」は、三つの柱の一つとして「技術革新の展開と産業社会の活力」を取り上げ、「技術革新を世界経済の飛躍に結び付けるために、我が国は、(1) 基礎科学の充実、産・官・学の連携推進、異分野の技術融合などを通じた創造的な基礎研究開発の促進、(2) 基礎研究を応用、開発研究に反映していくための需要側と供給側の連携の促進——に重点を置く必要がある」と述べている。

我が国を世界の技術供給国と位置づけ、技術革新のポテンシャルを更に高める必要があると述べているわけで、我が国の科学技術研究費総額の約67% (昭和60年度科学研究調査) を占めている民間企業の果たす役割は極めて大きい。日立製作所が、減収減益という厳しい状況にもかかわらず61年度の研究開発費として2,550億円(前年度比5%増)の予算を計上し、新技術・新製品の開発に取り組んでいるのも、以上のようなことへの深い認識があるからである。そして、それを端的に示しているのが「技術を通して社会に貢献する」という日立製作所創業以来の基本理念である。

ここでは、日立製作所生産部門あるいは日立グループ各社と緊密な連携を保ちながら、要素技術、基盤技術の開発を担当している研究部門の動きを紹介しておこう。

海外との研究交流ということでは、昭和61年9月、日立製作所中央研究所の施設を利用して第2回「量子力学の基礎と新技術に関する国際会議」(ISQM-TOKYO'86) が開催されたことが特筆される。昭和58年の第1回に続く2回目のISQM開催で、日立製作所からもA・B効果の検証実験と超伝導トランジスタの動作の確認に関する2件の報告を行い、この分野での水準の高さを世界に印象づけた(詳細は「トピックス」欄参照)。

マイクロエレクトロニクスの分野では、超伝導ラン

ジスタのほか、理化学研究所と共同で量子磁束パラメトロンの研究を行い、超高速かつ低電力で動作する新しい超伝導スイッチング素子の動作実験に成功した。パラメトロンの原理とジョセフソン素子を融合したもので、引き続き新技術開発事業団の創造科学技術推進事業の一環(後藤磁束量子情報プロジェクト)として推進されることになった。そのほか、分布帰還形半導体レーザと光スイッチを同一基板上に集積した光集積回路の開発にも成功している。また、豊橋技術科学大学と共同で、電子・イオン両用ハイブリッドビーム源を開発した。高分解能観察機能を備えた微細加工装置など多方面への適用が期待されるものである。

新材料の関連では、強誘電性液晶材料の開発を効率的に行うことのできる強誘電性液晶用のデバイスシミュレータや、耐熱性・耐水性に優れた含金属系プラスチックの開発を行った。

エネルギー関連では、CARS法、LIFE法、ホログラフィー法という三つのレーザ利用計測技術を確立した。通商産業省工業技術院の補助金を受けた研究開発で、燃焼過程でのNO<sub>x</sub>などの微量成分の計測に飛躍的な進歩をもたらすことになった。

知識工学の関連では、エキスパートシステム構築ツールES/KERNELに続いて、複合多機能形知識処理言語S-LONLIを開発した。より大規模なエキスパートシステムの構築を容易にするものである。また、移動ロボットなどへの適用が期待できる移動体誘導のための3次元視覚認識の基本技術を確立した。

更に、メカトロニクスの分野では、メカトロニクス制御系設計システムを確立し、高度のメカトロニクス製品の開発を可能にした。

以上、その一端を述べたが、基礎から応用、開発に至るまでの研究成果が、多くの新技術、新製品となって結実していることは言うまでもない。なおいっそう体制を強化し、社会への貢献を深めていきたい。

# 電子・イオン両用ハイブリッドビーム源

溶融金属の表面張力とクーロン力との釣り合い条件を利用した新しい電子及びイオン両用ハイブリッドビーム源を、豊橋技術科学大学と共同で開発した。

LSIをはじめとする各種機能素子の微細化に伴い、その加工及び評価手段としてイオン及び電子線がそれぞれ独立に利用されている。すなわち、電子は主として電子顕微鏡に象徴されるように非破壊で優れた観察能力を持ち、イオンはスパッタ現象を利用した極微細加工能や高感度分析能力を持っており、独立ではあるが、これらの特徴が活用されている。しかし、素子の微細化及び多層化の進行につれて信頼性及び歩留まり向上の観点から、加工時での加工形状の逐次評価や深さ方向を含めた3次元総合解析技法の開発が必要となることが明らかになり、上述のイオン及び電子線技術の複合化が重要課題となってきた。

このような観点から、本研究ではEHD(Electrohydrodynamic)現象及び荷電粒子の電界放出現象を利用し、電子とイオンを同一源から引き出せる新しい電子・イオン両用ハイブリッドビーム源を開発した。図にその原理を示す。本ビーム源は溶融金属の表面張力と電界応力との釣り合い条件により形成される溶融金属のシャープなコーンからの電界放出現象を利用する。主な構成は、先端をシャープにとがらせたエミッタチップ、ビーム源材料及びこれを充てんするつぼ、ビーム源材料をるつぼを通して加熱溶融させるための電子衝撃加熱用フィラメント、引出電極及び後段加速電極である。動作原理は次に述べるとおりである。まず電子衝撃加熱法によりビーム

源材料を溶融させ、エミッタ先端に供給し、エミッタチップとの良好なぬれ状態を作る。次に、引出電極に対してチップに正又は負の電圧を印加することによって正イオン又は電子を引き出す。ビーム源材料としては、融点及び蒸気圧の低いGa(融点：30°C)及びIn-Ga-Sn合金(融点：~3°C)を採用した。

本ビーム源の特徴は次に述べるとおりである。

## (1) 電子及びイオンビーム源の切替え

ソースの位置を固定したままで引き出し、電圧の極性を変えることによって実現した。

## (2) 従来の電子源より一けた高い輝度

電子の放出特性及び電界強度と表面張力との釣り合い条件により、 $10^{10}$  A/cm<sup>2</sup>・sr(ソース径10 Å以下)を得た。

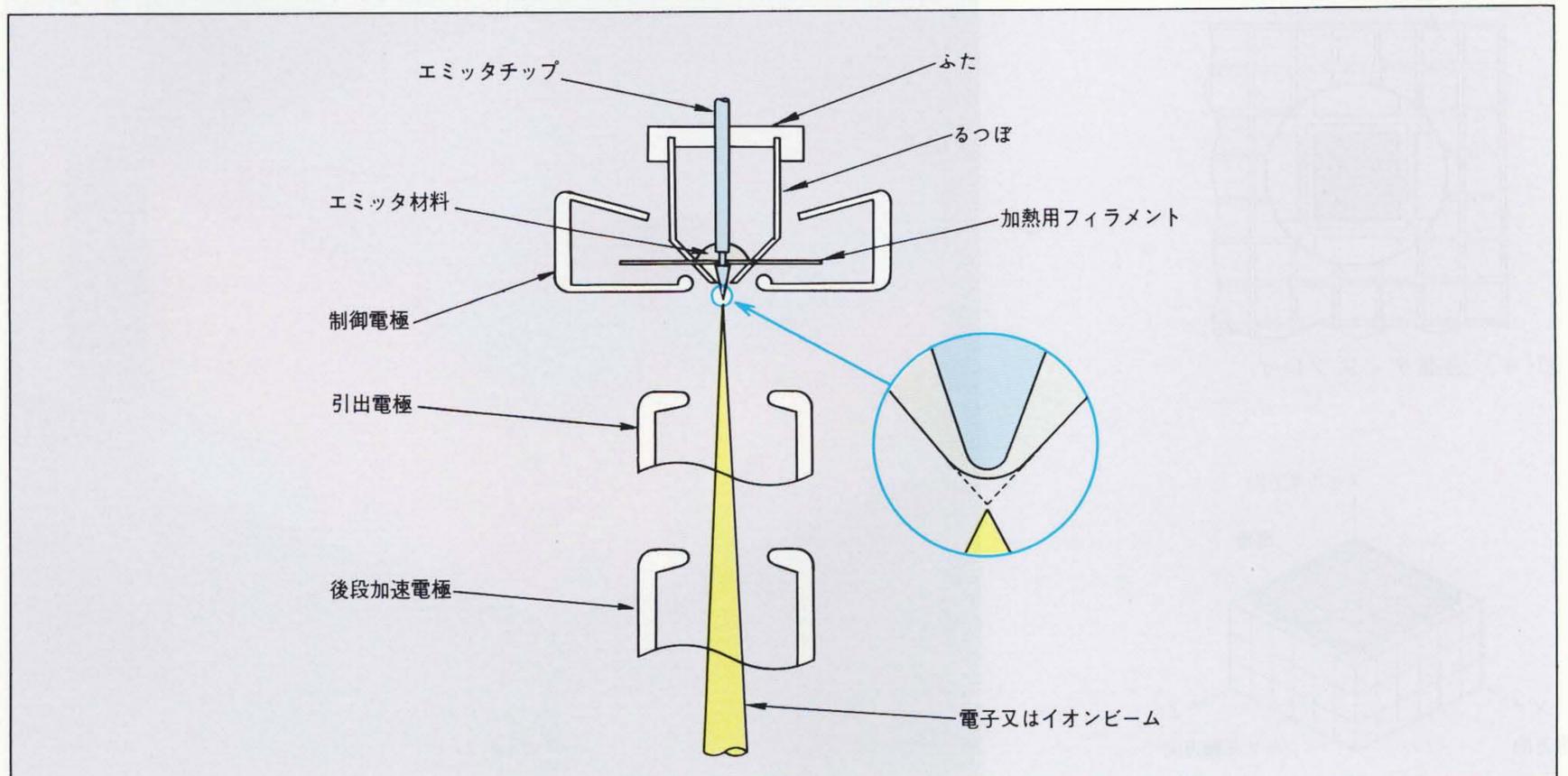
## (3) 従来と同程度以上の性能を持つイオン源

輝度~ $10^6$  A/cm<sup>2</sup>・sr, ソース径~1,000 Å

このビーム源から放出される電子及びイオンの初期エネルギーはいずれも低く、両者とも電界放出機構によることを確認した。

本ビーム源の開発によって、非破壊で高分解能観察が可能な電子線技術と微細加工性に優れたイオン線技術との有機的な結合を可能にする重要な要素技術が立ち上がったので、高分解能観察機能を備えた微細加工装置、微小領域3次元分析を指向した高精度イオンマイクロアナライザ、3次元観察機能を備えた超高分解能電子顕微鏡などへの適用が考えられる。

今後の課題として、更に本ハイブリッドビーム源の実用化を進めるとともに周辺技術の開発を急ぎ、上述のような付加価値の高い装置の開発を進める考えである。



電子・イオン両用ハイブリッドビーム源の原理と構成

# 強誘電性液晶のデバイス シミュレータ

強誘電性液晶を薄膜デバイス化したときの液晶の状態とそのときに出現する光学特性を計算機によって解析し、グラフィック表示するシミュレータを開発した。

高度情報化時代を担う表示機器として、液晶ディスプレイのニーズは年々高まりつつあり、その用途も従来の時計、電子式卓上計算機からOA (Office Automation) 用平面ディスプレイ、テレビジョンへと多様化してきている。ところが、表示情報量の多い平面ディスプレイの場合、従来のTN (Twisted Nematic) 表示方式では表示容量・応答速度の面から限界に近づきつつあり、高速応答性とメモリ性を持つ強誘電性液晶という新材料に大きな期待がかけられている。

ところで、この強誘電性液晶の実用化研究が始まったのは1980年代に入ってからであるので、この液晶のデバイス化のための条件、応答性やメモリ性などの光学特性、及び材料物性の相互関係には不明りょうな点が多く、数多くの材料実験を行わなければならない。そこで、この材料開発を「計算機による実験」で加速するために、本シミュレータを開発した。

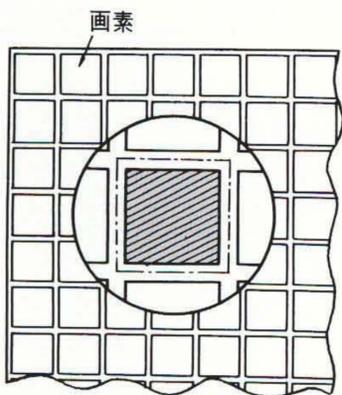
このシミュレータは、強誘電性液晶の光学特性を支配する液晶の分子配向についての偏微分方程式を数値解析的に解くものである。すなわち、液晶の材料物性やデバイス化条件を表すパラメータを入力とし、分子配向状態

を計算して光学特性を予測している。そこで、これら入力パラメータの値を様々に変えてシミュレーションすることにより、物性値、デバイス化条件、光学特性の相互関係を調べることができる。

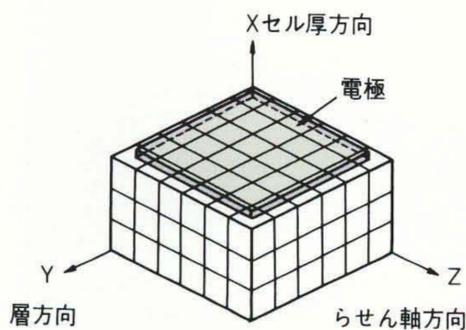
図に解析例を示す。3次元解析では、図(a)に示す液晶セルの一つを取り出し、図(b)に示すような座標系を設定して解いている。図(c)は、図(b)で示すデバイス形状の下で得られた解析結果であり、デバイス内での分子配向状態を示している。本シミュレータは、解析結果をグラフィック表示する機能もあるので、利用者は容易に結果を把握できる。

また、本シミュレータによって、強誘電性液晶材料の開発が効率よく行われるだけでなく、従来の材料実験だけからでは判断できない、あるいは検証することが難しい現象についての知見が得られる。例えば、数マイクロメートルと非常に薄いセル厚では、厚み方向に関する分子配向状態の変化は実験では観測しにくいですが、本シミュレータを用いると、計算機実験とグラフィック表示により容易に分子配向状態を観測することができる。

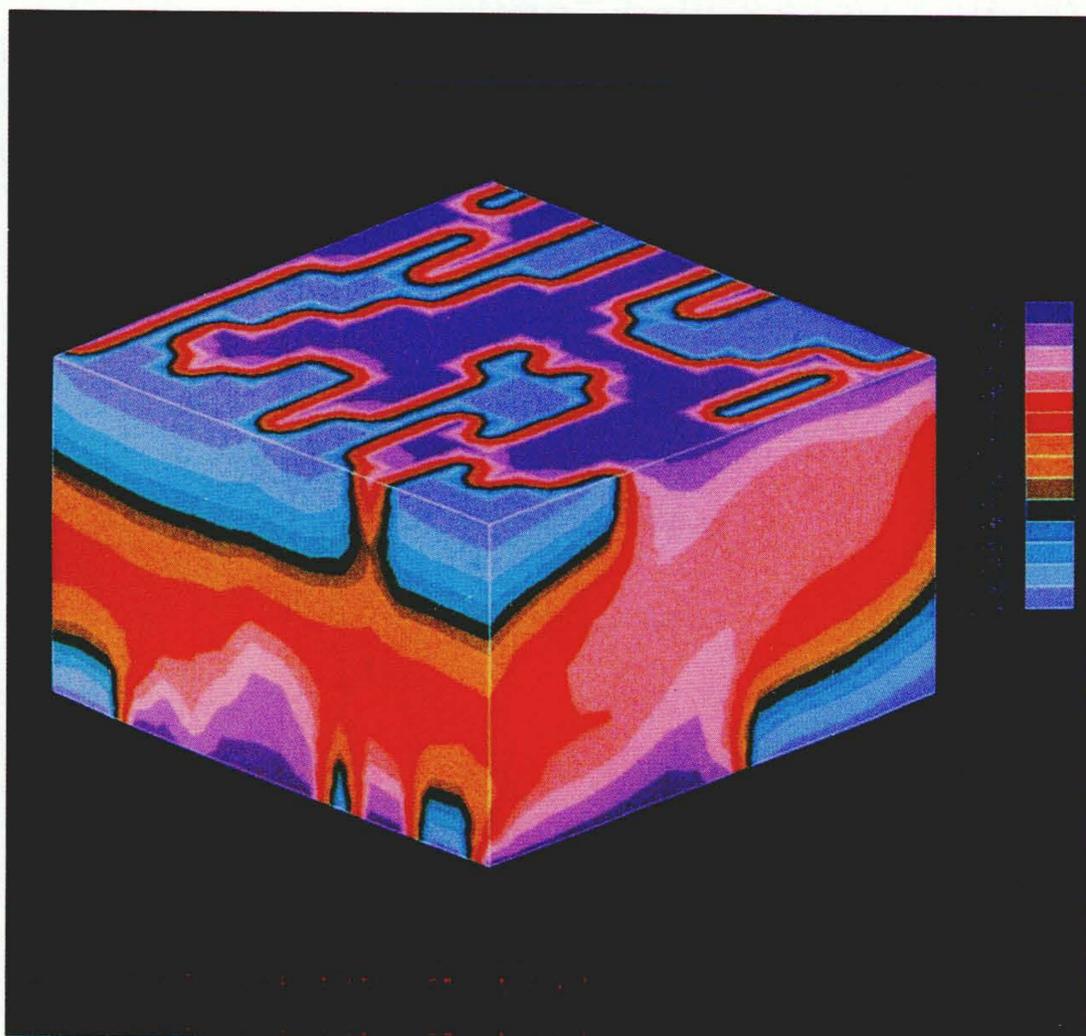
以上のように、本シミュレータは、理論に忠実な計算機実験で材料実験を代行するものであり、材料開発の効率向上に寄与する一つの大きな手だてになるものと考えている。



図(a) 液晶ディスプレイ



図(b) 立体図



図(c) 計算機シミュレーションによって得られた分子配向状態

# レーザー利用火炎計測技術

高効率低NO<sub>x</sub>燃焼の限界追求に向けて、燃焼反応の解明に必要な火炎中の分子、ラジカル、温度、密度分布などを非接触で測定できるレーザー利用計測技術を開発した。

ボイラ、エンジンから家庭用ストーブまで燃焼機器は広範にわたる。燃焼は発熱を伴う高速連鎖反応であり複雑な乱流場で進行するため、工業との結び付きは長かったにもかかわらず、十分解明されていないのが現状である。今後ますます要請される省エネルギーや環境保全化に対応できる最適な燃焼技術を提供するには、燃焼現象、反応機構に立脚した研究開発が極めて重要である。

燃焼過程の解明には、火炎中の温度や主要成分だけでなく、反応に重要な役割を果たすラジカルや環境面で問題となるNO<sub>x</sub>など微量成分を計測する手法の確立が必要である。このような観点から、近年著しく発展しているレーザー利用非接触計測技術の開発に着手し、CARS (Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy), LIF (Laser Induced Fluorescence), ホログラフィー法を確立した。

CARS法は、基準レーザー光と測定対象固有のレーザー光を測定点に集光したとき発生するラマン散乱光(CARS光)を分析するもので、ガスの成分、濃度、温度が測定できる。従来の共軸CARS光学系では、2種類のレーザー光を重ねて照射するため焦点以外でもCARS光が発生し、空間分解能が低い欠点があった。また、石炭火炎では固体の発光で妨害されるため適用できなかった。今回、2種類の

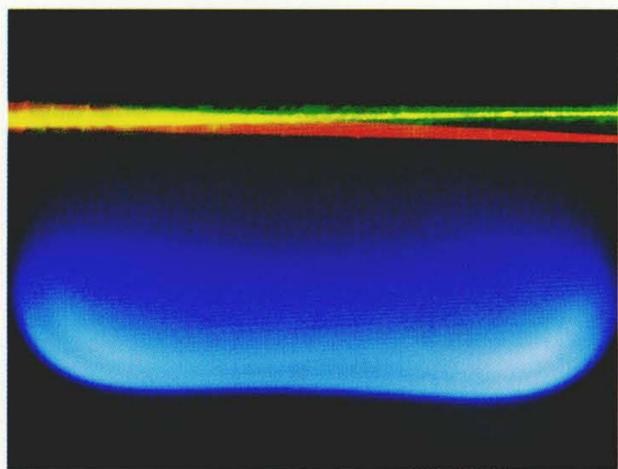
レーザー光が焦点だけで重なる光学系を開発するとともに、レーザーによる固体発光をバックグラウンドとして除去する手法を確立し、ガス火炎だけでなく、石炭火炎でも安定化学種濃度や温度の高分解能測定を可能にした。

LIFは火炎中のラジカルをレーザー光で励起し、これが基底状態に戻るときに発光する蛍光の強度から、その濃度を定量する手法である。蛍光は干渉フィルタによる面分光で検出できるが、連続的波長選択ができず、光の減衰が大きい欠点があるため、二つの分光器を組み合わせて任意波長の画像を連続的に高解像度で検出できる面分光装置を開発した。また、受光強度の画像処理表示により、火炎中の特定のラジカルの濃度分布測定を可能にした。

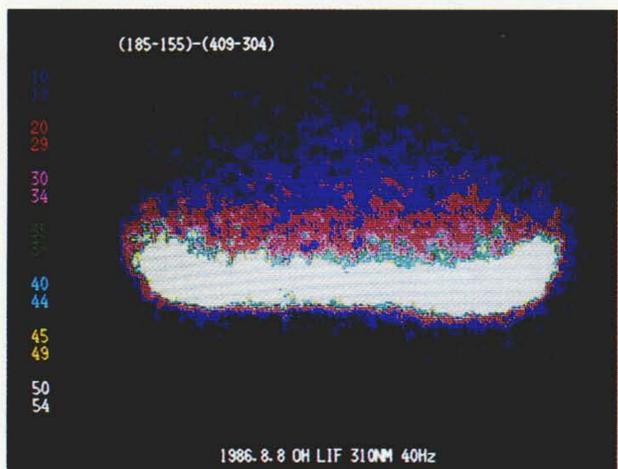
ホログラフィー技術は、二つの光の干渉を利用して火炎の流れを可視化する手法である。層流火炎のホログラフィー干渉計測はよく知られているが、乱流火炎は流れの変化速度が大きく、連続発振レーザーでは計測が困難であった。今回、パルス発振レーザーとシャッター付きテレビジョンカメラを同期させて、乱流火炎のホログラフィー干渉像を実時間で計算機に取り込める技術を開発した。

レーザー利用火炎計測技術により、予混合火炎と拡散火炎の構造が解明され、困難視されていた燃焼のモデリングやシミュレーション、更にはCADによるバーナ、燃焼器の設計や燃焼制御などの急速な進展が期待される。

なお、本研究は通商産業省工業技術院の石油代替エネルギー関係技術実用化開発費補助金を受けた研究開発の一環として実施されたものである。



プロパン・空気予混合火炎  
YAGレーザー(緑色光)と  
色素レーザー(だいたい色光)  
を重ねて照射し高分解能  
CARSスペクトルを測定



OHラジカル濃度分布  
上の火炎にエキシマシ  
ートレーザー光を照射し、面分  
光と画像処理して基底状態  
ラジカル分布を測定



LPGバーナ乱流火炎のホログラフィー干渉像

# メカトロニクス制御系設計システムの開発

機構系と制御系が高度に複合した、多自由度で多変数の制御システムの設計作業を一貫して支援するメカトロニクス制御系設計システムを開発した。

メカトロニクス製品で、単純に小形・軽量化しようとすると、機構系の固有周波数が低下する傾向がある。また、高速・高精度化するためには、制御系の応答周波数帯域を拡大する必要がある。更に、高機能・低価格化のための手段として、エレクトロニクス化、ソフトウェア化の比率が向上している。このため、これらの製品では、柔軟・柔構造の多自由度系を複数個のアクチュエータで駆動する相互干渉系となり、またデジタル制御が必要になる。このような複雑な制御系に対しては、解析やシミュレーション機能を中心とした従来の設計システムでは、高度な数値解法を必要とする最適な制御方式の選定とパラメータの決定ができなかった。

そこで東京工業大学の古田勝久教授の指導を得て、次数100次、入出力数25個までの多自由度、多変数系を対象として、制御対象のモデリング、特性解析とこれに対する最適制御系の構成及びシミュレーションによる評価という一連の設計作業を、大形計算機の支援によって対話的に効率良く進めることができるメカトロニクス制御系設計システムを開発した。

このシステムの特徴は、周波数特性に基づいた古典的な設計法に加えて、近年実用化が進んでいる現代制御理論に基づいて、極配置、最適レギュレータ、オブザーバ、非干渉系などの優れた制御系を構成できる点にある。また、最近適用範囲が増加しているデジタル制御系の構

成と、デジタル演算語長やサンプリング周期の最適値を選定できるので、適切なハードウェアを設計できる。図1にシステムフローを示す。

## (1) モデリング

制御対象を伝達関数、状態方程式などで表現するとともに、これらを相互変換する。

## (2) 特性解析

制御対象の特性を、周波数応答、根軌跡などを用いて解析する。

## (3) 制御系構成

制御仕様に基づいて、極配置、最適レギュレータなどの制御系を構成する。

## (4) シミュレーション

制御系の性能を、時間応答、周波数応答などを用いて評価する。

図2は、プリンタの紙送り機構に適用した場合の例である。(a)トラクタ軸からのフィードバックがない場合には、軸のねじれやベルトの伸びによってトラクタ軸が振動し、印字ずれが生ずる。(b)これに対しトラクタ軸の挙動をオブザーバによって推定し、これをフィードバックする最適レギュレータ系により、電動機軸は振動するがトラクタ軸は振動せず、正しい印字ができるようになった。また、この制御系の設計時間は従来の方法に比べて数十分の一に短縮できた。

制御は、メカトロニクス製品の重要な基盤技術であり、本システムを利用することにより特徴のある製品を生み出すことが期待される。

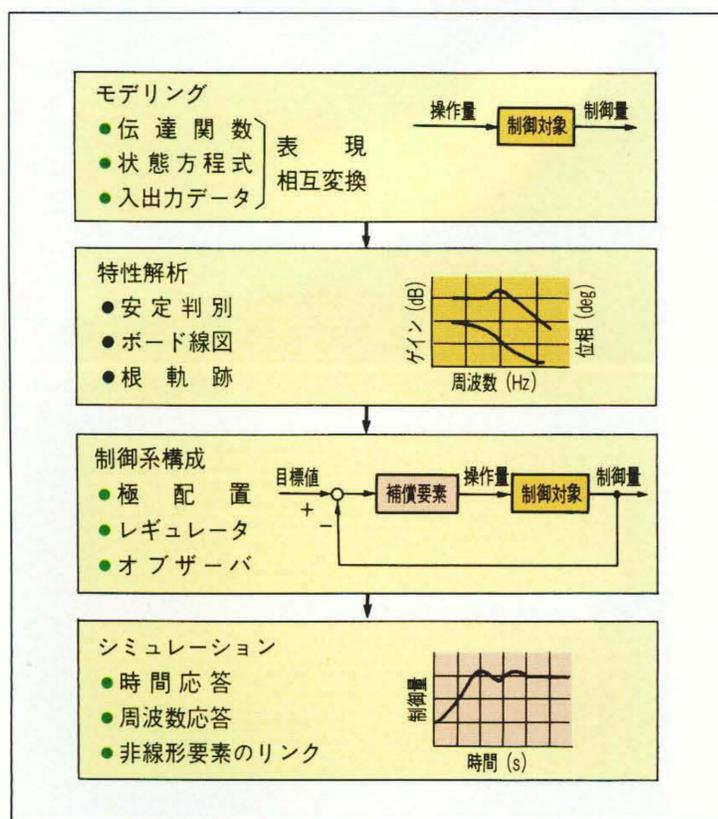


図1 制御系設計システムのフロー

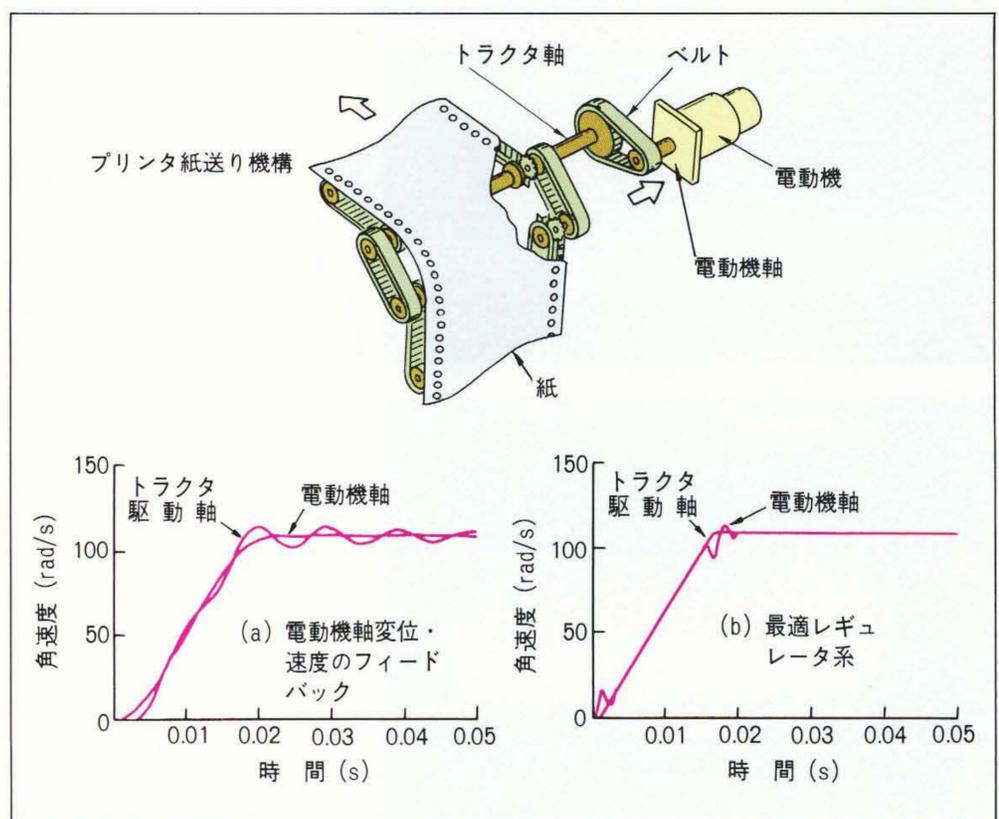


図2 プリンタ紙送り機構の設計例

## 量子磁束パラメトロンの研究

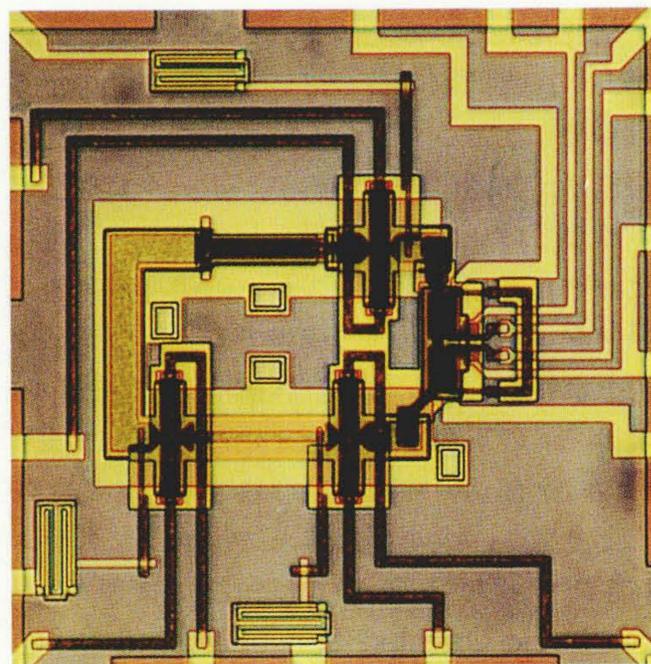
理化学研究所と共同で、パラメトロンの原理とジョセフソン素子を融合した、超高速かつ低電力で動作する新しい超電導スイッチング素子の動作実験に成功した。

「量子磁束パラメトロン」と名づけられた新素子は、パラメトロンの発明者として知られる、後藤英一東京大学教授(理化学研究所主任研究員)が考案したものである。この素子は超電導インダクタとジョセフソン素子の対回路から成る2端子パラメトロン的一种で、磁束の最小単位である量子磁束を信号媒体に用い、磁束によって回路を駆動する新しい形のスイッチング回路である。このため、高い回路利得が得られ、また電圧がない状態でスイッチング動作を行うため、現在実用化されている半導体素子の約100万分の1の1nWに相当する消費電力で100倍以上の高速性能を実現できる。この素子を使えば従来とは異なる全く新しい超高速計算機の実現が期待される。

素子を実際に動作させるに当たっては、超電導回路の共振を抑制し、極めて微弱な信号を観測する方法を開発した。更に、ニオブを使ったジョセフソン素子プロセスで回路を作製し、1.8GHzの高速分周動作、メモリセル及

び論理回路動作を確認した。これらは計算機を構成するのに必要な機能である。

本研究は原理動作実験をしたものであるが、現在は新技術開発事業団創造科学技術推進事業の「後藤磁束量子情報プロジェクト」として推進中である。



量子磁束パラメトロンによる $\frac{1}{2}$ 分周回路の光学顕微鏡写真

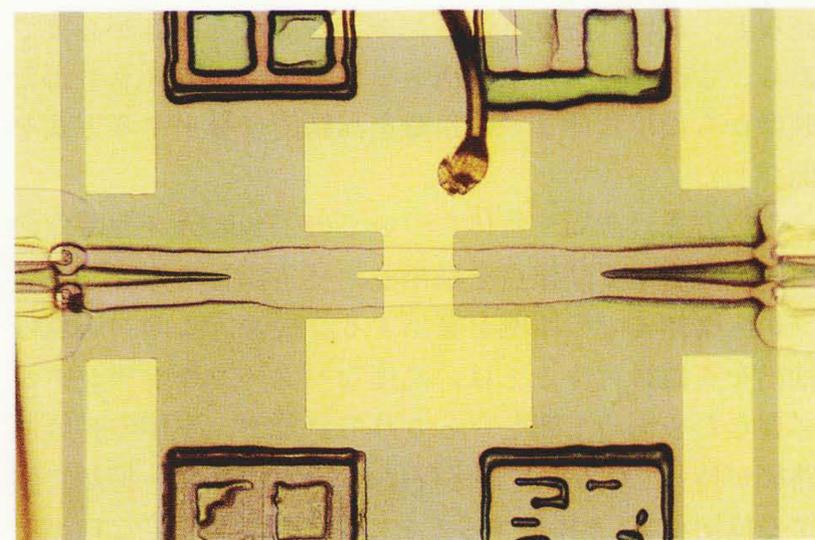
## 分布帰還形半導体レーザと光スイッチを集積化した光集積回路

次世代の高機能な光通信・情報処理システムへの適用をねらいとして、分布帰還形半導体レーザと光スイッチを同一のInP基板上に集積した光集積回路を開発した。

次世代の複雑高機能な光通信・情報処理システムに対処するため、電子回路への要請と同様に光回路でも小形化、高信頼化及び高速化を目指した光集積化高速機能デバイスの出現が望まれている。

このような中で、今回日立製作所の研究所では、キャリア注入による大きな屈折率低下現象を用いた全反射形の光スイッチを新たに考案し、これと単色性に優れた分布帰還形半導体レーザ及び受光器を同一のInP基板上に集積した光集積回路を開発した。この光集積回路は、従来の誘電体光スイッチに比べて一けた以上小形の光スイッチを用いているため、素子寸法が1.6mm×1.0mmと超小形で、また横モード制御性に優れたCM-BH (Constricted-Mesa Buried-Heterostructure)構造分布帰還形半導体レーザを新たに採用したため、安定なレーザ発振が得られる。

この光集積回路は、低電力、低損失で、信号を光のまま直接処理できるものであり、光通信システムに不可欠な予備の半導体レーザを待機させる機能、光モニタ及び光増幅機能があり、更に光通信・交換用だけでなく情報処理分野での光論理演算用光集積回路としての応用が期待されている。



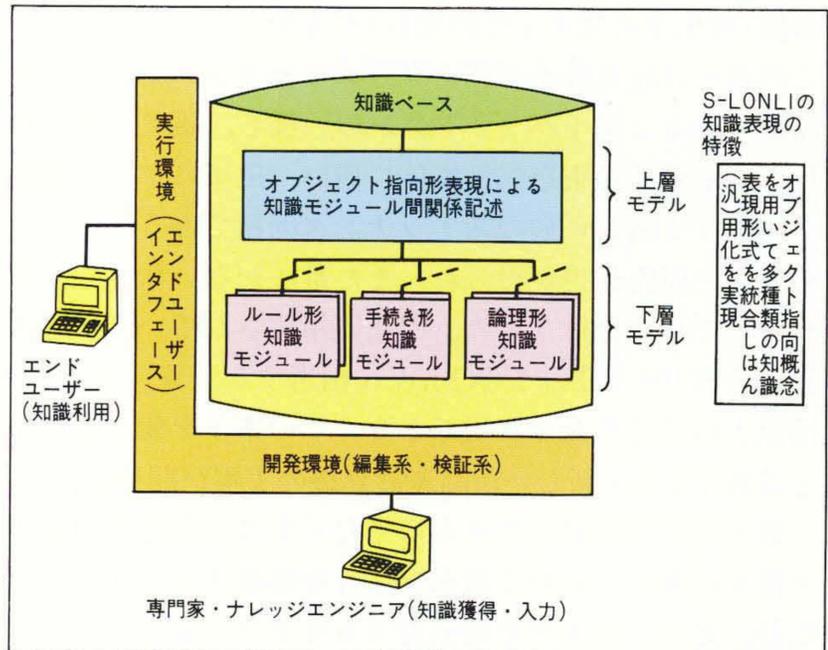
光集積回路の拡大写真 中央部が光スイッチ(長さ0.2mm)である。15mAの低電流で駆動しスイッチ速度は20ns, 消光比(二つの出力端子から出る光量の比)は20.5dBの高性能である。

# 複合多機能形知識処理言語S-LONLIの開発

知識の全体構造と個別知識を分離して記述する2階層モデル方式により、大規模なエキスパートシステムの構築を可能にする複合多機能形知識処理言語を開発した。

様々な分野の専門家が持っている知識を計算機に記憶させ、専門家の支援や肩代わりをするエキスパートシステムの開発が活発化している。エキスパートシステムの開発のポイントは、専門家の持っている知識をどのように整理して計算機に記憶させるかという点である。従来の知識処理言語は、知識の表現形式が、ルール形や論理形、フレーム形などのいずれかに限られており、大量の知識の構造化が難しく、大規模システムの構築が困難であった。今回ソフトウェア工学の成果であるオブジェクト指向の技術を取り入れ、知識の全体構造(上位モデル)を知識オブジェクトの集合としてマクロに記述し、個別知識(下層モデル)を任意の知識表現形式で記述する2階層モデル方式を考案し、大規模なエキスパートシステムの構築を可能にする複合多機能形知識処理言語S-LONLI(Super-Logic Oriented Language Inferencer)

を開発した。本方式によって、知識の整理が容易に行えるようになり、各々の知識に最適な表現形式が選べるようになった。また、異なる表現形式の知識を組み合わせた推論方式を実現することにより、知識の大規模化と推論実行の高速化を両立させることができる。



2階層モデルに基づくS-LONLIの知識処理体系 上層のモデルはオブジェクト指向で、下層のモデルは対象の表現に最適な表現形式で知識を表現する。

# 移動体誘導のための3次元視覚基本技術

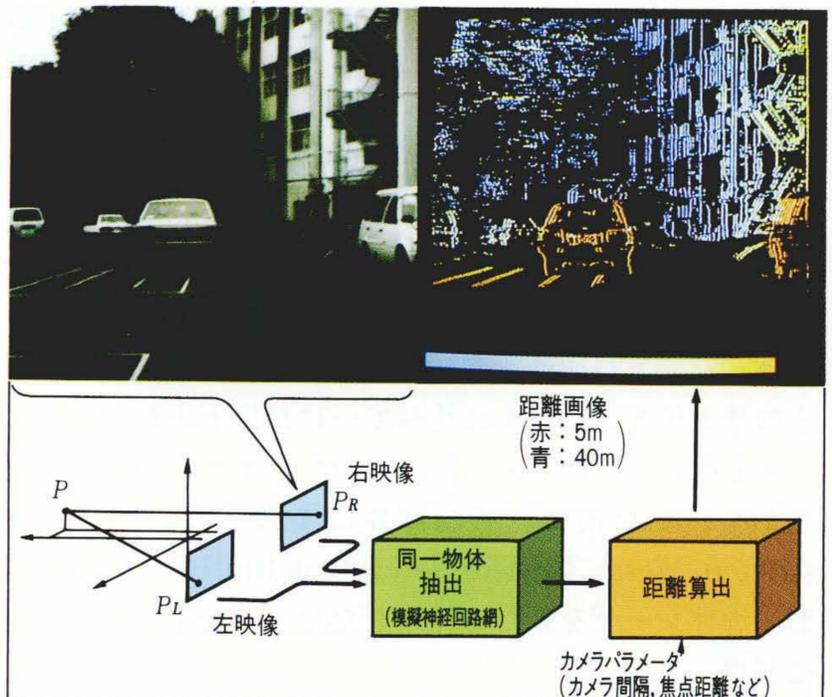
移動体の誘導のためには障害物の存在有無など環境の形状をセンシングする必要がある。測定範囲が広くかつ受動的という優れた特性を持つ視覚による対環境測距技術を開発した。

移動ロボット、搬送車など移動体を自律走行させるためには、走行すべき路面の認識、障害物の存在有無の確認など、環境状況をセンシング・理解する機能が必要である。このための基本技術として、二つのカメラで得た映像から環境物体までの距離を高精度に算出する方式を開発した。

この方式は、同一物体についての二つのカメラ映像の中から対応する映像点を抽出し、三角測量の原理でカメラから物体までの距離を算出する。従来、この対応点の抽出を正確に行うことは、高度なパターンマッチングが必要のため極めて難しいとされていたが、生体の神経回路網が持っている側抑制と呼ばれる特性(興奮・抑制に関する協同現象)を模倣することによって、高精度な抽出を可能とした(精度0.5画素以下、カメラ間隔10cm時3m先で誤差±5cmに相当)。

視覚による測距は、超音波、レーザなど能動的方式に対して単位時間当たりの情報取得量が多いこと、センサ

間での相互干渉を起こさないことなど、移動体誘導に好適な特性を持っている。更に、従来の視覚システムの持っている光学的条件変化へのせい弱性を補う形状情報を与えることができるため、移動体誘導以外にも幅広い応用が期待される。



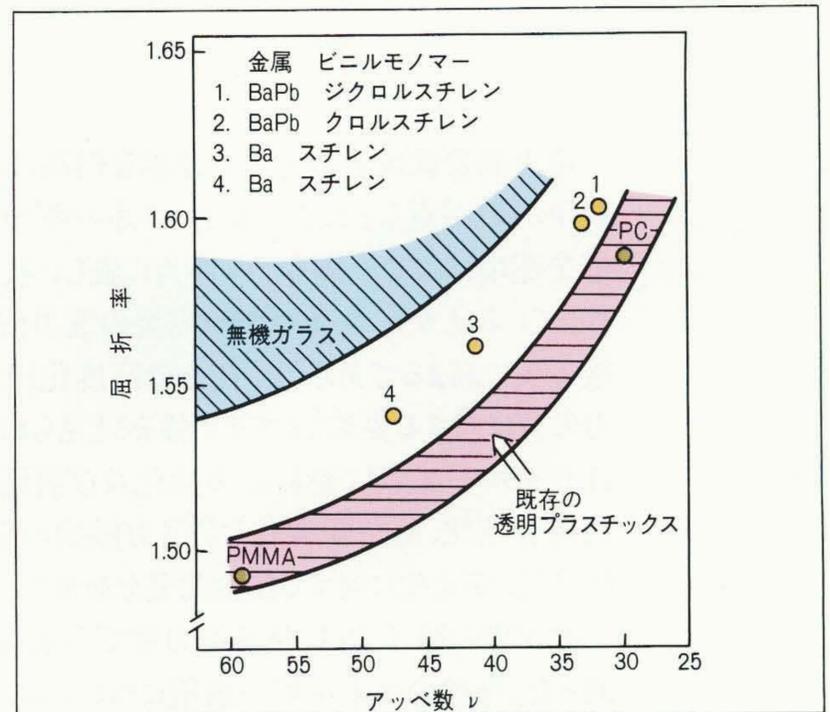
神経回路網模擬による距離画像の生成 神経回路網を模擬したアルゴリズムにより、左右の映像から同一物体の映像( $P_L$ ,  $P_R$ )を抽出し、三角測量の原理で距離画像を求める(近くにある物体を赤で、遠くの物体を青で表示した)。

# 含金属系透明プラスチック

新しいプラスチック材料として、分子構造中に金属を含むプラスチックを開発した。この材料は透明度、屈折率が高く、しかも耐熱性、耐水性に優れている。

光学用として使用可能な既存のプラスチックは、PMMA(ポリメチルメタクリレート)、PC(ポリカーボネート)などの数種に限定され、しかもガラスに比べて屈折率が低く、耐熱性、耐水性の面で問題があるために、これらの特性を改善した新しい材料の開発が望まれている。そこで、上記の問題を解決するため種々の分子構造を検討した結果、分子構造中に金属イオンを導入することによって、高屈折率で、耐熱・耐水性の良好な材料が得られることが判明した。しかし、金属イオンの凝集による白濁、相分離の問題があるので、数種の有機酸金属塩の併用による分子構造の非対称化及びビニル系モノマとの共重合によって問題点を解決した。このようにして得られた材料は、図に示すように既存の透明プラスチックに比べて屈折率が高く、屈折率の波長依存性の尺度となるアッペ数(値が大きいほど波長依存性が少ない。)が高

い。また、ガラス転移点が160~170°Cであり、PMMAの110°C、PCの150°Cに比べて高く、100°Cの熱水に浸せきしてもPMMAやPCのように白濁することがないという特長を持っている。そのため、今後、過酷な用途の光学部品への応用が期待できる。



透明プラスチックの屈折率と分散

## 技術抄録

### ■知識工学を適用した画像処理応用ソフト作成支援システム

産業用視覚装置に必要な画像処理応用ソフトの作成には、専門家でも数週間を要しているのが現状である。本システムは抽出したい対象を、マウスなどで伝えるインタフェースと知識工学を用いて作成時間を $\frac{1}{5}$ ~ $\frac{1}{10}$ に短縮できる。

### ■知識工学を応用した回路系自動変換システムの開発

知識ベースに入れた変換規則を用いて、CMOS回路図からIIL回路図へ等価変換するシステムを開発した。本システムは、素子数の最少化機能、変換過程の説明機能を持ち、変換工数を $\frac{1}{10}$ 以下に短縮できる。

### ■対話形による境界要素法解析プログラムHIBEMを開発

物体の表面形状データだけから応力や変形を解析できる対話形2次元、3次元解析プログラムを開発した。弾性問題のほかに、破壊力学、接触問題も解析でき、従来の有限要素法に比べ解析作業の大幅な省力化が可能になった。

### ■超電導コイルの常電導転移伝搬数値シミュレーション手法

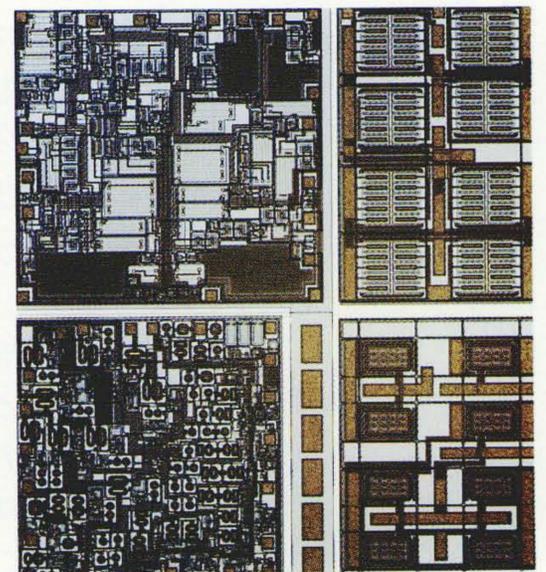
超電導コイル内の常電導転移とその伝搬特性を3次的に予測する数値シミュレーション手法を開発した。本手法は、コイル製作前の性能予測や、転移防止・コイル保護などの性能向上策の詳細な検討に活用できる。

### ■セラミックスの新強度設計技術

構造用セラミックスは、従来、破壊確率で評価されてきたように、強度設計が困難とされていた。今回セラミックスに内在する微小欠陥に着目して、強度を統一的に評価できる新しい強度設計技術を開発した。

### ■材料照射用透過形電子顕微鏡結合加速器システム

イオン加速器に透過形電子顕微鏡を結合し、イオン照射による格子欠陥の生成とその成長を直接観察できる材料照射効果研究設備を開発した。この設備によって、原子炉材料中の照射欠陥の動的挙動の把握が可能となった。



### ■350V高精度アナログ・デジタル混載パワーIC技術

新構造の350V低ノイズ・高周波横形トランジスタを用いた高精度アナログ相補形回路と低オン抵抗の350V/200mA級PNPNスイッチ回路とを誘電体絶縁分離基板に集積したパワーIC技術を開発し、デジタル交換機への適用を進めている。

### ■電気ポテンシャル法による欠陥検出装置

機器部材や配管の表面に発生したき裂の形状を精度良く検出できる電気ポテンシャル法による欠陥検出装置を開発した。本装置は、定電流電源によってき裂周辺に電場を形成し、電位差分布から詳細なき裂形状を判定するものである。