研　究

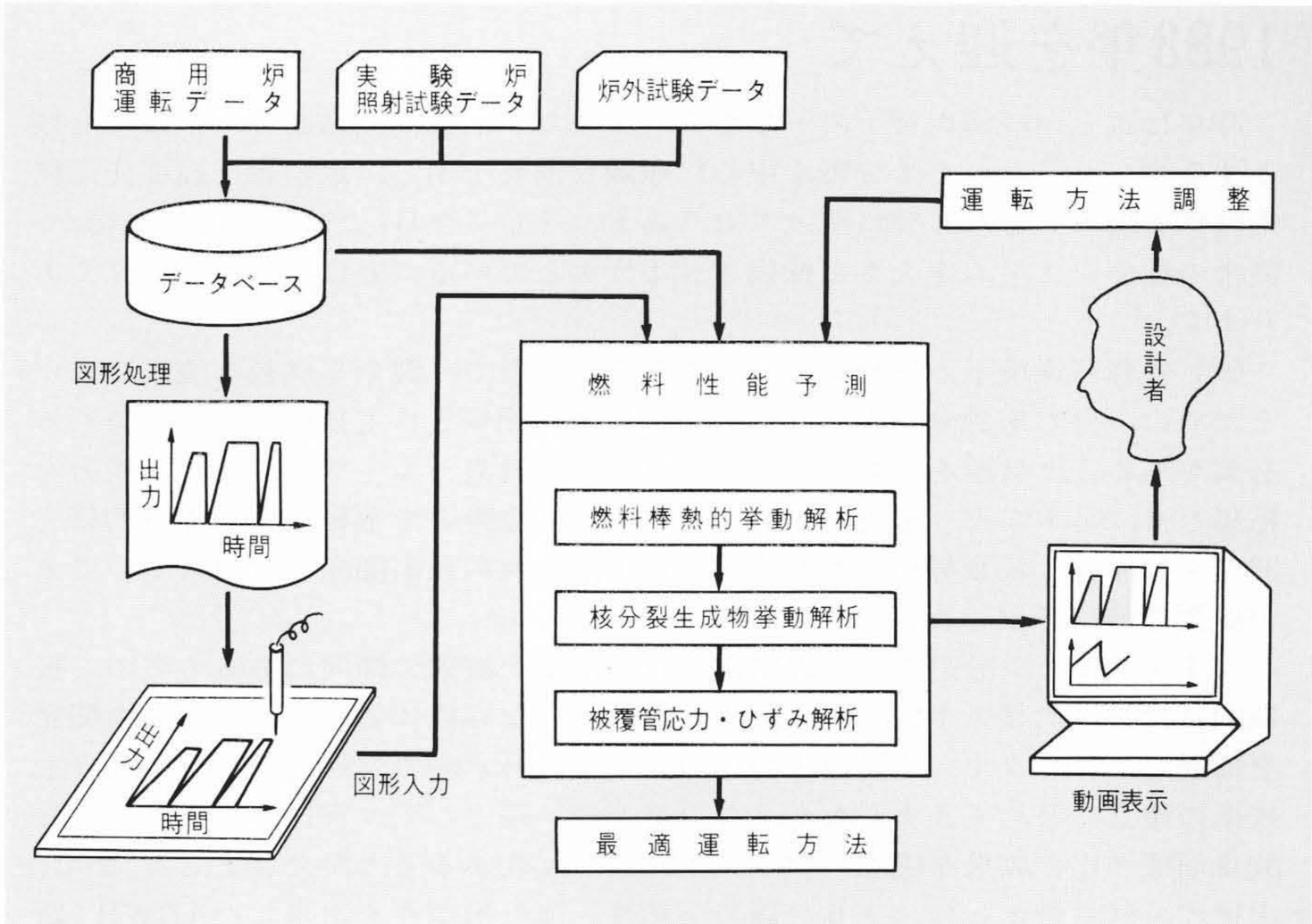


図1　燃料性能予測システム

「日本人は，他から学ぶことは得意であるが，独創力に乏しい。」というようなことが，よく言われている。しかし，ここで言う「独創力」とは，何を指しているのかを考えてみたい。研究開発には，多数の人が参加して，比較的短期間に成し遂げられなければならないものと，逆に，ごく少数の人がかかって，比較的長期間にわたって成し遂げられるものと2種類があるように思われる。このどちらにも，独創力がなければ研究開発は成功しないが，これまでの我が国の，特に企業内の研究開発では，前者の分野での成果が目立っていたために，最初に記したような言葉が出てくるものと思われる。すなわち，最初に記した「独創力」とは，短期間に成し遂げられねばならない研究開発でのそれではなく，長期間にわたる研究開発でのものだけの狭い意味での独創力を指しているものと思われる。このような独創力は，日本人一般に欠けているものではなく，これまで余り目立たなかったのは，単に時間の問題であると思う。

日立製作所では，中央研究所をはじめとする8研究所で，短期間に成し遂げなければならない研究開発のために，基盤技術の蓄積を図ってきたことはもちろんのことであるが，基礎研究分野の研究開発をも重要視して，人材の育成を図ってきた。その成果が，最近になって現われはじめている。その例として，本章には「自律分散制御技術の開発」と，「電子線ホログラフィーによる，アハラノフ・ボーム効果の検証」が挙げられている。自律分散制御技術は，システムの信頼性を高めるためにはどうすべきかを長年にわたって考えた末に，生物システムのもつ新陳代謝，成長を範とすべきであるとして考え出された新しい概念であって，その理論とシステム技法を確立したものである。この概念は，交通制御システムなどに応用されて，その有用性が検証された。また電子線ホログラフィーによるアハラノフ・ボーム効果の検証は，日立製作所での長年の電子顕微鏡及び材料の研究開発の歴史に支えられ，新しい電子線源を使った電界放射形電子顕微鏡を実現し，電子線ホログラフィーの技術を確立することによりなされたもので，量子力学の基本量としてのベクトルポテンシャルの実在を，電子波の位相変化によって史上初めて証明したものである。この技術は，ミクロ領域の磁場の微細構造を手に取るように視覚化する手段を提供し，高密度記録素子，その他広い技術分野で有力な武器になるものと思われる。

このほか，本章でその成果の一端を示すように，情報，材料，エネルギー，その他の各分野で独創力を発揮するため研究開発が行なわれている。特に，これからの技術の進歩の一つの牽引力となると思われる半導体分野では，その微細化，高性能化に，その測定技術を含めて力が入れられており，情報分野では，英和機械飜訳のように異なった言語をもつ人々のコミュニケーションに役立つ技術など，人々の交流の活発化に役立つ機器，システムの開発に，またエネルギー分野では，代替エネルギー利用，機器やシステムの信頼性確保，稼動率の向上に力が入れられている。今後共，人間性の豊かな社会の実現に向かって，研究開発の面から寄与するために，独創力を積極的に発揮して，社会に貢献していきたいと考える。

燃料性能予測システムの開発

沸騰水型原子炉では，燃料の健全性を保証し，稼動率を一層向上させるため，運転状態での燃料棒の熱的・機械的なふるまいを把握することが要請されている。これに応えるため燃料性能予測システムを開発した(**図1**)。本システムは，燃料棒内の温度分布，核分裂生成物の蓄積および移動，燃料ペレットの体積膨脹などの時間変化をもとに，燃料ペレットと被覆管の機械的相互作用を定量化し，被覆管に局部的に加わる応力とひずみを計算する。これにより，燃料棒の燃焼効率を最大に保ちながら被覆管の健全性を確保できる最適運転法の検討が可能となった。本システムを，炉心性能を監視・予測する炉心総合運用システムに組み込むことにより，燃料健全性を保証し稼動率向上が可能な原子炉運転法が期待される。

自律分散制御技術の開発

LSI技術の発達と高信頼化への要求とが相まってシステムの分散化が急速に進められている。しかし，従来の分散化技法は集中システム技術の延長であり，分散固有の特徴が生かされていなかった。本研究では，生物システムの持つ新陳代謝・成長を範に，「万一，部分的に故障してもトータルシステムはダウンさせない」というねらいで，自律分散制御概念を提案し，理論・技法を開発した。

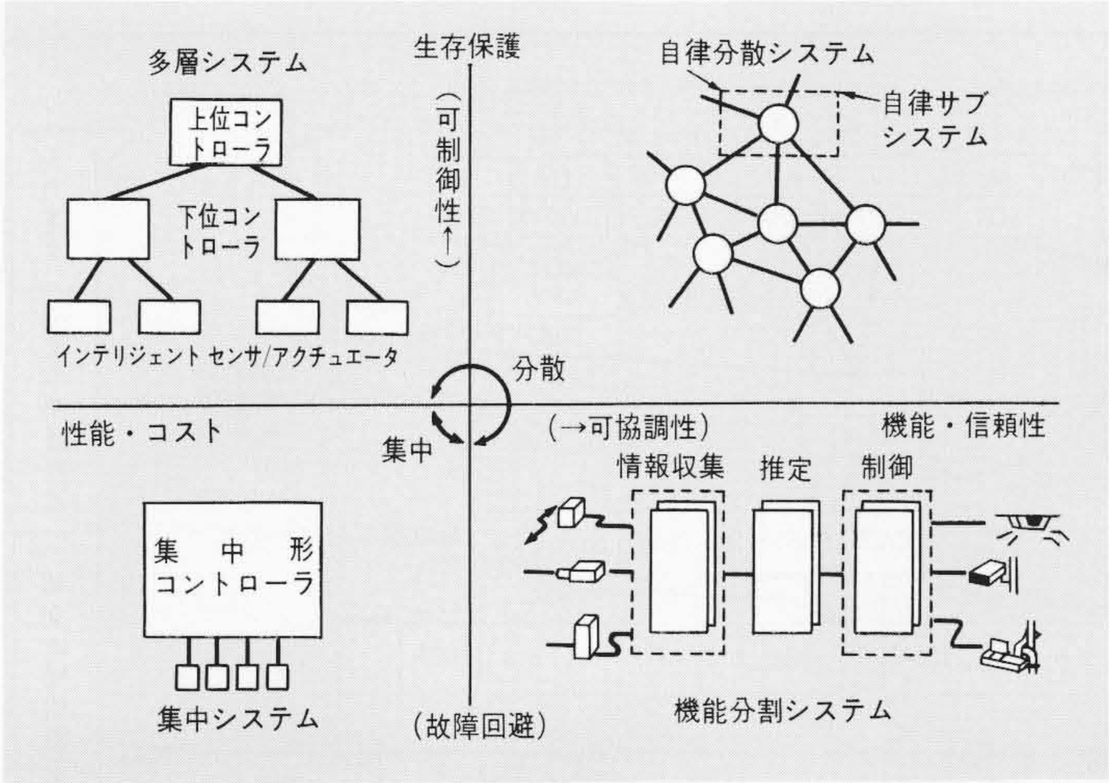


図2　自律分散制御システムの位置づけ

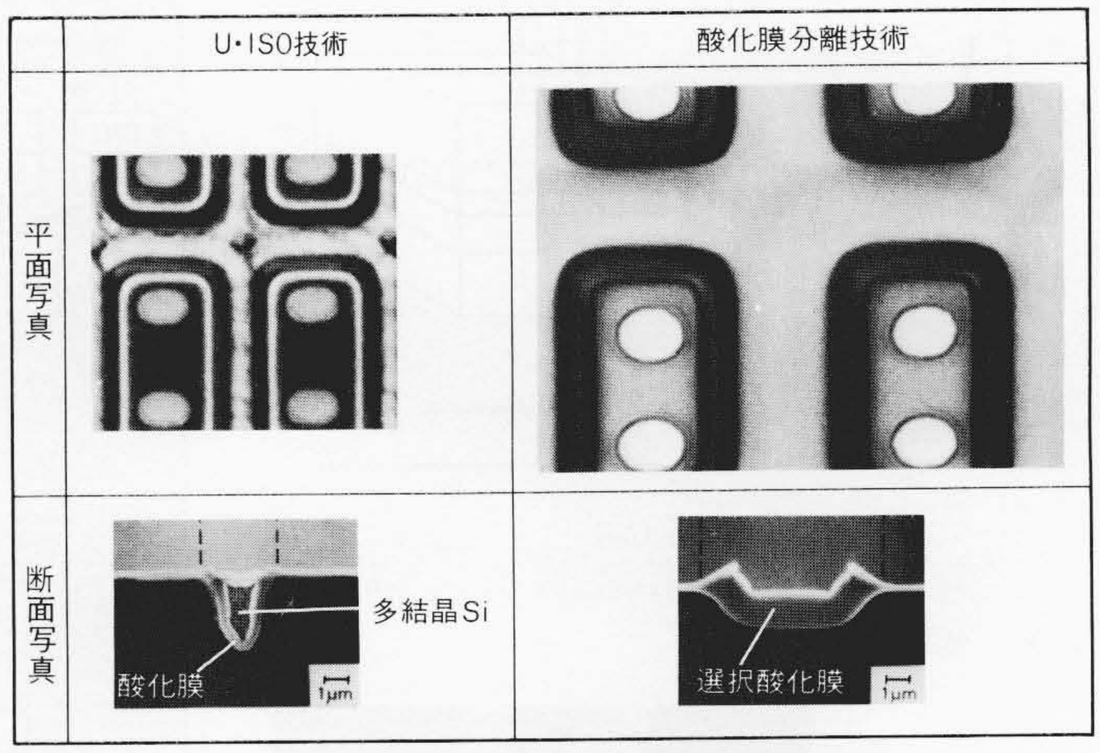


図3　各種分離技術によるトランジスタ群の寸法比較

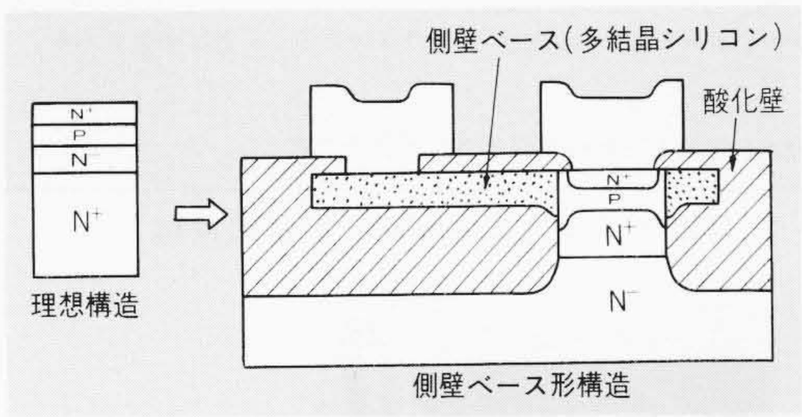


図4　側壁ベース電極形構造"SICOS"

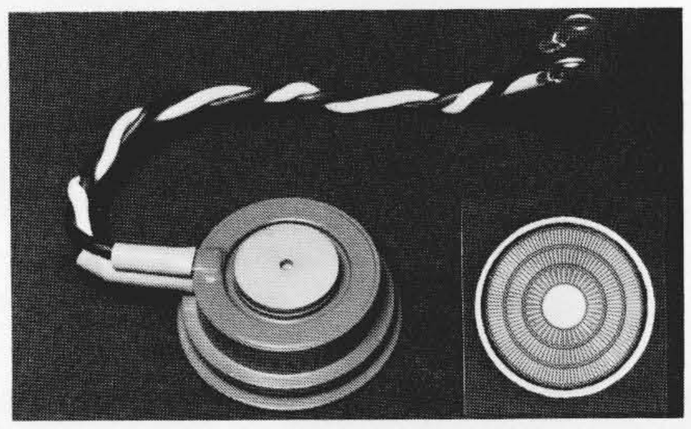


図5　4,500V 試作GTOサイリスタ

自律分散システムは，いかなるサブシステムのダウンに対しても残りのサブシステムが責任担当対象領域の状態を把握し，互いに協調をとって機能するもので，このための条件として，各サブシステムが均質であること，全体を統括するマスタを持たず平等であること，局所的情報のみで制御すべきことを理論的に導いた。これを基に自律単位の構成化技法，生存のための制御・協調化技法とその評価技法を開発し，生物の神経系や脳を模擬したループ伝送系，超高信頼複合マイクロコンピュータ，細胞内処理を模擬した自律分散ソフトを開発した。本技法により多数のマイクロコンピュータを結合して，高機能・高信頼性を持ち，低価格でかつ生産性・保守性・柔軟性のある制御システムの実現を可能とした(**図2**)。

本技法はまず，地下鉄・私鉄などの軌道輸送システムに実用してその有効性を確認し，さらにFA，大規模プラント制御など信頼性と柔軟性が強く要求されるシステムへ適用中であり，無停止，段階的建設，オンライン保守といった従来どちらかというとあきらめられていた大規模システムの本質的要求を満たす一つの解決策として期待されている。

高集積CMOS VLSI技術の開発

CMOS(相補形MOS)技術を使用するVLSIの急速な拡大に対処するため，最小寸法2μmを基本とし10^6素子を集積できる高集積CMOSプロセス技術を開発した。特徴は，NチャネルおよびPチャネル両FETのしきい電圧を独立に制御できるP, N両ウェル方式を採用し，寄生サイリスタを十分に抑制できる構造とした。なお微細加工技術としては，日立製作所開発の縮小投影露光技術，ドライエッチ技術を採用した。

本CMOS技術は，64kビット・スタティックRAMにも適用されている。今後CMOS技術の適用製品は広がる一方であり，微細加工・素子分離・配線構造などに，さらに新しい技術の開発が期待されている。

超高速LSI用素子分離技術の開発

超高速LSIを実現するには，高速回路設計技術や微細加工技術の確立とともに，素子間の分離領域を少なくする素子分離技術の開発が必要不可欠である。

今回開発した「U形溝素子分離技術〔U・ISO技術〕」(**図3**)は，(1)反応性スパッタエッチによるU形溝の形成，(2)多結晶Si堆積による溝内埋込，(3)素子領域上多結晶Siのプラズマエッチによる平坦化，などの要素技術で構成されている。

本技術は，従来の酸化膜分離技術に比べて(1)分離領域を$\frac{1}{3}$に縮小でき，集積密度を2倍に高められる，(2)素子間分離耐圧を2倍(50V)，N^+埋込層/基板間の分離容量を$\frac{1}{4}$にできる，などの特徴を有しており，バイポーラLSIはもとよりMOS・LSIにも広く応用できる技術である。

バイポーラトランジスタの新形構造"SICOS"の研究

日立製作所では，アナログ回路とディジタル回路とを超LSIとして高密度に集積できる新しいバイポーラトランジスタ構造SICOS(Sidewall Base Contact Structure)を開発した。SICOSはベース領域の側面に直接多結晶シリコン層を接続し，単結晶基板との間に厚い酸化膜を形成したため，理想構造に近い形となっている。そのため，集積度と速度は従来構造の2倍に，トランジスタの逆方向周波数特性は従来の20倍の1GHz以上になった。以上の新技術をIIL回路（集積注入論理回路）に適用して動作速度を10nsから0.3nsと革新的に向上させた。SICOSは本質的に単体トランジスタ，ディジタルIC，アナログICにも使用できるという多機能性を備えている(**図4**)。

超高耐圧4,500V GTOサイリスタの試作

GTO(Gate Turn-Off)サイリスタは，電流の自己遮断機能を備えたサイリスタとして産業用電動機の速度制御インバータなどに使用されているほか，電車駆動の大容量チョッパやインバータに使用する計画も進んでいる。これまで耐圧2,500Vの素子が製品化されているが，電車用にはさらに高耐圧化が望

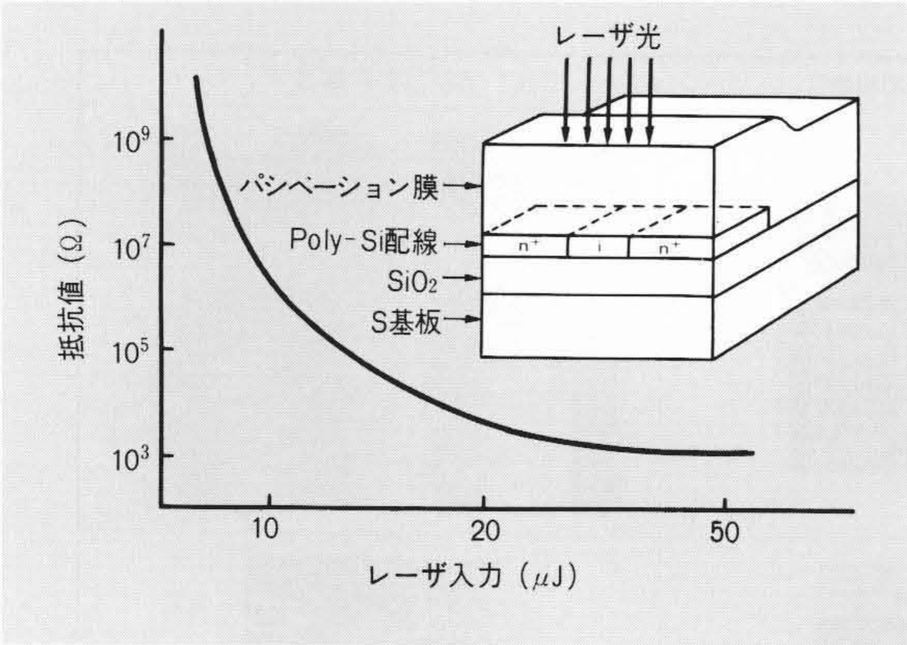
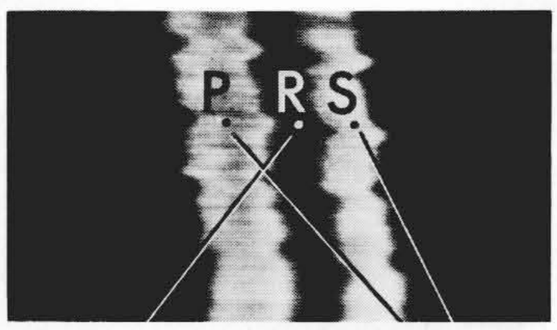
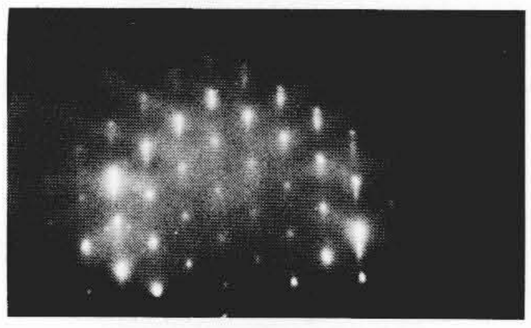


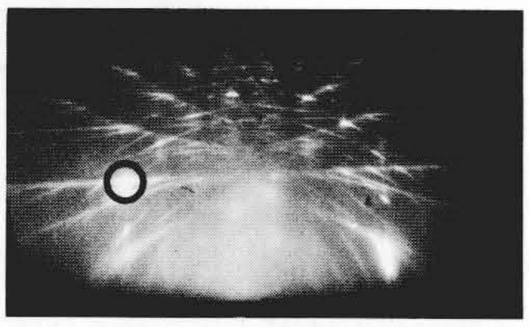
図 6　低抵抗化の特性



(a) 図(c)の黒丸で囲まれた回折スポットを信号とした走査電子顕微鏡



(b) R点からの反射回折図形



(c) P, S点からの反射回折図形

図 7　多結晶Si薄膜のレーザ照射による単結晶化

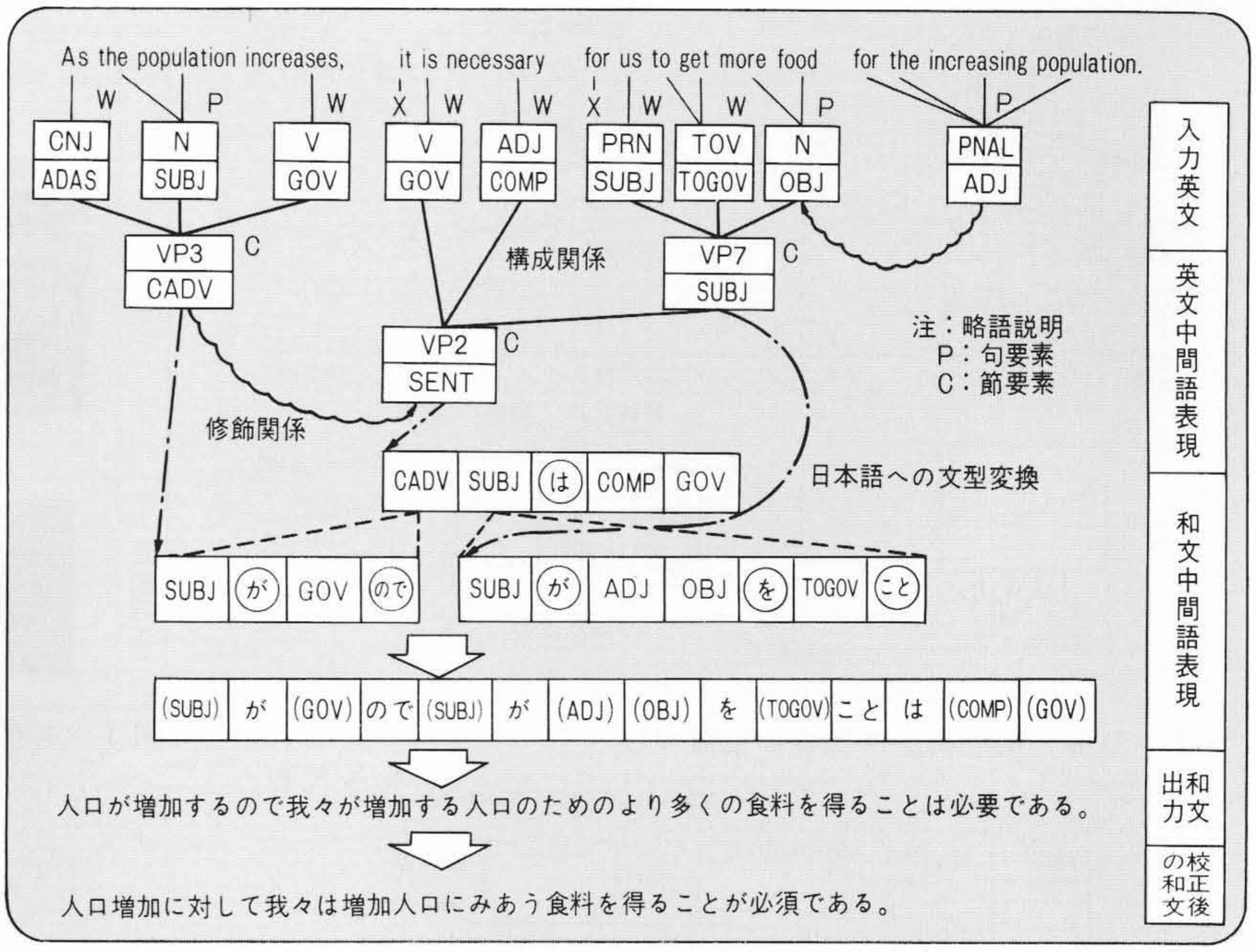


図 9　ヒューリスティック 言語モデルによる解析と翻訳の過程

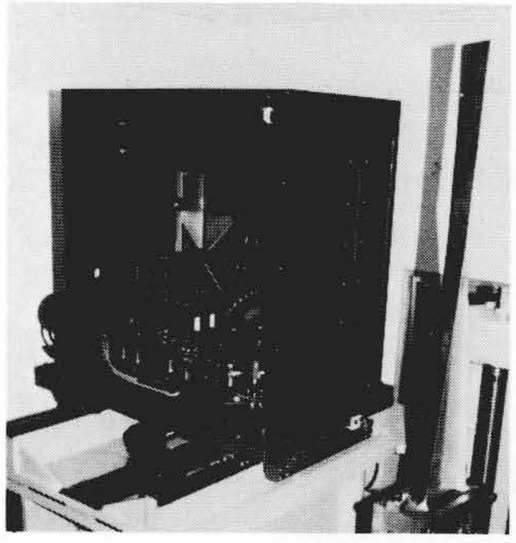


図 8　自由曲面断面形状測定装置

まれている。これに対して，耐圧4,500VのGTOサイリスタを試作し(**図 5**)，良好な特性を得た。試作素子は300A級の小形素子であるが，アノードエミッタ短絡構造の採用により，4,500Vの超高耐圧を持ちながらオン電圧2.5V，最大遮断電流2,000Aという良好な導通特性および遮断性能を示し，超高耐圧，大電流GTOサイリスタ実現への明るい見通しが得られた。

レーザによるポリシリコン配線の拡散接続技術の開発

一つのチップに数十万個の素子を集積するVLSIメモリでは，1個の素子にも欠陥がない完全なチップを高い歩留まりで生産するため，欠陥セルから予め設けられている正常な予備セルに切り換える冗長化手法の採用が検討されている。

今回開発した技術は，低抵抗ポリシリコン配線中に作られた高抵抗プログラム素子に弱いレーザ光を照射し，周辺の不純物を拡散させて低抵抗化(**図 6**)して回路を切り換えることにより，冗長化手法を実現したものである。本技術はパシベーション膜や周辺の機能素子にダメージを与えないでプログラムができるため，チップの信頼性を落さないという特徴がある。すでに64k-SRAMに採用され，今後高密度化の進む各種デバイスへの応用も期待されている。

マイクロプローブ反射電子回折法の開発

微細構造を持つ薄膜素子等では，表面層の局所的な結晶性の良否がその特性に大きな影響を与えており，微小部の結晶性評価法を開発することが課題である。この目的で，超高真空中に置いた薄膜結晶表面上で電子ビームを走査し，走査電子顕微像で分析点を選択し，その点から得られる反射電子回折図形を解析することにより結晶性を調べるマイクロプローブ反射電子回折法を開発した。**図 7** は単結晶Si上の多結晶Si薄膜に，高出力レーザビームを単一走査したときの多結晶Si上の単結晶化の観察例である。同図(a)の明るい部分が単結晶化領域である。中央部の暗い領域は，レーザビーム面内強度の不均一性のために単結晶化が不十分であることを示す。今後，本方法は薄膜素子等の結晶性のin situ分析法として期待される。

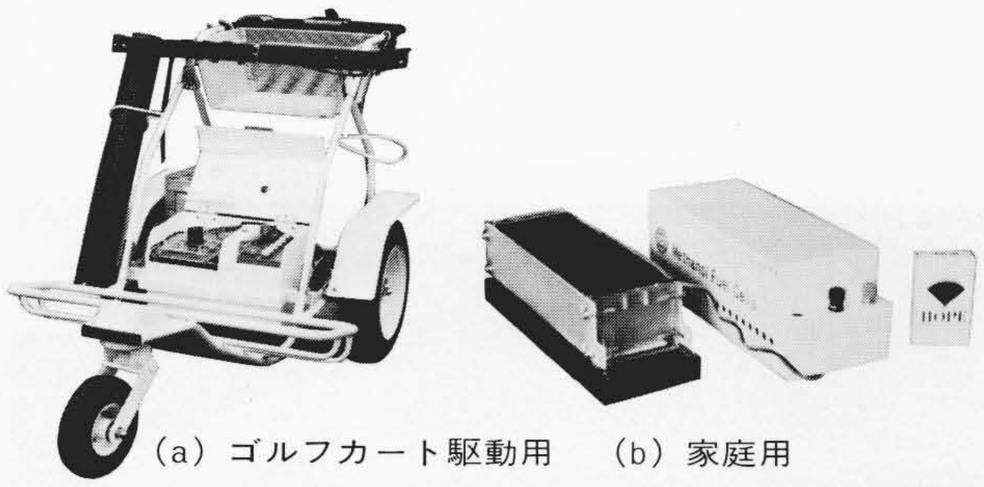
自由曲面断面形状高精度自動測定装置の開発

タービンブレードのように複雑な自由曲面を持つ物体の形状測定は難しく，従来総型ゲージを当てて目視に頼るか，触針式の3次元測定機しかなかった。触針子に代わり，He-Neレーザスポット(50μm)で物体表面をならう方式の非接触測定装置を開発した(**図 8**)。レーザスポットが常に特定光軸上にくるように光学系内の鏡を移動し，この光軸と物体との交点をスポットが通過するときの鏡の移動量から，スポットの座標を求める。

本装置は断面直径300mmまでの物体を±50μmの高精度で測定でき従来法では困難であったブレードのねじれ角も測れるようになった。また従来不可能であった自動測定ができるようになり，測定ディジタル情報の記録，断面形状のプロッタ出力もできる。

英和機械翻訳基本技術の開発

海外との技術交流の活発化に伴って，翻訳自動化の要請が強まっているが，日本語や英語の意味的・構造的な複雑性のために，機械翻訳の実現は困難視さ



(a) ゴルフカート駆動用　(b) 家庭用

図11　試作ポータブル燃料電池

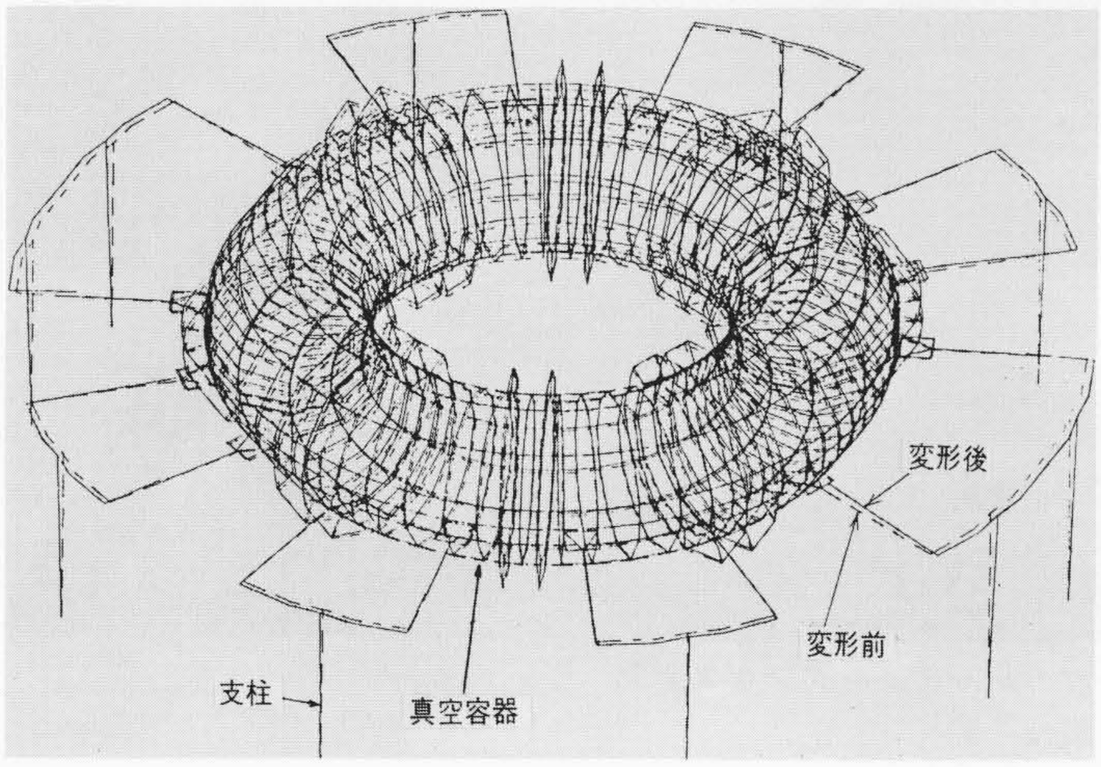


図10　核融合装置真空容器モデル振動モード

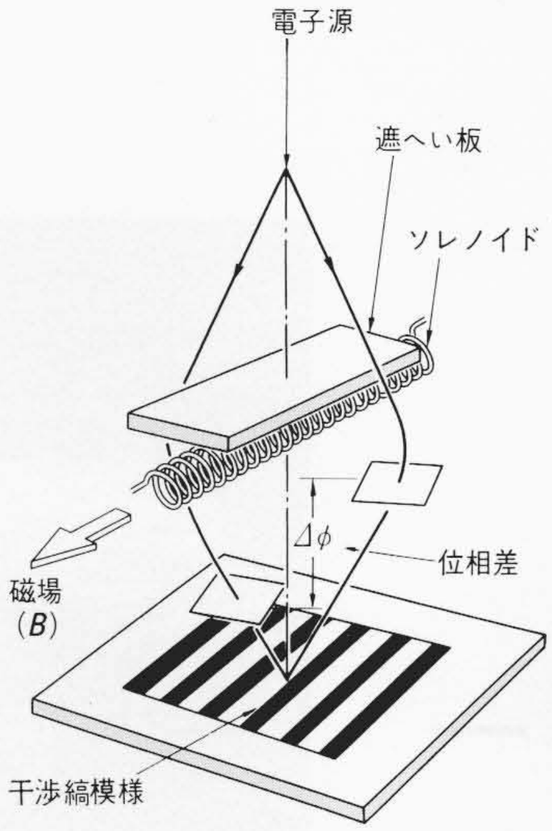


図12　アハラノフ・ボーム効果の説明図

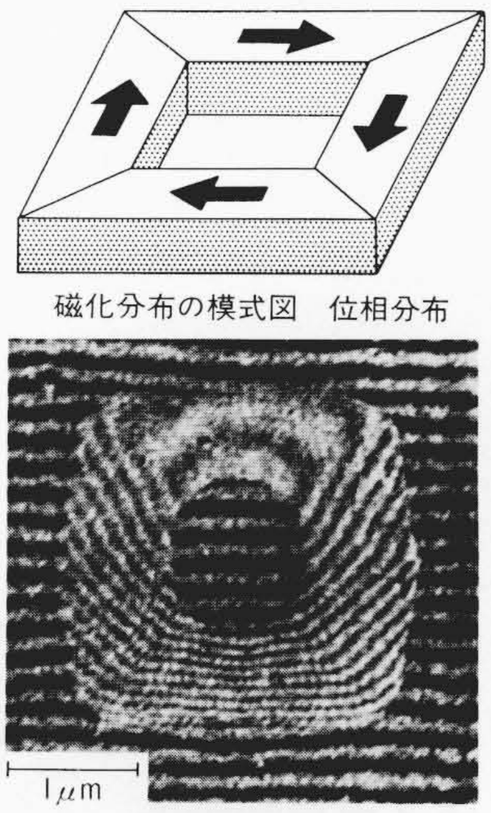


図13　ドーナツ状磁石を透過した電子線の干渉写真

れてきた。

このたび，英和機械翻訳パイロットモデルの開発を通じて，機械翻訳の実現に一歩近づく基本技術を確立した。主な開発技術は，文を句要素，節要素などの「意味情報を担う小単位」の集合体として認識する言語モデルや解析方式など(**図9**)であり，人間が実際に行なう翻訳作業過程を定式化したヒューリスティックス手法に基礎を置く点が最大の特徴である。本技術は，英和・和英機械翻訳のみならず，日本語処理能力を持つオフィス オートメーション，推論能力を持つ知識工学システムなどの基礎としても有効である。

ビルディングブロック法による汎用振動解析プログラム“HIVIPS”の開発

各種製品の軽量化による動剛性の低下及び環境許容値の引下げは，より高度の振動騒音解析を必要とするようになってきた。このため構造物を構成部材に分けて振動特性を実験的に求め，それらをコンピュータ内で統合して元の全体構造物の振動特性を予測するビルディングブロック法のプログラムを開発し，種々の製品に利用してきた。

しかし，新規製品の設計段階や大形製品では上記の実験的手法だけでは対処できない。このため部材振動特性を解析的に求め，モード合成法により統合する新ビルディングブロック法によるプログラムを開発した。**図10**は核融合装置真空容器モデルを各々8個の真空容器部材と支柱に分けた後，統合して計算した振動モードである。

本プログラムを利用して従来不可能であった複雑，超大形構造物の振動特性を求めることが可能となり，さらに部材変更による全体構造物に及ぼす効果も容易に評価でき最適化設計が行なえるようになった。

ポータブル燃料電池の試作

酸性電解質形メタノール燃料電池は，燃料の補給により長時間連続使用が可能であることから，産業用や家庭用のポータブル電源として最適とみられ，この電池の開発を進めている。現在まで，数ワットから百数十ワットの範囲で種々の出力の電池を試作しており，その代表例を**図11**に示す。同図(a)はゴルフカートに搭載した電池(13V，50W)で，蓄電池とのハイブリットになっている。従来は蓄電池のみの構成で充電が必要であったが，燃料電池とのハイブリット構成にすることにより充電が不要になり，また電源重量も$\frac{2}{3}$となる特長がある。同図(b)は，家庭用を対象としたもので，電解質として安定な新しい材料を採用するとともに，燃料や酸化剤の供給ポンプやブロワを使わない方式を採用した新しい構造の電池(6V，6W)である。新しいタイプのポータブル電源として発展が期待される。

電子線ホログラフィーによるアハラノフ・ボーム効果の検証

最近開発された電界放射形電子顕微鏡によって，電子線ホログラフィーが実用段階に至った。この手法は，電子顕微鏡の分解能の壁を破るために発明されたものであるが，1980年には発明者のガボールすら予測しなかった新たな用途が考案された。ミクロな磁力線の観察法である。これまで測定手段のなかったミクロな磁場を直接，磁力線の形で観察できるようになった。今回この手法を，素粒子分野で論争中であるAB(アハラノフ・ボーム)効果の検証実験に適用し，決定的な証拠を得た。

AB効果とは，「ソレノイドの両側を通る電子線は，磁場に触れていないにも拘らず，位相差として磁束量を知っている」という不思議な現象である(**図12**)。ソレノイド外部には磁場はないが，何かがそこに実在し電子に影響を与えているはずである。それはベクトル ポテンシャルと呼ばれ，最近では統一理論の基本量であるゲージ場にまで拡張されている。ところが，最近AB効果の存在を疑う人が現われ，論争が戦わされている。従来の実験では，有限なソレノイドから磁場が漏れているので検証になっていないというのである。そこで，わずか数μmサイズの漏れないドーナツ状の磁石を磁気バブル技術によって作製し，その内外の空間に電子線を通して位相差の測定を行なった。若しAB効果が存在しなければ，磁場の存在しない内外の空間で干渉縞は一直線上にのるはずであるが，**図13**の実験結果は6波長分の段差を示しており，ベクトルポテンシャルとAB効果の存在を示している。わずかに漏れた磁場も電子線ホログラフィー法により定量測定され，結論に影響しないことも示された。