

研 究

激動の1980年代と言われるのにふさわしく、最近の社会的ニーズは、FA, OA, ニューメディアなどで代表されるように高度化、多様化し、それらを支える技術の進歩、変化も非常に早くなっている。これらにより、人間の活動領域は拡大され、人間性豊かな社会の実現へ向けて着実な歩みを続けている。このような、多様化し高度化した社会のニーズにこたえるために必要な技術は、半導体を中心としたマイクロエレクトロニクス、オプトエレクトロニクスなどの技術、人間生活の根底を支えるエネルギー問題を解決するための新エネルギー、代替エネルギーなどのエネルギー発生と省エネルギーの技術、及び上記二つの分野の技術の発展を支える材料技術である。このような考えから、日立製作所では、エレクトロニクス、エネルギー、材料を3本の柱として研究開発を進めている。すなわち軽薄短小の技術と、重厚長大の技術とをバランスよく開発し、その間の技術交流も活発にするため努力を続けている。

軽薄短小の技術の推進役になっているのが、半導体技術である。ここでは、微細化、高速化、低消費電力化と高信頼度化が大きな流れになっている。この中で日立製作所は、本章に例示したメガビット級メモリのための立体セル構造の開発や、マイクロエレクトロニクス用リチウム電池の外に、GaAs LSI メモリの開発や Bi-CMOS 複合プロセスの

開発なども進めている。また、半導体の熱と強度の問題を同時に解く解析プログラムの開発も行なっている。これらの技術の進展は、半導体を幅広く使うことを可能にしている。これを何に使うべきか真剣に考えねばならないが、日立製作所はFA, OA が一つの重要な分野と考え、本章には画像処理、図面認識を例示したが、エネルギー分野も重要な応用分野であるため、原子力プラント用光伝送システムのための専用LSIの開発なども行なっている。また、半導体を用いて作られた機器や計算機的能力を十分に活用するための技術も重要で、ソフトウェア生産性の問題、高級言語の問題の外に、エネルギー機器、産業機器開発と信頼性確保を目的としたCAE技術の開発も進めている。

エネルギー分野に関しては、本章に例示したテーマの外に燃料電池の開発、蓄エネルギー技術、燃焼制御技術の開発なども進めている。また、材料分野の例として示した耐熱高強度SiCは、以前に開発した高熱伝導度SiC開発の技術を用いて開発したものである。

このように日立製作所では、幅広い技術開発を進めているが、今後も基礎研究から開発研究まで、バランスよく研究開発を進め、人間生活に役立つ技術、製品の開発を着実に進めていきたい。

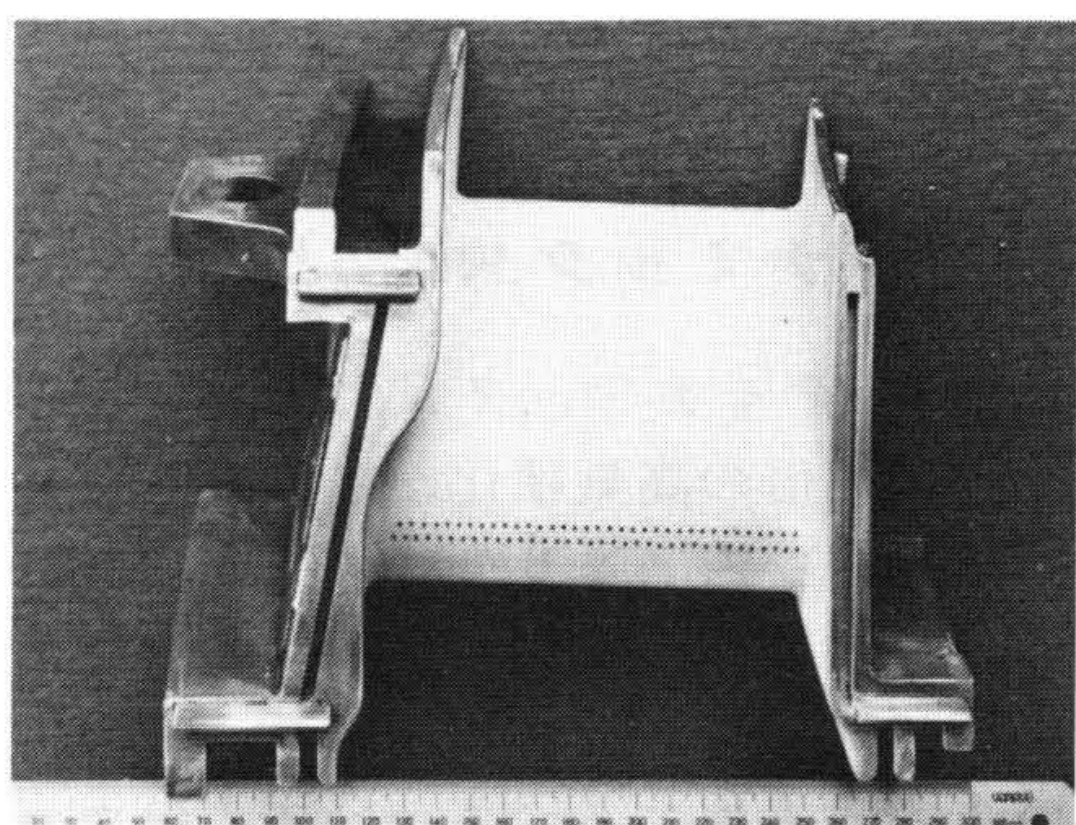


図 1 熱遮へいコーティングバケット

プラズマ溶射による熱遮へい 高耐食表面処理技術の開発

高温ガスタービンの効率及び耐久性向上のため、高温部材に30~200Torrの減圧雰囲気中で金属及びセラミックスをプラズマ溶射して、緻密で高温耐腐食性と熱遮へい効果のある被膜形成技術を開発した。被膜は高温腐食あるいは酸化防止用のCoNiCrAlY合金層と熱遮へい用の Y_2O_3 - ZrO_2 セラミック層から成る。従来、大気中で溶射していたので耐食性の主要成分であるCr, Al, Yが酸化物を形成し、被膜はこれらの成分の少ない低級合金となる。この状態で高温部材に適用すると、合金層の内部酸化及びセラミック層境界の結合力の低下によるはく離の問題があった。これを雰囲気気を制御した減圧中溶射技術を開発し解決した。被膜の特徴は、(1)溶射による成分変化がない、(2)高密度で微細組織、(3)基材との密着力が高い、などである。この技術はガスタービン燃焼器部品、ノズル(図1)に適用されている。今後、石炭液化、ガス化、自動車などの高温部品への適用が期待されている。

圧力バランス形耐熱耐圧溶存酸素計の開発

原子炉冷却水など高温高压水中の溶存酸素濃度を、冷却あるいは減圧せずに直接測定できる検出器を開発した。

常温での溶存酸素モニタに採用されているポーラログラフ法による検出器の耐熱，耐圧化を図った。本検出器の特徴は，電解液を封入した検出器本体を耐熱性フッ素樹脂で製作して，測定対象である高温水中に直接浸せき可能にするとともに，電解液の熱膨脹をベローズの変形で吸収することによって，検出器本体内外の圧力をバランスさせ，高圧下での健全性を確保した点にある。沸騰水型原子炉一次冷却水（285℃，7.4MPa）と同じ条件での特性試験の結果，本溶存酸素計は水中の

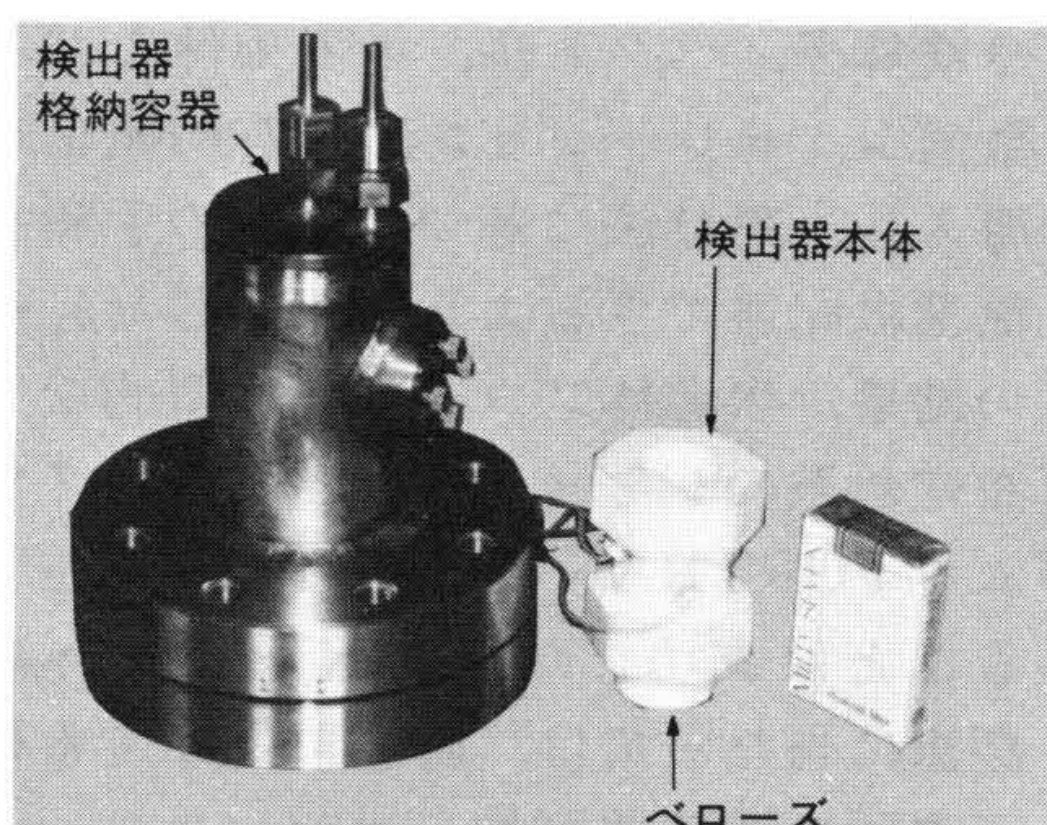


図 2 圧力バランス方式耐熱耐圧溶存酸素計

水素，その他の分子，イオンの共存下でも20ppb までの酸素濃度の直接定量が可能であることを示した(図2)。

移動ロボットの開発

災害救助や建設、プラント機器の点検の自動化など、移動ロボットに対する期待は大きい。これらのロボットが活動する領域には一般に階段や段差などがあり、ロボットの移動を妨げている。また、配管内移動など特殊な環境条件もある。

図3は、障害物を乗り越えて走行できる新しい移動機構として開発した形状可変形クローラ走行車を示すもので、車体の両側にクローラ機構を備えている。3個の車輪のうち1個の車輪の位置を移動すると、クローラの形状を変えることができ、仰え角の大きさや履帯の接地面の長さを路面状態に合わせて調整できる。したがって、高い段差への乗り上げを容易にしたり、急傾斜の階段でも転倒せずに走行することが可能である。また、電力プラントなどの配管を内面から点検する配管内移動ロボットのために開発した移動機構は、十字形支持脚と伸縮可能な体幹部を組み合わせ、これらを交互に作動

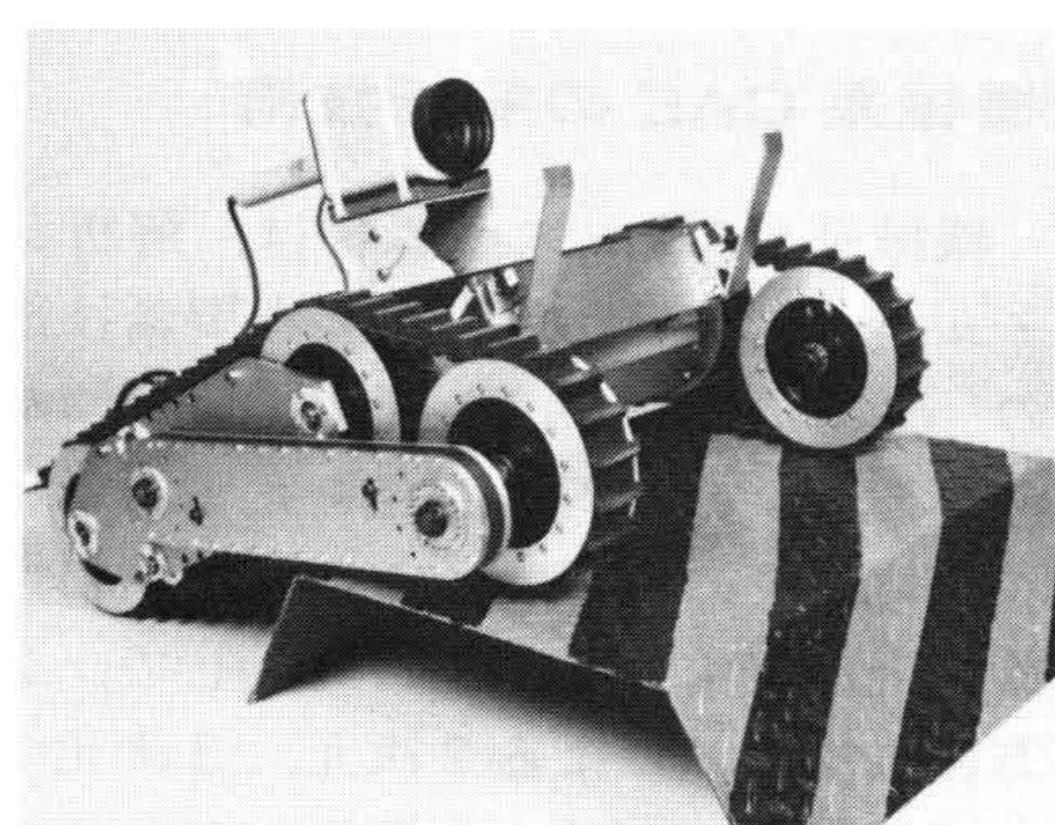


図3 形状可変形クローラ走行車

させて配管内を前・後進することができ
る。

これらの移動機構の開発によって、ロボットの行動領域は著しく拡大され、建屋のフロア間移動や管内移動ができるようになった。

組立ロボット用 3 次元視覚認識 技術の開発

コネクタの接続など、対象の位置や姿勢が定まっていない作業の自動化には、3次元的な認識が必要であるが、従来のテレビジョン画像では実現が困難であった。このたび、検出器から対象物表面までの距離の情報をもつ距離画像を用いた3次元視覚認識技術を開発した。図4にロボット視覚システムの構成を示す。まず、光切断法を応用した全体視覚で影のない距離画像を検出し、対象物を発見、その3次元的な位置と姿勢を認識してロボットアームを接近させる。次に、ロボットの手先に設けた小形の検出器（手先視覚）から斜め十字スリット光を照射し、対象物の位置と傾きを正確に検出し（精度0.1mm）、作業を行なう。本技術により、3次元認識機能をもつフレキシブルな組立ロボットの実現が期待される。

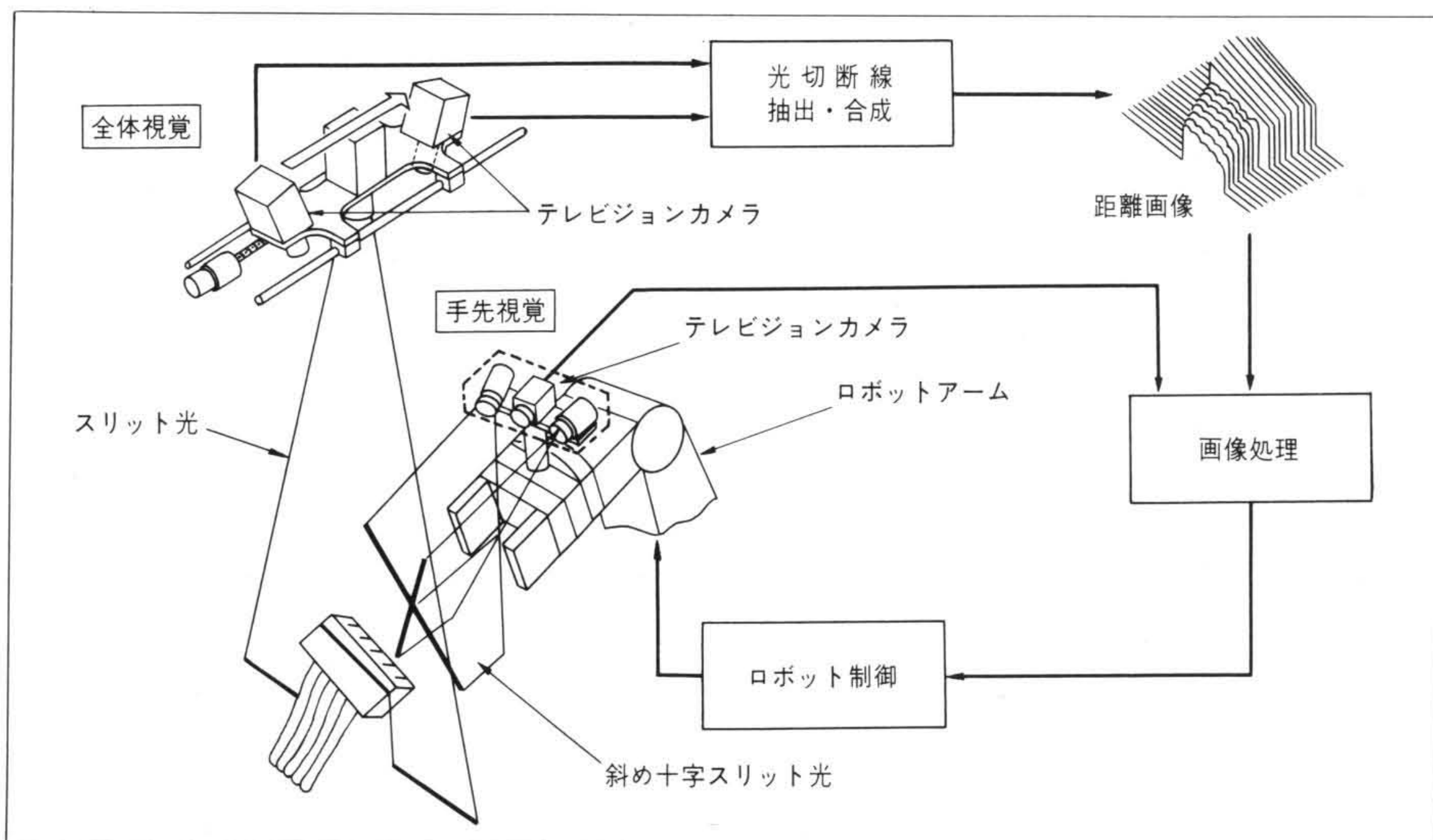


図 4 3次元認識ロボット視覚システムの構成

機械系 CAE の解析技術

機械系 CAE システムでは、解析シミュレーションが最も重要な要素技術の一つであるが、今回、新たにいくつかの解析プログラムの開発を完了した。

流体解析の分野では、流体機械の性能向上に資することを目的として、2 方程式モデルによる 2 次元、3 次元の乱流解析プログラムを開発した。本プログラムは、圧縮性及び非圧縮性流体のいずれにも適用可能であり、また、複雑な流路形状データも、対話形化することによって容易に作成できるように配慮されている。

構造解析の分野では、非弾性域での応力やひずみを高効率で計算するプログラムを開発し、原子力機器の破壊強度、各種エレクトロニクスデバイスの熱衝撃、更に、溶接や鋳物の残留応力などの解析に広く活用されている。

新しい解析手法として、従来の有限要素法に比較して計算効率の良い境界要素法による解析プログラムの開発が大幅に進展した。すなわち、弾性問題のほかに、破壊力学問題、接触問題、3 次元ポテンシャル場問題（電界、温度、圧力場）の解析が可能になり、原子炉格納容器の設計など各種製品への適用を行なった。また、任意の製品形状に沿った曲線座標格子を自動作成し、複雑な 3 次元形状の熱伝導、流体、構造強度特性を解析する Boundary fit 法によるプログラムを開発し、熱流体機械の形状最適化に適用した。

設計関連では、接合部に非線形性をもつ構造物の耐震余裕度を合理的に評価する耐震設計プログラムを開発した。

数値シミュレーション用超高級言語“DEQSOL”の開発

偏微分方程式を用いてモデル化される物理現象の計算機シミュレーションに、専用化した問題向き言語 DEQSOL (Differential Equation Solver Language) を実験的に開発した。また本言語を用いて作成したプログラムを FORTRAN の計算コードに変換する翻訳ソフトウェア（トランスレータ）を併せて開発した。本言語の目的は第 1 に計算機シミュレーションでのプログラムの作成効率を向上することにある。第 2 の目的は翻訳ソフトウェアにより日立製作所で開発したスーパーコンピュータ HITAC S-810 などのベクトルプロセッサに適した計算コードを生成し、それを用いて高速にシミュレーションを実施することにある。

言語には、形状記述、メッシュ、微

分演算子、ベクトル、境界条件などの数値シミュレーションに固有の概念を導入し、差分法に基づく計算の手順を簡潔に記述できるように工夫した。その結果、半導体プロセスに典型的な分布定数系のシミュレーションプログラムを FORTRAN の $\frac{1}{10}$ の行数で記述することに成功した。FORTRAN への翻訳に当たっては、計算に内在する格子点間の演算並列性を生かしたコードの生成に努めた結果、HITAC S-810 による計算実施時の並列演算率（ベクトル化率）95%以上を達成した。

従来、この種の言語の提案はなく、本研究はユニークなものである。現在は専らエレクトロニクス分野の問題を対象としているが、今後、扱える解法や形状の一般化など機能の充実や性能向上に努め、適用範囲の広い強力かつ簡潔な言語に発展させる予定である。

ソフトウェア貫生産システム“ICAS”の基本技術の研究開発

ソフトウェアの生産性、信頼性向上策の一つに、開発に計算機を活用した生産システムの充実が挙げられる。

今回、基本的な技術の開発に成功した ICAS [Integrated Computer Aided Software Engineering] は、計算機との対話によって、ソフトウェア開発の計画段階から、設計、製造、テスト、運用・保守に至るまでの全フェーズを通して一貫した作業を可能にする新しい体系的なソフトウェア生産システムである。ICAS は、次のような特長を備えている。

- (1) ソフトウェア開発の各フェーズごとに、図形表現を中心としたソフトウェア構造化技法に基づく生産システムを配備したこと。
- (2) 全フェーズを通してドキュメント及びプログラムの情報構造の統一化を図るための情報一元管理技法の開発と、計画→設計、設計→製造及び設計→テストというフェーズ間情報の対話形変換技法の開発によって、フェーズ間の作業の円滑な橋渡し技術確立したこと。
- (3) 以上の技法の開発に合わせて、各ツールのマンマシン機能であるコマンドを統一し、それを端末機能に集約した分散処理形ワークベンチ（SEWB : Software Engineering Work Bench）の技術確立したこと。

以上のような新しい開発技法と、新しい開発設備の開発によって、ICAS 適用時には、適用前に比べて生産性（開発量／工数）は 2 倍に向上でき、不良率（不良件数／開発量）は $\frac{1}{3}$ に低減可能

であるという確かな見通しが得られた。

立体セル構造によるメガビット級ダイナミック RAM 技術

MOS ダイナミック RAM では 3 年ごとに 4 倍の高集積化が達成されてきたが、単なるメモリセルの微細化を行なったのでは SN 比が低下する。そこで立体メモリセル構造と新データ線回路方式を考案した。その結果、従来技術に比較し約 20 倍の高 SN 化が達成できることを試作実験で確認した。

立体メモリセルとは、Si 基板に溝を掘り有効面積を増すことで微小領域で大きな信号量（キャパシタ容量）を得るものである（図 5）。また回路は平坦化微細 Al 2 層配線を用いてデータ線を多分割することで寄生容量を低減したものであり、両方の相乗効果で高 SN 比が達成できた。

両技術は今後メガビット級ダイナミック RAM に広く適用可能なものである。

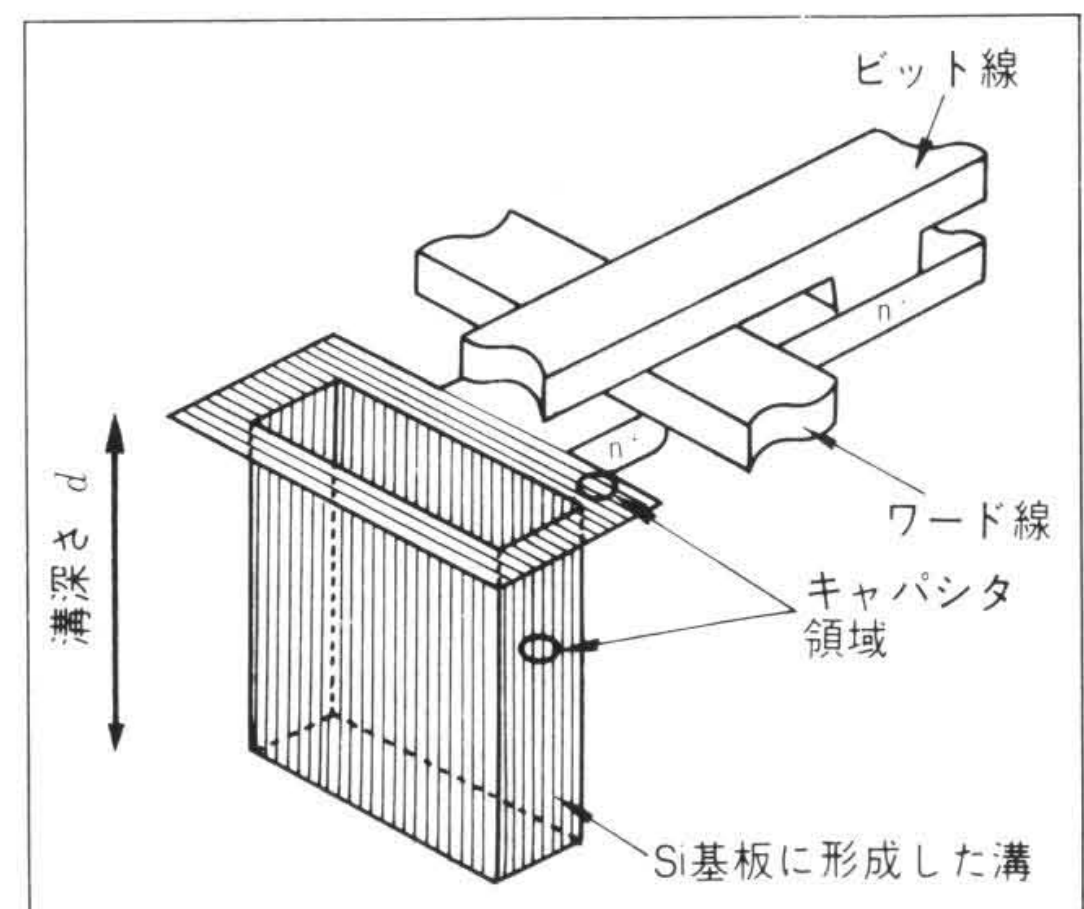


図 5 立体メモリセル

100 ps を切るバイポーラ技術

新しいバイポーラ自己整合デバイスを用いて、100 ps を切る高速 ECL 回路を試作した。

従来の集積回路の基本技術であるプレーナ構造では、トランジスタ面積が電極の最小幅と間隔で制限されて縮小できない欠点があった（図 6 (b)）。この制約を打破するため、ベース電極とコンタクト窓に対して、約 0.2μ の薄い絶縁膜に挟んで自己整合でエミッタを形成する新構造を採用した（同図(a)）

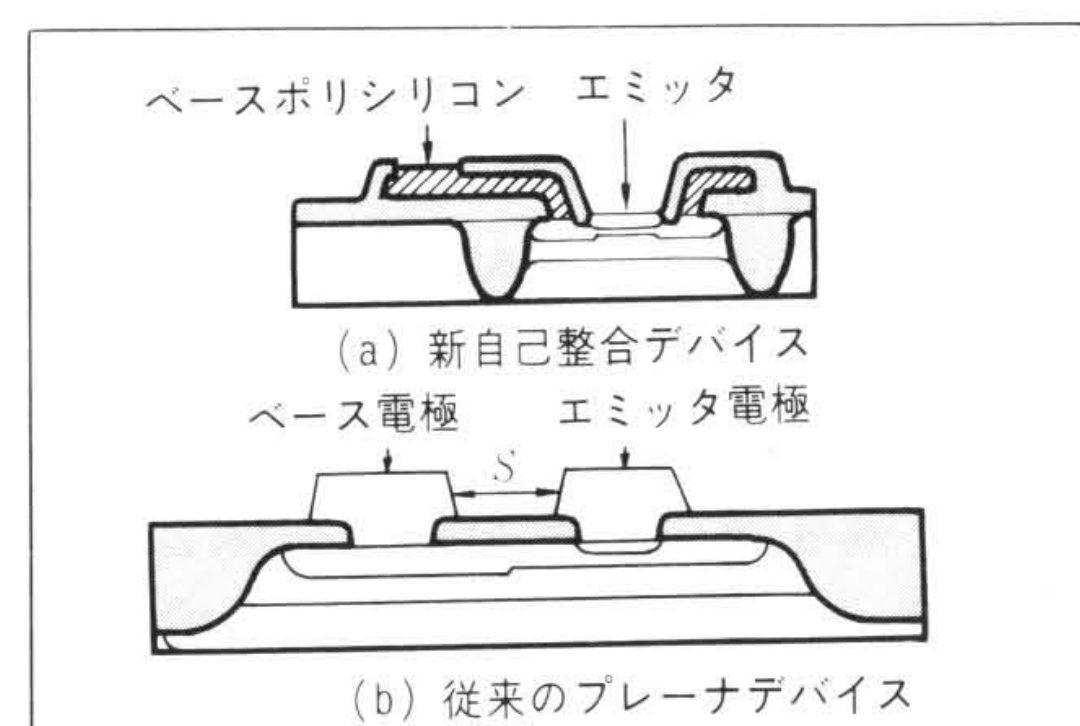


図 6 バイポーラデバイスの断面比較

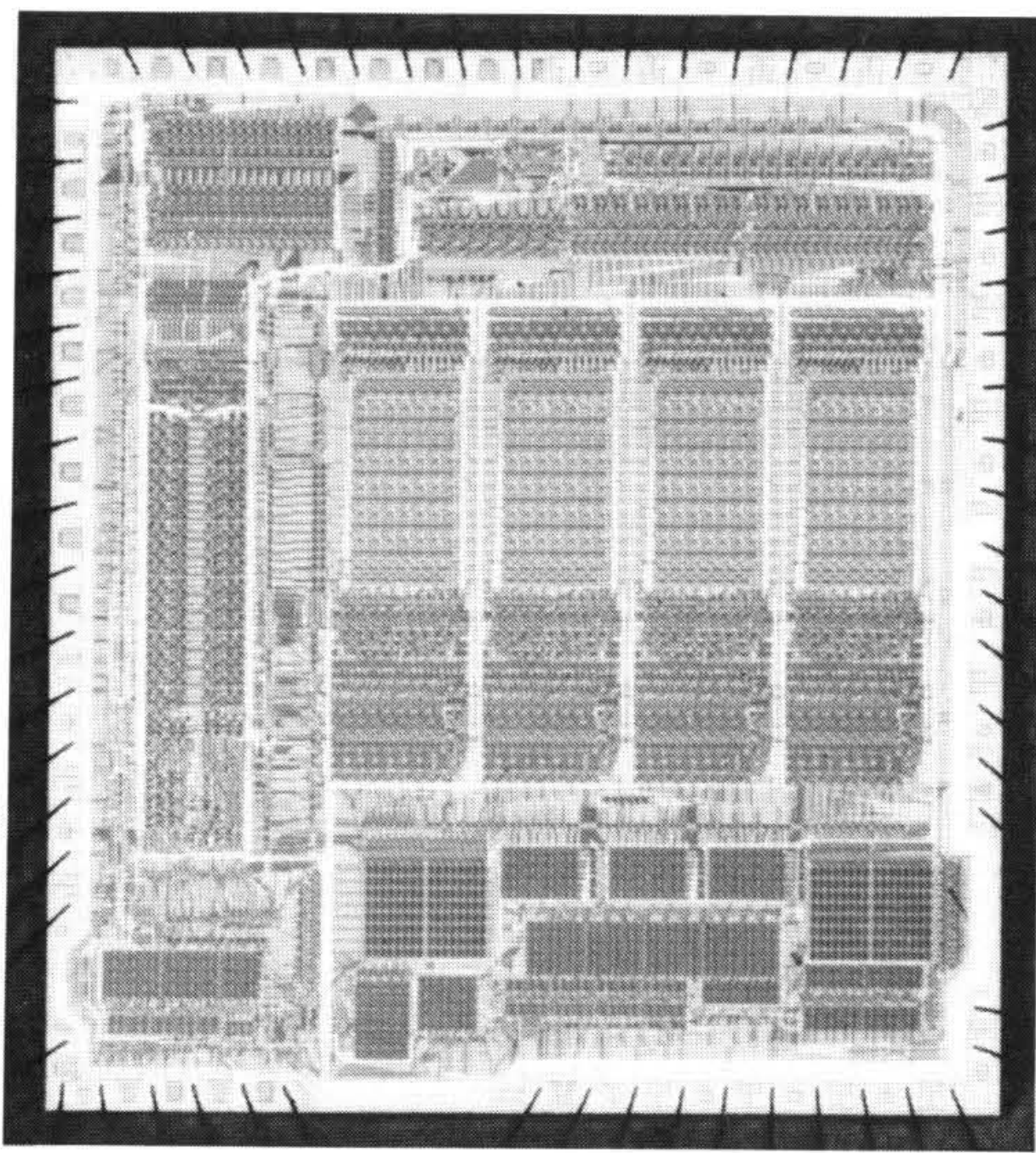


図7 超高速画像処理 LSI “ISP”

面積低減によって、ベース抵抗や寄生容量が $\frac{1}{3}$ 以下に改良され、試作した3入力ECLで、100ps/段以下の高速動作が確認された。この性能は、従来構造の製品の $\frac{1}{4}$ 以下の値であり、リソグラフィによる加工限界を超えた微細デバイスを実現するものとして、極めて効果が大きい技術である。

超高速画像処理 LSI-“ISP”の開発

近年、FAやOAの進展に伴って、画像処理のニーズも高機能化してきている。そこで日立製作所では、中間調のモノクロ画像及びカラー画像を超高速に処理できる画像処理用LSI-ISP (Image Signal Processor)を、世界に先駆けて開発した。ISPは、並列処理とパイプライン処理を合わせて実現し、256階調の画像データを、汎用のマイクロコンピュータの1,000倍以上の速度で高速処理する。これにより、テレビジョンカメラからの画像を、撮影と同じ速度で処理できる。ISPは、最小線幅 3μ のCMOS (相補形MOS) 技術により、約8mm角のシリコン上に、6万個以上のトランジスタを集積している (図7)。ISPは、これまで白黒のはっきりした2値画像が主であった工業応用の視覚認識技術に、大きなインパクトを与えるもので、自動検査装置、ロボットの視覚装置、計測制御装置、顕微鏡像解析装置、超音波診断装置など広範囲な応用が期待される。

薄膜リチウム二次電池基本技術の開発

マイクロエレクトロニクス用電源として超小形、高信頼性の電池が強く望まれている。これにこたえるため、充

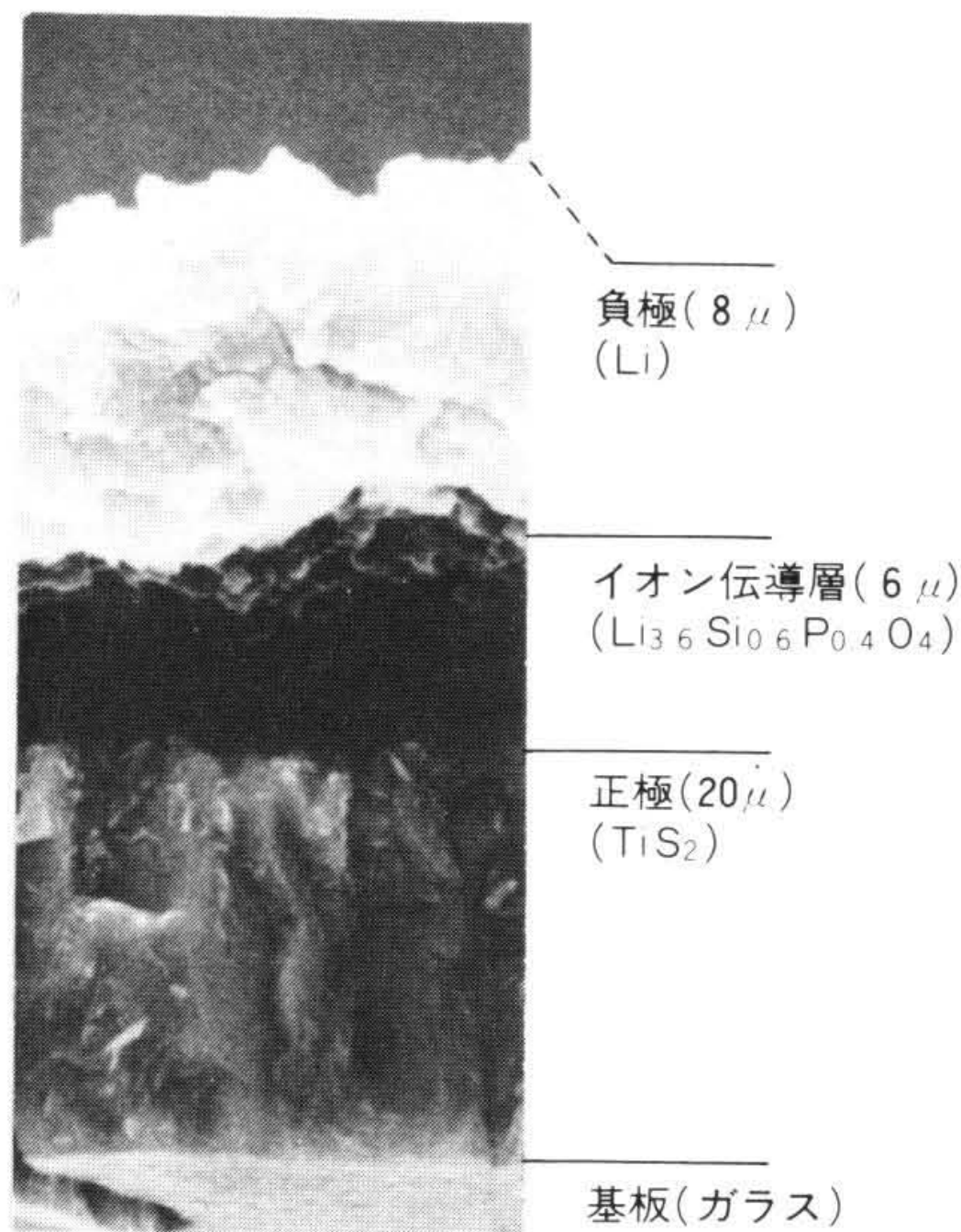


図8 固体薄膜電池の断面写真

電可能な薄膜リチウム電池を取り上げ、その基本特性を確認した。

この電池 (図8) の正極は、化学気相成長法による厚さ 20μ の二硫化チタン膜で、リチウムイオンが容易に拡散できる結晶配向をもつ膜である。イオン伝導層 (6μ) はケイ酸リチウム系の非晶質固体電解質で、高周波スパッタ法により正極上に形成され、イオン伝導度が高いのが特徴である。更に、この上へ金属リチウム負極 (8μ) を真空蒸着法で積層し、全体の厚さが 34μ の電池本体が構成される。

充電状態の電池開路電圧は2.5V、放電容量は電極 1cm^2 当たり約1mAh、充放電繰返し寿命は、放電深度が20%のとき3,000回以上、などの性能を確認した。本薄膜電池は、単体としての用途も当然であるが、他の素子と一体化した新しい機能素子への適用が期待できる。

図面認識技術の開発

設計の自動化が進むなかで、設計図を計算機に入力する作業はまだ人手に頼っており、自動化の一つの障害となっている。この問題を解決するために画像処理技術を基盤として図形認識方式の研究を行ない、高速イメージプロセッサを用いた線認識方式を開発した。本方式は、撮像入力して得られる図面の画像情報から6色の実線・破線・長破線、輪郭線を高速に追跡抽出し、情報量の少ない数値情報へと変換するものである。更に、上位処理に使える図形データを得るために、線の重なりなどを判定して図形を整形する補完処理を実現し、オートディジタイザ (図面自動入力装置) を完成した。本装置では、図面入力を従来の数倍に高速化できるため、半導体設計や液晶設

計の分野で実用されてきている。

耐熱高強度SiCセラミックスの開発

ガスタービン部品に代表される高強度耐熱構造用材料の開発要求に応じるものとして、日立製作所の研究所では従来材よりも特に高温強度に優れたSiC系セラミックスを開発した。その特長は図9に示すとおりで、室温から $1,600^\circ\text{C}$ までほとんど変化することなく 100kg/mm^2 の曲げ強さをもっていることにある。

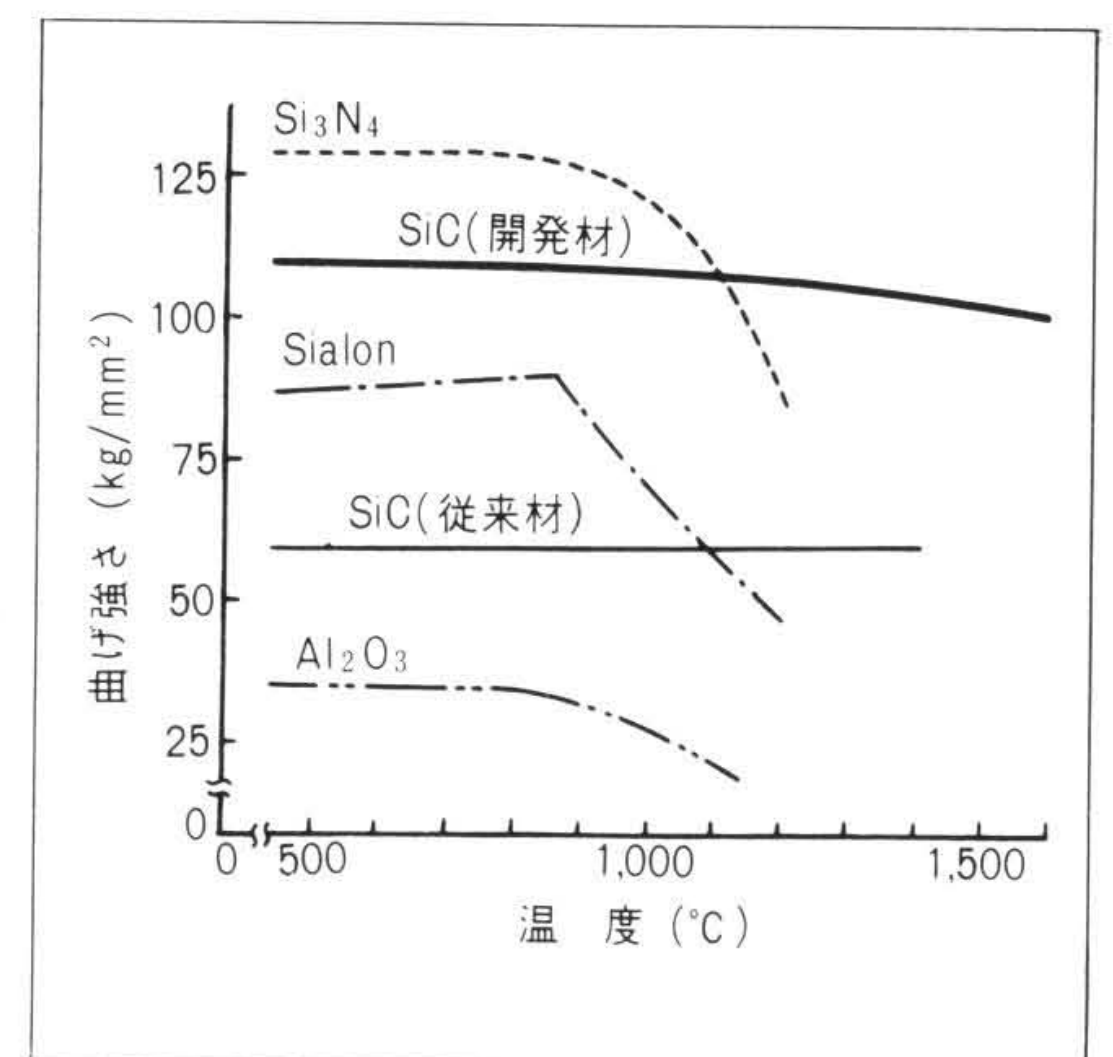


図9 各種セラミックスの高温強さ

新規開発材の製造法としての特徴は、原料粉に研磨材級の安価なSiC粉を利用できるところにあり、AlNを主体とした焼結助剤の添加と均一な混練、造粒操作とホットプレス法の組合せを骨子とする。こうした製造法の採用により得られる特徴は高温強さ以外にもあり、ほぼ理論密度に等しい高密度 α -SiC焼結体で、粒成長の制御された微細構造をもつと同時に、粒界には第2相が存在しない。mHv3,700以上の高硬度材で、摩擦及び摩耗特性に優れている。

性能確認の目的から、日立化成工業株式会社の協力を得て2,000cc自動車用ディーゼルエンジン部品として、シリンダライナ、ピストン、ピストンピン、弁座などを試作し、台上エンジンテストに続いて実車走行試験を実施した。

試験は走行距離にして約1,000kmに達するが、試作部品には全く損耗が認められない。また、別途 $1,500^\circ\text{C}$ 耐酸化試験も実施したが、100時間以上の試験でなお酸化消耗、変形は認められない。今後、更に長時間各種耐久試験を計画しているが、ガスタービン部材、その他エネルギー関連高温機器部材としての性能評価試験を実施し、多方面での実用化を図る予定である。