

研 究

新しい世紀の幕開けに向けて、いろいろな分野で価値の見直しが行われている。今世紀の驚異的な生産力向上を支えた科学・技術もその例外ではない。たいせつなことは、「豊かで創造的な社会の実現」のために科学・技術を役立てることである。

日立製作所は、まさに「技術で社会に奉仕する。」の創業理念のもと研究開発を積極的に推進している。エネルギー・材料からシステム・ソフトまで幅広い事業分野を持つ日立製作所は、科学・技術の成果を人類の幸福に総合的に役立てる責務があるとともに、これが可能であると確信している。

特に、新クリーンエネルギー発生技術、環境保全技術、健康・福祉システム、高度情報処理・通信システム、ナノエレクトロニクス技術、さらにこれらを支える超先端加工・計測などの基礎技術の研究開発に力を入れている。

空燃比分布計測による燃焼特性評価

火炎発光のうち二つの特定波長の光強度から、空燃比を計測する新しい手法を開発した。この手法は、ガス燃焼器や自動車エンジンのクリーン燃焼技術開発に適用できる。

近年、二酸化炭素が原因物質の一つと言われる地球温暖化や、 NO_x (窒素酸化物)、 SO_x (硫黄酸化物) による酸性雨など地球規模の環境問題とともに、自動車の排気ガス、特に未燃炭化水素などによる都市部の大気環境問題がクローズアップされている。

NO_x や未燃炭化水素などの有害成分の排出が少なく、かつ高効率な燃焼を実現するためには、均一な空燃比の火炎を形成することが重要である。従来、空燃比は燃焼装置入口の空気と燃料の供給量や出口の排ガス組成から平均値を把握しているにすぎず、技術者が望んだ均一な火炎が形成されているか否かについては推定するにとどまっていた。さらに最近では、バーナを複数にするなど燃焼技術が高度化しつつあり、その推定も困難になってきている。そのため、燃焼場で直接かつ非接触で空燃比を計測する技術が要求されていた。

空燃比を非接触で計測する最も簡便な方法は、火炎の発光自体を利用する方法である。火炎発光を分光分析して計測される発光スペクトルのうち、反応中間体である C_2 ラジカルと CH ラジカルの発光強度比が、空燃比と相関があることを見いだした。この知見を燃焼現象解析に適用して空燃比分布画像高速計測装置を試作した。火炎画像を2分岐後、2波長の発光画像を同時に高速(1画

面/ms)計測し、それら2波長の単色画像を基に、対応する画素点の光強度比から空燃比を算出して、疑似カラー画像として表示できるようにした。黄色、緑色付近が理想的な空燃比の燃焼火炎、だいたい色や赤色が燃料過剰の火炎、および水色や青色が空気過剰の火炎を示すようにした。

ガス燃焼火炎の写真は、供給する空気量と燃料量の比は等しいが、ノズル形状の影響で火炎中での空燃比分布が異なった例である(図1参照)。エンジン内火炎の写真は、供給する空気量と燃料量の比は等しいが、No.1ではほぼ均一な空燃比の燃焼火炎が得られたのに対し、No.2では噴射時期が悪くて不均一となった例である(図2参照)。

この技術は、ガス燃焼器のノズル構造、保炎安定性の検討や、自動車エンジンでの燃料噴射時期、噴射方法、着火時期などの最適化に効果をあげており、燃焼に伴って発生する有害排気ガスを低減する技術の開発に有効である。

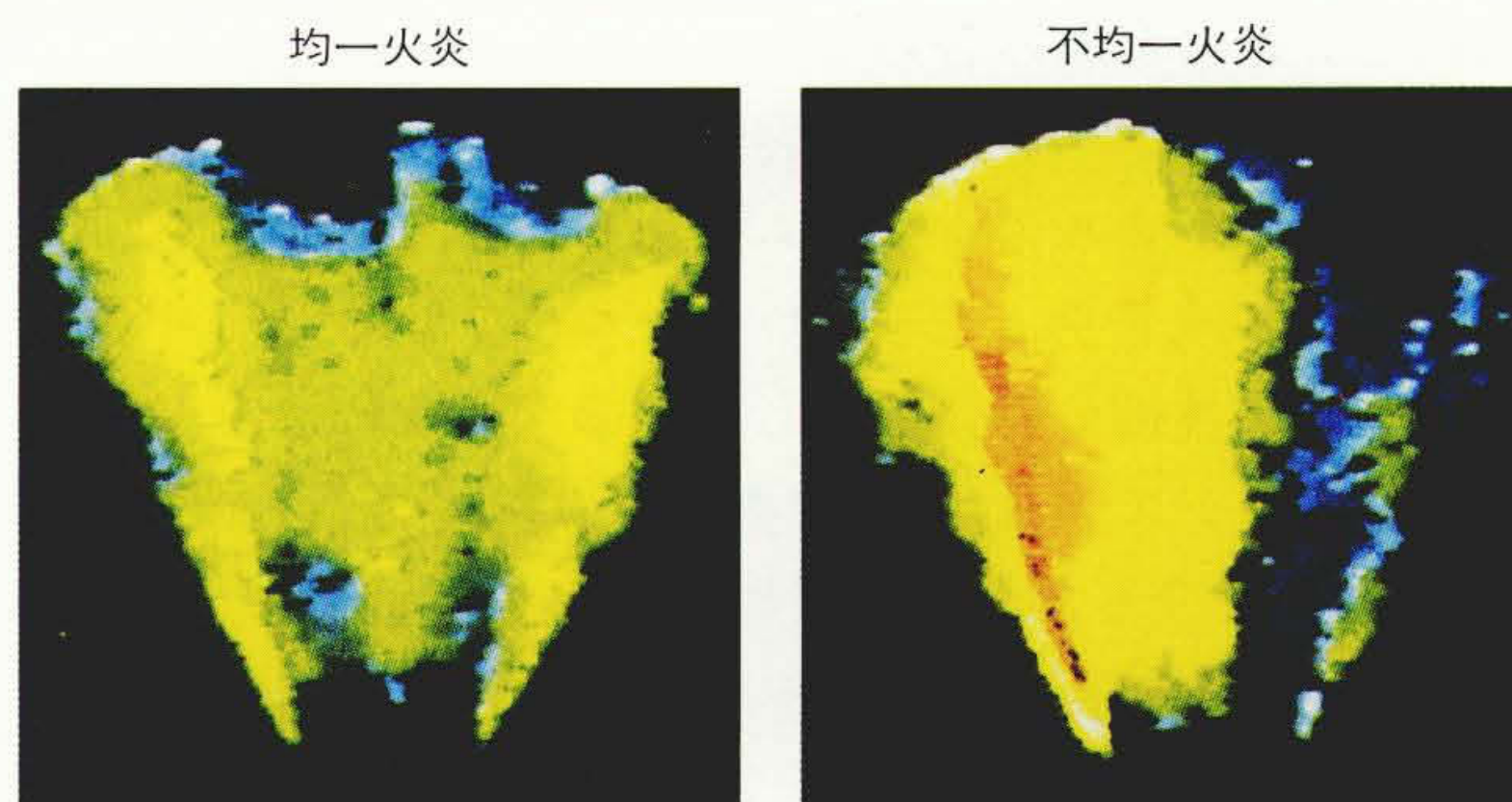


図1 ガス燃焼火炎の空燃比分布(疑似カラー表示)

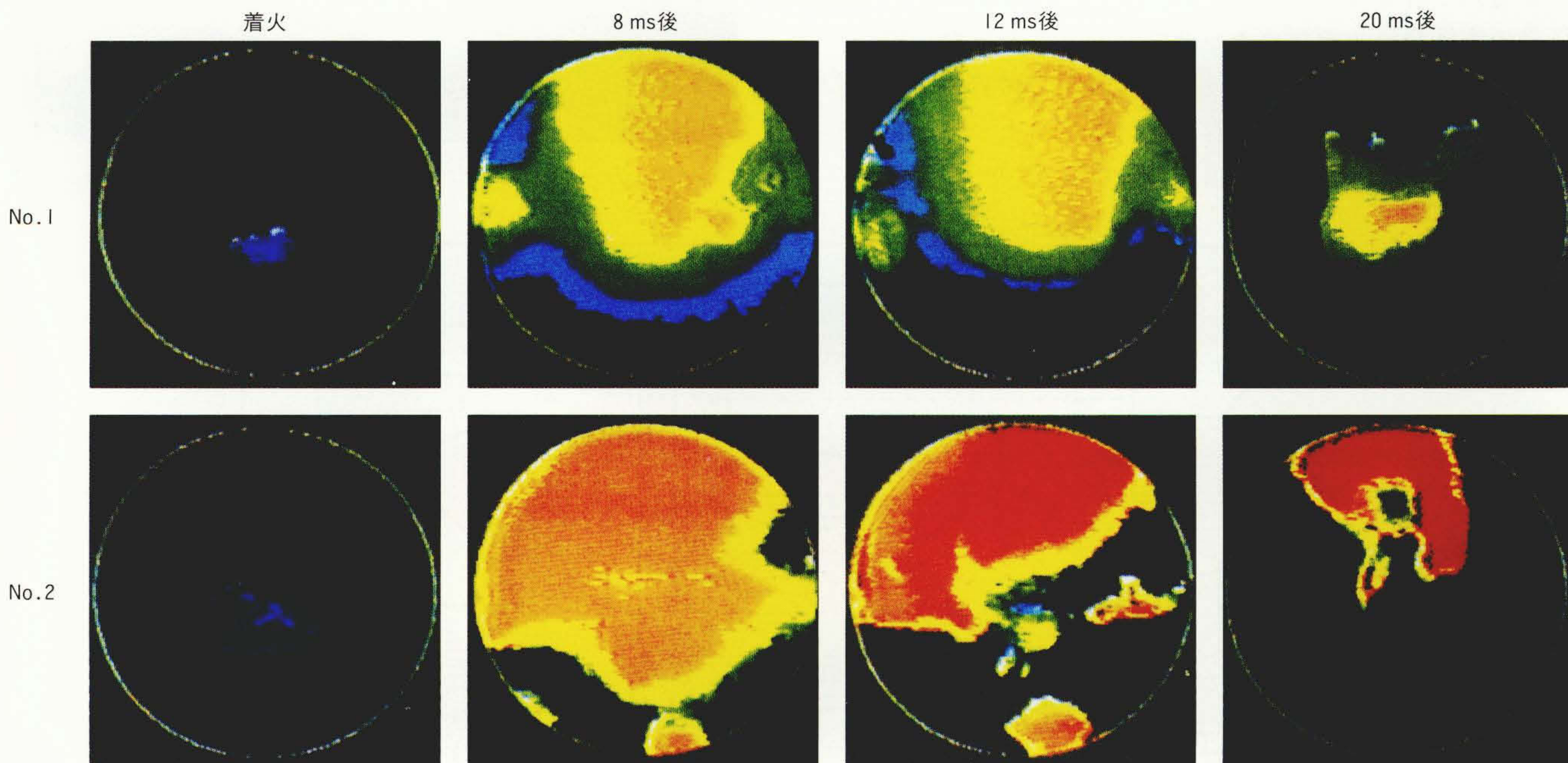


図2 エンジン内火炎の空燃比分布(疑似カラー表示)

インボックスLAN型の自律分散マルチプロセッサ

多様なユーザーの好みに合わせた計算機の容易な構築をねらいとするインボックスLAN型の自律分散マルチプロセッサを開発した。開発技術を取り入れた制御用計算機HIDIC V90/45Nを製品化して、鉄鋼システムの分野などで一部実用化した。

近年、ユーザーの業務の拡大や質的变化に伴って計算機システムに対する要求は、ますます多様になっている。一方、最近の計算機システムはハードウェア技術の進歩により、100 MIPS (Million Instructions Per Second) を超える処理速度のプロセッサや数百Mビット/sを超える伝送速度のネットワークが現実のものとなりつつある。ダウンサイジング、オープン化の要求の中で、これらハードウェア技術を土台にした高付加価値を持つ計算機システムの開発が求められている。

こうした背景を基に、質の異なるハードとソフトをパッケージにしておき、ユーザーの好みに合わせて、計算機内でこれらを組み合わせたシステムを構築できるマルチプロセッサシステムを開発した。開発技術は、日立製作所のオリジナルのシステム概念「自律分散」を、高性能計算機ハードウェアを用いてマルチプロセッサ計算機システムの技術分野に展開したものである。

開発したシステムは、計算機内の異種複数プロセッサを高速LANを介して疎結合接続し、かつこのプロセッサ上でソフトウェアモジュールをデータフロー的に駆動させて、計算機内プロセッサを自律化させたシステムである。

計算機の内部は従来のバスではなくLANで結合させ、計算機内と計算機間の構造を共通化した。これにより、従来の密結合マルチプロセッサではできなかった、種類の異なるプロセッサのオンライン稼働中での着脱が容易になった。また、機種に依存せず、各プロセッサを自律化させる基本ソフトである自律分散OSにより、必要な機

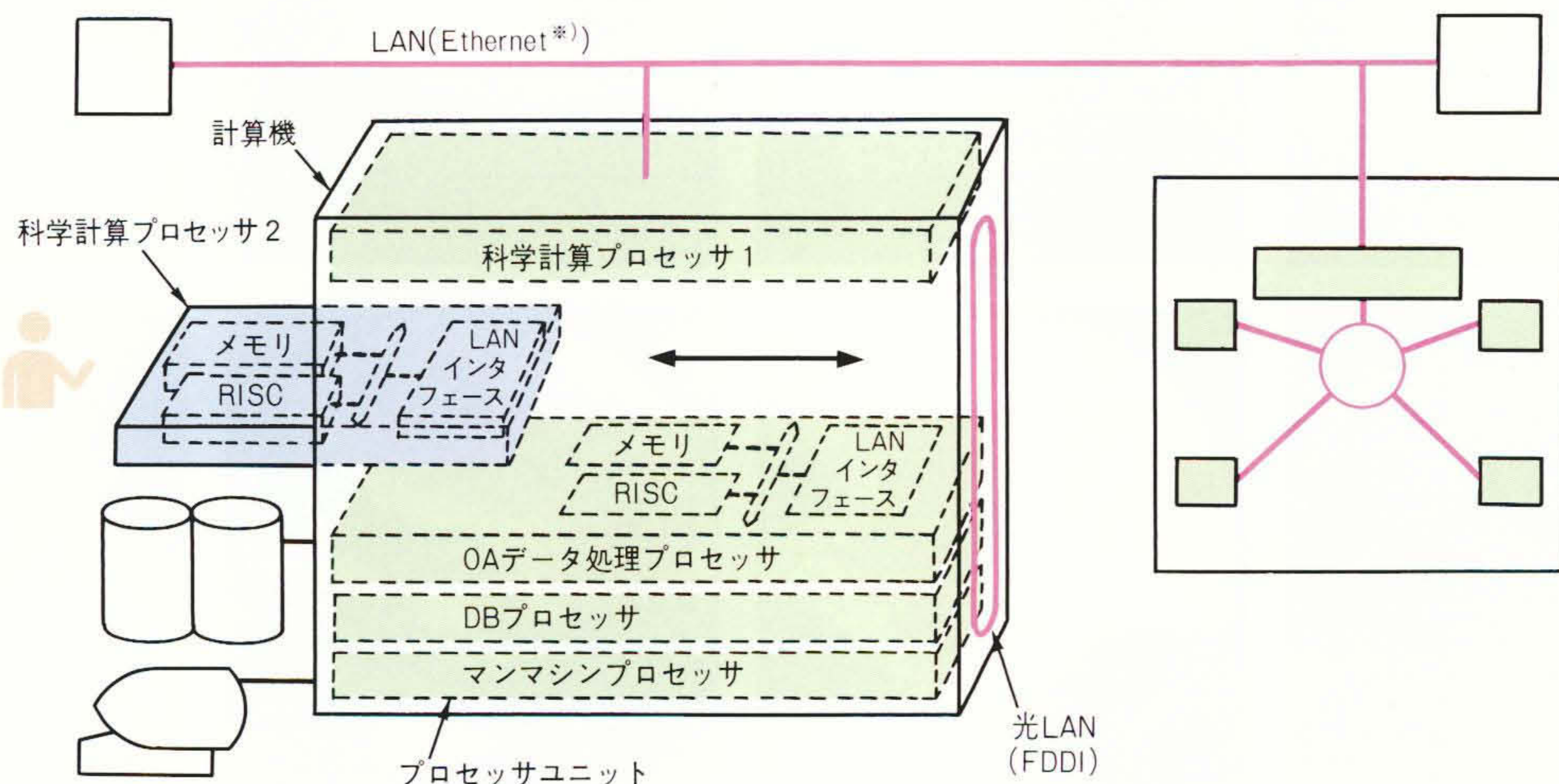
能、能力を持つプロセッサとを組み合わせる一つの計算機システムを構成できるようにした。プロセッサの追加変更の際には特別なゼネレーション作業を必要とせず、また、プロセッサ間での負荷分散も容易にできるようになった。

開発技術は、計算機無停止での機能追加・性能向上と省スペースを可能とするものであり、制御用計算機HIDIC V90/45Nとして製品化し、鉄鋼システムの分野などで一部実用化した。

自律分散は15年前から日立製作所が独自に提案し、研究、開発しているものである。すでに情報制御計算機のシステム、オフィスプロセッサのシステムで製品化、実用化している。世界の大学、企業でも数年前から自律分散の考え方に則った分散システム、分散OSの研究開発を進めており、近年わが国でも盛んになっている。



システムの外観



※) Ethernetは、米国XEROX社の登録商標である。

システムの構成〔得意な人(プロセッサ)に、得意なもの(処理)を〕

手話通訳のプロトタイプシステム

手話を入力し、文章に変換する手話通訳システムのプロトタイプを開発した。現在、認識できる単語数を増やし、実用的なシステムを目指して研究を進めている。

近年、聴覚障害者の積極的な社会参加に伴って手話通訳者の不足やプライバシーの保護などが問題となっている。

このような問題にこたえて、手話通訳システムのプロトタイプを開発した。聴覚障害者と健聴者とのスムーズなコミュニケーションの支援を目的とし、手話を入力して文章に変換することができる。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 手話から文章への変換を行うことができる世界初のシステムである。
- (2) 手話の入力はデータグローブ[※])を使用している。これによって手話パターンは32次元の時系列データに変換される。
- (3) 手話単語の認識を、音声認識に利用される連続DP (Dynamic Programming) 照合法によって行っている。今回、特に認識時間短縮のため、手話パターンを圧縮して、圧縮したパターンを直接照合する圧縮連続DP照合を

開発した。

(4) 手話パターン中から認識した手話単語列に対し、AIの技術を用いて助詞や語尾変化を補って文章に変換する。

現在、認識できる単語数は26語あるが、今後は、3年後に500～1,000語、最終的には3,000語程度まで単語数を増やし、実用的な手話通訳システムを開発していく予定である。



手話通訳システム

※) データグローブは、米国VPL Research Inc.の商標である。

光CTによる脳内酸素分圧分布の計測

近赤外光を用いて、生体内の酸素分圧分布を画像で表示できる、時間ゲート法を用いた光CT装置を開発し、ラット脳内の酸素分圧分布を画像化した。

近年、X線CTやMRIなどの画像診断機器の進歩により、病気の大きさや位置などの形態的な情報が容易に得られるようになってきた。しかし、より正確な診断と的確な治療を行うためには、代謝や循環などの機能的な情報を得ることが必要である。光CTは近赤外光を用いて体内の生体物質の分布を画像化するもので、血液中のヘモグロビンの光学特性から生体の代謝に重要な酸素分圧を計測し、画像化することができる。このため、光CTは機能的診断ができる画像診断機器として、特に脳疾患への臨床応用が期待されている。

光CTでは、照射光に用いる近赤外光が生体組織で強い散乱を受けるため、透過光をそのまま検出し、画像化しても十分な空間分解能が得られないという問題がある。今回開発した時間ゲート法では、超短パルスレーザー光(幅60 ps)を入射光とし、透過光をストリークカメラ(時間分解能10 ps)で計測することにより、各透過光の生体内部

での走行時間を計測し、設定した時間ゲート内に計測した直進に近い光だけを選択的に画像表示に用いてる。これにより、散乱光によるぼけの影響を除き、空間分解能の向上を図っている。東海大学医学部と共同で行った動物実験によって得られた光CT装置によるラット頭部の画像例を写真に示す。脳梗塞(こうそく)によって右脳の酸素分圧が低下したラットの脳内酸素分圧分布画像を表示することにより、光CTによる機能的画像診断の可能性を示すことができた。



ラット頭部の光CT画像

自己組織現象を用いた新磁性メモリ

磁性薄膜に発生する自己組織現象の縞(しま)状磁区で記憶セルを構成した10ギガビット級の記憶密度が達成できる磁性メモリの原理動作を確認した。

微細化技術の限界を超える高集積メモリ素子を実現するため、磁性体の自己組織現象を利用した新記憶セル方式を提案した。試作した新磁性メモリの特徴は次のとおりである。

- (1) 磁気ディスクなどの従来の磁性メモリの記憶単位である磁区に代えて、磁区を構成する磁壁に生じるミクロな磁化構造(ブロッホライン)を情報担体とするため、記憶単位を数十分の一まで小さくできる。
- (2) パーマロイと呼ばれるニッケル・鉄合金の磁性膜に「自己組織的に」自然発生する縞状の磁区を記憶セルとするため、半導体メモリのような微細パターンの形成が不要となる。
- (3) 記憶密度を決める縞状磁区の幅は、パーマロイ薄膜の形成条件で制御でき、ビット周期を $0.01\mu\text{m}$ まで小さくできる。

記憶セルサイズ $0.7\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ のチップを試作し、新

磁性メモリの原理的な動作と、電力を供給しなくても情報を永久に保存できること(不揮発性)を確認した。このメモリでは、消費電力がわずか1W以下となり、機械的駆動部を持たないため、将来、10ギガバイトの記憶容量を持つ小型・携帯メモリの実現が期待できる。

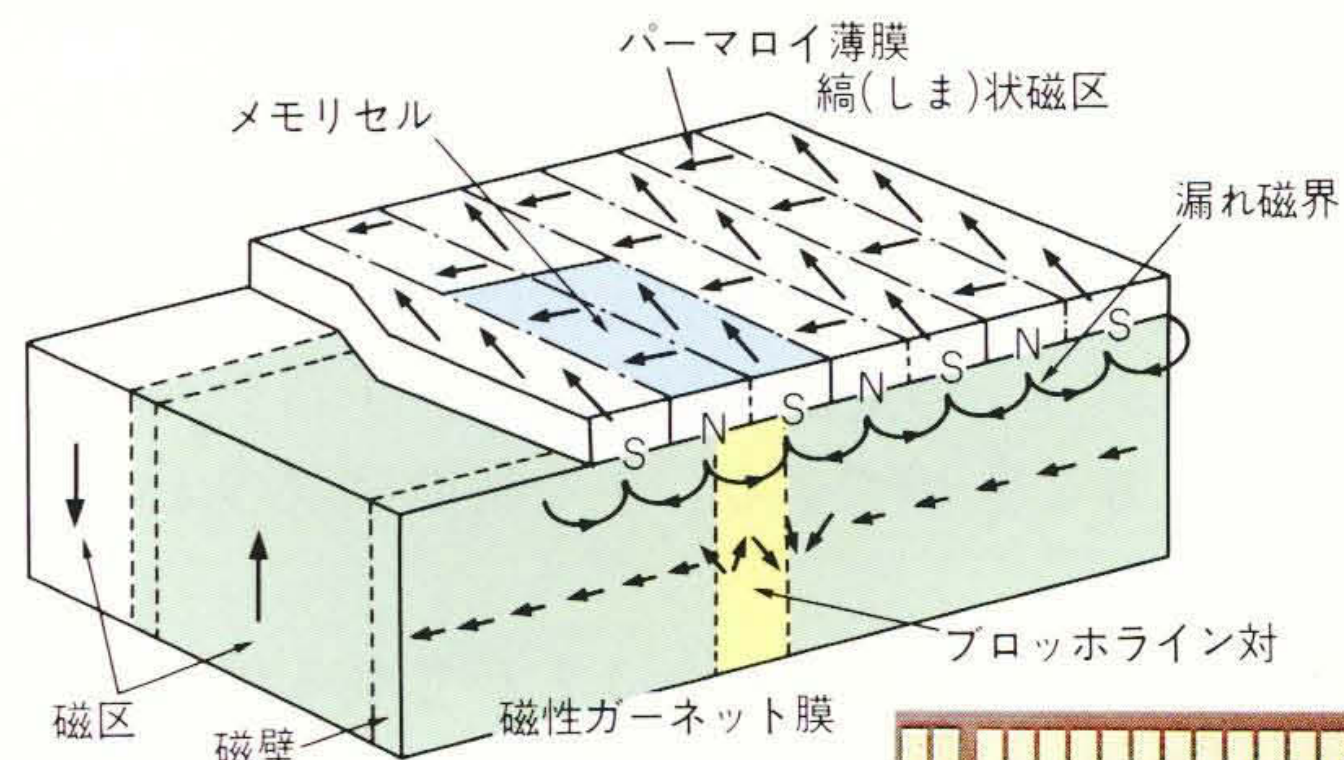


図1 自己組織型記憶セルの原理

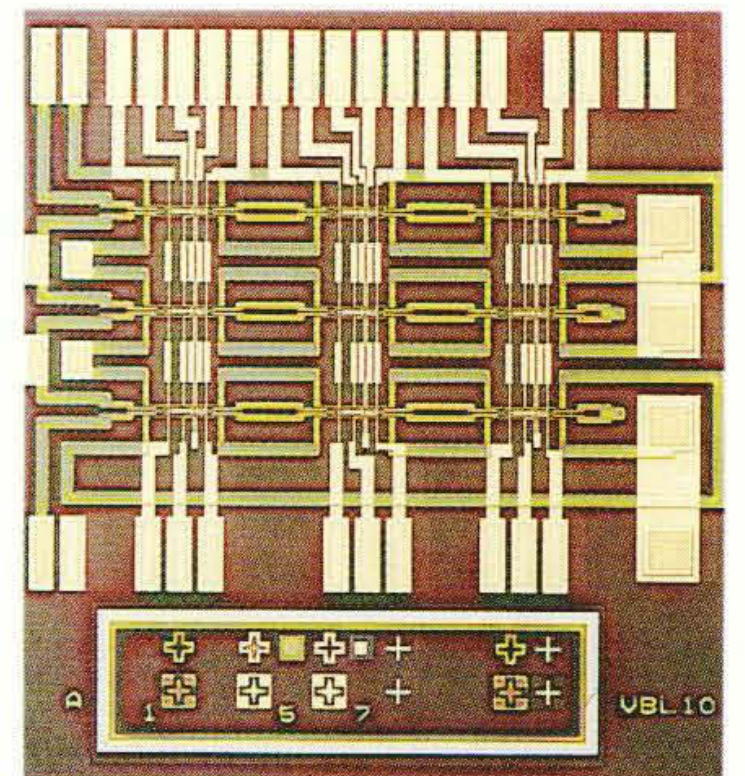


図2 試作したメモリ素子

1,000 MIPSマイクロプロセッサ基本技術

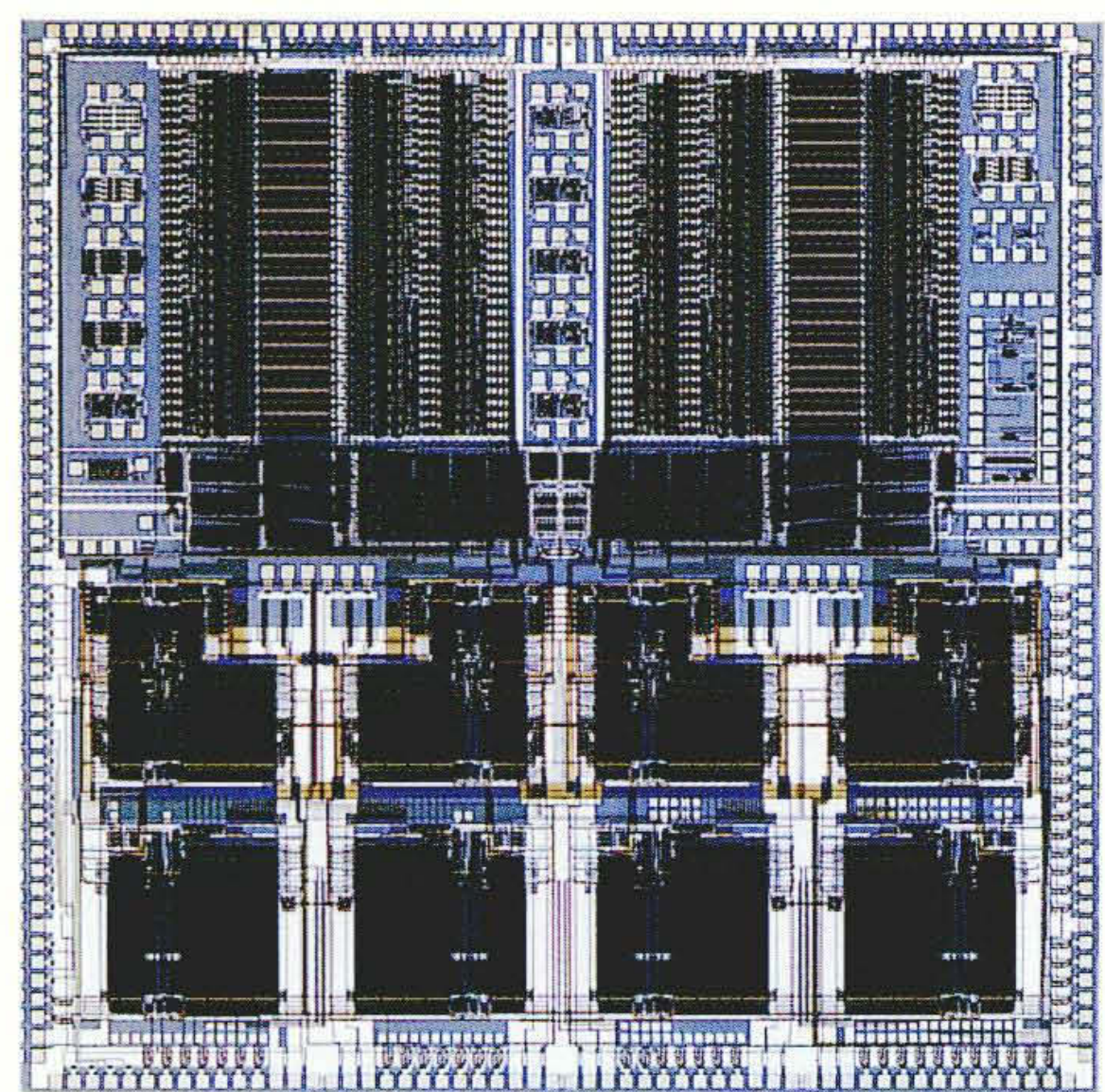
0.3 μm の微細加工技術をベースに、高速回路技術と並列処理技術により、1秒間に10億個もの命令を実行できるマイクロプロセッサを開発した。

マイクロプロセッサの処理性能は、5年間で10倍も伸び、'90年代後半には1,000 MIPS (Million Instructions Per Second) レベルのものが登場すると予測される。これを実現するには、低電圧で高速に動作するLSIに加えて、複数の演算器を高効率で並列に動作させる技術が必要である。そこで、'90年代後半に実用化が予定されている0.3 μm の半導体技術により、上記の高性能化の要求にこたえる基本技術を開発した。

0.3 μm BiCMOS技術をベースに、(1) 3.3Vの低電圧でも高速動作可能な新型BiCMOS回路方式を新たに提案し、これを用いて250 MHz(サイクル時間: 4 ns)で動作する演算器、キャッシュメモリを開発した。(2) 上記の演算器をそれぞれ2個持つプロセッサ2台と、各プロセッサに効率よくデータを供給できる2階層のキャッシュメモリを同一のチップ上に搭載し、4命令を同時に実行

する処理方式を開発した。その結果、ピーク性能で1,000 MIPSを達成するマイクロプロセッサ実現の見通しを得た。

上記の回路・方式技術を次世代以降のワークステーション用プロセッサの開発に展開することにより、実時間音声認識や動画などをパーソナルに処理することができるようになる。



1,000 MIPSマイクロプロセッサ

放射性廃棄物の新しい固化処理技術

強度と放射性物質の吸着性能を飛躍的に高めた新しいセメントを開発し、放射能レベルの高い放射性廃棄物を安全に固化処理する基本技術を確立した。

原子力発電所から発生する廃液などの低レベルの放射性廃棄物は、すでに適切に固化処理されており、定められた施設で地中に埋設処分することが決まっている。一方、イオン交換樹脂を主体とする中レベル廃棄物は、現在は発電所内のタンクに貯蔵されており、これを埋設処分するための新たな固化処理技術の開発が望まれている。

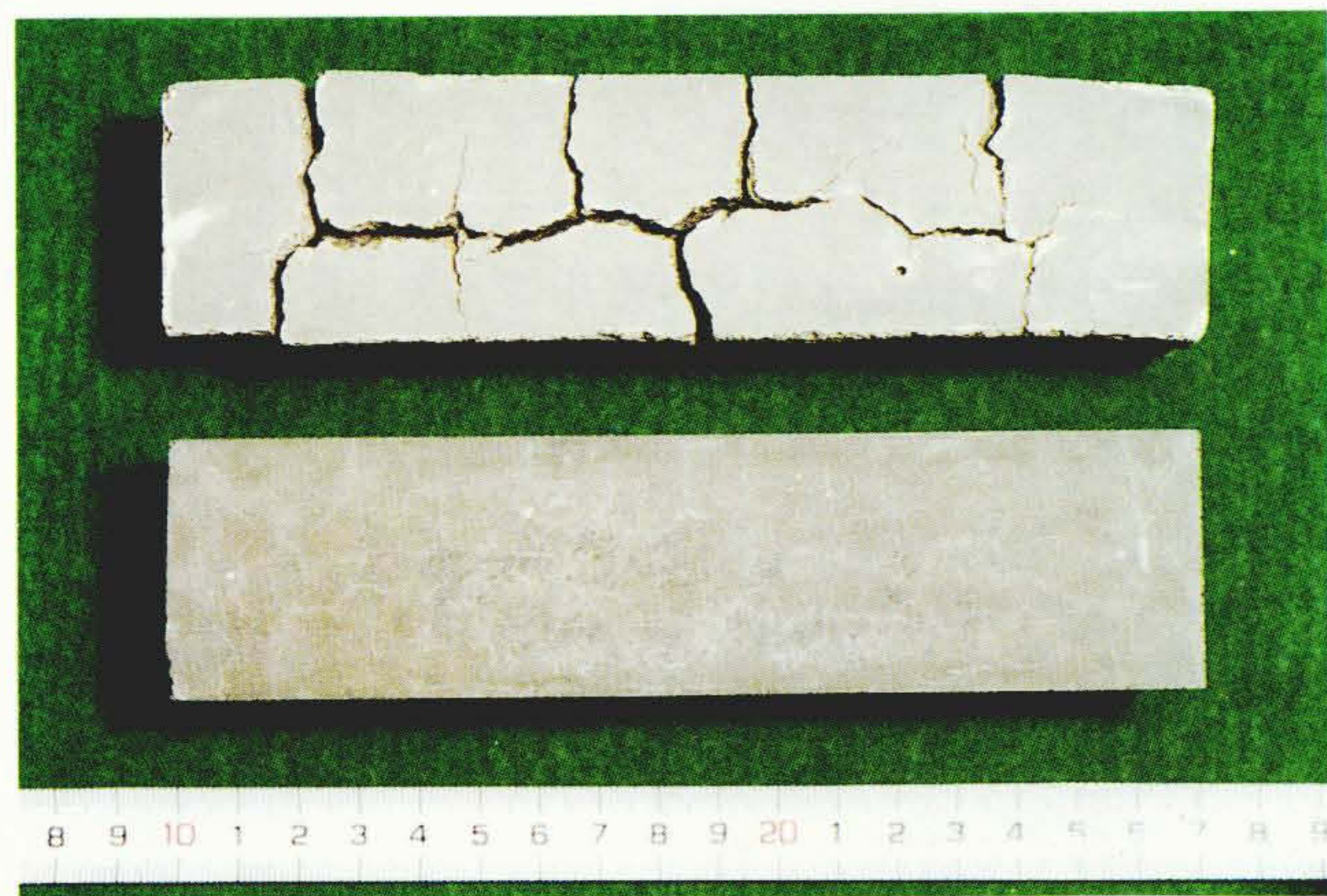
地中への埋設処分にあたっては、地下水の浸入を想定し、固化体から環境へ漏れる放射性物質の総量を規制している。このため、中レベル廃棄物では放射性物質の漏洩(えい)率を少なくとも一けた低減し、漏洩量を低レベル廃棄物と同等にする必要がある。そこで次の特徴を持つセメントを開発し、新しい固化処理の基本技術を確立した。

(1) 地下水が浸入したとき、イオン交換樹脂など吸水性の廃棄物は固化体中で膨張する。このためセメント母材が破壊し(写真参照)、放射性物質の漏洩率が増加する場合がある。

このたび開発した繊維強化セメントは、この膨張に耐えられる強度を持っているので、セメント母材の破壊を防ぐことができる。

(2) 放射性物質を吸着して固化体内に固定する特殊な無機物質を見いだした。これをセメントに添加することによって、放射性物質の漏洩率を $\frac{1}{20}$ に低減した。

以上から、中レベル廃棄物を埋設処分しても、低レベル廃棄物と同等の安全性を確保できる見通しを得た。



地下水浸入時の廃棄物固化体の健全性比較
(上：従来のセメント，下：開発したセメント)

湖沼プランクトンの自動監視システム

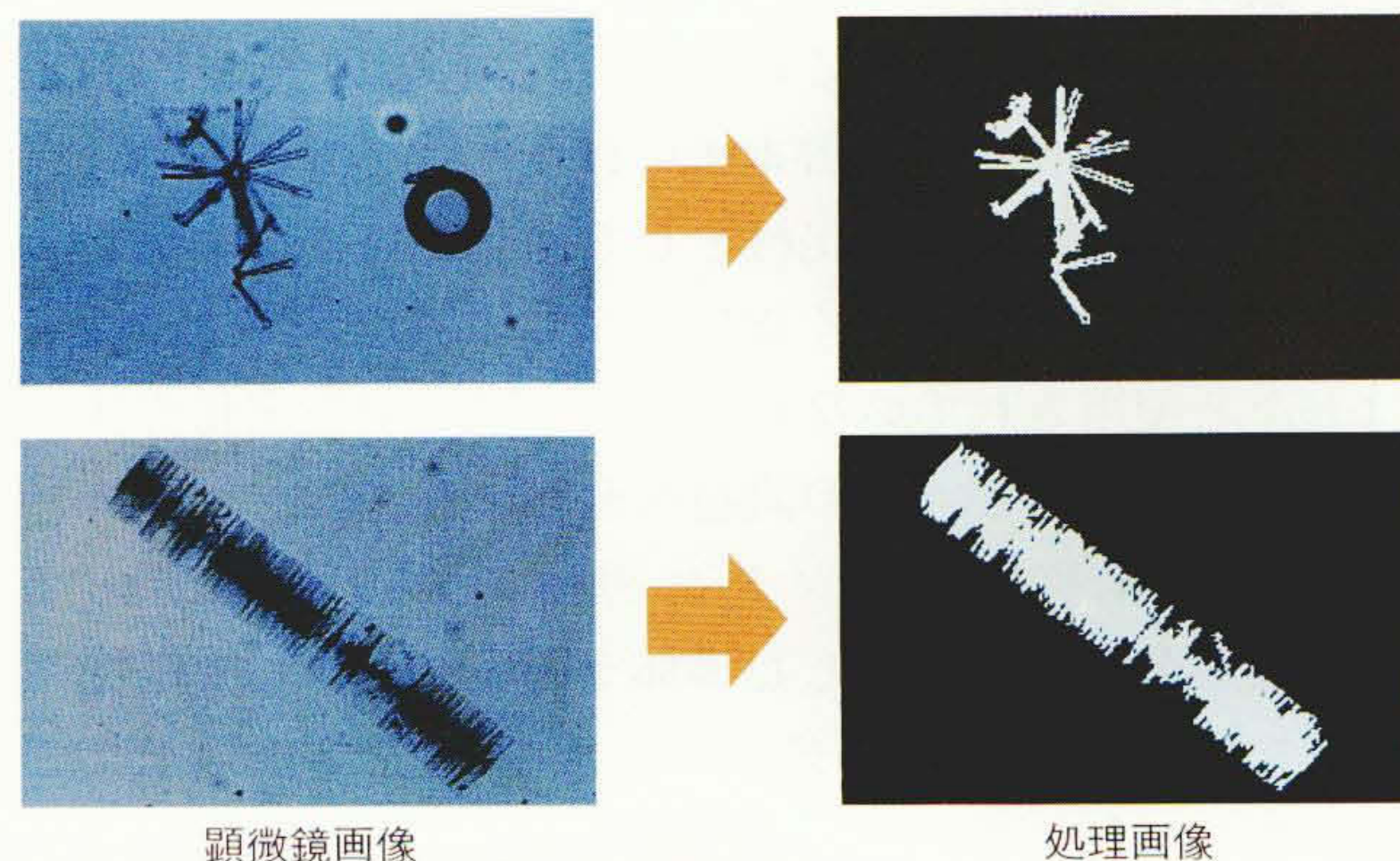
湖沼やダムなどの閉鎖性水域で発生する植物プランクトンの画像認識技術を開発した。この技術の応用で、より詳細な水質監視がリアルタイムでできる。

閉鎖性水域の水質汚濁による被害は、赤潮やアオコの発生、水道水のかびのにおいなど、大きな社会問題となっている。これらの問題を引き起こす植物プランクトンは、種類によって生息条件が異なり、水質の影響を大きく受ける。このため逆に湖沼などの水質の変化を知るためには植物プランクトンの監視が重要である。

この監視技術は、各種の植物プランクトンの顕微鏡画像の特徴を数値化することで自動的に種類を判定できるようにしたものである。従来の画像処理では、主に形状の特徴が認識・分類に利用されていたが、アオコの原因となる植物プランクトンなどは、群体(細胞の集合体)を形成してさまざまな形になるため、形状の認識も難しい。今回開発した技術では、アオコが小さな構成単位(細胞)の集合体であるという特徴に着目し、これを明確に抽出できる処理方式を考案した。この方式により、プランクトンとそれ以外のごみとの判別ができるようになった。

この技術の応用で、現在人手に依存している植物プランクトンの計測が自動化でき、赤潮やアオコの発生の早期検知に役立てることができる。

このシステムは、財団法人ダム水源地環境整備センターと共同で研究を進め、早期実用化を図っている。将来的には、プランクトン情報を他の水質項目や気象、地理情報などと結合し、効率的な浄化を支援する「広域水圏監視浄化システム」の確立を目指している。



顕微鏡画像

処理画像

植物プランクトン画像認識の一例

高速走行中の新幹線車両表面上の音源評価技術

高速走行中の新幹線の騒音を、地上に設置した二次元のX形マイクロホンアレーで測定し、車両の表面上の音源を評価する技術を開発した。

二次元X形マイクロホンアレーを線路側に設置し、時速200 km/h以上の高速で移動する車両上の音源を視覚的に表示することが可能な解析システムを開発した。これを用いて、東海旅客鉄道株式会社と共同で、高速走行中の「のぞみ」試験車両の騒音源の可視化を行った(図1)。現在、東日本旅客鉄道株式会社と共同で、高速新幹線の騒音源探査実験を推進中である(図2)。

新幹線車両では、速度の増加に伴い、全体の騒音中に占めるパンタグラフなどの風切り音の割合が大きくなる。しかし、風切り音の発生源は車輪やレールからの振動音と異なり、車体表面全体に分布しているため、実際に車両表面上の音源分布を定量的に評価することは難しかった。

この解析システムでは従来のマイクロホンアレーに、高速で移動する音源を追跡する信号処理アルゴリズムを追加し、車両側面から約6 m離れた位置に設置した地上のマイクロホンアレーを用いて300 Hz～5 kHzの範囲

で音源分解能約1 mが実現できる。この技術は高速車両の低騒音化に利用している。

注：参考文献 Y. Takano, et al. : Proc. Inter-Noise 92, p.1175(1992)

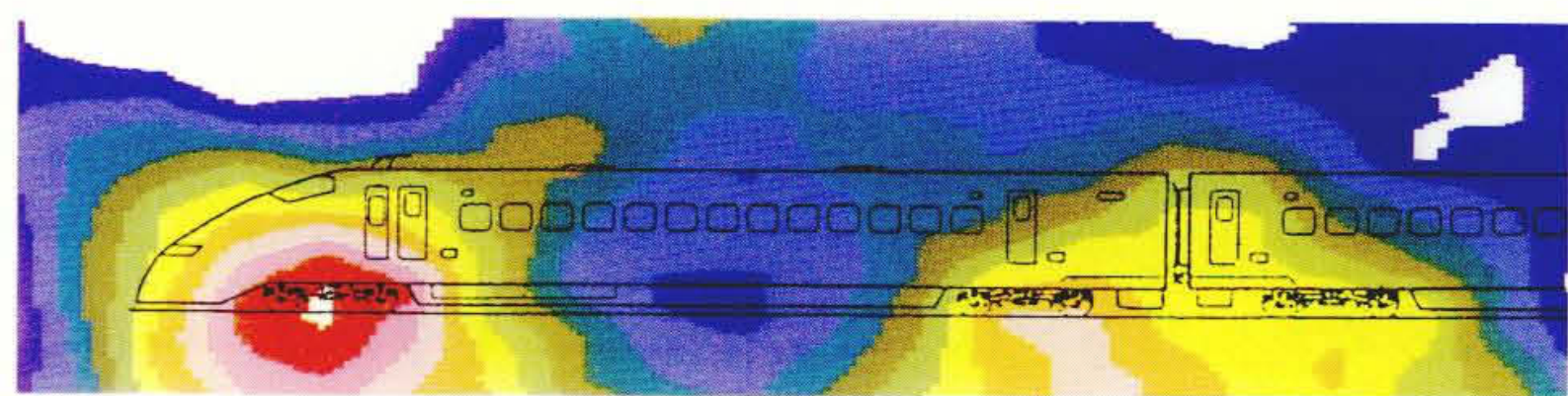


図1 「のぞみ」試験車両の音源分布解析結果(図中で赤い部分が強い音源)

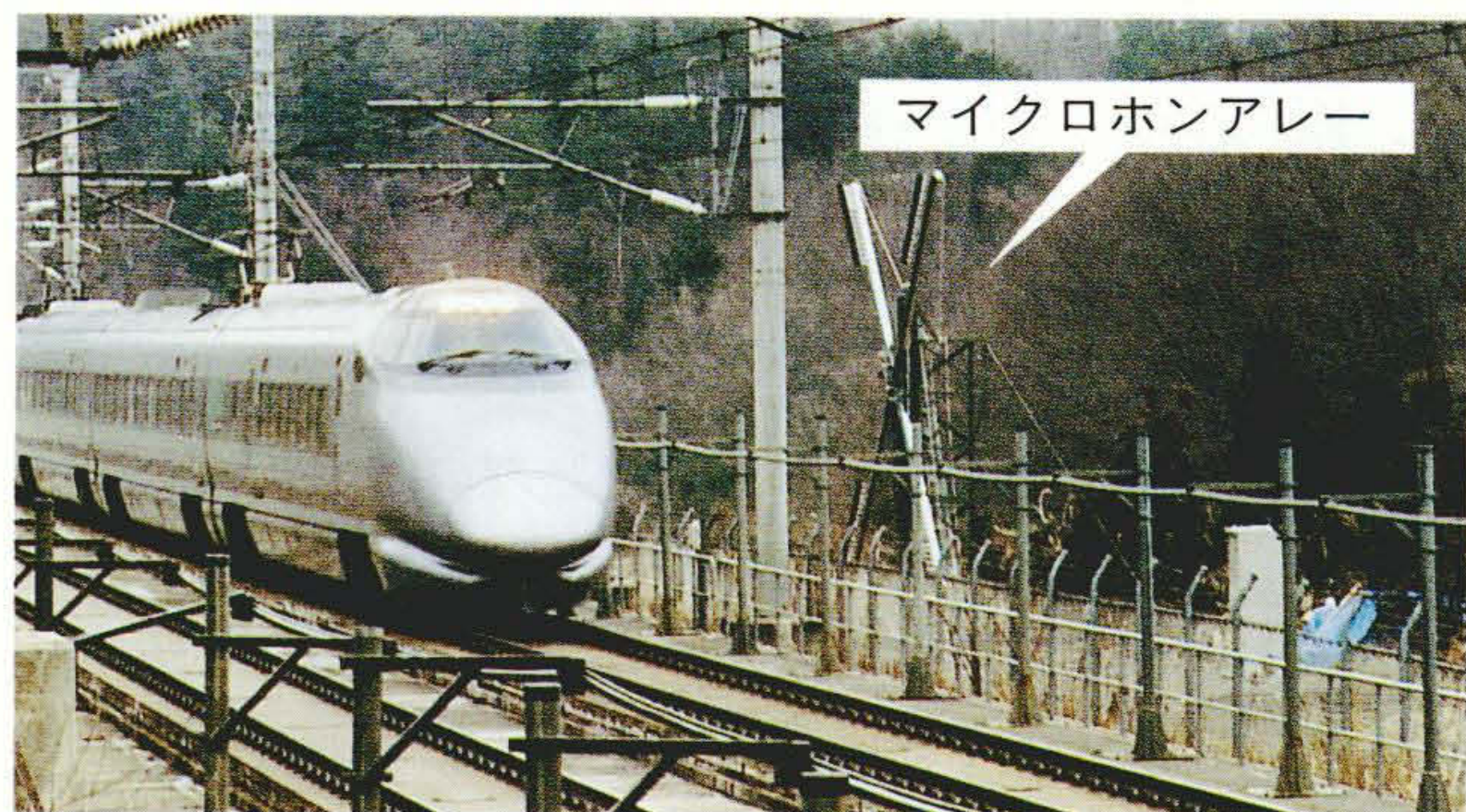


図2 「つばさ」試験車両とその騒音を測定中のマイクロホンアレー

AI安定化超電導コイル

超電導フィラメントの安定化材として高純度AIを用いたAI安定化超電導導体の製作技術を開発し、AI被覆形と内蔵形コイル実用化の見通しを得た。

超電導コイルは、核融合装置、発電機、磁気浮上リニアなど超電導応用製品のキーコンポーネントである。その実用化に向けて、安定性を高めクエンチ(常電導転移)を防止する技術開発が鋭意進められている。

一般に、超電導フィラメントを安定化銅の中に埋め込む導体構造が採用されているが、4.2 Kの極低温ではCuよりもAlの熱伝導率と導電率のほうが約一けたの優れ、クエンチを防止する安定化材として適している。しかし、Alには熱収縮率が大きく機械的に弱い欠点があり、従来ほとんど使用されていなかった。今回、AI安定化導体の製作技術を開発し、この問題点を解決した。

Cu安定化超電導モノリス導体の外表面に高純度99.999%Alを薄く被覆した導体を図1に示す。安定性マージン(クエンチに至る最小エネルギー)を2倍以上にできることがわかる。

一次より線の中央部に機械強度の高いCuNiで分割補

強した高純度Alを使用した導体を図2に示す。発電機の場合には、Al使用による安定性の向上と回転に伴う冷却能力の増大によってクエンチしない完全安定化が達成される。この研究は、通商産業省工業技術院のムーンライト計画「超電導電力応用技術開発」の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの受託により、Super-GMの一員として実施中である。

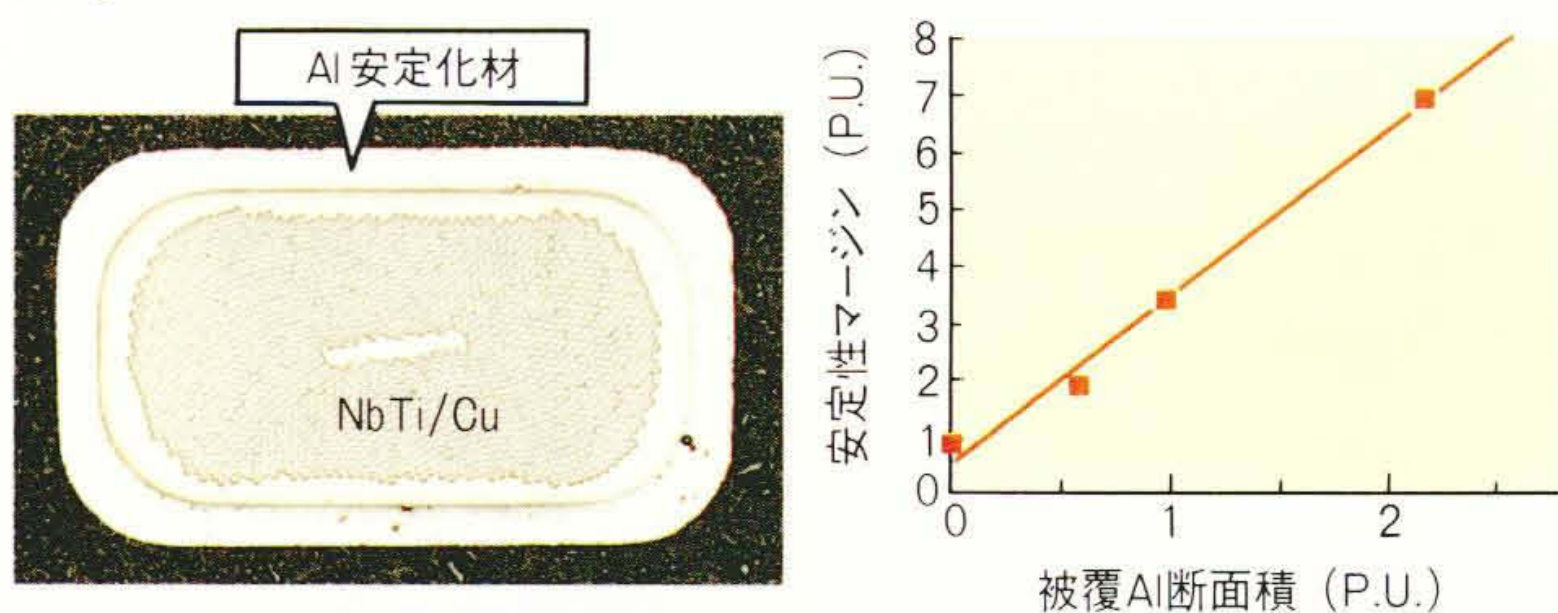


図1 AI被覆形導体と安定性マージン

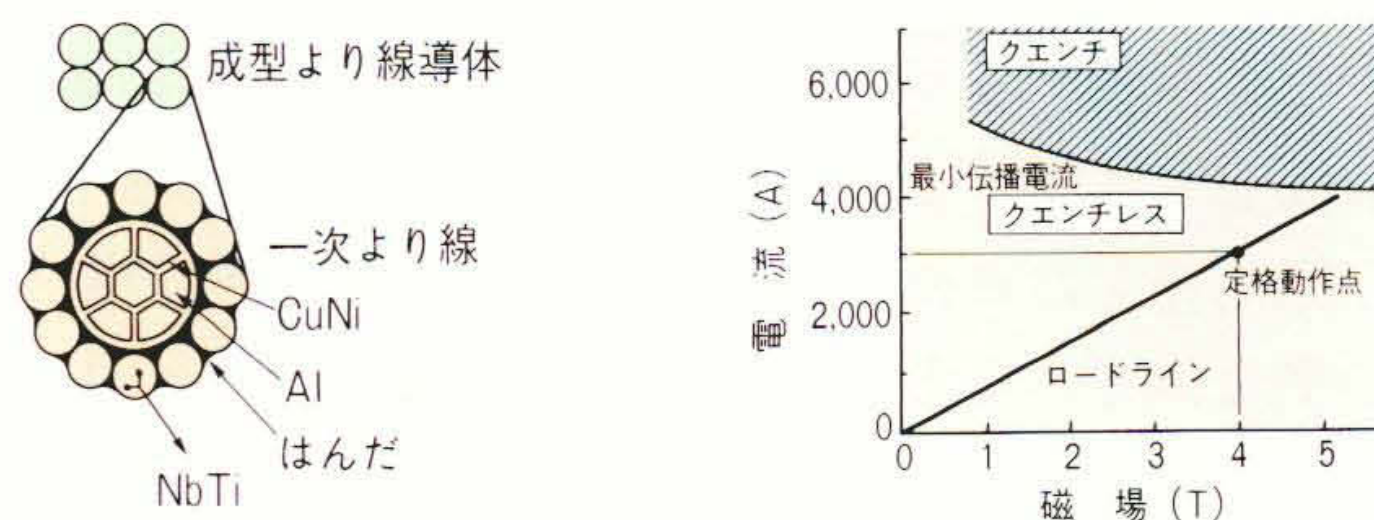


図2 AI内蔵形導体と完全安定化

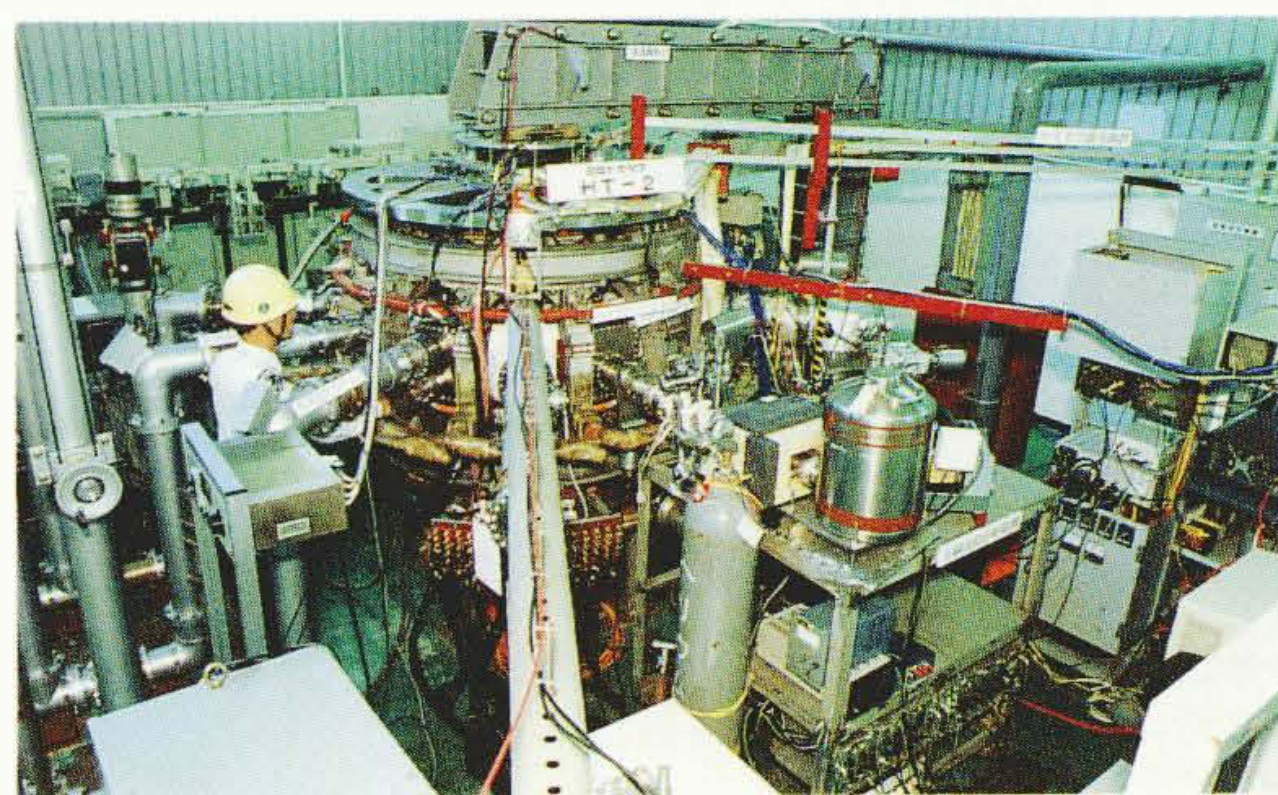
低抵抗の真空容器でのプラズマ放電に成功

日立トカマクの実験では、低抵抗の真空容器でもプラズマ放電ができることを世界で初めて実証し、核融合実験炉で強固な耐電磁力構造が実現できる見通しを得た。

トカマク型核融合装置では、核融合反応が生じる超高温のプラズマという物質を作るため、ドーナツ状の真空容器内に詰めた水素ガス中に、トランスの原理で電圧をかけて放電させている。このとき真空容器のドーナツ周方向の抵抗が低すぎると、真空容器に電流が流れて作る磁場が、放電の種電子の損失を増やして放電しなくなる。このため、世界の代表的なトカマク装置では、経験的に真空容器の抵抗をその周方向の一部に高抵抗のベローズを入れたり、容器の板厚を薄くしたりして、プラズマの抵抗と同じかそれ以上にしている。しかし、実験炉のように大きい装置になると、従来のような構造では強度が不足することがわかってきた。強度を強めるには板厚を厚くすればよいが、抵抗が低くなるため放電できないと考えられていた。

これに対して、トカマクでプラズマ制御用にいくつか設置されているコイルの作る磁場で、真空容器に流れる

電流の作る磁場を打ち消せば放電できるはずと考えた。この考えを実証するため、日本原子力研究所と共同で図に示す日立トカマク“HT-2”を一部改造して、プラズマ抵抗の $\frac{1}{6}$ まで低抵抗にして実験を行った。“HT-2”ではこれまでプラズマの位置や形を自由に制御する技術を開発しており、この技術を活用して真空容器内の磁場を打ち消すようにコイル電流を制御した。その結果、このような低抵抗でも放電できることを世界で初めて示した。これによってトカマク型核融合装置の設計自由度を大幅に広げ、より信頼性の高い強固な装置を製作できる見通しを得た。



日立トカマク“HT-2”

走査磁性電子顕微鏡によるミクロ磁場観察

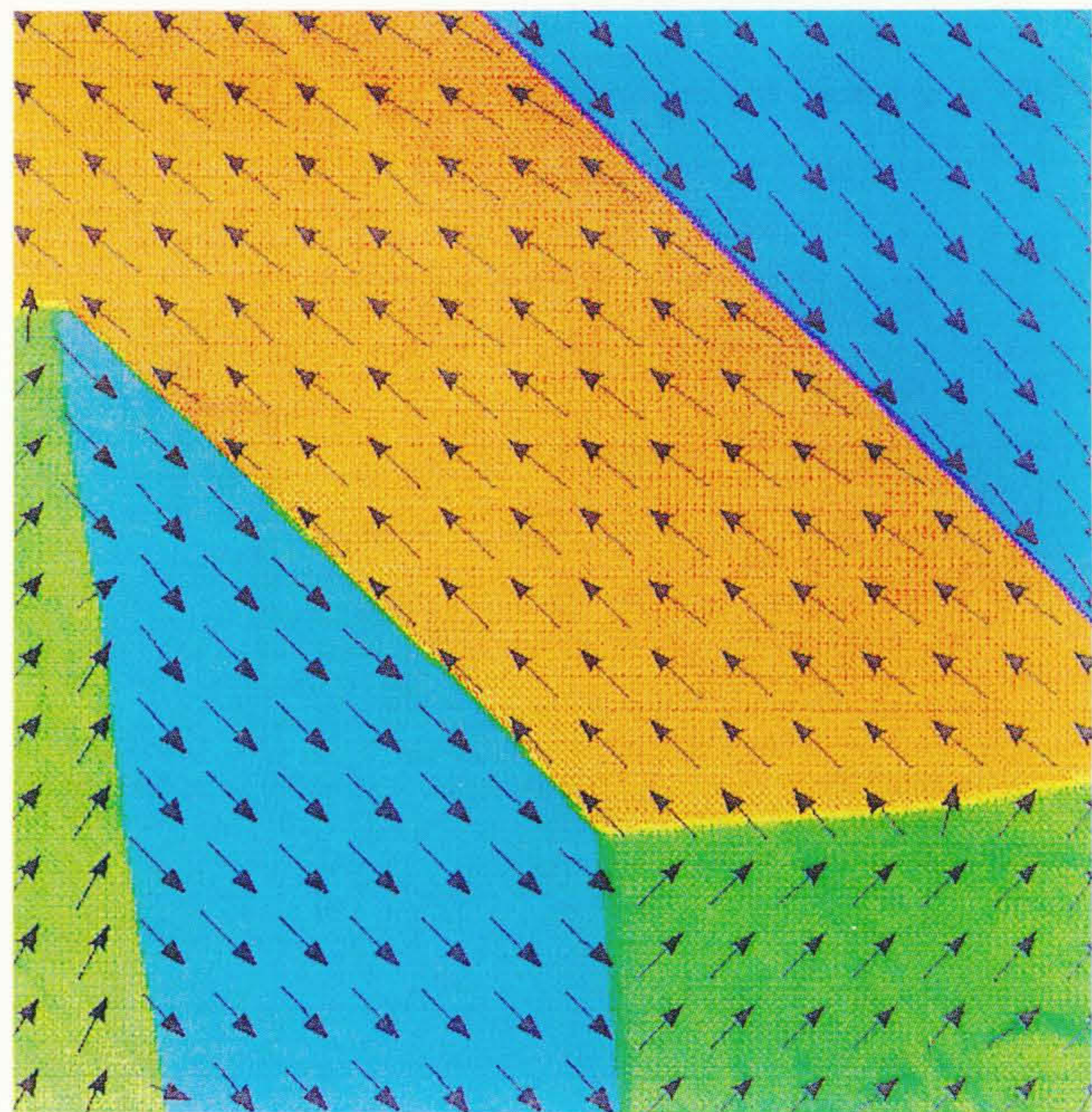
透過電子顕微鏡に高分解能磁場分布観察機能を加えた走査磁性電子顕微鏡を開発し、磁性薄膜のミクロ磁化状態の定量的解析を可能にした。

大容量化が進む磁気記録デバイスの開発を中心に、サブミクロン領域での磁化分布計測の必要性が高まりつつある。しかし、従来の計測技術では、このような微小領域での磁化分布を定量的に計測することは困難であった。

今回開発した走査磁性電子顕微鏡の特徴は次のとおりである。

- (1) 収束電子線をプローブとして用い、その偏向を検出することにより、薄膜内磁化の向きと大きさを5 nmの分解能で計測できる。
- (2) 磁化分布とともに、薄膜内部組織形状、表面形状および組成分布を同時計測できる。
- (3) 透過電子顕微鏡と同様の試料作成法、操作法であるため、容易に上記計測を行うことができる。

以上の特徴を活用すれば、磁性膜の改良をミクロ磁性物理に基づき効率的に行うことが可能となり、磁気記録デバイスの大容量化に貢献できる。



5 μm

走査磁性電子顕微鏡で観察した鉄単結晶膜の磁区構造