

研 究

21世紀に向けて、世界のあらゆる分野で激しい変革が進んでいる。今世紀後半の高度成長を支えた科学・技術もその例外ではない。「平成3年版科学技術白書」は、残された'90年代の課題として、基礎研究の推進とグローバル化の2点をあげた。わが国は、人にやさしく、地球にもやさしい科学・技術の確立によって、人類社会の発展に貢献しなければならない。

日立製作所は、すでに6年前に基礎研究所を設立し、21世紀に向けてのシーズの探求を進めてきたが、以上の課題の実現についても積極的に取り組んでいる。

地球にやさしい技術開発としては、代替フロン利用技術、新エネルギー、宇宙などの新空間利用技術の開発があり、国家プロジェクトへも積極的に参加している。また、エレクトロニクス技術を核として材料からシステム、ソフトウェアに至るまでの幅広い研究開発を進め、人にやさしい高度技術・高度情報化社会の実現を目指している。

ニューロ応用ファジィシステム構築支援技術

ファジィルールの獲得とメンバシップ関数の最適化が、ニューラルネットを用いることによって自動的にできる方式を開発した。

ファジィ推論技術は、熟練者の持つあいまいな判断知識とあいまいさの程度をファジィルールとメンバシップ関数というわかりやすい表現で取り扱えるため、今日、さまざまな分野で応用範囲が広がっている。

ファジィ推論技術を応用するときには、(1) 熟練者の広範な判断知識をファジィルールの形でいかに引き出すか、(2) あいまいさの程度を数値化するメンバシップ関数をいかに効率的に最適化するか、が大きな課題として残っており、従来、人手を要する煩雑な作業であった。このため、多数の知識による高度な判断を必要とする分野(大規模プラント運転支援、経済動向判断など)では、前記(1)、(2)の自動化と効率化が強く望まれていた。

そこで、従来、熟練者とナレッジエンジニアとの共同作業によって行われてきた、(1) ファジィルールの獲得、および(2) メンバシップ関数の最適設定とを共に自動化する方式(図)を開発した。本方式は、ファジィ論理構築過程にニューラルネット(神経回路網)技法を適用したものである。

(1) ニューラルネット解析によるファジィルール獲得
本方式は、推論の前提条件(入力値)と推論結果(出力値)の手本となる組み合わせをニューラルネットに学習させ、学習結果からファジィルールを抽出するものである。

特に、本方式の特徴は、ファジィ論理を扱うことができるファジィニューラルネットを導入し、さらに学習済みニューラルネットの多数の重み係数が含んでいる入出力間の因果関係を解析する評価尺度を考案した点である。

例えば、良好な運転が行われたときのプラントデータを学習させることにより、「もし、水温が高く、流量も多ければ、薬品注入量を多くせよ。」といったファジィルールを、人手を介さずに獲得することを可能にした。

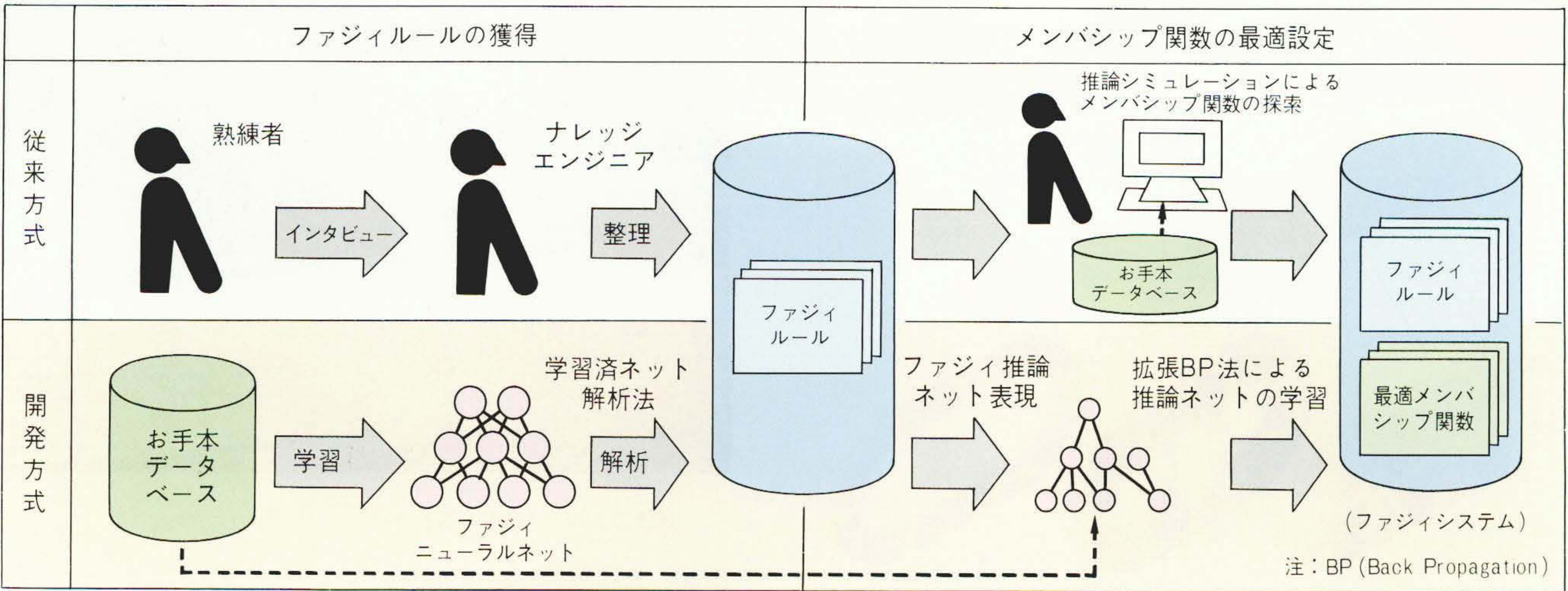
(2) ニューラルネット学習アルゴリズムによるメンバシップ関数の最適化

本方式は、(1)で獲得したファジィルールとあらかじめ与えたメンバシップ関数の概略形状を初期値として、メンバシップ関数を最適化する。

本方式では、ファジィ推論の計算プロセスがファジィ推論ネットと呼ぶネットワーク表現に展開できることを見だし、さらに、拡張バックプロパゲーションと呼ぶ新しい学習アルゴリズムを考案することにより、メンバシップ関数のチューニングを可能にした。

このアルゴリズムでは、メンバシップ関数の個数を n としたとき、学習速度を従来の数学的最適化手法の約 n 倍高速とすることができる。したがって、多数のファジィルールを必要とするシステムに対しても、十分実用的な処理速度を実現できる。

これらの新方式の開発は、ファジィシステムを構築する際の生産性を大きく向上させ、数百のルールに及ぶ大規模・複雑な判断論理をも計算機上に移し替えることを可能とする。これにより、従来、ファジィシステム応用が難しかった領域を新たに開拓することができる。



ファジィシステム構築における開発方式と従来方式の比較

磁気浮上リニア用超電導磁石の基本技術

三次元渦電流解析や振動解析に基づく磁石構造の最適化設計、および電磁加振装置による検証試験を通して、信頼性の高い超電導磁石を開発中である。

研究

21世紀の高速交通システムとして、東京と大阪間を1時間で結ぶ超電導磁気浮上リニアが注目され、実用試験を目指して新しい山梨実験線の建設が進められている。磁気浮上リニアは、現在まで宮崎実験線で各種走行試験が行われており、心臓部となる超電導磁石に信頼性向上を図る必要性が明らかになった。

500 km/hの超高速で浮上走行する車上超電導磁石に、地上コイルが作る脈動磁束が侵入し、磁石内部の導体板に渦電流が流れて電磁加振力が働く(図1)。この電磁加振力によって磁石各部が振動し、渦電流損失による発熱や超電導コイルの動きが生じる。これらの課題を解決し、ヘリウム消費量の少ない高信頼性超電導磁石を得ることを目的に、次の電気・機械・材料技術開発を鋭意進めている。

- (1) 地上コイル脈動磁束の小さい浮上・推進システム
- (2) 三次元渦電流解析と効果的な電磁シールド法
- (3) 超電導磁石の振動解析と高剛性支持による防振
- (4) 超電導コイルの高安定化と擾(じょう)乱低減
- (5) 実運転と等価な電磁加振試験による実証

超電導磁石の多層導体構造をシエル要素で表現する三次元渦電流解析コードを開発し、コイル中心部と真空容器とで5桁(けた)も異なる渦電流発熱を、高速かつ高精度に予測できるようにした。解析技術を用いて渦電流発

熱を大幅に低減できる磁石構造を設計した。また、この渦電流の発生源となる地上の浮上コイルや推進コイルの寸法最適化の検討も進めている。

渦電流に基づく磁石の振動を計算できる振動解析コードを開発し、主要磁石要素の構造およびそれら要素間を支持する荷重支持体の構造と配置を最適化した。荷重支持体は、超電導コイルに働く浮上力を車体に伝達するキーコンポーネントであるが、磁石振動防止のための高剛性化と熱侵入低減のための小断面化という相反する要求を同時に満足させる構造が必要であった。

外部擾乱に強い高安定磁石を得るために、超電導コイルの構造最適化と冷却性能の向上を図った。また、導体動きに伴う摩擦発熱や含浸樹脂の割れに伴うひずみエネルギー解放の定量評価を行い、これら擾乱を低減させる超電導コイル支持法の開発も進めている。

以上に述べた高信頼性超電導磁石を得る開発技術の検証手段として、実走行時と等価な地上コイル脈動磁束を与える電磁加振装置が導入された(図2)。この電磁加振装置を用いた検証試験により、超電導磁石構造の改良を積み重ね、信頼性と耐久性の向上を図っている。

今後、財団法人鉄道総合技術研究所および東海旅客鉄道株式会社の指導の下に、開発した電気・機械・材料技術を駆使するとともに、日立製作所および国内メーカーの総合力を結集して高信頼性超電導磁石を完成し、山梨実験線の建設に貢献していく。この山梨実験線で、実用化に不可欠のすれ違い高速走行、トンネル内突入試験、および地上からの複数列車の自動運転制御試験を行い、最終目標である中央リニアの建設に結びつける予定である。

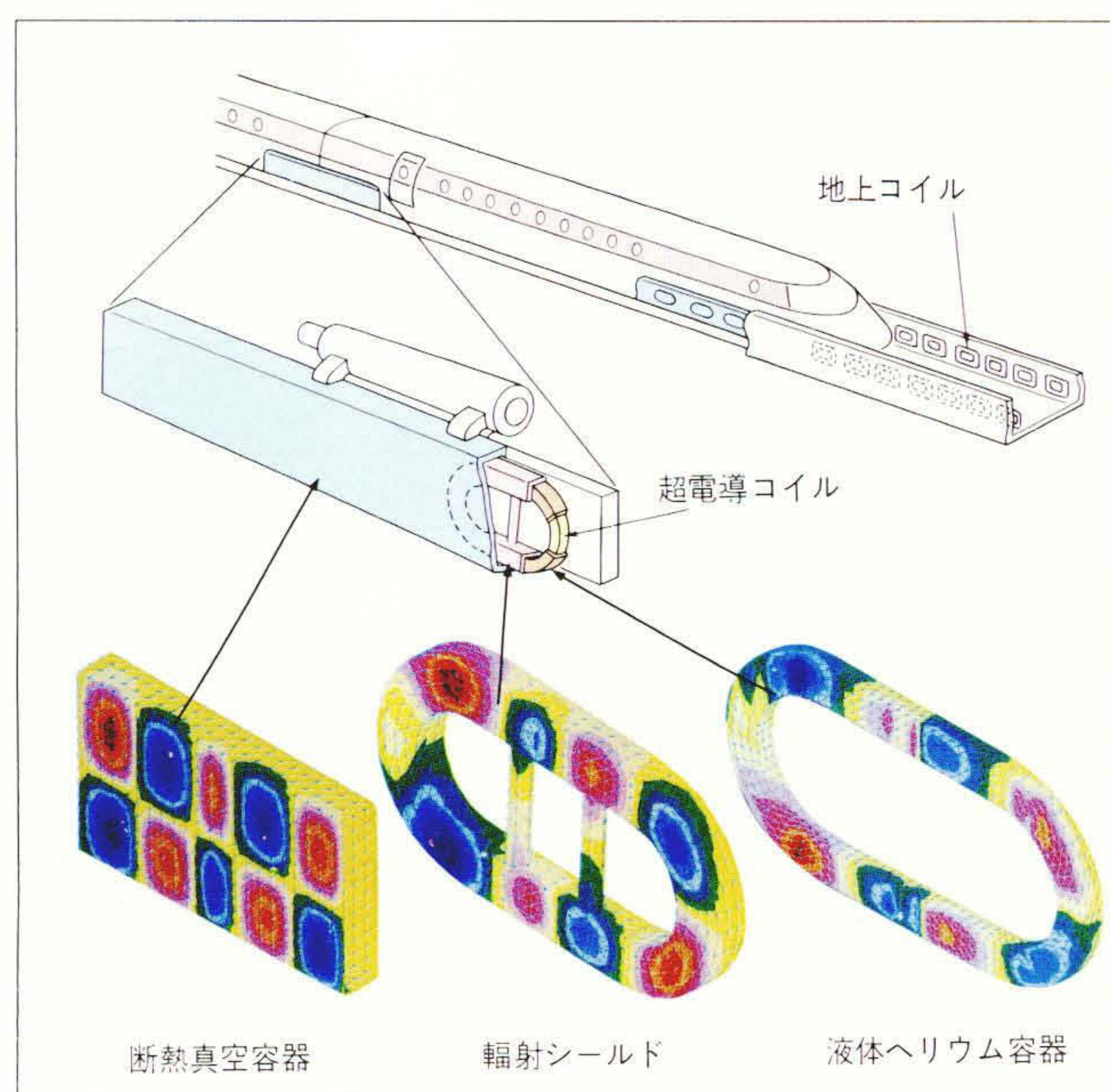


図1 磁気浮上リニア用超電導磁石の構造と渦電流分布

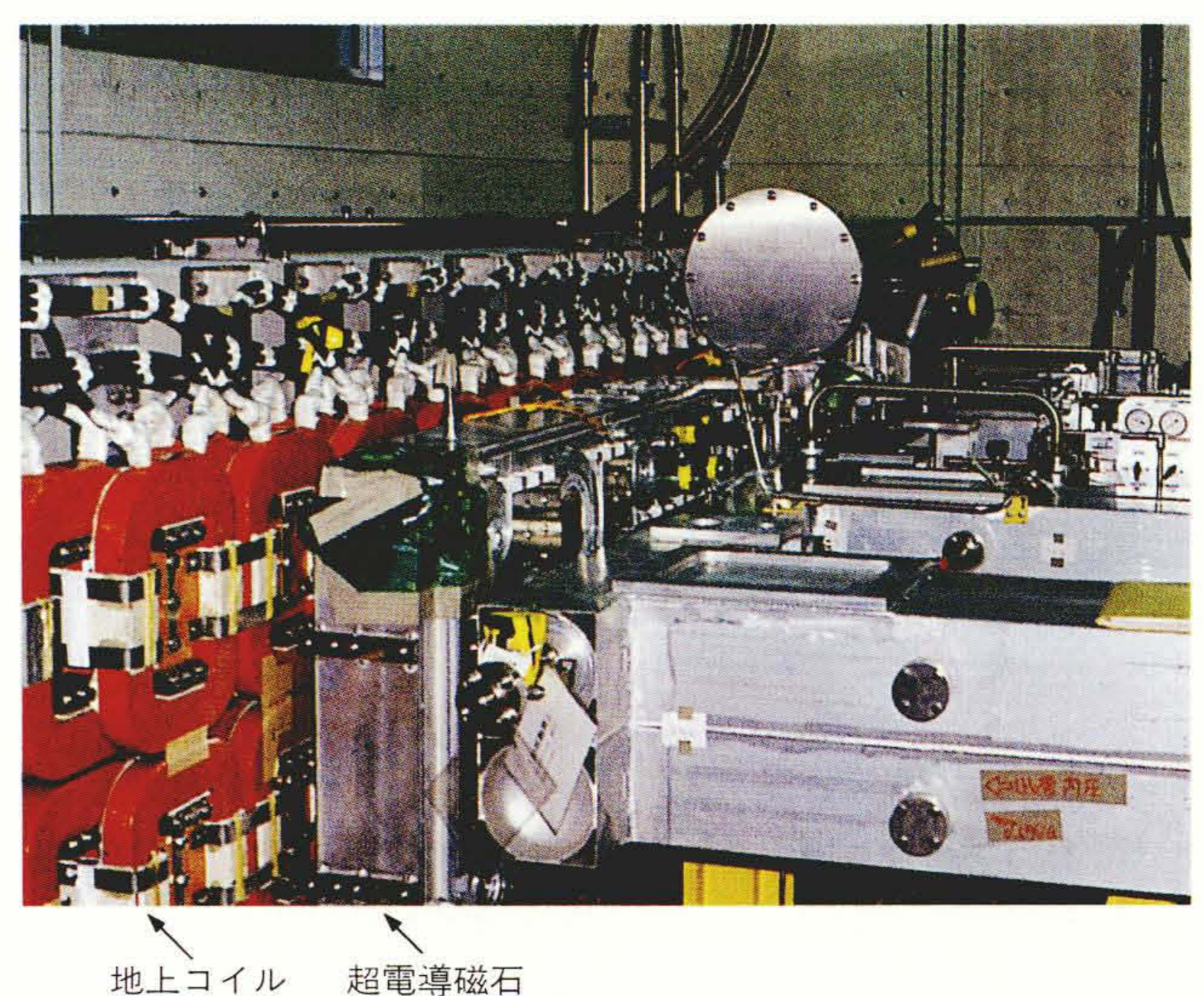


図2 電磁加振装置の外観

走査トンネル顕微鏡を用いた原子操作技術

STM(走査トンネル顕微鏡)を用いて、試料表面から原子1個、1個をはぎ取る「原子操作」を世界で初めて室温で実現し文字を形成した。

STMを利用すると表面原子が1個、1個観察できる。このとき探針先端原子と試料表面原子の間には弱い相互作用が存在する。この相互作用をより強くすることによって、両者の先端原子間でいずれかの原子を操作できる可能性がある。米国IBM社アルマデン研究所では、1990年4月に -269°C のNi基板にXe原子を吸着させた上で、この吸着原子を探針で移動させて文字を形成したことを発表した。この「原子操作」技術は極限の加工技術として注目されており、早期にこの技術の可能性を検証するとともに、室温で実施できる手法を見いだすことが期待されていた。

MoS_2 (二硫化モリブデン)はダイカルコゲナイドと称される層状物質の一つで、モリブデン原子をS(硫黄)原子で挟んだサンドイッチ構造が層状に重なって結晶を構成している。層間はファンデアヴァールスカで結合しているため、へき開するとS原子で構成される(0001)へき開面が現れる。

天然の MoS_2 のへき開面をSTMで観察すると、表面のS原子が1ないし2個欠けている欠陥があり、しかも安定に存在している。その観察例を図1に示す。

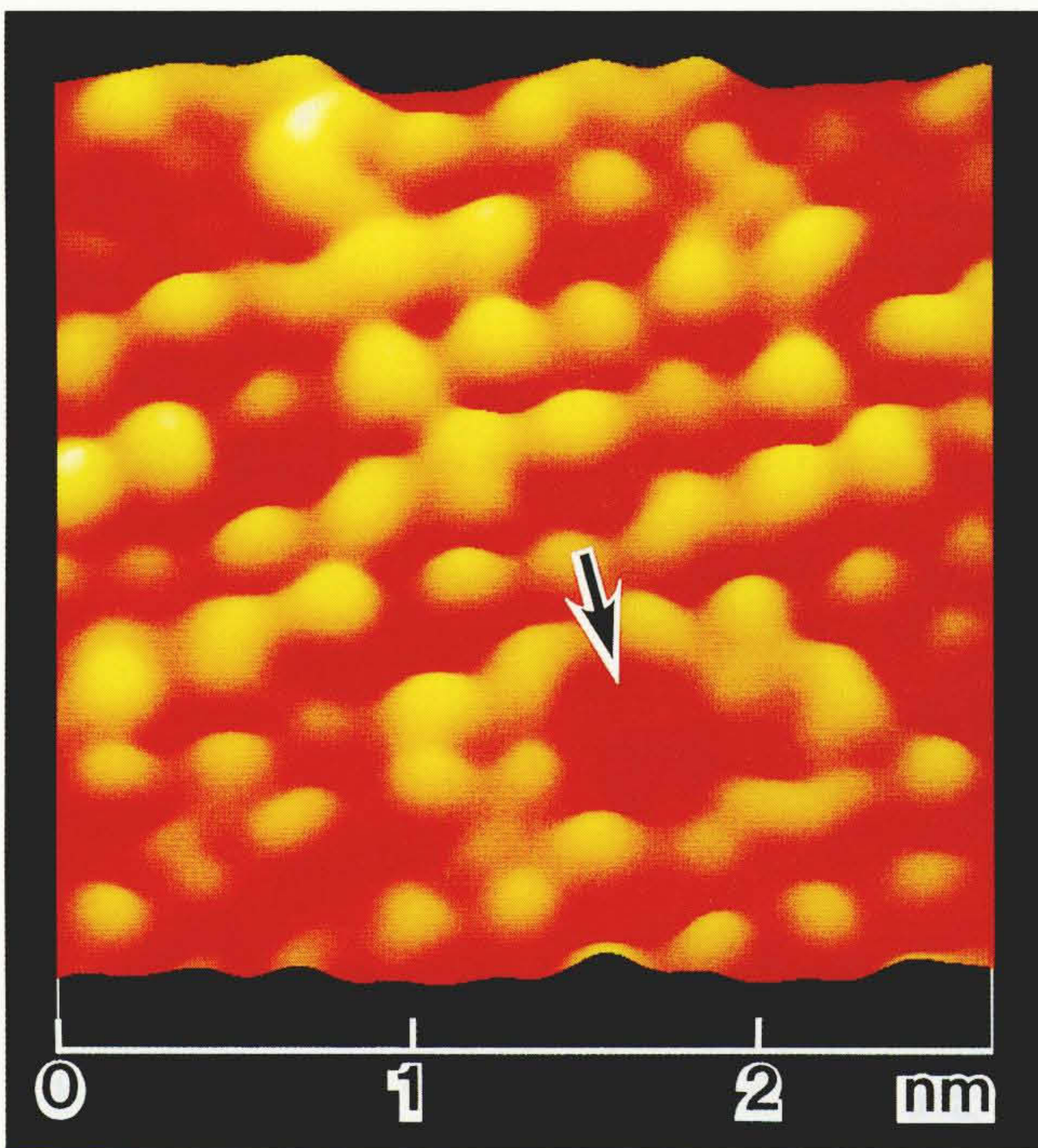


図1 MoS_2 結晶表面に現れた欠陥の例(矢印)

探針と試料の間のギャップを、STM観察時のおよそ1 nmから0.3 nmまで近づけて、 $5.5\text{ V}/0.3\text{ nm}$ ($1.8 \times 10^8\text{ V/cm}$)の強電界をパルスの(70 ms)にかけることにより、天然の欠陥と同様の空孔を作り出すことができた。

上記現象は、「トンネル領域」での「電界蒸発」と考えられ、通常のS原子に対する電界蒸発電界強度(推定 $\sim 3 \times 10^8\text{ V/cm}$)よりも低い値で起こっている。この原子操作の模型図を図2に示す。

各原子位置に対応するように探針を動かし、上記操作を繰り返して文字を形成した結果を図3に示す。

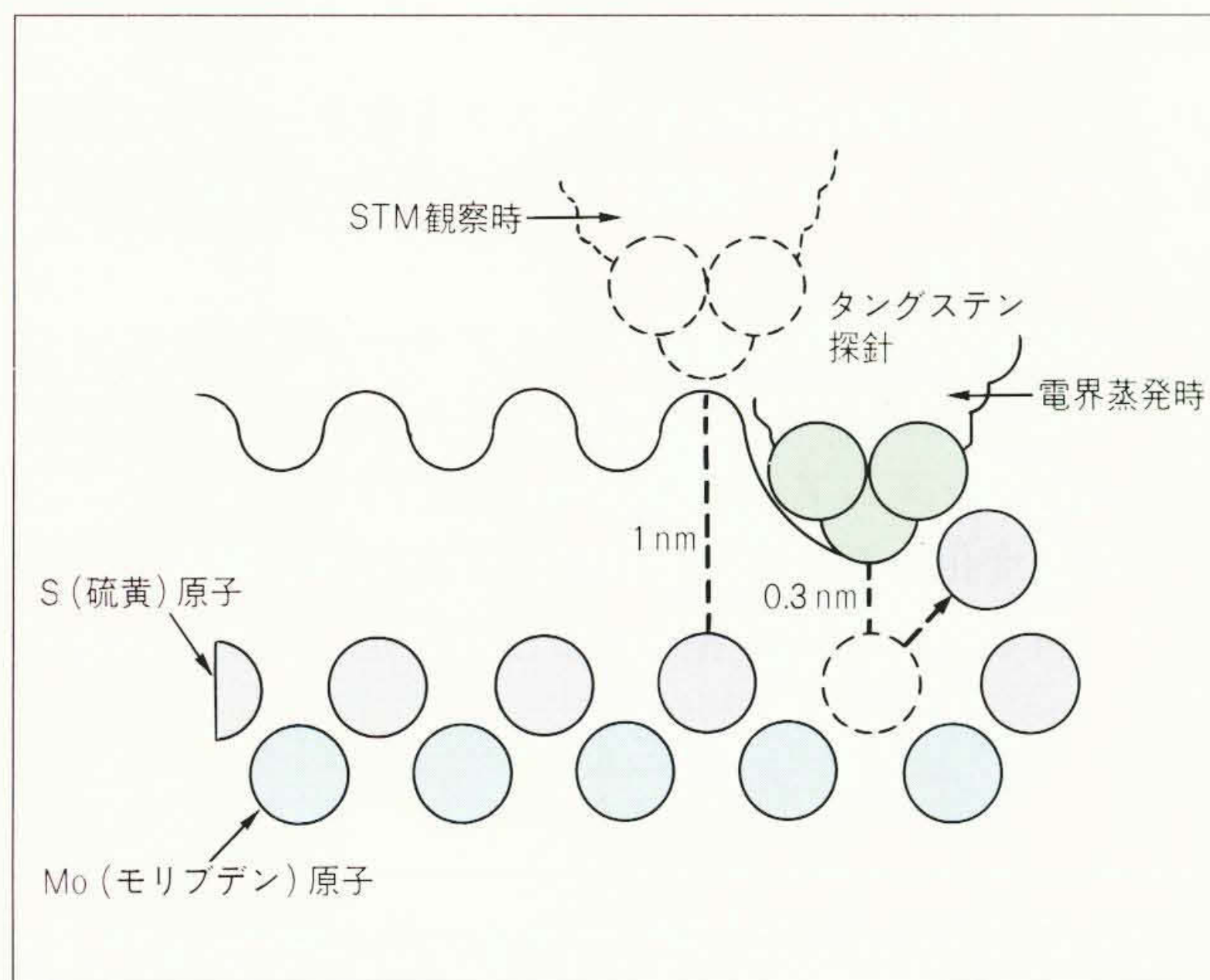


図2 電界蒸発による原子操作の模型図

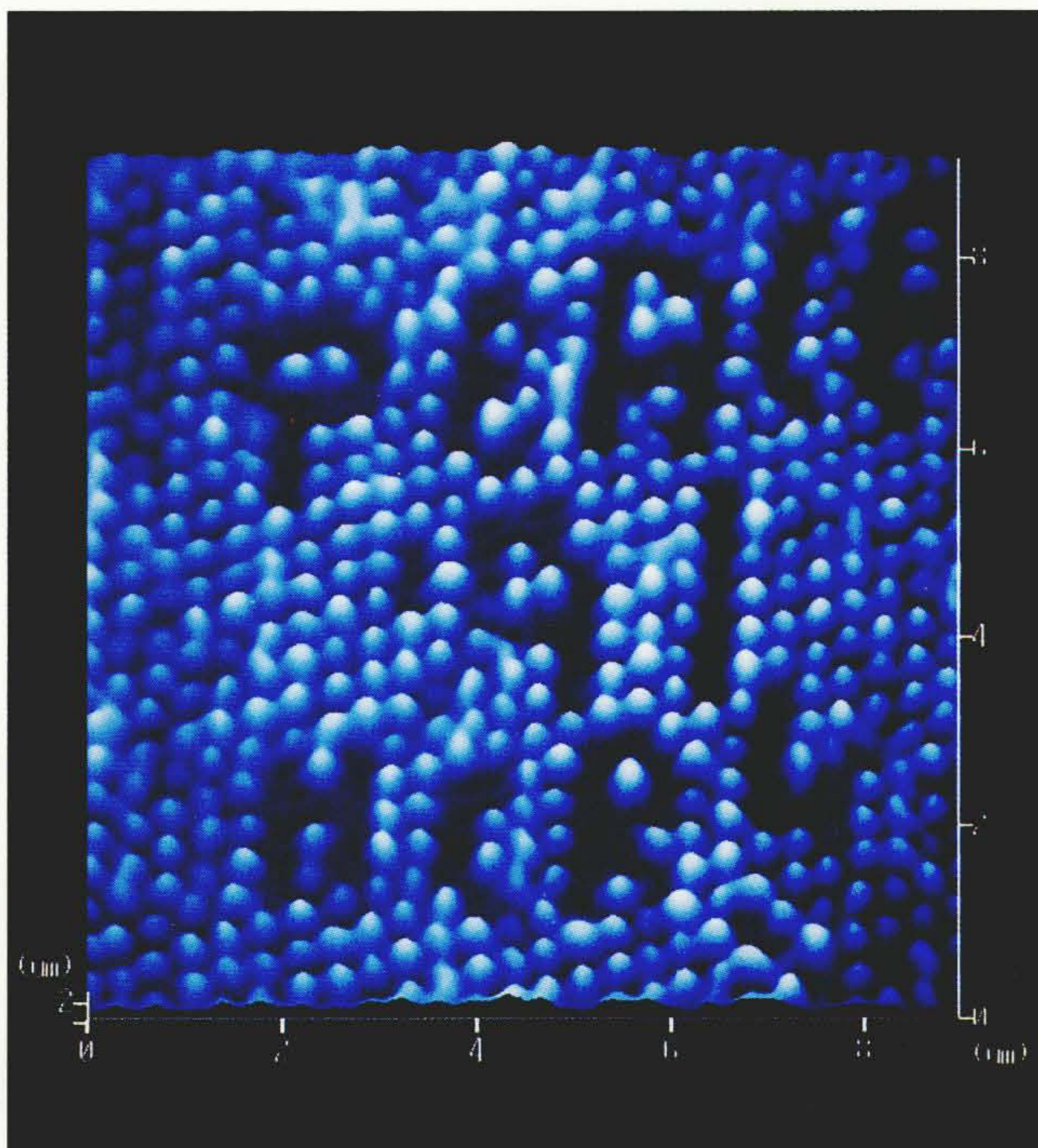


図3 原子操作による文字形成例(PEACE '91 HCRL)

マルチメディア用高速・大容量光ディスクファイル

マルチメディアサーバ用高速・大容量ファイルとして、転送速度毎秒8Mバイトの独立したチャンネルを10個持つ容量30 Gバイトの光ディスクファイルを試作した。

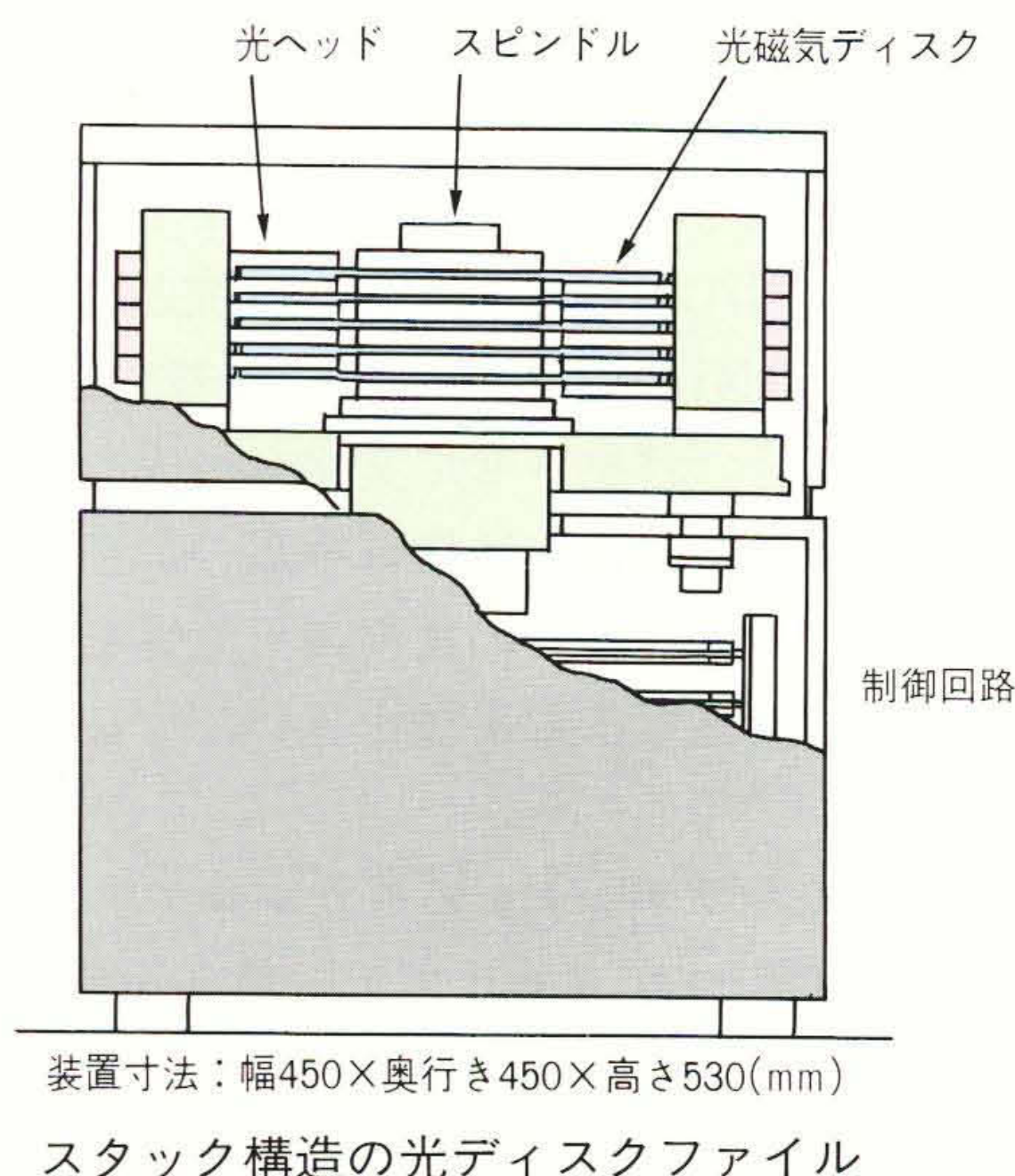
高速ネットワーク時代の進展に伴い、動画や静止画などの画像データと文書やプログラムなどのコードデータを一括して保存でき、しかも、多数のチャンネルで複数のユーザーが独立に高速検索できる大容量ファイルが必要になってきている。

今回試作した大容量光ディスクファイルの特徴は、次のとおりである。

- (1) 10インチ径の書換形光ディスク5枚を一つのスピンドル積層したスタック構造により、小形・大容量化(30 Gバイト)を達成
- (2) 分離形光ヘッドと高推力リニアモータ形アクセッサを一体化した薄形ヘッドアセンブリ(高さ10 mm)により、高速ランダムアクセス(100 ms以下)を実現
- (3) 高感度化した光磁気記録媒体と広帯域低雑音プリアンプ、新しい熱記録補償方式などの開発により、高速デ

ータ転送(1チャンネル当たり毎秒8 Mバイト)を実現

本ファイルは、複数のワークステーション用のマルチメディアサーバや高品位画像ライブラリ、放送用・医療用などのデジタル動画の保存に最適な大容量ファイルである。また将来は、大形計算機用の大容量外部記憶装置としての展開も期待できる。



コンピュータグラフィックスによる人物の表現

CG(コンピュータグラフィックス)によって現実感のある人物を表現する技術を開発した。特徴は、毛髪の静的、動的な表現、感情を伴った動作の生成と顔や表情のリアリスティックな表現である。

CGの中でも人物を表現することは、製品のプレゼンテーション、映像制作などの新しい産業分野に展開できる技術であり、応用分野が広い。しかし、形状、動作、質感などの表現方法に課題があり、現実感のある表現はきわめて困難であった。

これらの問題を解決するために以下の技術を開発した。

(1) 関数動作生成

動きのデータは、実際の動作から抽出した種々の特徴を関数化して内挿、外挿して求めた。動作の滑らかな変化が表現でき、実測した動作だけでなく、複雑な感情を含むさまざまな動きが表現できた。

(2) 頭部の表現

複数枚の写真から頭部の形状を再構成し、テクスチャマッピングによって現実感のある顔を表現した。さらに、パラメトリック内挿によって表情を変更できるようにした。

(3) 毛髪の静的・動的表現

毛髪の動きは力学シミュレーションによって生成した。異方性反射モデルによるリアリスティックな毛髪の質感を実現した。

(4) 人体の変形

関節角度に依存して人体(肩など)を変形した。変形には自由変形法を用いた。

上記の技術を用いて約1分間のアニメーション“RUNNING”を制作した。代表フレームを図1、2に示す。

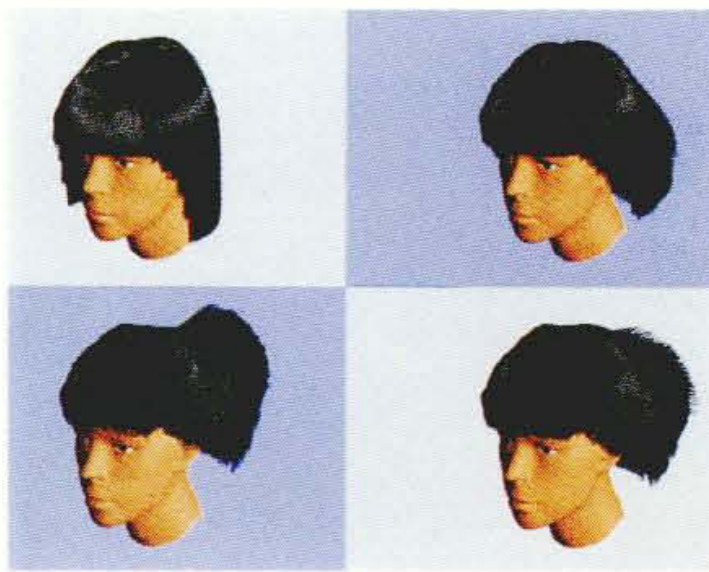


図1 頭髪の表現

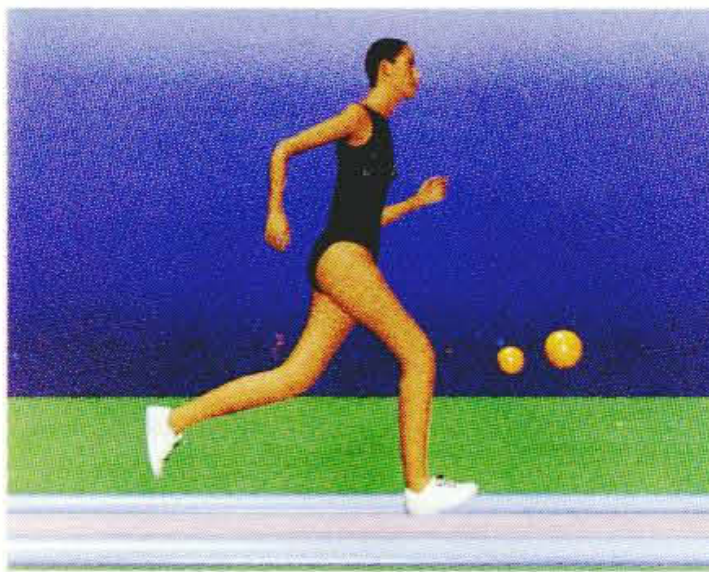


図2 人物の表現(「走る」)

動画を用いた視覚的プログラミング言語

例示とコンピュータアニメーションで、簡単にプログラムの作成ができる視覚的なプログラミング言語を開発した。

近年のVLSI技術の進歩によって、高性能な個人用計算機が広く普及するようになってきた。この計算機を自由に操作するためには、個人が自分自身でプログラムを作成する必要がある。しかし、従来のプログラミング言語は抽象的かつ複雑であり、習得が難しいという問題があった。

本視覚的プログラミング言語では、ユーザーが扱う対象をわかりやすい図形や画像(アイコン)として表示する。ユーザーはそれらのアイコンに対して具体的な操作例を与えると、その例に対応するプログラムが自動的に生成される。この例示によるプログラミングによって、従来の抽象的で複雑なプログラミング言語を習得しなくても簡単にプログラムを作成できる。また、必要に応じて新たな操作例を示すことによって、プログラムの機能を簡単に強化できる。

このようにして作成されたプログラムの実行過程は、コンピュータアニメーションによって画面上でリアルタイムに表示されるため、ユーザーは現在の実行状況を簡単に把握できる。

この言語は、OAをはじめ、CAI(Computer Aided Instruction)、ビジュアルシミュレーションなどの幅広い分野に適用できる。



視覚的プログラミング言語を用いたプログラミングのようす

研究

モジュール形知識処理システム構築ツール

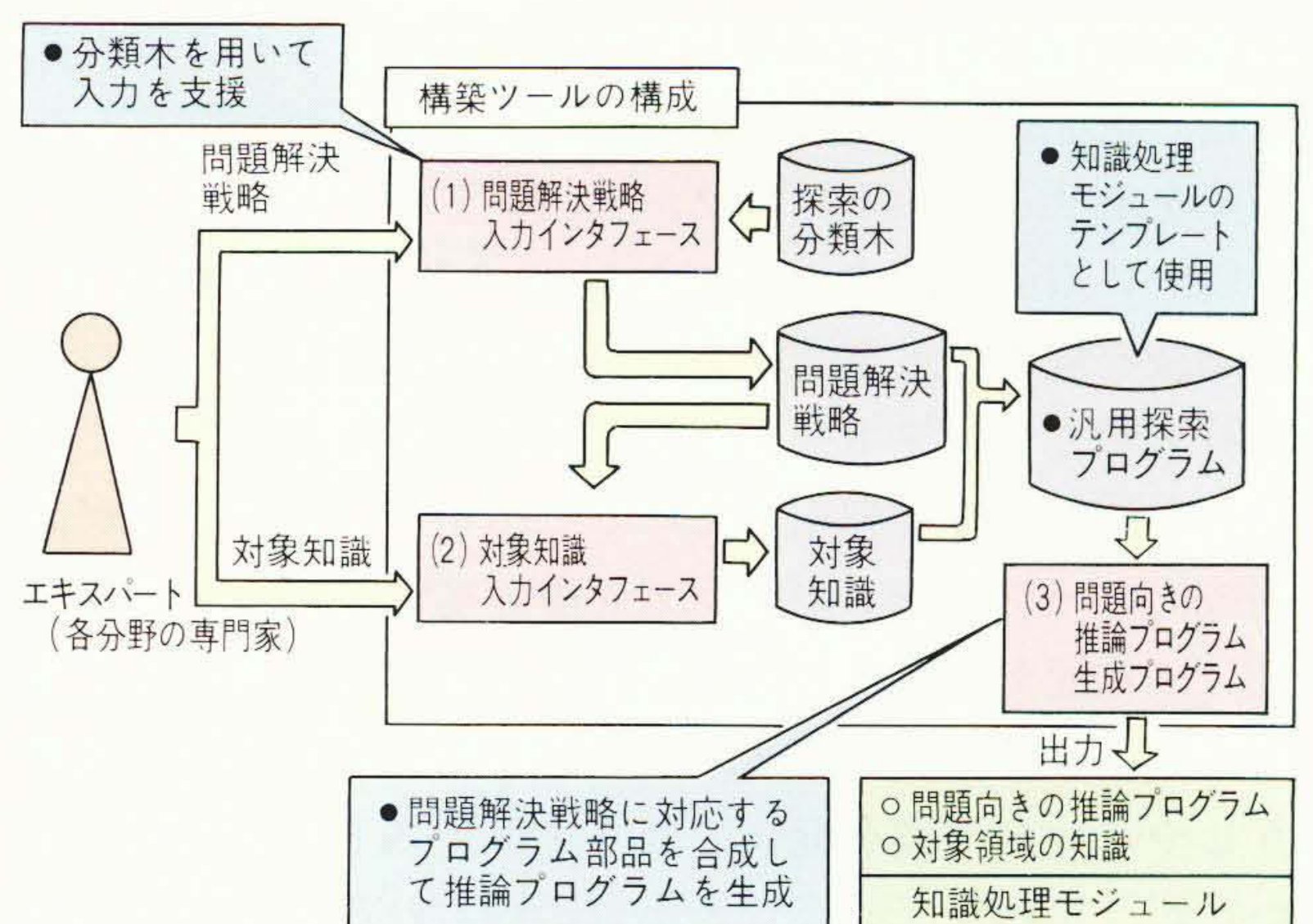
各分野の専門家自身が、実用的な知識処理システムを短時間で容易に構築できる知識処理システム構築ツールを開発した。

If-Thenルールを用いて知識処理システムを構築するツールによって、近年、数多くの実用的な知識処理システムが作られるようになった。しかし、現状のツールを用いて実用的な知識処理システムを構築するためには、ツールに知識を入力するときの表現方法や、入力したルールが実際にどのような順序で実行されるか、などについて詳しく知っている必要がある。このため、今までは知識処理の専門家の助けを借りずに実用的な知識処理システムを構築することは困難であった。

そこで、知識処理システムに不慣れな各分野の専門家自身でも実用的な知識処理システムを短時間で容易に構築できるツールを開発した。このツールは、知識処理システムを問題の解き方ごとに整理した知識処理モジュールの生成を支援する。すなわち、専門家が問題解決のために使っている知識を、自然な形でモデル化しコンピュータに入力できるインタフェースと、入力された知識か

ら問題向きの推論プログラムを持つ知識処理モジュールを自動的に生成する機能を備えている。

これによって、診断問題、設計問題、計画問題などを解決する知識処理システムを、従来よりも大幅に少ない工数で構築することができる。



知識処理システム構築ツールの構成

高温超電導体と酸化物磁性体の新規な近接効果

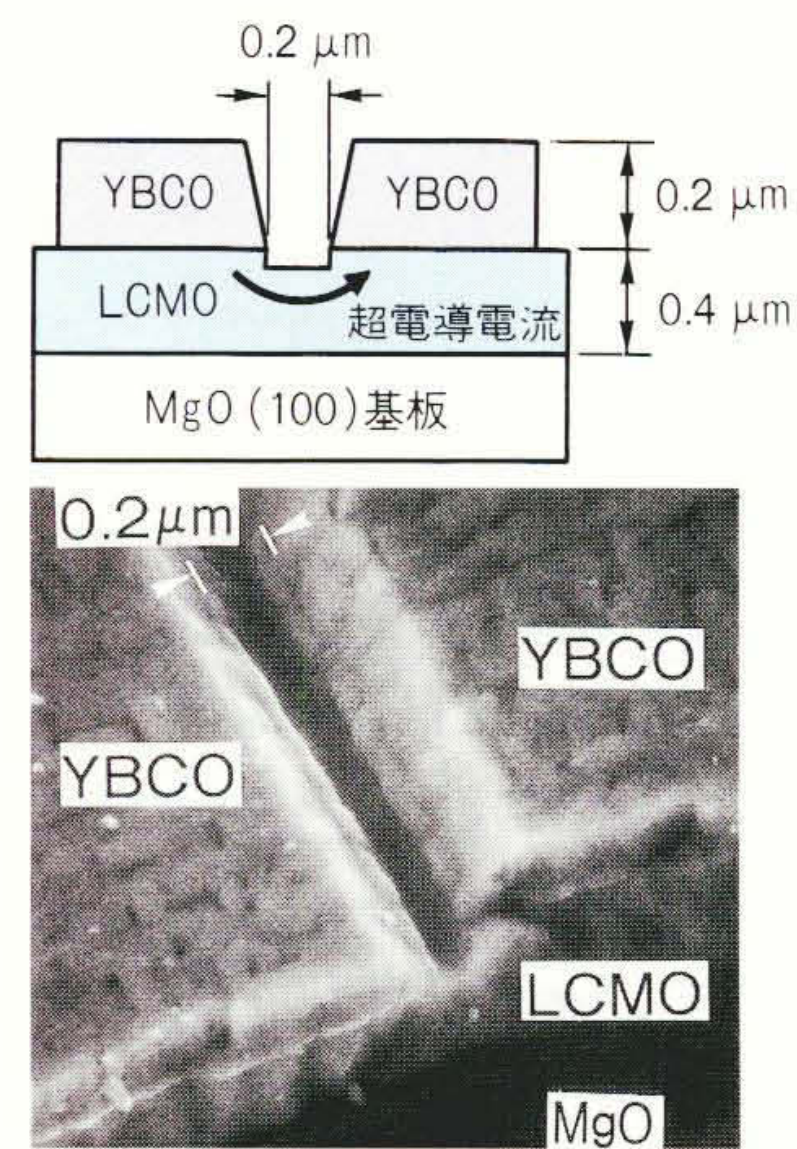
研究

Mn(マンガン)酸化物系の強磁性体中を超電導電流が流れるという、従来の理論では説明できない新規な近接効果を世界で初めて見いだした。

銅酸化物系の高温超電導の機構は、まだ十分解明されていないが、高温超電導は反強磁性絶縁体に導電キャリアをドーピングすることによって出現しており、超電導と磁性が深く関連していることが予想される。この二つの異なる物性間の相互作用を調べることは、高温超電導の機構解明への寄与だけでなく、その特徴を生かした新しいデバイスの開発の点からも興味深い。

銅酸化物系の高温超電導体 $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (以下、YBCOと略す。)と同じペロブスカイト形の結晶構造で格子の整合性が良く、磁性を強磁性から反強磁性まで変えられるMn系の酸化物磁性体 $\text{La}_{1-x}(\text{Ca}, \text{Sr})_x\text{MnO}_z$ (以下、LCMOまたはLSMOと略す。)に着目し、超電導体と磁性体を近接させたときの効果について調べた。その結果、LCMOあるいはLSMOをYBCOで挟んだ3層構造の接合で、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ の厚さの磁性層を介して超電導電流が流れるという現象を見いだした。さらに、図に示すように

超電導体を磁性体の上に配置したプレーナ形の接合でも磁性層を介して超電導電流が流れることを確認した。従来、磁性体中では超電導電流は流れないとされていたこと、および酸化物常電導体中に超電導電子対がしみ出して起こる近接効果の距離は数ナノメートルと予測されていたことに対し、今回の結果は従来の理論ではまったく説明できない現象である。本現象を解明し、高温超電導の機構解明や新機能デバイスの開発につなげていきたい。



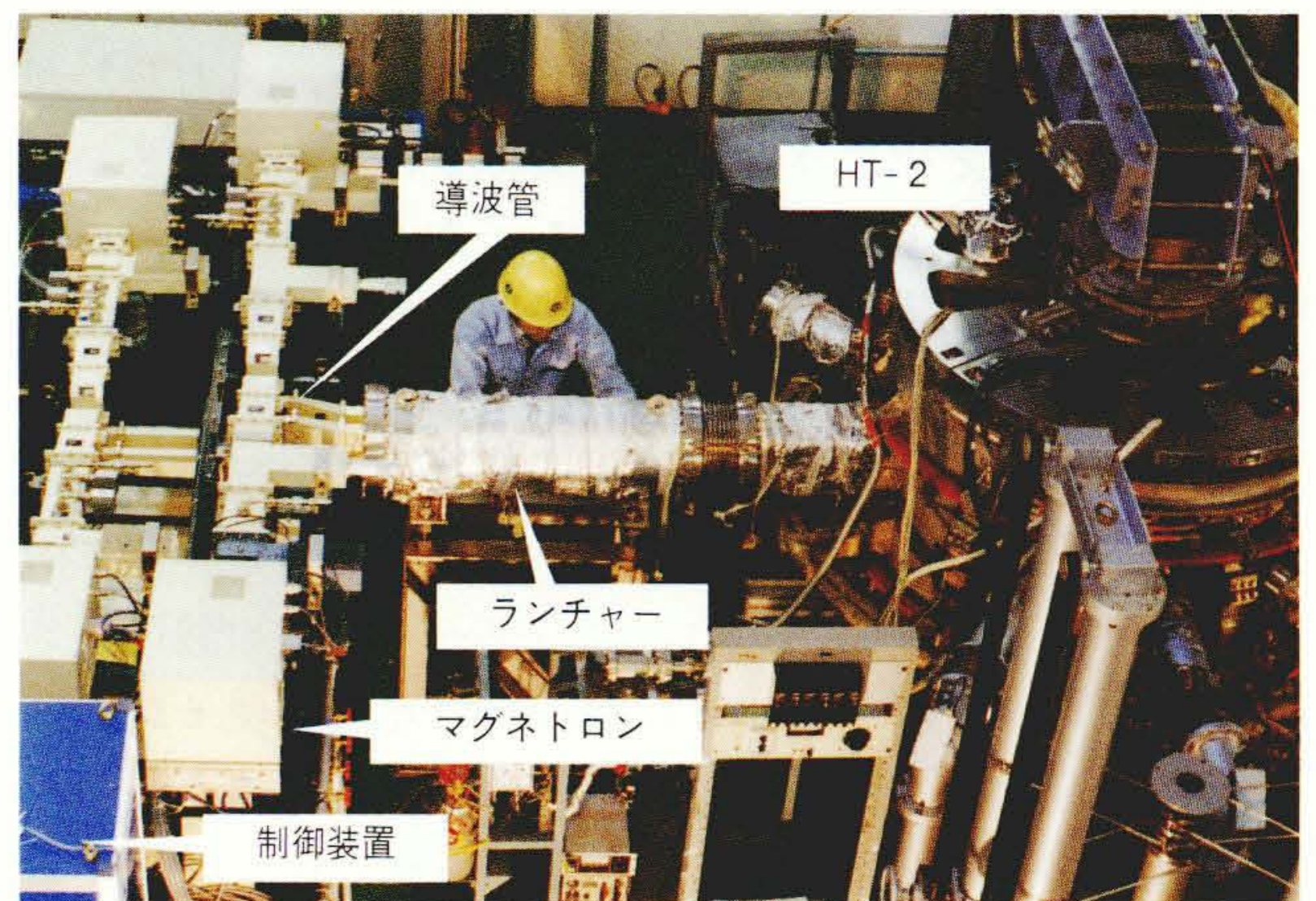
超電導体・磁性体のプレーナ形接合

新方式による核融合プラズマの電流駆動技術

核融合炉の定常運転化にはプラズマの電流駆動が重要である。高周波を従来とは異なった簡便な方式でプラズマに入射し、電流駆動できることを実証した。

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、電熱線を加熱するようにプラズマ中に電流を流す。これまでは簡単なトランスの原理に基づいて電流を流していた。しかしこの方法では、蛍光灯が実際は点滅しているように断続的にしか電流を流せない。トカマクが実用炉として成立するには連続的に電流を流す必要がある。トランス方式以外では、高周波を使用する電流駆動法が有力である。この方法は、波打ち際にサーフボードがうまく波に乗ったとき早く動くのと同じ原理を利用している。水がプラズマ、波が高周波、サーフボードがプラズマ中の電子である。電子が動けば電流が流れるので、電子がうまく波に乗れるように高周波をプラズマに入射すればよい。これまでは波乗りしやすい高周波を発生できるクライストロンを用いていたが、実用炉で必要な大出力が得られない。一方、マグネトロンやジャイロトロンは大出力が得られるが、波

乗りしやすい高周波を発生させられなかったと考えられていた。これに対し波乗りさせる方法を詳しく検討した結果、これまでと同じように波乗りさせるためには、いくつかの異なる周波数を持つ高周波を入射すればよいという原理を見いだした。この原理を実証するため図に示すマグネトロンを使用した電流駆動装置を開発して、日立トカマク (HT-2) で実験し、従来と同じように電流駆動ができることを示した。



日立トカマク (HT-2) に接続した電流駆動装置

宇宙ロボットの遠隔操作支援

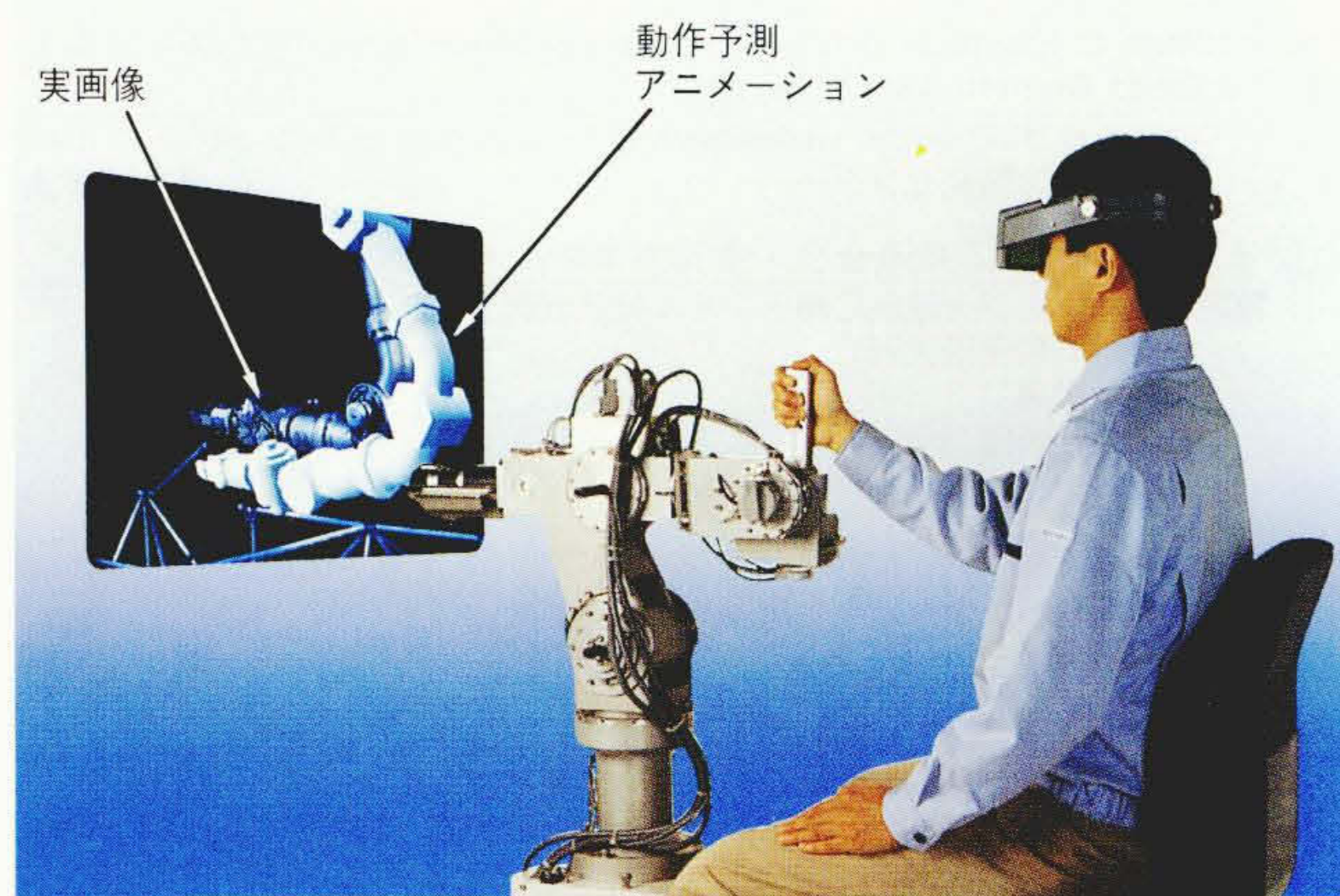
宇宙から送られてくる時間遅れのある宇宙ロボット映像に、遅れのないロボットアニメーションを重ねて表示し、動作を予測できるようにして地上からの操縦性を高めた。

人類の新しい活動の場として期待される宇宙の環境は放射線、真空、無重力など未知で危険に満ちている。このため、遠隔操作宇宙ロボットによる開拓がまず必要となる。

ロボットを地上から操縦する場合はテレビジョン映像を見て操縦を行う。しかし、軌道上の宇宙ロボットと地上との間の通信に起因する信号の伝達遅れ(0.3～2秒程度)があるため、テレビジョン映像の応答性が悪く、操縦がたいへん困難である。そこで、この時間遅れを補償するリアルタイムアニメーションを用いた映像による操縦支援技術を開発した。

この技術は、地上のマニピュレータの操縦装置からの動作司令情報によってロボットのアニメーションを作るので、信号の遅れはほとんどない。したがって、ロボットから送られてくる実画像に先行して表示でき、操縦者にはまったく遅れがないように見える。このため、操縦者

はアニメーションを見ることによって実画像の動作を予測できるので、遅れを気にせず操縦することができる。また、アニメーションも実画像も両眼立体視で表現されているので、作業に必要な遠近感覚が得られ、操作しやすい。



映像による操縦支援機能

コンセプティブ デザイン システム

新製品開発時の試行錯誤を伴う創造的作業に対して、製品イメージの高速な作成と評価の手段、部分的作業の自動化ツールなどを提供するCADシステムを開発した。

消費者の嗜好(し)好が多様化する中で、個性的で確かなものの作りをすばやく行うためのツールが求められている。コンセプティブデザインは、機器レイアウトや意匠の決定など、設計上流での試行錯誤的な作業を、対話的に進めるためのシステムである。

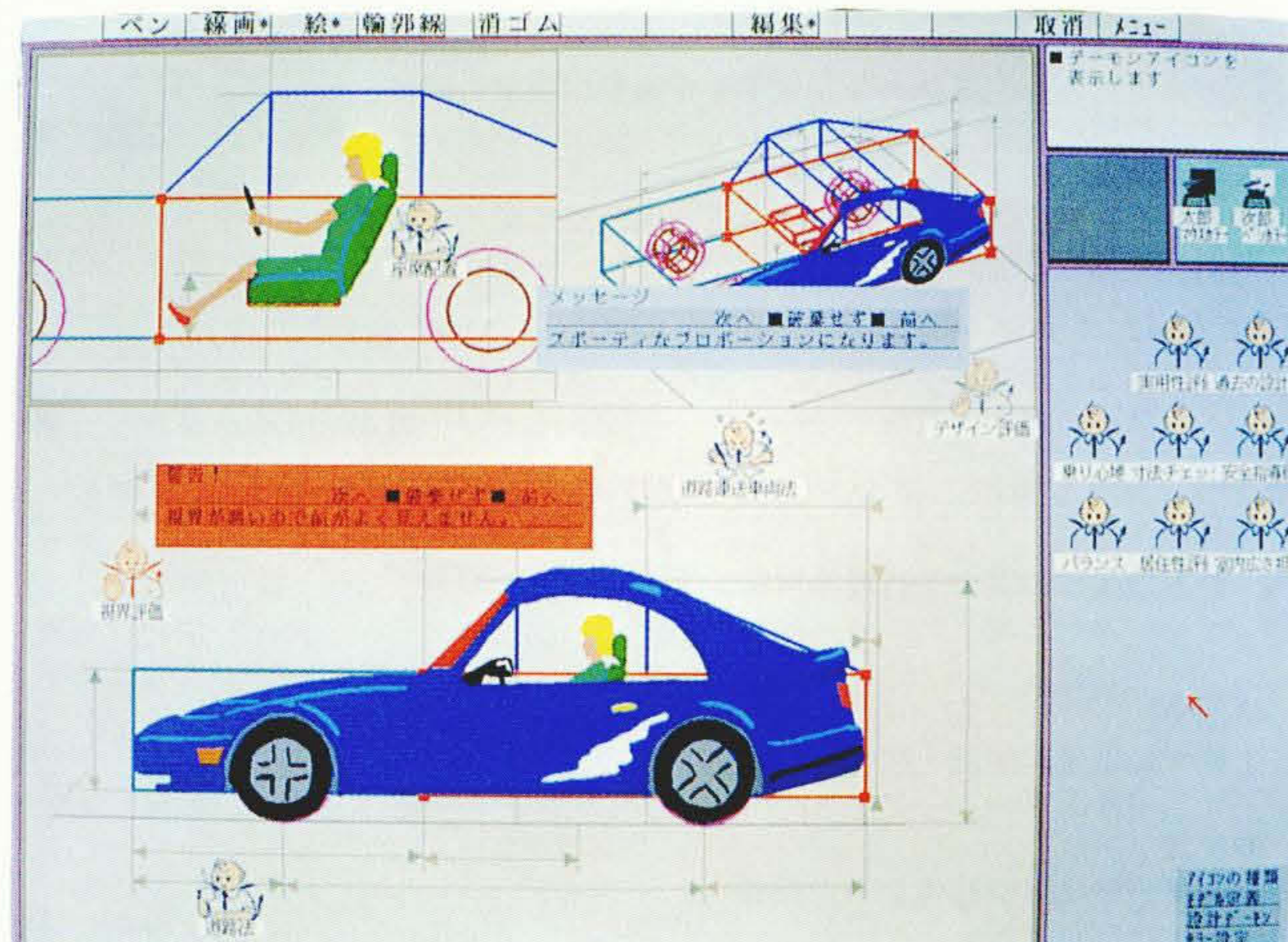
本システムの特徴は次のとおりである。

- (1) 幾何学的な拘束関係を伴う製品骨格モデルと、フリーハンドスケッチをリンクした製品イメージの表現手段(三次元アイデアスケッチ)により、早い時点で性能と美観の両面からの検討が可能になる。
- (2) 設計知識に基づいて自律・並列的に動作する作業自動化エージェント(設計デーモン)が、部分的なエンジニアリング作業を代行することにより、人間と計算機の協調作業が可能になる。
- (3) 弾性理論に基づいた曲面設計手段(大域的曲面生成)により、複雑な輪郭線に一度に面を貼(は)ることができる。

る。さらに、押す、引くなどの変形を施すことが可能になる。

(4) 約1万6,000本のピンの高低で形状を造形する装置(ピンマトリックスディスプレイ)により、設計された曲面データに直接触れられる。

本システムにより、計画・詳細設計のための初期データを効率よく、かつ正確に作成できる。今後、既存のCADとの関係により、幅広い製品分野での適用を図る。



三次元アイデアスケッチと設計デーモンの画面表示