

AMMC

# マイクロマシン

1994・7 No. 8

- マイクロマシンは医学を変えるか
- 電子技術総合研究所におけるマイクロマシン技術の研究
- (財)マイクロマシンセンターの平成5年度事業活動
- 技術の系譜 (賛助会員の紹介)
  - ・日本電装株式会社 基礎研究所
  - ・株式会社日立製作所 機械研究所
- 海外だより
- 入門講座 マイクロマシン技術
- トピックス
- 一般賛助会員への入会のおすすめ
- イベントのお知らせ

財団法人 マイクロマシンセンター

# マイクロマシンは医学を変えるか

国立大阪病院長・東京大学名誉教授  
古川 俊之

## 医学はマイクロ世界の探検者

微生物の発見は科学思想史に重大な影響を及ぼし、科学のあらゆる領域でマイクロ世界への憧れが高まりました。もちろん分子や原子の存在は思弁的に推定されていましたが、顕微鏡の下で生命体を観察したときの印象には及びません。

今に至るも生物はマイクロ世界の主要な研究対象であります。その重要性を示唆する例を挙げてみましょう。まずは視覚細胞です。視覚細胞は光化学反応物質によって光エネルギーを電位に変換する化学センサーです。視細胞は細長い形で網膜の外側から外節、内節、核部、終足の4部分に分れています。外節は細胞膜が折り畳まれた多重層構造で、そこに感光性の色素が詰まっています。これをエンジニアの眼で素直に見ると、まるで光電子増倍装置です。自然は軍事技術のマイクロ・チャンネル暗視装置と同じ仕掛けを創造したのです。

第二の例は生体の化学的通信技術です。神経の電気信号系は進化の過程で出た新技術で、生物の通信と制御は元来化学物質を介して行われてきました。神経伝達は有線通信と同じく1対1に対応しています。ところが化学物質による通信は、無線通信のように受信側の細胞にレセプターという同調回路相当の装置があり、特定の細胞に向けて送られた通信を正しく検出します。送信路は全身を流れる血液で、電磁波が空間を伝播するように雑多な信号が入り混じっています。例えば、生体細胞は必要な数の同調回路を持ったマイクロマシンです。化学物質による通信は、多細胞生物の体内だけではなく、仲間の認識や通信に使われており、昆虫のフェロモン物質が有名ですが、哺乳類もナワバリ宣言のための臭い付け行動から、交尾期を告げる分泌物まで、さまざまな通信に使っています。将来のマイクロマシン群の通信制御も、まず個体にひとつずつの細胞に相当する自律性を与えるロボット技術に加え、化学物質とレセプターの関係に似た新しい通信システムの開発が必要となるはずで

## 医学とマイクロ・マシンの関わり

日常お馴染みの注射針はステンレスの細管で、ミリマシンのサイズではありますが、機械式の腕

時計の軸受穴より細い加工技術がなければ作れません。注射針の製造は早くから工業化されましたが、初めは金属の加工は手間ばかりかかって大変で、注射中に針が折れるような事故もありました。その後金属管の連続延伸技術が開発されましたが、これは高度な精密加工技術で、ダイスはダイヤモンドで寿命も短いので、注射針の製造原価は高かったのです。そのため先端を研磨して何回も使用しました。最近になって工作精度もコストも急速に改良され、注射器も注射針もディスプレイが当然になりました。

もうひとつの医療用のミリマシンは歯科治療機械です。歯科治療は対象が小さな歯牙なので、器具も小さくならざるを得ません。切削装置のドリルはまさしくミリサイズに、サブミリ加工で切削用の鑢目を刻んだものです。歯石や齲歯の腐食部分の除去に使うスケーラー、歯髄や軟部組織を処理するエクスカベーターと、すべての道具もサブミリ加工製品です。そして切削用タービンは、駆動装置そのものが腕時計なみの精密なサブミリマシンです。

## マイクロマシンは医学を変えるか

医学・医療の世界はマイクロ世界の探検者が群がる領域です。またマイクロとまでは行かなくても、ミリサイズのマシンは日常の医療でお馴染みです。そのため工業技術院の大規模プロジェクトのマイクロマシンの説明資料は、ほとんど医学でのミリマシン応用を外挿した未来像です。それではこの次は、医学がマイクロマシン技術から恩恵を受ける番ではないのでしょうか。単純な外挿的予測でも、半導体マイクロマシン共鳴装置で音の周波数を検出すれば、たちどころに人工内耳の周波数分析用の素子を減らせます。注射針をLIGA加工で作れば、無痛採血や無痛注射が可能になります。

医用工学の研究者としての率直な提言です。純工学的な立場のマイクロマシン研究者に、現実の医療の現場で、ミリサイズからサブミリサイズのマシンがいかに力闘しているか、あるいはいかにムダな原始的環境にあるか、などの実情を見聞して頂きたいと思います。

# 電子技術総合研究所におけるマイクロマシン技術の研究

電子技術総合研究所 知能システム部 対話システム研究室  
室長 平井 成興

## あ ら ま し

電子技術総合研究所では、マイクロマシン技術に関連して、産業科学技術研究開発プロジェクト「発電施設用高機能メンテナンス技術開発評価」のなかで、「システム化技術の評価」と「3次元微細加工技術の評価」を担当しています。

システム化技術の評価では、複数のマイクロロボットを、分散的かつ並列的に活動させることで、総体として発電施設内の狭隘な環境でのメンテナンス作業を実施するという群知能ロボットシステムに関する研究を進めています。すなわち、マイクロマシンが小さいという特徴から、1台の大きなロボットに比べ、狭隘な環境に多数入り込めること、操作対象物に対し、多様な配置をとれることなどのメリットが得られ、これにより1台あたりの力や能力の限界も補えると考えられるからです。技術要素として、1) 協調作業技術、2) 作業協調法の学習技術、3) マルチテレロボット技術、4) 分散センシング技術、の4テーマについて重点的に研究を進めています。

3次元微細加工技術の評価では、マイクロマシンを構成するための微小部品の作成に、微小電子銃から発生する高輝度集束電子ビームを用いた3次元微細加工法に関する技術の研究を進めています。

以下に、それぞれの最近の研究成果を紹介します。

## 群知能ロボットシステム

図1は、我々が目指している群知能ロボットによる作業実行のイメージです。

協調作業技術の研究では、物体操作を複数のロボットで協調して行う手法の研究を進めています。このように複数のロボットが協調して物体を操作しようとする場合、個々のロボットを単純な位置制御や軌道制御だけで関係させるのは困難であることが予測されます。それは、わずかな位置のずれでも力でみれば不連続を生じてしまうからです。

これを避けるためには、力制御ができる腕が必要となります。図2は、そのために試作された2自由度の力制御可能な小型マニピュレータです。現在は、このような高機能の腕を搭載した移動型

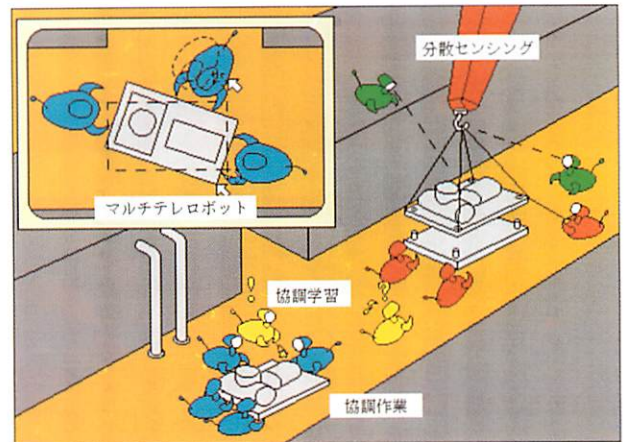


図1 群知能ロボットシステムのイメージ

小型ロボットによる協調作業テストベッド作りを進めています。

作業協調法の学習技術の研究では、協調作業を行っている状況を視覚的に観察して、協調的行動を学習する機能の研究を行っています。視覚的観察に基づくことのメリットは、ロボットの間で特別な通信手段を必要とせず、協調することができることです。これは、ロボットの台数が増えるほど通信の複雑さが指数的に増していくことを考えると重要なことです。現在は、視覚的に観察される基本パターンの抽出とその視覚処理アルゴリズムの製作を進めています。

マルチテレロボットの研究では、ロボット群を遠隔操作する場合に必要な様々な技術の研究を進めています。従来の遠隔操作ロボットとの違いは、作業が分散かつ並列的に進行している点で

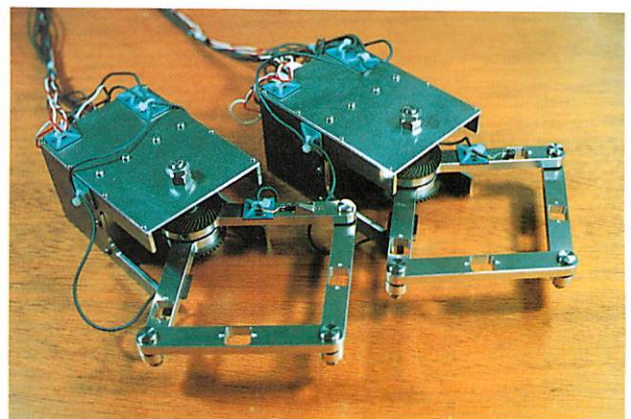


図2 力制御可能な小型マニピュレータ試作機

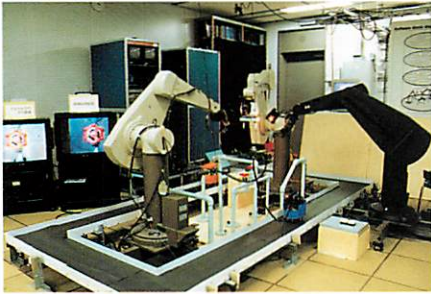


図3 分散センシング技術テストベッド

す。一人の操作者が複数の事象を監視し、かつ複数の事象を操作できるような仕組みを作る必要があります。現在は、分散並列作業の監視を知的に支援する機能の構築を進めています。

分散センシングの研究では、複数のロボットから得られる情報を統合して作業に必要な情報を得る手法の研究を行っています。これは、まさにマイクロロボットの小ささと複数ロボットシステムのメリットを活用したものと言えますが、多数の情報を効果的に統合するためには、ロボットの配置や役割分担を計画する機能が必要となります。現在は、契約ネットプロトコルという概念に基づいたセンシング計画プログラムと実行システムの構築を進めています。図3は試作されたテストベッドの写真です。また、部分的な情報をつなぎ合わせて全体像を精度良く得るための手法の研究も進めています。

### 高輝度微小電子銃

3次元微細加工の研究では、マイクロマシンを構成する極微小な部品を加工するための極微小電

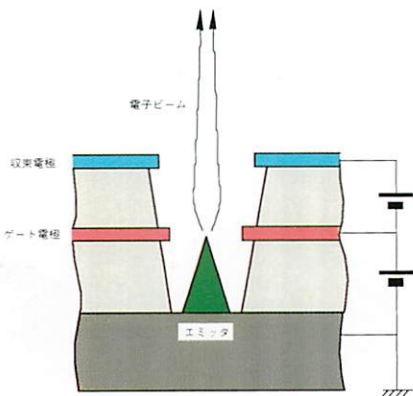
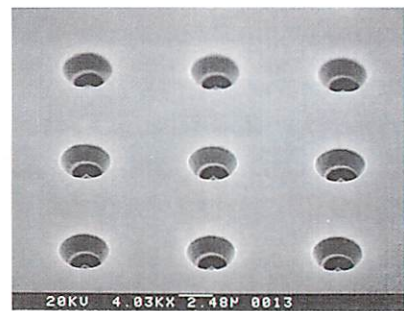


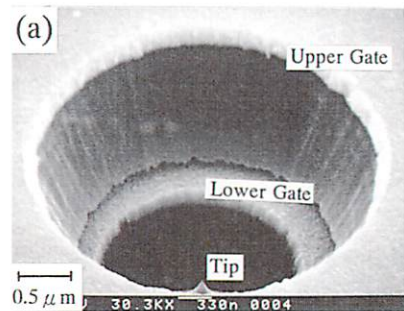
図4 微小電子銃の原理構造

子銃の研究を進めています。具体的には、冷電子源（フィールドエミッタ）と制御電極を一体化した極微小電子銃アレイの製作を進めています。図4に微小電子銃の原理を示します。ゲート電極に100V程度の電圧を印加してエミッタから電子を放出させ、収束電極に印加する電圧でビームの収束を制御します。この仕組みを、シリコン基板のエッチング過程によりアレイ状に多数作成します。

これは、微小な電子銃を用いてある程度広い面の加工も容易にできるようにするためです。図5は、試作されたアレイの写真です。これまでの予備実験では、かなり良好なビーム発生が確認されています。



Emitter Array



Emitter



Top of emitter

図5 試作された微小電子銃アレイ

# (財) マイクロマシンセンターの平成5年度事業活動

平成5年度は、体制基礎整備・強化に努める一方、内外の動向を踏まえて通商産業省工業技術院産業科学技術研究開発制度（産技プロ）「マイクロマシン技術の研究開発」の新エネルギー・産業技術総合開発機構からの受託研究を主体に、調査研究事業を産官学共同研究のもとに進めるとともに、マイクロマシンに関する情報の収集及び提供、内外関係機関との交流促進、広報普及事業等の諸事業を実施しました。

また、センターの事業基盤の一層の確立と事業の充実・拡充を図るため、賛助会員の拡大に努め、平成5年4月に設立されましたマイクロマシン連合に参画し、マイクロマシン関連団体の連携強化を図りました。

## 1. マイクロマシンに関する調査及び研究事業

### ① 工業技術院産技プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」の研究開発（新エネルギー・産業技術総合開発機構からの受託研究）

発電プラント等の複雑な機器及び生体内の狭小部において移動し、自律的に高度な作業を行う微小機能要素から構成される機械（マイクロマシン）システムを実現するための技術を確立することを最終目標とします。

本研究開発は3年目に入り、前年度までに実施したマイクロマシンに関する微小な機能要素技術、エネルギー供給技術、システム制御技術等の調査研究をもとに、以下の研究開発を行いました。

#### [産業用]

発電プラント等の複雑な機器の狭小部において移動し、自律的に高度な作業を行う微小機能要素からなる機械（マイクロマシン）システムを実現するための技術を確立することを最終目標として、本年度は、

イ. 発電施設用高機能メンテナンスシステムを構成するマイクロカプセル、マザーマシン、無索検査モジュール、有索作業モジュールに関する各要素技術について、試作と作動実験を含む研

究開発を行いました。

ロ. 発電施設用高機能メンテナンスシステムの、トータルシステムに関する要求条件を明確化し、システム構築に必要な技術の研究開発動向を調査するとともに、ユーザーニーズを踏まえたマイクロマシンシステムの方向性を検討しました。

#### [医療用、基盤]

マイクロマシンシステムを構築するために必要とされる要素技術のうち、マイクロアクチュエータ技術及びマイクロマシン基盤技術について研究開発を行いました。

なお、一部専用機器装置の導入が年度内に完了しないため、次年度に繰り越しました。

イ. 「マイクロアクチュエータの研究」では、a) SMAアクチュエータの微小化に適した形状記憶処理法、加工法、組立法及び駆動制御法の基礎的な実験、b) 関節を感熱性高分子やバイモルフで構成させた屈伸型アクチュエータのシュミレーションによる構造の最適化、並びに駆動部一体型流体駆動アクチュエータの構成要素の研究、c) 積層型PZTに変位拡大機構と制御回路を集積して、低電圧で作動し、大変位出力が得られる集積マイクロアクチュエータの研究に着手しました。

ロ. 「マイクロマシン基盤技術の研究」では、a) 体内診断・治療システムに必要な要素技術についてのトータルシステムへの展開に関する基礎検討、b) マイクロ触覚センシングに関する技術調査並びに一部試作・実験評価等を含む基礎検討、c) レーザ応用診断・治療技術に関する技術調査並びに一部試作・実験評価等を含む基礎検討、d) 血圧・血流センシング技術の技術調査並びに一部試作実験評価等を含む基礎検討を行いました。

### ② マイクロマシン用材料に関する研究開発（機械技術研究所との共同研究）

材料技術はマイクロマシンの基礎技術として極めて重要であることから、工業技術院機械技術研究所との共同研究により「マイクロマシン用材料

に関する研究」を実施しました。

i) 微小機能要素の作動環境に関する研究

### ③ マイクロマシンの設計・製作基盤技術に関する研究

マイクロマシンを設計・製作するための基盤技術を確立するため、工業技術院機械技術研究所と設計・基盤技術の共同研究を実施しました。

### ④ マイクロマシンシステムに関する基礎技術の調査研究（日本小型自動車振興会からの補助事業）

多様なマイクロマシンシステムの構築に必要なマイクロ理工学（マイクロ環境における材料工学、機械力学、トライボロジ）設計技術について、技術シーズを検索し、産学共同研究のもとに実施しました。（8テーマ）

### ⑤ マイクロマシン技術の経済効果（技術予測）

に関する調査研究（（社）日本機械工業連合会からの委託調査研究）

21世紀におけるマイクロマシンの実用化技術とその効果を予測するために、次の2項目の調査研究を実施しましたが、とりまとめが次年度に繰り越しとなりました。

i) マイクロマシンに関する実用化技術予測の調査

ii) マイクロマシン導入による産業基盤技術変革予測の調査研究

### ⑥ マイクロマシン技術国内外研究開発動向調査（（社）日本機械工業連合会からの委託調査研究）

マイクロマシン技術の研究開発を効率的に推進するために国内外の大学、公的研究機関及び民間企業における研究開発の現状の調査を実施しました。

### ⑦ マイクロマシンデータベースの構築

上記⑥で実施したデータをもとに、研究開発マップ、応用マップ及び技術データマップの作成に着手しました。

## 2. マイクロマシンに関する情報の収集及び提供事業

イ. マイクロマシンに関する情報並びに資料として定期刊行物、図書、その他の資料を国内外の大学、産業界、公的機関等から収集し、センターで実施した調査資料等とともに資料室に整

備保管して関係者への閲覧に供しました。（平成5年度収集図書61冊）

ロ. これらの収集、整備した資料を主体に「マイクロマシンインデックス」を定期的に発行し、関係者に提供配布しました。（平成5年度8冊発行）

ハ. マイクロマシン技術情報データベースの構築調査（（財）データベース振興センター委託事業）

i) データベースに蓄積すべき情報の種類

ii) データベースの利用者が提供を期待する情報形態

iii) 上記を満足するシステム形態

iv) 上記システム実施に要する経済的諸要素の予測を調査検討。

## 3. マイクロマシンに関する内外関係機関との交流及び協力事業

産官学交流の推進をはじめ、内外関係機関との提携、交流及び協力事業を実施しました。

① マイクロマシン技術に関する研究開発への助成  
産学交流を通じてマイクロマシン技術の一層の充実を図るため次により研究助成を実施しました。

イ. 研究助成の対象

マイクロマシンの基盤技術、機能要素技術、システム化技術に関する基礎的研究。

ロ. 研究期間

平成6年3月下旬～平成7年3月31日（テーマA）

若しくは、平成6年3月下旬～平成8年3月31日（テーマB）

ハ. 課題決定及び助成金交付

「マイクロアクチュエータ用形状記憶合金薄膜に関する基礎研究」他7テーマ助成金の交付：平成6年3月7日

② マイクロマシンに関する国際交流事業

イ. ミッション等の受け入れ

カナダ、アメリカ、ドイツ、他5ヶ国から来日、産技プロ「マイクロマシン技術の研究開発」、センターの事業活動等について意見交換。

ロ. ミッションの派遣（1チーム5名）

平成5年6月13日～6月24日にドイツで開催されたIARPワークショップへの参加及びドイツ並びにスイスの大学、研究所を訪問し、マイクロマシンの研究開発動向等について意見交換。

③ マイクロマシン技術に関するシンポジウムの開催

第4回国際シンポジウム（平成5年10月13日～15日/於名古屋）を名古屋市、財団法人中部産業活性化センター、マイクロマシン連合等との共催のもとで開催。

④ マイクロマシン技術に関するワークショップの開催

マイクロマシンテクノロジー及びシステムに関するIARPワークショップを平成5年10月26日～29日、13ヶ国131人の参加のもとに東京で開催。

⑤ MEMS-94への協力・参加

平成6年1月神奈川県大磯町で開催されたMEMS-94 (Micro Electro Mechanical Systems) への協力・参加。

#### 4. マイクロマシンに関する標準化の推進 （（社）日本機械工業連合会からの委託調査研究）

① マイクロマシン技術の研究開発及び普及に寄与する標準化項目、専門用語及び測定法について調査。専門用語については、前年度に収集した約3000語の分類・関連度等の分析を行いました。

イ. 標準化事業の進め方の検討

ロ. マイクロマシン技術関連用語の抽出・分析

#### 5. マイクロマシンに関する普及啓発事業

広報機関誌の発行・配布、セミナー・展示会等を開催し、マイクロマシンに関する普及、啓発を行いました。

① 広報誌の発行及び配布

マイクロマシンセンターの事業活動に関し、広い分野での理解と認識を得るため定期的に広報誌を発行し、平成5年度は、和文（第4号～6号）及び英文（第2号～6号）を関係者に配布して広報活動を行いました。

② 平成5年度産業科学技術研究開発プロジェクトの成果発表会の開催

当センターが新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より受託した研究開発プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」の成果発表会を平成5年11月24日（水）に銀座ガスホールで開催、参加人数264名。

③ マイクロマシンに関するシンポジウムの開催  
i) 第5回マイクロマシンシンポジウム

平成5年4月20日（火）～21日（水）、科学技術館サイエンスホール東京：北の丸公園において論文発表27テーマ、参加人員501名で開催。

④ マイクロマシンに関する展示会の開催

第4回産業用マイクロマシン展

平成5年4月20日（火）～22日（木）、科学技術館において3529名の参加を得て開催。

⑤ イブニングセミナー開催

マイクロマシン技術に関する調査研究の成果等の普及を図るために、月1回程度の頻度でイブニングセミナーを開催。（毎月第3水曜日、平成5年度7回開催）

#### 6. マイクロマシン連合へ参画

各学術領域毎に異なっている各団体の特徴と機能を十分に発揮し、併せてマイクロマシン関連情報の交流及び研究協力の促進を図ることを目的に、平成5年4月に発足したマイクロマシン連合へ参画するとともに、その事務局をセンター内に設置。（現在参加32機関）

# 日本電装株式会社 基礎研究所

## はじめに

今回は日本電装（株）基礎研究所を訪問しました。基礎研究所は本社のある愛知県刈谷市の北北東約16キロの日進町に位置し、「夢を育てるあくなき挑戦」をモットーに330名の所員が半導体プロセス・デバイス技術、ロボティクス、バイオ技術等の先行研究を行っています。マイクロマシン技術もそのような研究の1つで、研究所設立当初より全社的見地に立って進められています。

## マイクロマシンで何ができるか

マイクロマシンというと超小型移動メカを想像しがちですが、日本電装は現状のあらゆる機械の超小型化こそがマイクロマシンではないか、と考えています。身の回りのあらゆるものがマイクロマシン化の対象になります。例えば、自動車部品だけを考えても各種アクチュエータ等超小型化の余地は数えきれないほどあり、それによって得られるメリットは軽量化、冗長性、インテリジェント化等いちいち述べるまでもないほど明らかです。このような期待を持って日本電装はマイクロマシンという機械工学のフロンティアに取り組んでいます。

## マイクロカー

精密機械加工技術と半導体プロセス技術を用いて作った日本電装のマイクロカーが一昨年来新聞、テレビ等のマスコミにのり、マイクロマシン技術の一端として紹介され、話題を呼びました。実物の1000分の1のマイクロカーの製作を通じて、現状の微細加工技術の限界と将来の課題を明らかにすることが目的でしたが、予想以上の反響に日本電装自体が驚かされたそうです。しかし、残念ながらこの第一号はいわゆるソリッドボディなため、



写真-1 マイクロカーのシェルボディ

駆動機構を組み込んで走らせることはできませんでした。日本電装が何とかこのマイクロカーを走らせたい、という思いで取り組んできた成果をご紹介します。

その最新版は直径1mmの超小型モータに25ミクロンの銅線で電力が供給され、電圧3V、電流20mAで毎秒1cm程のスピードで滑らかに走ります。ボディを写真-1に示すようなシェル構造にすることで、軽量化と駆動機構の組み込みを可能にしました。このボディはニッケルの無電解メッキと犠牲層エッチングを用いて作られており、表面には更に金メッキが施されています。厚みは30ミクロンですが、手で摘むことができるほど十分な強度があり、3次元構造



基礎研究所の外観

を製作するプロセスとして優れており、このプロセス研究を主体に進めています。

## 可変焦点ミラー

もう1つの研究開発事例として、可変焦点ミラーとレンズを紹介します。

これは厚み約10ミクロンのシリコンダイアフラムを静電気力によりたわませ、そのたわんだ面を凹面鏡として用いるものです。図-1にその断面構造を示します。均一な厚みのダイアフラムの場合には、変形形状が完全な放物面にならず収差が生じます。この対策として通常の半導体プロセスで使用されるフォトリソグラフィ技術に加えて、分布露光という手法を開発しました。この手法は、フォトレジストを露光する光の強度に加工形状に応じた適切な分布を与えるものです。このレジストを現像して3次元形状を形成し、更にこのレジストをマスクにしてドライエッチングを行い、最終的に所望の膜厚分布を持つダイアフラムを形成します。

現状1kV近い駆動電圧の低減、短焦点距離化等が今後の技術課題です。

また、ガラス基板に膜厚分布をもたせて、流体圧を利用して、焦点距離を可変にするレンズも同様に研究を進めており、可変焦点化が可能になっています。

## まとめ

技術課題抽出を目的としたマイクロカーの試作と応用を目指した研究の2つを紹介しましたが、今後更に微細加工技術やデバイス研究に加え、マイクロ理工学のような基礎研究も推進し、マイクロマシンという機械工学の広大なフロンティアを開拓していきたいとのことでした。

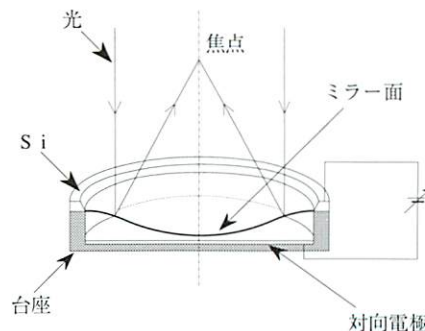
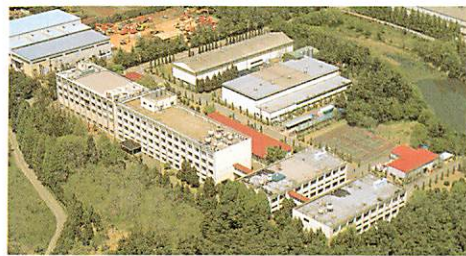


図-1 可変焦点ミラーの断面構造



# 株式会社 日立製作所 機械研究所



機械研究所の全景

## はじめに

今日は、茨城県土浦市にある(株)日立製作所の機械研究所を訪ねました。同社は総合電機メーカーとして、日本を代表する企業の一つです。

説明によれば、同社の従業員数は約8万人ですが、関連会社を含めた日立グループ全体でみると、従業員数は33万人に及びます。同社では製品分野ごとの事業部とは独立して本社の下に9つの研究所を持ち、これらの研究所だけで4400人の研究人員を抱えています。

1910年に創業された当時から、安易に外部の技術を導入せず、自主開発技術を大切にするという姿勢を貫いて研究と開発に力を注いできました。社員に学位取得者が多いことでも知られており、同社だけで935人、日立グループ全体で約1200人の博士がいます。それも多くは入社後の仕事で得たもので、研究所勤務者以外にも学位取得者は多いそうです。このことから、同社の技術水準の高さ、教育に対する姿勢がうかがえます。

## 機械研究所の役割

機械研究所は1966年、東京都亀有に設立された後、1974年に、ここ土浦市に移転してきました。現在は土浦の本部のほかに、日立(茨城県)、清水(静岡県)、下松(山口県)に分室があり、合計約700人の従業員がいます。

この研究所が手がけてきた主な製品は、発電設備や新幹線車両といった大型の機械から、冷凍空調機器をはじめとする熱機器、磁気ディスク装置や紙幣ディスプレイのようなメカトロニクス機器、さらには発熱や応力の問題が重要なコンピュータや半導体素子など、きわめて多岐にわたっています。対象製品の大小に関わらず、材料強度、信頼性、熱、流体といった機械工学の基本技術がこれらの製品の随所に生かされています。ここでは機械関連技術のセンタとして、基盤技術の高度化と総合力の発揮によって事業への貢献が図られています。

その一方で、技術者の視点だけでなく顧客の視点から出発した新しい発想も重要視されつつあります。変革の時代に対応して、研究所には新しい

製品コンセプトの創出が益々期待されるからです。伝統ある機械工学技術の継承と高度化と並行して、「変革」をスローガンとした組織改革、意識改革がまさに進められようとしています。その一環として、情報インフラの整備などを通じて従業員一人一人の時間を大切にするという運動が展開されていました。

## マイクロマシン技術への取組み

同社のマイクロマシンへの取り組みは1983年からで、他社や大学に比べても早いものがあります。中央研究所において、シリコン単結晶の3次元加工技術が研究され、細胞融合装置、超音波顕微鏡レンズ、加速度センサ、AFMプローブなど、シリコン単結晶を機械部品やセンサの一部として大胆に使う試みが研究されてきました。一方、機械研究所でもこれと並行して、イオンビーム加工技術、微細な部品の高精度接合技術、マイクロマニピュレーション技術など、マイクロマシンに関わる要素技術が研究されてきました。通産省のマイクロマシンプロジェクトの発足を契機に、これら二つの研究グループが機械研究所に統合され、現在に至っています。

現在は、主に加工・接合技術を中心にマイクロマシニングの研究に注力しています。その応用例として、マイクロマシン展に昨年出展した加速度センサ、今年出展したマイクロポンプ、今年1月のMEMS-94で発表した静電気力で駆動するマイクロバルブなどの試作品を見せていただきました。

情報機器、分析装置、半導体プロセス装置など、さまざまなニーズに関わるメカトロニクスの分野では、光、電気、流体などを利用したマイクロシステムがいろいろな形で徐々に浸透していくだろう、との展望を研究者から聞かせて貰いました。マイクロマシニング技術を応用した機器やシステムが身の周りの生活の一部として浸透する日も近いことを確信しながら研究所を後にしました。



# オーストラリアのマイクロマシン事情

三菱電機株式会社 中央研究所機械技術研究部 主幹 成宮 宏  
(元(財)マイクロマシンセンター研究部課長)

## はじめに

平成5年3月にオーストラリアのいくつかの大学を訪問し、マイクロマシン技術に関して情報交換を行って来たので、その概要について報告する。

## 王立メルボルン工科大学

メルボルンの市内にあるこの大学は、財団法人マイクロマシンセンターの海外再委託先の一つとして、産業科学技術研究開発プロジェクトに参加しており、駆動及びサスペンションの研究を行っている。研究の中心となっているのは、電気工学科と電子材料工学センターの二人の教授で、サスペンション一体型の電磁モータのマイクロ化をねらっている。そのため、物理蒸着装置、湿式エッチング装置、スパッタ装置等を用いて、金属基板上に上記のモータとその制御回路を作ろうとしており、現在3mm立方の試作機の製作に挑戦しているとのことであった。

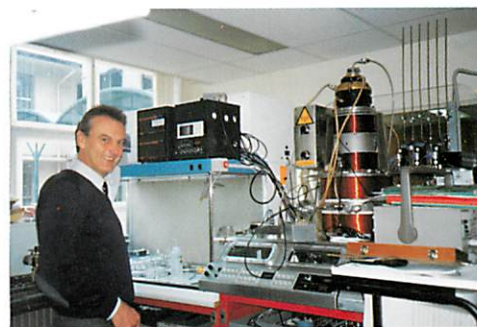
研究者には、日本の国家プロジェクトに海外から参加しているという意気込みが感じられ、また、マイクロマシンセンターの様々な活動を通じて、プロジェクトに参加している日本企業の技術者と率直な意見交換ができることを喜んでいる様子であった。

## クィーンズランド大学

ブリスベン郊外にあるこの大学では、マイクロマシンに関し、二次元半導体デバイスの研究を主に行っている。具体的には、MOSFETに関して、ゲート容量の測定及び数値シミュレーション、ゲート容量測定による局所チャージや界面状態の評価、サブミクロンのチャージ状態の特性評価等を行っている。

## グリフィス大学

同じくブリスベン郊外にあるこの大学では、一酸化炭素、二酸化炭素、窒素、アンモニア等の化学センサを含むマイクロシステム、半導体用の絶縁材料、フォトリソグラフィ・イオンエッチング・イオン注入等の微細加工を主に研究している。装置としては、簡易クリーンルーム内に、マスクアライナ、蒸着、エッチング、スピニング塗布等が設置されていた。



オーストラリア国立大学の研究設備

## 南オーストラリア大学

アデレードの郊外にあるこの大学では、マイクロ加速度計、電磁式マイクロポンプ、マイクロセンサ等のマイクロシステム、シリコン・ホール素子・厚膜・薄膜等の材料及び化学エッチング・紫外線リソグラフィ等の微細加工に関する基礎研究を行っている。また、マイクロセンサに関してオーストラリアの中心的な機関になるべく、積極的に活動している様子であった。

## オーストラリア国立大学

首都キャンベラの中心に位置するこの大学では、マイクロシステムとしての光デバイス、プラズマエッチング・電子銃/プラズマ蒸着・スパッタリング・フォトリソグラフィ等のマイクロ加工の研究を行っている。具体的には、シリコンをプラズマでエッチングしてオプトエレクトロニクス用の分配器等の試作や、レーザ光による膜厚のその場測定等を行っている。また、クラス1000のクリーンルーム内に、エアカーテンで仕切ったクラス10のブースを持ち、精密NC機械を複数台揃えるなど、試作設備も充実していた。

## まとめ

各大学ともシリコンプロセスを主体とした研究を進めているが、オーストラリアには半導体産業がないため、研究成果の応用には限界がある様子であった。しかし、留学生の交換を含めた海外との交流は盛んに行っており、また国としてもハイテク産業の育成を真剣に考えているとのことであり、将来の展開が楽しみであると感じられた。

# 中国マイクロマシン研究の現状を聞く

中国清華大学 精密機器・機械学系主任 周兆英博士と、同じく微機械・制御技術研究室の李 勇博士が、浜松で行われたIMTC '94に出席するため訪日された際に、5月18日当センターを訪問されましたので、お忙しい中を時間を割いて頂き、インタビューをお願いし、従来あまり知られることのなかった、「中国におけるマイクロマシン研究の現状と将来」について伺いました。お二人はその後、当財団の主催するイブニング・セミナーに出席されました。



周 兆英博士



李 勇博士

**Q.** 「清華大学とはどのような大学でしょうか。日本の皆さんに簡単にご紹介下さい。」

**A.** 日本の方は北京大学の名前はよくご存知と思いますが、北京大学は文科系の大学です。それに対して、清華大学は、理工系の大学です。学生数は約1万5千名です。その内、私の所属する精密機器・機械学系は学生約5,300名、教授34名、副教授105名といったところです。

**Q.** 「清華大学の中でのマイクロマシンの研究は、現在どのように行われていますか」

**A.** マイクロマシンの研究が始まったのは5年前からです。現在は清華大学の中だけで、マイクロマシンを研究しているグループが5つあります。李 勇博士は新潟大学でマイクロポンプの研究をしており、本大学に戻ってからもその研究を継続しております。この研究は中国自然科学財団および中国教育部からの助成を頂いております。

また、電子研究所では圧力センサー、その他センサー、マイクロ・センサー・アレイ、静電モータ、マイクロメカニズム、マイクロフロー、マイクロトライボロジ、マイクロ計測等多方面の研究を行っています。応用物理学科では、STMの研究、単一原子の検出、超音波モータの研究をしています。材料工学科では薄膜技術の研究を行っており、その一環としてマイクロ部品加工を手がけています。

電気工学科では軟X線を研究しており、装置の開発を行いました。以上の5つです。

**Q.** 「清華大学以外での研究状況はいかがですか。」

**A.** 東南大学は、南京にある、学生数約1万名の大学ですが、ここではマイクロモータの研究をしています。中国科学院上海分院では、マイクロ・ギア等のマイクロ・メカニズムの研究を行っており、同じく中国科学院の長春光学精密機械研究所

では超音波モータを研究しています。以上は主なもので、その他にも、幾つかの所でマイクロマシン関連の研究を行っています。しかし、現状ではこれらの研究はすべて個別に行われており、研究者同士の横の情報交換は組織的には行われていません。将来中国にも、マイクロマシンに関する国家的なプロジェクトができることを期待しています。

**Q.** 「今回、日本にいられて、何処を訪問される予定ですか。」

**A.** マイクロマシンセンターの他に大学・企業等主要な研究部門を訪問致します。

**Q.** 「マイクロマシンには大変広い分野が含まれていると思いますが、先生は其中でどのような分野が将来有望だと思われますか。」

**A.** マイクロ・センサーの市場が一番早く立ち上がると思っています。圧力センサーはもちろん、その他のセンサーやセンサー・システムに対する需要も伸びることでしょう。

通信関係のセンサーに対する需要も大きいと思います。

三番目は医療用です。レーザー、マイクロ光学も将来性があると思っています。ICテクノロジーは利点が多いので、是非利用すべきだと考えています。バッチプロセスなので量産に適しています。しかし、ICテクノロジーだけでは、全ての加工をカバーできません。マイクロ放電加工、精密機械加工と組み合わせて使うことになるでしょう。

**Q.** 「中国の特長を生かした、マイクロマシンの研究分野は何でしょうか。」

**A.** 中国は境界領域の研究が得意なので、そのような分野で利点を発揮できるのではないのでしょうか。例えば、中国医学の「経路」とか「気功」にマイクロマシンを結びつけられれば、大変面白いと思います。

# 「マイクロマシン技術」(第2回)

## 1. マイクロマシン技術の構成

前回、マイクロマシン技術はマシンをマイクロ環境に適合させる技術の集合体であり、一つの技術体系になっていると述べました。そしてこの技術体系は、基盤技術、機能要素技術（デバイス化技術）、及びシステム化技術で構成されるとしました。さらに、この技術は極めて応用範囲が広いことから、将来、産業基盤技術の一つになると述べました。

この技術体系の中で、基盤技術はマイクロマシンを製作するための基礎的な要素技術や理工学からなり、加工技術、アセンブリ技術、材料技術、設計技術、計測評価技術、及びマイクロ理工学が含まれます。デバイス化技術は、マイクロマシンシステムが必要とする各種機能デバイスの作動原理や構造の具体化に関する技術であり、駆動デバイス技術、エネルギーデバイス技術、センサデバイス技術、及び電子デバイス技術で構成されます。

さらに、システム化技術はマイクロマシンシステムの構築や運用に関わる技術の集合で、複合化技術（インターフェイス技術及びインテグレーション技術）、通信・制御技術などで構成されています。

しかしながら、このような技術分類は在来技術のアナロジーでおこなったもので、それぞれの要素技術間の仕分けは、現在のところ必ずしもはっきりしている訳ではありません。たとえば、加工技術（基盤技術）の一つにシリコンプロセスがありますが、この加工法は原料ガスから薄膜状の材料を作る工程や犠牲層エッチングなどを組み合わせて簡単なアセンブリまで行うというように、加工、材料、及びアセンブリが一体化した技術になっています。このような数種類の要素技術の一体化や再構成は今後の研究開発によって一層強まるでしょうし、またそれによって、マイクロマシン技術としての特徴をもった技術体系が創造されていくことになるでしょう。

## 2. 基盤技術

### 2.1 加工技術

表1は、マイクロマシンの加工に適した種々の微細加工法を示しています。表中の主要な手法について、その要点を順次説明します。

#### (1) シリコンプロセス

1987年から88年にかけて、シリコンプロセスで製作した寸法 $100\mu\text{m}$ 程度のリンク機構や静電型モータが次々と発表され、これが発端になってマ

| 加工法      | 概要とおもな特徴  |
|----------|---|
| シリコンプロセス | ・光リソグラフィとエッチング/デポジションを組み合わせた加工法。<br>・サブアセンブリとバッチ処理による量産が可能。     |
| LIGAプロセス | ・軟X線リソグラフィ、電気メッキ、モールドを組み合わせた加工法。<br>・高アスペクト比の部品製作、モールドによる量産が可能。 |
| ビーム加工    | ・レーザ、電子、イオンなどのビームによる直接またはアシスト加工。<br>・マスクレスで加工。3次元形状に加工が可能。      |
| 放電加工     | ・ワイヤ放電研削と型彫放電加工を組み合わせた加工法。<br>・金属材料を自由な3次元形状に加工が可能。             |
| 光造形      | ・レーザビームにより光硬化樹脂を局部的に固化させる成形法。<br>・任意の3次元形状の製作が可能。               |
| 射出成形     | ・熱硬化樹脂、粉体混入樹脂などを型に注入、固化させる成形法。<br>・3次元形状の製作、量産が可能。              |
| 機械加工     | ・カッターにより機械的に除去する加工法。<br>・任意の3次元形状の製作が可能。                        |
| その他      | ・電解加工法、イオン注入、STM加工法など。  |

表-1 微細加工法の種類

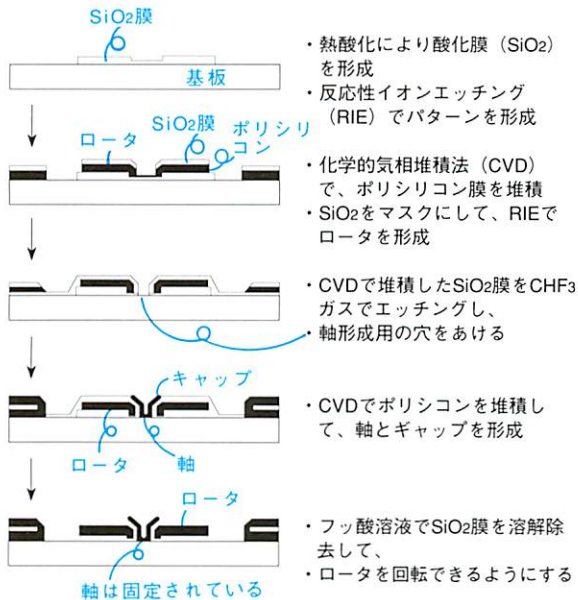


図-1 シリコンプロセスによる機構製作手順の例

マイクロマシニングが起きたと言われています。シリコンプロセスはICプロセスとも呼ばれ、単結晶シリコンの基板の上に電子回路を集積する方法として開発された技術です。この技術はその後、圧力センサや加速度センサの機構部分をマイクロ化する技術として用いられ、さらに上述のマイクロモータの製作へと展開されてきました。

マイクロマシニングの製作に使われるシリコンプロセスの基本的な手順はつぎのようになっています。

- ① はじめに、シリコンウエハの表面を酸化させ、極めて薄い酸化膜 (SiO<sub>2</sub>) を作る。
- ② この酸化膜の上に感光性樹脂 (フォトレジスト) を薄く塗布する (このレジストにはポジ型とネガ型がある)。
- ③ 作りたい図形を描いたマスクを通してレジストを露光する。
- ④ 現像処理し、露光した部分のレジストをウエハ上から除去する (ポジ型レジストの場合)。
- ⑤ 露出した部分のSiO<sub>2</sub>薄膜をエッチングし、シリコンの地肌を出す。
- ⑥ CVD (化学的気相堆積法) などにより、表面にシリコンや金属などの薄膜を作る。

ここまでの処理を繰り返して、多層の構造 (部品の集合体) を作り、最後にSiO<sub>2</sub>薄膜の部分 (犠牲層) をエッチングで取り除くと、アセンブリされた機構ができあがります。

図1はロータと軸受からなる機構を作る手順の具体例を示しています (この図ではレジスト処理工程の説明は省略されています)。この方法で製作される部品は平面図形を投影した形になるために、アセンブリされた機構は完全な3次元構造ではなく、「2.5次元構造」と呼ばれています。

シリコンプロセスによるマイクロマシニングの製作は、当初は厚さが2 μm程度以下の極めて薄い部品で構成された機構しか作ることができませんでした。また、材料もシリコン系材料に限られていました。しかしその後、波長の短い光 (紫外線) を使って厚いレジストを高精度に加工したり、メッキ工程を組み合わせるなどの改良が行われた結果、最近では厚い部品で構成された機構が多様な材料で製作できるようになってきました。

図2は、最近、シリコンプロセスで製作された静電モータの写真です。ロータ、軸受、及び固定電極はニッケル製です。また、この写真では見えませんが、ロータと接触する基板に多数の突起を形成させて、接触部に働く表面力などの摩擦抵抗を減らす工夫が施されています。

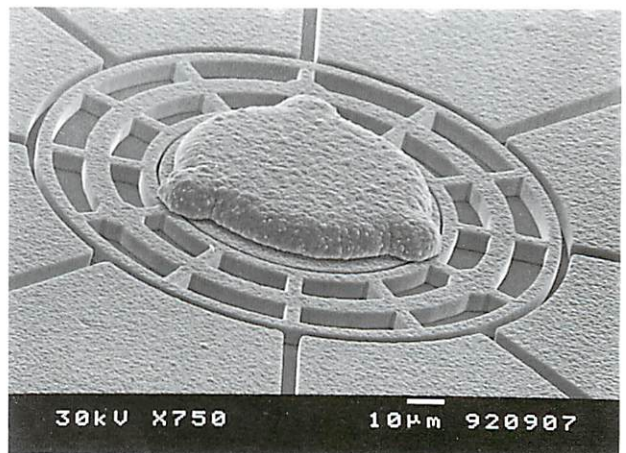


図-2 シリコンプロセスによる静電型モータの製作例 (東大生研 藤田博之教授提供)

# 「マイクロマシン技術の経済結果（技術予測）」に関する調査研究」報告の概要

当センターは平成5年度の事業活動の一つとして「マイクロマシン技術の経済効果（技術予測）」に関する調査研究」を実施し、このほどその報告書を纏めましたので、あらましを紹介します。

自律行動を行えるマイクロマシンを作る技術が確立され、生活に貢献出来るようになるには、まだまだ先のことです。しかし、マイクロマシン技術を関与して作られたものには、既に商品化されているものが少なくありません。意外と身近にあるものです。例えば、自動車のエアバッグシステムに使われている加速度センサー、パソコン用プリンタの印字ヘッドなどがあります。

マイクロマシン技術は、小型高精度なメカトロニクス技術を必要とする

- ・情報通信機器、精密機器
- ・マイクロサージェリー
- ・人工臓器、高度医療システム
- ・超小型計測システム

などの分野に応用されており、これらは、機械工学、電子工学、生物学、物理、化学などの技術、学問の学際領域の分野に広がっています。

この調査研究は、マイクロマシン技術の主要な基盤技術であるマイクロ理工学、設計技術、材料技術、加工技術、評価技術等及び機能要素技術、システム化技術等について、現状の研究開発動向をベースにして、技術の将来への展望を行い、マイクロマシン技術の長期的な技術予測を試み、種々の産業分野へマイクロマシン技術が導入されることによりどのような効果が現れ、2005年、2010年には市場規模がどのようなものになるか、今後の技術導入の可能性とアプリケーションを検討し、経済効果予測のアルゴリズムを構築したうえで試算をおこなっています。

アプリケーションとしては、マイクロマシン技術を利用して既存の製品の一部または全部を代替するもの（既存製品代替型）と、マイクロマシン技術によって初めて実現可能となる全く新たな製

品（新規市場創出型）があるとして、市場規模の予測を、

- (1) 既存製品代替型アプリケーション
- (2) 新規市場創出型アプリケーション

とに分けて行っています。特に、「新規市場創出型アプリケーション」の経済効果の予測は、マイクロマシン技術がまだ誕生したばかりで、検討対象の市場規模が明確でないため、市場成長の推定を、次の3つのケースのこれまでの成長度合いを参考にしています。

- ケース1 半導体IC
- ケース2 産業用ロボット
- ケース3 PC

検討の対象とした分野は、

- ・情報通信機器分野  
…………… 情報通信機器、OA機器、AV機器
- ・精密機器分野  
…………… 時計、カメラ
- ・医療応用分野  
……… 介助器具、機能補助器具、医療機器
- ・計測分野  
…………… 計測機器、SPM

です。

この報告書は、各種の条件を大胆に仮定して予測を試みていますが、新規市場創出型アプリケーションを加味すると、2005年には約5,300億円～1兆5,000億円、2010年には約1兆3,000億円～1兆9,000億円の市場規模になるとしています。

この報告書は、中央大学の板生 清教授を委員長とする委員会のもとで纏めたもので、この委員会は、マイクロマシン技術関連の研究をしている大学、3国研、それにマイクロマシンに深い関係を持つ企業の学識経験者をもって構成されています。

当センターでは、この興味ある調査研究を今後も継続し、一層の議論を積み重ねていくことにしています。

## 第5回産業用マイクロマシン展

本年5月11日(水)～13日(金)の3日間に亘り、マイクロマシン先端技術の成果を一堂に会した標記の展示会が、東京北の丸公園にある科学技術館で開催されました。今年は「夢をはぐくむ技術・マイクロマシン」のテーマのもと、63の企業、団体、大学、国立研究所が出展しました。参加者も昨年を上回る約3,700名が来場しました。

当センター賛助会員を含む企業からはマイクロマシンに係わる部品、システムや支援機器の出展がされました。また、18の大学や国立研究所からも第一線の研究内容が紹介され、来場者の大きな関心を呼びました。



▲当センターブース

当センターの展示ブースには、通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発プロジェクトの研究開発成果を中心に、当センターが設立後約2年間行ってきました各種の調査研究事業、国際ワークショップの開催やミッションの派遣等の国際交流事業、研究助成事業やイブニングセミナーの開催などの普及啓発事業等の諸活動をパネル展示しました。

また、当センターの研究賛助会員の展示ブースでは、産業科学技術研究開発プロジェクトの各会員における個別の研究開発成果が展示説明され、着実に成果が出ていることが示されました。



▲展示会場

## 第6回マイクロマシン・シンポジウム開催

1994年5月11日(水)及び12日(木)の両日、東京・北の丸公園内「科学技術館サイエンスホール」において第6回マイクロマシンシンポジウムが当センター、マイクロマシン研究会、マイクロマシン連合及び(財)日本産業技術振興協会主催のもとに通商産業省の後援並びに4関係団体の協賛をえて開催されました。



本シンポジウムでは、  
◎接触・非接触

マニピュレーション(3テーマ)  
◎細胞機械とマイクロマシン(2テーマ)

◎Video Assisted

SurgeryとComputer Assisted Surgeryとマイクロマシン技術(5テーマ)  
◎新しいアクチュエータ(5テーマ)  
◎情報・通信へのマイクロマシン技術の応用(4テーマ)

計19テーマの研究成果が発表、国内招待講演1件、特別講演2件、海外招待講演1件の発表が行われました。参加者は2日間で延べ379人。



## 第2回マイクロマシン連合運営協議会開催

1994年5月11日、東京の「科学技術館」に16団体の関係者が参集して、第2回マイクロマシン連合運営協議会が開催されました。

本運営協議会では、32会員団体からなるマイク

ロマシン連合の活動経過、マイクロマシン連合の共催、協賛イベントについて報告が行われ、さらに今後の活動計画について検討が行われました。

# イベントのお知らせ

## 第5回マイクロマシン国際シンポジウム (MHS '94)

開催時期：1994年10月2日(日)～4日(火)  
 開催場所：名古屋国際会議場 (名古屋市熱田区熱田西町1番1号、TEL. 052-683-7711)  
 テーマ：マイクロメカトロニクスへの発展をめざして  
 主催：名古屋市、名古屋大学、IEEE、(財)マイクロマシン連合等11団体  
 後催：通商産業省中部通商産業局、愛知県等5県、名古屋商工会議所等  
 参加費：資料代一人3,000円(学生無料)  
 問合せ先：名古屋市役所経済局商工部産業振興室 TEL. 052-972-2419  
 第5回マイクロマシン国際シンポジウム事務局 FAX. 052-972-4138

### 実施内容：

#### I シンポジウム

- ・10月3日(月) 10:00 主催者挨拶 西尾武喜名古屋市長他  
 来賓挨拶 安本浩信通商産業省中部通商産業局長  
 10:30 基調講演 「マイクロマシン技術の展望」(仮題) 通商産業省担当官  
 11:00 基調講演 ロジャー・ハウエ米国カリフォルニア大学バークレー校教授  
 13:00 特別講演 (順不同)  
 W・メンツ 独国カールスルーエ原子力研究センター教授  
 藤正 巖 東京大学先端科学技術研究センター教授  
 M. G. アラン 米国ジョージア工科大学教授  
 藤田博之 東京大学生産技術研究所教授  
 ジョン・ベイツ 米国オークリッジ国立研究所主任研究員  
 M. エルウェンスポータ オランダ国トゥエンテ大学教授
- ・10月4日(火) 終日、テクニカルセッション ・応募論文 国内22件、国外7件 計29件(6月28日現在、公募中)
- II 第3回国際マイクロロボットメイズコンテスト 10月2日(日)
- III マイクロマシンの展示(10月3日、4日)  
 シンポジウム期間中にマイクロマシン関係の展示会を併催

### 一般賛助会員への入会のおすすめ

平成4年1月24日通商産業大臣の許可を得て財団法人マイクロマシンセンターは設立されました。当財団の事業目的や事業にご賛同、ご理解をいただき、ご入会をご案内申し上げます。なお、入会会員は次の諸事業へ参加し、また利用いただけます。

- ① 財団が自主的に行う調査・研究への参加、成果の利用
- ② 受託等調査・研究開発の成果の利用(守秘義務を課せられているものを除く)
- ③ 研究会その他事業活動への参加
- ④ データバンクの利用
- ⑤ 刊行物の配布

お申し込み手続き：所定の申込書に必要事項記入のうえ事務局にお申込み下さい。

会費等：入会金(入会時)400万円、年会費200万円  
 お問合せ先：(財)マイクロマシンセンター事務局総務部

### 編集後記

新緑の映えます北の丸公園内の科学技術館で、第5回マイクロマシン展と第6回マイクロマシンシンポジウムが、関係各位のご尽力により、盛況裡に開催されました。NEDOの大型プロジェクト「マイクロマシン技術」の研究を中心に、関連の学術機関や企業の研究成果の発表の場として、年々来場者も増え、充実拡大されてきており、当号、「MMCの事業活動紹介」と「トピックス」欄でも、一部紹介させていただきました。

また、巻頭言では、「マイクロマシン技術」の将来展開で一番期待されている、医学への応用につきまして、国立大阪病院長、古川先生にご執筆をお願いしました。「医学そのものが、マイクロ世界への探検である」と、マイクロマシン技術の研究者にとって、大いに夢を膨らませていただけるお話と存じます。

### 発行 財団法人マイクロマシンセンター

発行人 平野 隆之  
 〒108 東京都港区三田3-12-16 山光ビル3階  
 TEL. 03-5443-2971 FAX. 03-5443-2975