

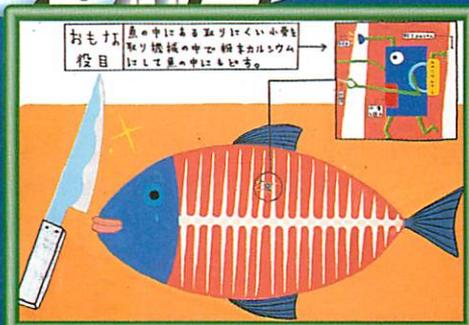
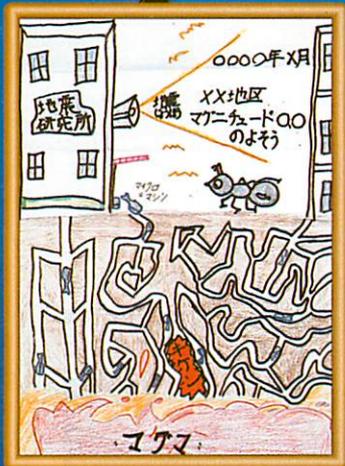


# マイクロマシン MICROMACHINE

1996.10

- マイクロマシンの魅力／2
- マイクロマシンの研究紹介／3
- MMCの事業活動／5
- 賛助会員の活動紹介／13

- 海外だより／15
- トピックス／16
- 入門講座「マイクロマシン技術の応用」(第1回)／17
- お知らせ／19



No. 17

# マイクロマシンの魅力

## Micro-machine Fascination

東京大学総長  
The President, The University of Tokyo

吉川 弘之  
Hiroyuki Yoshikawa



マイクロマシンに関する研究が急速な拡がりを見せている。それはマイクロマシンセンターの貢献があり、また産業科学技術研究開発制度による「マイクロマシン技術」を推進している研究者や企業の熱意によるところが大きい。その上、このマイクロマシンという概念が持つ底の深い魅力が、恐らく幅広い層の人人に関心を持たせていることも見逃してはならないことだと思われる。

その魅力とは何であろうか。決して、ただひたすら小さいということではない。小さいということなら、小型化が古くから言われ、それが材料やエネルギーの節約になったり、運搬や収納が効率的になったりすることを通じて、コスト低下につながり経済性から言って有利、という考えが定着していたと言える。

しかしマイクロマシンはその考えを延長したものではない。それは効率の向上というような量的改良なのではなく、そこに質的变化、今までになかった新しい質の技術をもたらすという点で、魅力を感じるのである。それは、大きさに絶対的な意味を与える技術と言ってもよいだろう。

人間の手による作業を考えよう。「手ごろな」という言葉があり、適当なという抽象的意味を持たせるが、もともとは手で握るのに適当な、という大きさの単位である。それは数cm程度のもので、それを運んだり操作するには手で握ればよい。しかし、それが10cmをこえるようになると、片手では扱いにくくなり、両手でつかむことになる。もっと大きく1mにもなれば、両腕でかかえることになろう。

一方小さい方にもいろいろな方法がある。1cm以下になれば、指にはさむし、さらに数mm以下なら指先でつまむことになろう。1mm以下の塊状のものは、つまむにしても苦勞するが、指先を押しつけて粘着させて持ち上げるという方法がある。

人間は、このように1mm以下の粒状のものから、1mを越す大きさのものまでを扱い得る、非常に大きな作業上の柔軟性を持っている。このことは、作業用ロボットを作ろうとするとき、まず第一にぶつかる壁で、そんなに広い幅を持つ作業器を作ることとはほとんど不可能で、人間の柔軟性の高さに驚嘆させられるのである。

しかし、このことは人間の作業は柔軟だということの他に、もう一つの重大な事実を意味している。それは、人間の素手による作業が、0.1mmから1m程度までの範囲に限定されているということである。これが、前述の、大きさに絶対的な意味があることの根拠である。

大きい方は、現代の機械技術の中で大きな関心を長い間持たれて来たのであった。現代の機械技術の特徴は、強力、高速、高効率性などであり、人間の力をこえてこれを可能にする重要な要因として大型化は早くから進められた。そして学問的にも、構造力学、熱力学、流体力学、機構学などが理論的根拠を与えながら、1mをこえ、巨大なものに到るまで技術として体系を獲得し、現代の豊かな社会の成立に貢献したと言えるであろう。

これにくらべて、小さい方への進展は必ずしも順調ではなかった。前述のように、コスト減の要請からの努力や、高精度を要求される精密加工、精密測定、また微細な操作を要求される精密機械などで、個別の努力はされていた。しかし、人間の操作の可能な「下限」の外に無限に拡がる微細な世界、すなわちマイクロワールドで自由に活躍する技術を体系的に見る眼は存在しなかった。

マイクロマシンの魅力は、微細な技術ということを超えて、この未開拓のマイクロワールドに新しい技術体系を樹立しようという点にあると言ってよいであろう。この世界では、従来の技術体系がそのまま適用できない場合が多い。個別の要素で言えば、いわゆる寸法効果が著しくなる領域であり、それは材料の欠陥効果から量子効果まで幅広く分布するものの、いずれも通常世界では問題にならなかったものである。また空間の制限から、機械、電気などの領域を独立に考えることはもはや許されず、領域融合の方法が不可欠となる。

すでに多くの大学、研究所、企業で、そして多くの国で研究が始められ、新しい応用の分野の可能性が拓かれつつある中で、マイクロマシンが活躍する分野は間違いなく重要なものになって行くと考えられる。それは医療、生命科学など、現在先端的な技術が急速に進められている分野であり、一方でシステム保全の高度化による安全性の向上のような、社会的に極めて重要な分野も含まれる。従ってマイクロマシンは、特定の分野と言うよりは多くの分野に潜在的に存在しているマイクロワールドのすべてに、しかも新しい理論をふくむ技術体系の確立にともなって新しい技術世界を拓いて行くものとして、大きな魅力を持っているのである。

## マイクロマシンを用いたバイオマニピュレーション

Bio-manipulations using Micromachined Structures

鷲津正夫 (京都大学工学研究科機械工学専攻教授)

Masao Washizu (Professor, Department of Mechanical Engineering, Kyoto University)

### 【概要】

本研究室では、マイクロマシンの技術を用いて細胞やDNAのマニピュレーションを行う手法についての研究を行っています。特に、DNAの分子1本1本を伸長して基板上に固定する技術には、DNAの任意の位置を切り出して解析するという塩基配列決定への応用のみならず、DNAに働く酵素の作用を空間・時間分解能をもって計測する分子機械の基礎研究や、酵素を加工の工具として用いる分子加工への応用など、新しいアイデアに基づいた多くの応用が期待されます。

生物を構成する単位は細胞で、数~数十マイクロメートルの大きさです。その中には、自己複製や代謝をつかさどる酵素群、遺伝情報を書き込んだDNAなど、生命の維持に必要なナノメートルサイズの道具類が保持されています。これらの道具類は、細胞という袋の中に乱雑に詰め込まれているのではなく、基板（膜構造）や骨組み（細胞骨格）などにより作られる構造体に支えられて、順序だった高効率の反応が秩序よく行えるように配列されていると言われています。これに比べると、現在のところ、人間のやることは雑で、試験管の中で一様な水溶液として反応させるのみで、1つ1つの分子の位置や運動を制御したり、ある1つの分子の特定の位置に直接操作を加えたりすることはほとんど行われません。

たとえば、遺伝情報の読み出しについて考えてみましょう。電気泳動で1回に解析できるDNAの塩基数はほぼ数百ですから、これ以上長いDNAを扱うときは、まず、酵素でこれ以下の短い断片に切断し、各々の断片の配列を解析し、それを継ぎ合わせてもとの長いDNAの配列を決める、という手順をとります。酵素で断片化した瞬間にすべての断片は水溶液中で拡散・混合されてしまうので、この継ぎ合わせの作業が必要になるわけです。これでは、本を読む前にシュレッダーにかけてしまうようなもので、DNAの分子1本1本を基板上に固定して端から少しずつ切断していく方がはるかに優れていることは言うまでもありません。

このような分子1本1本のマニピュレーションは、一昔前までは夢物語でしたが、最近のマイクロマシン技術の発達により現実性を持つものとなってきています。

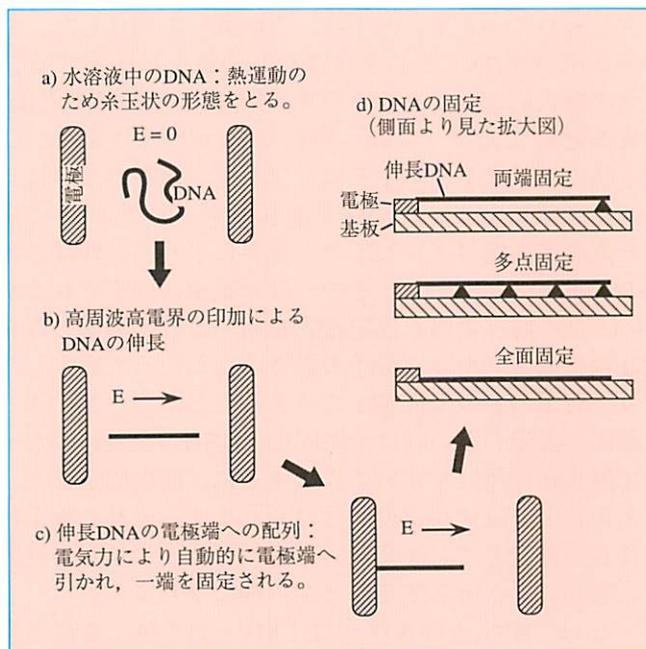


図1 静電力によるDNAの伸長固定

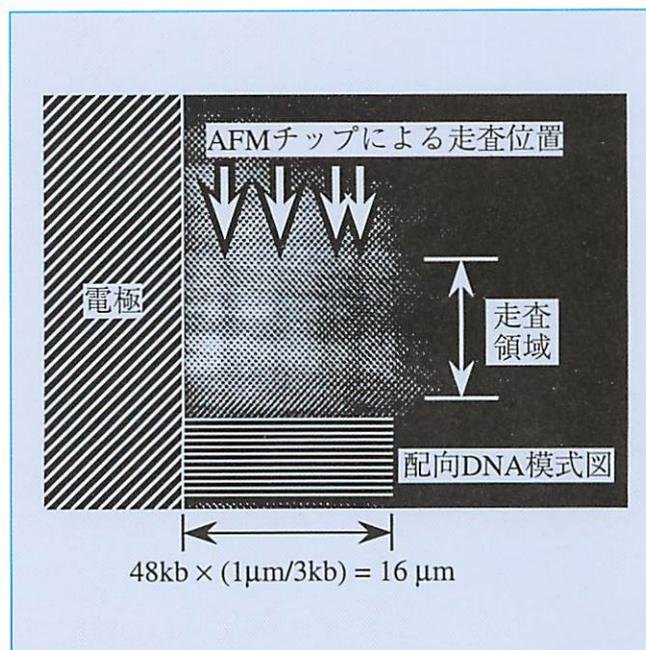


図2 AFMチップによるDNA分子の切断

そのテクニカルシーズとしては、1) 微細加工技術、2) 精密位置決め、3) 分子の可視化手法、4) スキャニングプローブ・レーザーマニピュレーションなどの操作技術、そして5) 分子の位置・配向を制御して固定する分子操作技術、などが挙げられます。

そこで、当研究室では、電界を用いて分子や細胞を操作するバイオマニピュレーションの技術を中心に研究を進めています。図1は、当研究室で開発した、電界を用いてDNAを引き伸ばして基板上に固定する技術を模式的に示したものです。DNAは、2 nmの直径、塩基対約3000個（3 kb）あたり1  $\mu\text{m}$ の長さを持つひも状の高分子で、水中では、ブラウン運動のために、糸くず状に丸まった形態をとります（同図a）。これを高周波高電界下におくと、電界により引き伸ばされ（b）、電極へと引かれ、その一端が電極に固定されます（c）。この時、適当な固定技術を用いると、両端のみを基板に固定したり、分子の数カ所にわたって固定したり、分子の全面で固定したりすることができます（d）。強固に固定したい時は全面固定、DNAの全長にわたって酵素が作用しやすいようにするには両端固定など、応用により固定法は使い分けられます。一旦基板上に伸長・固定してしまえば、任意の分子上の任意の位置に容易にアクセスすることが可能になります。

なお、DNAの伸長固定は1 MV/mを越える高電界を用いて行われますが、このような高電界の水中での利用は（表面積／体積）比が大きく放熱の良い微細電極系を用いてはじめて可能になることで、マクロな電

極系では、ジュール損による温度上昇により溶液が瞬時に蒸発してしまいます。マイクロマシンのスケーリング則が幸いしている一例と言えましょう。

図2は、基板上に固定した $\lambda$ -ファージDNA（48 kb＝長さ16  $\mu\text{m}$ ）の4カ所を走査原子間力顕微鏡のチップでこすって機械的に切断したところです。これを応用すれば、端から順次に切断していき解析をするといったことも可能になるでしょう。

この他にも、本研究室では、RNA合成酵素がDNA上を滑って移動していく過程の解析や、DNA切断酵素を固定した微粒子をレーザーマニピュレーションによりおしつけてDNAの切断を行うといった、酵素とDNAの相互作用の解析・利用の研究も行っています。特に後者は、酵素が分子の機械加工の工具となりうることを示す良い例と考えられます。

これらの研究を通じて酵素反応を眺めると、酵素の分子が基質（酵素がはたらきかける対象）に食いついて反応を起こす様子が、マイクロマシンの究極の姿そのもののように思えます。酵素がうまく食いつけるように酵素自体と基質の空間的位置関係をきちんと制御しないといけないのは、われわれが機械を作るときに相互干渉をしないように設計するのとそっくりです。生体内の分子機械についての研究はマイクロマシンの設計にも大きな示唆を与えるものと思われるのですが、その研究自体にも、マイクロマシンの技術が大きな役割を果たすでしょう。

## マイクロマシン技術の導入に伴う産業社会構造への影響に関する調査研究成果の概要

### Summary of Research Reports about the Influence on the Industry and Society Structure by the Introduction of Micromachine Technology

当センターでは、東京大学・先端科学技術研究センターの児玉文雄教授を委員長に、機械技術研究所・北原時雄主任研究官を副委員長とする委員会のもとで、平成7年度に標記の調査研究を(社)日本機械工業連合会からの委託事業として行い、3月末に報告書をまとめました。

本調査研究では、21世紀においてマイクロマシンが実用化されることによりもたらされる産業活動及び社会生活に与える影響を予測するために、マイクロマシン技術のシーズ、産業・社会のニーズ及び技術革新の事例を調査し、先端技術が産業化されるダイナミズム分析の手法開発に取り込み、マイクロマシン技術の産業化シナリオを分析するためのフレームワークについて提案し、産業化シナリオを検討しました。以下、その内容の概要を示します。

#### 1. 産業及び社会へのマイクロマシン技術の導入（技術オリエンテッド）

ここでは、マイクロマシンの要素技術について、研究開発や実用化の到達レベルの現状と将来動向を展望・予測し、マイクロマシン技術が将来の産業社会に対してどのような形（製品やサービス形態）で提供されるかについて、シーズ側面から検討しました。

技術の現状分析及び長期展望については、マイクロマシン技術の主要な基盤技術、あるいは要素技術である下記技術について、現状の研究開発動向を踏まえて、技術の将来展望を行いました。

- (1)加工組立技術：17の技術細目に分類し調査。
- (2)デバイス技術：20の技術細目に分類し調査。
- (3)システム制御技術：12の技

術細目に分類し調査。

- (4)基盤の支援技術：10の技術細目に分類し調査。その代表的な調査例を下図に示します。

加工組立技術(シリコンプロセス応用加工技術・表面マイクロマシニング)調査データ

要素技術項目 名称(レベル1)	加工組立技術 表面マイクロマシニング	要素技術細目 名称(レベル2)	シリコンプロセス応用加工技術
分析項目	現 状		将 来
要素技術の概要 (原理・構造・特徴等)	原理：半導体製造用のシリコンウエハ上に、半導体製造技術を応用して機能性薄膜を積層形成し、選択除去することによって構造体を形成する。 方法：主としてPVD(Physical Vapor Deposition：物理的気相堆積法、蒸着、スパッタ等)やCVD(Cheical Vapor Deposition：化学的気相堆積法)によって機能性薄膜を成膜し、酸、アルカリなどの水溶液や低温プラズマ中のラジカルなどによって化学的に、あるいはイオンミリングなど物理的に除去加工を行う工程を繰り返す。		方法：制御、信号処理回路との親和性を活かして、高機能デバイスへと開発が進む。新規機能性膜の成膜技術、成膜した薄膜の特性向上や除去加工の加工精度向上によって、新規機能が付与される。
要素技術の機能・性能	形状加工：深さ方向には数ミクロンの2次元加工 最小寸法：フォトリソグラフィに依存 加工精度：湿式では数 $\mu$ m、乾式では原子層レベル 可能材料：シリコン、シリコン化合物、各種金属、GaAs、InP、ダイヤモンド膜、圧電体、ポリマーなど 量産性：バッチ処理のため高い		厚膜の成膜技術や方向性高速除去加工技術が開発され、形状的にはバルクマイクロマシニングと連続した技術となる。その後は集積回路とのプロセス親和性があるか否かで分類されていくと考えられる。
要素技術の要途	マイクロジャイロスコープ、加速度センサなど、半導体(物理量)センサの形成		集積回路との融合によって各種スマートセンサの形成
要素技術の研究開発、利用における必要整備	・ 機器構成：PVD装置(EB蒸着装置、RFスパッタ装置、イオンビームスパッタ装置など) ・ 価格：50,000～300,000(千円)／装置 ・ 機器構成：CVD装置(減圧CVD、プラズマCVD、常圧CVDなど) ・ 価格：50,000～200,000(千円)／装置 ・ 機器構成：エッチング装置(プラズマエッチング装置、ウェットエッチング装置など) ・ 価格：10,000～200,000(千円)／装置 上記機器以外にフォトリソグラフィ関連装置、酸化炉等、通常用いられる半導体製造設備が必要。既に半導体製造設備を所有していれば共用可能。		・ 機器構成：集積回路とのモノリシック化を目指すのであれば、半導体製造設備をそのまま用いた方がよい。 ・ 価格：半導体製造設備と連動して推移する。
要素技術が実用化した場合のインパクト			
最終商品イメージ	医療分野	理込人工臓器用スマートセンサ(回路によりフェール・セーフ機能、校正機能を実現)	
	プロセス分野		
	プロダクト分野	高信頼性スマートセンサ(回路によりセルフテストを実現)	
インパクトの大きな技術革新となるために融合すべき他の技術	融合の対象技術	バルクマイクロマシニング、接合技術、LIGAプロセス、マイクロ光造形法	主な理由 表面マイクロマシニングは形状的には魅力が薄く、半導体製造装置の流用による着手のし易さと、集積回路とのモノリシック化の魅力から開発が進んでいる。今後は形状的には3次元で、集積回路工程との互換性に重きを置いて検討されると思われる。
実用化の時期	一部実用化	1993年	主な理由 インテリジェント加速度センサが既に市販化されており、櫛形電極を用いたジャイロの開発も新聞で発表されている。
	全面的実用化	2000年	主な理由 単体の加工技術でなく、より複雑なシステムが今後望まれているため、マイクロマシン技術が全体的に足並みがそろそろ必要がある。
その他 (特記事項、参考文献等) 関連図表	【超技術 マイクロマシン】東京大学マイクロマシン研究共同体系著(NTT出版 1993年)		

## 2. 産業・社会の要請（需要オリエンテッド）

ここでは、将来、社会とマイクロマシン技術との接点あるいはマイクロマシン技術に対するニーズ及びマイクロマシン技術の産業化、実用化、研究開発等を阻害する要因（ボトルネック）と、促進する要因（ドライブフォース）について検討しました。

特に、今後実用化される技術革新（マイクロマシン技術）を受け入れていく様々な下記環境変化、なかでもマイクロマシン技術と連鎖反応を起こしていくであろうと思われる様々な産業社会的土壌の将来動向を展望し、将来、社会がマイクロマシン技術に対して何を求めるかについて、ニーズ側面から検討しました。

- (1)産業・経済的側面の変化：製造業の形態変化、機械工業の形態変化、円高、産業のソフト化
- (2)社会的側面の変化：少子高齢化社会の到来、環境保護機運の高まり、次世代社会基盤の整備
- (3)人間的側面の変化：安全性指向の強まり、バリアフリー指向の強まり、生涯教育の浸透
- (4)技術的側面の変化：マルチメディアの進展、バーチャルリアリティの進展、バイオテクノロジーの進展、医療技術の進展

## 3. 技術革新の事例分析（産業化プロセスの雛形）

これまでに世界で興った各種の技術革新は、どのようなプロセスで産業化し、そして、産業・経済、社会・生活にどのようなインパクトを与えてきたかについて、プロセス及びインパクトの事例分析を行いました。そして、これらの事例をレビューすることにより、マイクロマシン技術がどのようなプロセスで産業化していくかの雛形として考えました。

ここでは、最近の研究開発の変化の方向性として下記項目について事例を整理し分析しました。

- (1)企業形態は製造業から創造業へ移行
- (2)事業展開手法はスピノフ型からトリクルアップ型へ変化
- (3)見えざる敵に対処する研究開発
- (4)需要表現（Demand Articulation）に基づく製品開発

## 4. 産業化のシナリオ（マイクロマシンの産業化プロセス）

本調査研究では、先端技術が産業化されるダイナミズム分析の手法開発に取り組み、マイクロマシン技術の産業化シナリオを検討するための枠組みについて、新たにその方法論を提案しました。特に、産業化シナリオ分析の方法論として、下記の5つの事項を検討することにより、マイクロマシン技術の産業化シナリオを推定できることが分かってきました。

- (1)マイクロマシン技術の導入（マイクロマシン技術の技術シーズの将来展望）
- (2)産業社会の要請（マイクロマシン技術に対するニーズの将来展望）
- (3)産業化のドライブ要因（産業化の促進要因）
- (4)マイクロマシン産業の担い手（マイクロマシン産業の将来展望）
- (5)産業社会へのインパクト（マイクロマシン技術によりもたらされるインパクト）

これらの手法に基づき、試行的にマイクロマシン技術の応用範囲として期待される、医療分野、プロセス分野、プロダクト分野の3つの領域を特定し、具体的な産業化シナリオの検討を試みました。その代表的な医療分野におけるマイクロマシン技術の産業化シナリオの例を下図に示します。これらのシナリオから特に、マイクロマシン技術の産業化におけるキーワードとして、低侵襲医療技術、マイクロファクトリ、自律分散型社会が抽出され、これらについて検討しました。

平成8年度は、これらの分析手法に基づき、より具体的なマイクロマシン技術の産業化プロセスについて詳細なシナリオ作成を行う予定です。

医療分野におけるマイクロマシン技術の産業化シナリオ

	現在	2000年	2010年
産業及び社会へのマイクロマシン技術の導入	・低侵襲内視鏡手術	・抗血栓性生体適合材料（短期使用） ・無痛注射 ・細胞注射（遺伝子治療） ・持続的薬物投与方法 ・DDS ・埋込臓器	・抗血栓性生体適合材料（長期使用） ・持続的薬物投与方法 ・DDS ・埋込臓器
産業社会の要請	・国民医療費の肥大化（1990年に20兆円超） →低侵襲治療方法の必要性増大		
産業社会構造へのインパクト	・傷病者に対する負担の飛躍的軽減 ・薬物治療の副作用効果の飛躍的軽減 ・入院日数の飛躍的軽減	・医療機器産業の規模的、技術的進歩 ・DDSの実用化 →医薬品産業と医療機器産業の境界における新産業形成 ・医療従事者の役割の変化	・国民医療費増大化傾向の抑制 ・医療機器利用に関する教育体系の充実 ・マイクロマシンオペレータ資格者の登場
マイクロマシン産業の担い手	・既存産業の姿 医薬品産業 医療機器産業	・医薬品産業と医療機器産業の境界における新産業形成 ・薬事行政、許認可、PL法、等への業界の対応必要	
産業化のドライブ要因		・実用化に向けた研究開発支援 ・安全性、信頼性獲得のための業界での制度構築	

## マイクロマシン技術のアプリケーションに関する調査研究概要

### Summary of Reports on “Study for the application of Micromachine technology”

マイクロマシン技術のアプリケーションを新しい分野に展開するための調査研究を(財)機械システム振興協会から委託を受けた(財)国際ロボット・エフ・エー技術センタからの再委託事業として実施しました。

本調査研究では、生物の持つ優れた機構を機械工学や材料工学的な研究の対象とするバイオメテイクス、バイオメカニクス分野とマイクロマシン技術の接点における新しいマイクロマシン技術の芽の調査、及びこれまで主なマイクロマシン技術の応用分野と考えられてきた医療や産業分野以外の新しいマイクロマシン技術のアプリケーション分野として地球環境分野や農業、都市生活分野での可能性について調査を行いました。

本調査研究の実施にあたっては、工業技術院機械技術研究所北原時雄主任研究官を委員長とする委員会と東京大学人工物工学研究センター桐山孝司助教授を主査とするワーキンググループを設置して調査活動を行いました。さらに、海外技術動向に関しては、専門調査機関に調査を依頼するとともに、海外ワークショップを開催し、マイクロマシン技術の海外技術動向やニーズの調査を行い、報告書としてまとめました。

調査内容の概要は以下のとおりです。

#### 1. バイオ分野とマイクロマシン技術

生体機能分子、生体機械分子、微小生物、昆虫に関する研究状況の現状を調査し、生体の持つ機能と工学への応用の可能性について検討しました。

生体機能分子に関しては、医療材料として、膜機能を利用した血液透析膜、人工皮膚、薬物放出制御膜等が実用化され、生体そのものの利用としては、発酵作用や酵素等が古くから活用され、免疫のメカニズムを利用した免疫センサや酵素センサ等が実用化、研究開発されています。新しい試みとしては、バイオコンピュータやマイクロマシン技術を適用した神経インターフェース等の研究開発が行われています。

生体機械分子については、アクチュエータとしての鞭毛モータや筋肉の運動メカニズムや構造に関する研究状況を調査しました。微小機械としての昆虫の運動特性や集団としての作業の分割化、協調動作、情報伝達等のシステムの研究が行われています。

調査結果として、マイクロマシン技術のこれからの新しい形態として、これら生物を手本とした新しい概

念が出てくる可能性やこれらの研究に必要な新たなマイクロマシンツールやシステムが創成される可能性があると思われ、今後とも着目すべき分野と思われれます。

#### 2. 地球環境分野の調査

地球環境問題の現状、問題点、研究開発動向の調査を行いました。地球環境の問題点としてオゾン層破壊・地球温暖化・酸性雨・大気汚染・水質汚染・海洋汚染・熱帯雨林の減少・砂漠化・廃棄物（リサイクル）があげられ、年々深刻な問題となり対策のための研究開発が行われています。

地球環境問題への取組に貢献できるマイクロマシンの可能性としては、環境モニタリング、あるいは環境負荷要因分析用のセンサ類が最も大きいと思われれます。また、地球環境を宇宙空間からモニタリングする人工衛星にセンサを搭載する場合、マイクロマシンの小型、軽量であるという本質的特徴が発揮されるものと思われれます。

#### 3. 農業分野とマイクロマシン技術

日本の農業と欧州の農業の現状について調査し、マイクロマシンのニーズについて検討しました。

日本農業の中心は水田であり、連作が可能なこと、機械化が容易なこと、水の管理が重要であるといった特徴があります。さらに、野菜分野の機械化は発達していないこと、食糧自給率の極端な低水準、兼業農家が主力で小規模である等の問題点を有しています。

一方、欧州は、三圃式農業（連作不可）で牧畜が主体であり、家畜の利用による地力の維持が図られています。また、農業機械産業、機械化は活発ではないようです。

農業分野のマイクロマシンに関連したニーズとして「土壌条件、熟度、品質判定等の栽培情報管理技術」「高度に自動化が進んだロボットの作業技術、機械化作業技術」「快適、安全な作業環境のための機械化、労働作業技術」「バイオテクノロジーによる改善」等が考えられます。

さらに、果実の品質測定やレーザセンサを用いた培地導電率の計測による根の生長の検出や接ぎ木の活着度判定、樹液を直接計測する植物の状態監視モニタ、細胞の品質測定やマイクロマシンを使った細胞の直接操作、マイクロ力センサと自動摘果ロボットによる傷

みのメカニズムの解明と収穫時の力計測等のアプリケーションが考えられています。

畜産関係では、牛の発情期や乳房炎の検出センサや家畜体調モニタ（体内、体外）、体温、pH値、血糖値モニタ等が考えられています。

#### 4. 都市生活とマイクロマシン技術

都市生活とマイクロマシン技術との関連について調査、検討を行いました。

これから急速に情報化が進む都市生活においては、ネットワークと人間との接点部分でのマイクロマシンの適用が考えられます。また、住環境、健康、ビジネス、安全、娯楽の5つは今後の都市生活において比重がますます大きくなると考えられる分野と思われる、マイクロマシンのアプリケーションについて調査しました。

住環境、建築物のマイクロマシンによる高機能化、健康用機器、セキュリティシステム、娯楽機器、芸術的な表現手段としてのマイクロマシンの利用方法等が都市生活に関連したマイクロマシンのアプリケーションとして考えられます。

#### 5. 海外ワークショップの開催

マイクロマシン関連技術の農業・牧畜・園芸分野へのアプリケーションの研究、調査活動が活発なオランダにてワークショップを開催しました。

トウェンテ大学にて、本調査研究ワーキンググループ員と欧州5カ国（オランダ、ドイツ、イギリス、スイス、ベルギー）からの農業分野専門家、マイクロシステムテクノロジー（MST）専門家が参加して討議を行い、マイクロマシンの農業分野のアプリケーションの検討、調査を行いました。

欧州では、センサを中心とした実用化の動きが活発と見受けられました。

#### 6. 海外技術情報の収集と分析

欧州と米国におけるマイクロマシン技術の開発動向、政府支援動向等の情報の収集、分析を行いました。

##### (1)欧州の状況

ドイツ連邦政府は人材教育、研究開発、技術能力開発に重点を置く予算方針をとっており、研究開発助成費は156億マルクと前年度比2.3%の増加となっています。バイオ技術、環境技術、情報とコミュニケーション技術を重点におき、マイクロシステム技術（MST）

は1億600万マルクが予定されています。

このようにマイクロマシン技術はドイツ研究技術省のR&D促進政策の上で重要視され、1994年度は153件のプロジェクトが動いており、マイクロセンサ、マイクロアクチュエータ、信号処理、マイクロシステム等の独創的製品を想定した研究開発が進められています。

研究開発動向はシリコンのマイクロマシンング、LIGAプロセス、ハイブリッドシステム化技術、パッケージング、エネルギー源、光熱・光電コンバータ等のMST基礎技術に注力し、計装分野、医療分野、消費財、農業分野をMSTの主要応用分野ととらえているようです。

欧州ではNEXUSの活動が活発です。NEXUS（Network of Excellence in Multifunctional Microsystems）はEUがスポンサーで、欧州全体のマイクロシステムの市場、R&D体制等のコーディネートをを行っています。産業のニーズと戦略を明確化するため、IWG（Industrial Working Group）が組織され、市場浸透への戦略、新製品の市場化、市場規模の予測等の活動を進めているようです。

##### (2)米国の状況

日本ではマイクロマシン技術と呼ばれる技術は、米国ではMEMS（マイクロエレクトロメカニカルシステムズ）と呼ばれています。

米国におけるMEMS研究の主力は大学と国の研究所であり、MEMS技術の大きなアプリケーションの場はセンサで、ディスプレイ等も有力、低コスト、小型化が期待されるので、自動車のエアバッグ、エアブレーキ、流量モニタ等いろいろの分野のアプリケーションがあると見られています。

1995年10月29日から11月3日にかけてテキサスのヒューストンで開催された宇宙応用を考えたマイクロナノテクノロジー国際会議では、マイクロマシンは小型軽量という特徴を本質的に持ち、センサ、アクチュエータ、エネルギー源等としての宇宙応用が期待されていること、メカニカルジャイロ、加速度計やそのシステム開発例等が紹介されました。

#### 7. まとめ

マイクロマシンの新しいアプリケーションの場として、地球環境、農業、都市生活をとりえ問題点の抽出、分析を行いました。今後さらにマイクロマシン技術のアプリケーション像を明確にするとともに、技術的可能性の検討等が必要であると思われます。

## マイクロマシン技術に関する標準化の調査研究

### The Standardization of Micromachine Technology

#### 1. はじめに

マイクロマシン技術は、機械工学、電子・電気工学、医用工学等の多様な工学・技術分野、さらには物理、化学、生物学等の基礎科学分野が関連しており、非常に多くの科学技術分野にまたがる学際的な領域にあります。この様な多様な技術分野から成り立っている技術では、同一技術分野内、異種技術分野間における技術交流を円滑にするための共通認識、コンセンサスを確立しておくことが極めて重要です。そのためには様々な側面で混乱を避けるための努力すなわち標準化の必要性があります。

また、マイクロマシン技術は、技術自体が萌芽期にあるため、あまり早期に標準化を進めては健全な技術発展の芽を摘む危険があり、成熟した技術分野における標準化とは異なる視点、方針から検討して行く必要があります。すなわち技術と標準の併走型展開であり、場合によっては標準先行型展開もあり得ると考えられます。若い技術の芽を摘まず、技術発展の助けとなる標準化が必要です。本標準化事業は、こうしたマイクロマシン技術を体系的に確立し、多様な分野への普及を図ることを目的とし、標準化委員会を軸に推進しています。

#### 2. 委員会構成と調査研究事業

標準化委員会は大学教授、工業技術院標準部、3国立研究所の部長と研究賛助会員を含めて構成され、主に①標準化事業の長期的方針、②国際標準化、③日本機械工業連合会からの委託事業の3つの調査研究事業の検討を行っています。

##### 2.1 標準化事業の長期的方針の検討

平成5年度にマイクロマシン技術における標準化技術項目について検討しました。その結果①定義型（概念、用語等）、②評価型（測定法、評価法等）、③要素型（型式、性能等）、④応用（アプリケーション）の4ジャンルに分類しました。平成7年度までは定義型と評価型について標準化の調査研究の対象としてきました。

##### 2.2 国際標準化の検討

マイクロマシン技術に関する標準化については、海外の関係機関との連携をとりつつ進めています。

平成7年度はIEC（国際電気標準会議）は近い将来標準化が必要とされるであろうとして4つの分野を定めました。その1つにマイクロマシンがあり、プロジェ

クトチームが発足しています。当センターが標準化に関する調査の日本側窓口となり対応しています。プロジェクトチームは、マイクロマシンのスコープと標準化する範囲、市場調査から製造・梱包まで、また、インタフェースや制御などのマイクロマシン技術に関するあらゆる分野についてアンケート調査を実施しましたが、標準化委員会委員で回答案を作成し回答しました。また、プロジェクトチームの会議には、委員の松下技研(株)佐藤健夫室長を派遣しました。IEC事務局ではTC発足に向けて動き出しています。

#### 3. 日本機械工業連合会委託事業

当センターが日本機械工業連合会より「マイクロマシン技術の標準化に関する調査研究事業」の委託を受け、標準化委員会の下に標準化調査研究委員会を設け、事業の進め方と成果の取りまとめを行います。さらにその下にマイクロマシン技術関連専門用語とマイクロマシン技術に必要な計測評価法についてそれぞれのワーキンググループを設置し、標準化のための調査研究を進めています。

##### 3.1 専門用語ワーキンググループの活動と成果

マイクロマシン技術の標準化の基盤整備を行うために一番必要なのが関連専門用語です。各技術分野間で無用な誤解や混乱を避けるため、専門用語の語意や解釈の調査を行い、これらの統一的な定義に関する基礎資料を得る必要があります。また、専門用語を平易に解説することにより、新しい研究者がこの分野に参画しやすくします。一般に対しての啓蒙にも処することができます。将来的には、調査結果を用語の自主規格、JIS規格素案、あるいはISO規格素案などの作成に利用することができます。

平成6年度までにマイクロマシン技術関連の用語を収集し調査分析し、特に重要であると判断された用語（183語）の語意調査をしました。平成7年度は、まず対象とすべき用語をマイクロマシン技術との関連度、要素技術分野、応用分野の観点から体系表に分類するとともに、一般的な用語と固有機器名等の3階層に分類し、各用語の上下関係などの階層構造を明らかにしました。さらに上位概念等の用語の不足を補った結果、関連専門用語（40語）を前年度収集用語に追補しました。これをワーキンググループ以外のマイクロマシンセンターの関係者に配布し、内容に関する意見を収集して分析・改訂を行いました。また、収集した意見等

を参考に論議した結果、3語を削除し全体で220語の語意調査を行いました。

### 3.2 測定評価法ワーキンググループの活動と成果

マイクロマシン技術に関する計測項目について、様々な条件に適した計測法に関する資料を収集して分析します。これらの現状での優劣・将来性、また、今後解明されるべき技術課題等を調査し、広く計測評価技術の標準化を図るための基礎資料を得ます（または標準化のために必要と考えられる技術課題を明確化します）。

平成5年度に、国立研究所と研究賛助会員を対象とした計測評価法のニーズの調査結果から、優先して標準化のための調査研究に取り組むべき項目を抽出しました。

これらについて、平成6年度に続き文献、論文から研究状況の概要を把握し、現在、主に研究がなされている計測方法、計測対象に関連するものの収集を継続し、データシートで内容の概要を把握できるようにまとめました。データシートの項目は昨年度とほぼ同じですが、データをより抽出しやすくする観点から、「どの文献にどの範囲の計測が記載されているか」がわかるような表にまとめました。

#### (1) 形状・寸法の計測評価法

形状寸法に関する計測評価法調査サブワーキンググループで、PATOLISにて特許情報も検索しました。その結果、昭和47年以降で検索された公開特許は1171件、そのうち平成2年以降が536件、平成4年以降が382件で、この分野の出願が近年集中傾向にあります。

また、計測の問題点として測定対象が微小化するに従い、測定対象物の固定方法やハンドリング方法、測定すべき箇所の特特定など、作業者を支援するシステムを含めた検討が必要と考えます。

#### (2) カートルクの計測評価法

カートルクの計測方法としては、例えば、シリコンをベースに、不純物をドーブした拡散形ひずみゲージ力覚センサ等オンチップ上での試験片・実験装置の確立が考えられます。さらに電気的処理回路をもチップ上に組み込むことによって、全世界的に統一した評価

を行うことができます。他の計測量でも、例えば加速度センサでは可能であり、現実に製作されています。それ以外の計測量でこのような観点の可能性があるかどうかは検討してませんが、少なくとも、力、トルクといった量の分野では、全世界的に統一して議論する場合には、統一性のとれる可能性の強い評価方法をとる必要があります。今後の研究者間の情報交換を活発に行い、コンセンサスをとることによって、真の価値ある標準化された評価方法を確立することができるのではと思われます。

#### (3) 流体関連の計測評価法

流体関連の計測評価法では流量と圧力を主体に調査しています。液体ではマイクロポンプなどの検定に必要と思われる $1\mu\text{l}/\text{min}\sim 1\text{l}/\text{min}$ の広いレンジに対して各種計測が試みられているのに対し、気体流では $1\text{ml}/\text{min}$ 以下の計測は容易でないようです。一方、圧力計測においては、 $1000\text{Pa}$  ( $1/100\text{atm}$ )以上の範囲では半導体技術などに基づいたマイクロセンサーが既に実用段階に入っており、それ以下の微差圧マイクロセンサーの開発研究が進められています。単位系について今回調査した資料では、流速はほぼSI系 ( $\text{m}/\text{s}$ )で示されていますが、流量には毎分流量 ( $\text{ml}/\text{min}$ など)が広く用いられています。また、圧力にはSI系 ( $\text{Pa}$ )の他、多種類の単位系 ( $\text{atm}$ ,  $\text{mmHg}$ ,  $\text{mmH}_2\text{O}$ ,  $\text{gf}/\text{cm}^2$ ,  $\text{psi}$ ,  $\text{bar}$ )が併用されています。応用分野や計測手法ごとの慣習かと思われますが、測定評価の標準化に際して考慮すべき点といえます。

#### (4) 材料特性の調査分析

材料特性に関する計測評価法について、平成7年度より新たに調査を開始しました。今後、材料とその特性を、材料のニーズから構造材料と機能材料に大別して調査して行くこととなりますが、7年度は構造材料に関しては、引っ張り試験法、曲げ試験法など、機能材料については圧電特性試験法、形状記憶合金の特性試験法に絞って文献調査を行い、データシートを作成しました。

## マイクロマシン技術国内外研究開発動向調査結果の概要

Summary of Reports on Study on the R&D Trend of Micromachine Technology in Japan and Abroad

平成7年度は名古屋大学工学部の生田幸士教授を委員長とする「マイクロマシン技術国内外研究開発動向調査分科会」を設置し、調査を行い、報告書をまとめました。

平成7年度は、マイクロマシン技術研究開発の国内外の動向分析は国内外の資料を参考にして、各委員が担当した重要なマイクロマシン技術分野について調査分析をしました。

上記のマイクロマシン技術国内外研究開発動向調査の分析結果について概要を下記に示します。

### 1. 加工技術

#### (1) フォトファブリケーション技術

・マイクロマシン技術の組み合わせによる複合技術により、3次元的な微小構造体が製作されてきています。

#### (2) 非フォトファブリケーション技術

・マイクロマシンの加工において、フォトファブリケーションを主体に非フォトファブリケーションをいかにうまく組み合わせるかが重要となってきています。

### 2. マイクロハンドリング技術

・マイクロハンドリングの対象が、光学顕微鏡下の作業にとどまらず、電子顕微鏡下やAFMによるものなどに広がりをみせています。また、対象がナノメートル領域にまで拡大しています。

### 3. システム化技術

・マイクロマシンを組み込んだ動作システム、マイクロマシンのための制御システムなどの研究が一層必要になってきています。

### 4. マイクロ理工学

・トライボロジーに関しては、SPM(走査型プローブ顕微鏡)を駆使したマイクロトライボロジーに関する研究が盛んになっています。  
・マイクロ理工学の重要性が広く認識され、マイクロ理工学がかなり実際の機構に近いレベルになってきています。

### 5. マイクロデバイス技術

・アクチュエータ系での駆動原理は、加工・生成技術の発展を取り入れて、機能性能の向上が見られます。  
・センサ系では、従来の物理変数検出センサの他に、ガスセンサやバイオセンサ等本質的にマイクロ化に向いていると思われる研究開発が盛んになっています。

### 6. エネルギー・情報伝達技術

・エネルギー・情報伝達技術ともに応用するシ

テムニーズが明確な研究が多く、着実な成果をあげています。

### 7. 産業分野

・マイクロマシン技術は、現在、要素技術の研究開発段階ですが、その成果は、既にメカトロニクス製品・部品に活かされつつあります。

### 8. 医療分野

#### (1) 人工臓器・計測関係

・計測に関しては、センサなどのマイクロファブリケーション技術の進歩が一段落し、研究の動向が、デバイスの微小化から、生体内での長期安定性へと移行しつつあります。

#### (2) 医療技術分野

・能動型内視鏡・カテーテル、自走式内視鏡、内視鏡下外科手術用の各種高機能処置具等、マイクロマシンの医療分野への応用研究が活発化しています。  
・最近では、バーチャルリアリティ関係の技術とマイクロマシン技術を融合させ、医療応用に結びつける研究開発が活発化しています。

マイクロマシン技術動向調査分析項目

大項目	中項目	動向調査分析項目
加工技術	フォトファブリケーション	バルクマイクロマシーニング、表面マイクロマシーニング、LIGAプロセス関連
	非フォトファブリケーション	機械加工、研磨技術、SPM利用加工技術、超音波加工法、光造形法、加工組立技術、反応性イオンビーム加工
組立技術	マイクロハンドリング技術	マイクロマニピュレーション、超微細作業、簡易マイクロマニピュレーション、微細作業基礎
機能要素技術	マイクロデバイス技術	アクチュエータ系：静電アクチュエータ、ピエゾアクチュエータ、電磁アクチュエータ、光デバイス、スイッチ・リレー流体デバイス、発電デバイス、その他 センサ系：加速度センサ、力センサ、圧力センサ、角速度センサ、電磁センサ、視覚センサ、触覚センサ、ガス・流体センサ、バイオセンサ、その他
	エネルギー・情報伝達技術	エネルギー伝達技術：有線によるエネルギー供給、非接触エネルギー供給、エネルギー貯蔵、エネルギー変換 情報伝達技術：
システム制御技術	システム化技術	動作システム、制御システム
基盤技術	マイクロ理工学	トライボロジー、流体工学、材料力学
応用技術	産業分野	センサ、機能部品、システムインテグレーション
	医療分野	人口臓器関連：神経再生型電極、神経系多チャンネルマイクロ電極アレイ、人工網膜、人工内耳、人口筋内素子 計測関連： 医療技術関連：内視鏡・カテーテル、処置・治療機器関連、その他

## 札幌マイクロマシンセミナー開催される

去る9月5日（木）午後、札幌マイクロマシンセミナーが当センターと北海道通商産業局、北海道、(財)北海道地域技術振興センター、(財)北海道科学・産業技術振興財団との共催で、札幌市で開催されました。

講演は、(財)道民活動振興センター「かでの2.7」内の820研修室で行われました。通商産業省機械情報産業局産業機械課 牧内勝哉課長補佐、MMC平野隆之専務理事、工業技術院機械技術研究所 北原時雄主任研究官が、それぞれ「平成9年度の通商産業省の新しい政策」、「MMCの事業活動」、「マイクロマシン技術の概要」について講演を行いました。

特に、「平成9年度の通商産業省の新しい政策」についての講演では、平成9年度の通商産業省機械情報産業局産業機械課施策として、生産技術革新のための研究開発、新産業の創出及び循環型産業社会実現のための調査研究が紹介されました。これらテーマの概要は、次のとおりです。

### 1. 生産技術革新のための研究開発

企業活動のグローバル化、熟練技能者の不足、若手技術者の製造業離れ等先進各国の製造業が直面している構造的な課題を解決するために、日米欧加豪共同研究による生産工程全般を高度に統合した次世代の製造技術の実現を目指したシステム化、微細かつ複雑な作業ができる微小な機械の研究開発のための大型プロジェクトとしてのマイクロ化、及び制御性のよいフォトンツールとした革新的な計測・プロセッシング技術体系の構築を図り、マイクロからマクロまでの多様なスケールにおける加工技術の確立の研究開発のための大型プロジェクトとしての高度計測・加工技術をあげています。

### 2. 新産業の創出

機械・情報・通信技術を統合し、ネットワーク的に

統合された知的なロボット等の機械システムの構築を図る先導研究としての遠隔操作型ロボット技術及び機械と情報ネットワーク技術を融合した情報システム化体型産業の育成をめざし、インターフェイス等仕様の統一化、オープン化等を促進するための環境整備のあり方についての調整を行う機械産業のメカネット化の推進をあげています。

### 3. 循環型産業社会実現のための調査研究

製品のトータルサイクルを考慮した設計技術、モジュール化技術等による「機械劣化しない機械」の実現等の策定のための調査研究としての次世代リサイクルシステム開発及び老朽化による機能劣化を防止し、社会資本の持つ利便性・安全性などの機能を維持していくために必要な技術・データの収集、情報共有化に関する調査研究としてのメンテナンス技術調査をあげています。

更に、産技プロジェクトの成果紹介では、次の内容の講演を行いました。

#### 「マイクロスキャナーと圧電薄膜アクチュエータの研究」

オムロン(株)技術本部 中央研究所 坂田 稔 主事  
「マイクロレーザカテーテル」

テルモ(株)研究開発センター 開発研究所  
大森 繁 専門研究員

#### 「微小アンテナ型赤外分光デバイス」

横河電機(株)中央研究所 山岸 秀章 課長  
「電磁/静電マイクロアクチュエータ」

(株)富士電機総合研究所 機能デバイス研究所  
杉浦 賢 副主任研究員

このセミナーには、地元北海道のマイクロマシン技術に関心を寄せている企業の研究開発、生産技術に携わる方々、大学・研究所の関係者約70名が参加しました。



札幌でのセミナー風景

# 社団法人 日本ロボット工業会

## 1. はじめに

今回は社団法人 日本ロボット工業会を訪問しました。同会は、産業用ロボット業界の健全な発展と興隆をはかることを目的として昭和46年3月に任意団体「産業用ロボット懇談会」として設立され、爾来昭和47年10月任意団体「日本産業用ロボット工業会」そして事業の積極的展開と会の責務と権限明確化のため、昭和48年10月1日、社団法人「日本産業用ロボット工業会」に改組しました。

さらに、従来の産業用分野のみならず高齢者・身障者の生活支援や作業支援等の社会福祉用、そして家庭用やレジャー用などといったパーソナル分野としての非産業用ロボットを産業用ロボットに並ぶ柱として育成するため、平成6年6月、社団法人 日本ロボット工業会に発展改組しました。

## 2. 主要事業について

同会は、事業遂行のため7つの常設委員会と、パーソナルロボット振興協議会を設け、ロボットおよび応用システムの振興に関する事業を実施していますが、以下に常設委員会および振興協議会が所掌する主な事業について紹介します。

政策企画関係(所掌は政策委員会)については、ロボットの振興、技術開発促進等のための諸施策、政府助成等国家施策の要望、事業運営・実施方針の審議、検討を行っています。

広報事業では(同 広報委員会)、定期刊行物として機関誌、会報、英文ニューズレターの発行やハンドブック、導入便覧、カタログ総覧などの編集発行を行うほか、国際ロボット展、利用技術講習会、国内シンポジウム、ビデオ・フェスティバル、工場見学会など様々な催しを行っています。

ロボットの健全かつ円滑な普及促進を目的とする普及促進事業(同 普及促進委員会)では、ロボットの受注・生産・出荷統計調査や長期需要予測調査(製造業、非製造業)などの市場調査を実施するとともに、販売促進関係では無利子融資制度、政府関係の貸付制度や優遇税制等の運用とエンジニアリング企業振興のための登録制度や機種別(溶接、塗装、組立および電子部品実装の各ロボット)振興対策などを実施しています。

ロボットの技術振興事業(同 技術委員会)では、長期技術予測、研究機関動向調査、特許動向調査などの技術調査を実施するほか、規格化・標準化関係では産業用ロボットの日本工業規格(JIS)原案や団体規格の作成、国際規格



(ISO)化事業および標準化調査研究などの事業を実施しています。

安全省力モデル策定事業(同 安全省力モデル策定委員会)では、労働における安全確保、人間回復といった観点から、製造業、非製造業の新規分野への技術的適応モデルの策定と、同分野に適応できるロボット・システムの開発促進を図っています。

システム事業(同 システム委員会)では、大型プロジェクトとして研究開発が進められている「マイクロマシン技術研究開発」プロジェクトへの協力、ロボットおよび応用システムの開発調査研究、そして新しい利用技術の開発と利用分野の拡大を図っています。

ロボットの国際産業協力、国際技術交流等の国際協力事業(同 海外委員会)関係では、日本で国際産業用ロボットシンポジウム、国際先端ロボット技術会議、国際建設ロボットシンポジウム、そしてロボット工学・応用アジア会議等の国際会議を主催するとともに、海外でのこれらの会議開催にあたっては視察団を派遣したり、海外からの視察団の受け入れを行う等の技術交流を積極的に行うほか、JARA賞の運営や海外文献の翻訳発行等も行っています。

最後にパーソナル・ロボット振興事業(同 パーソナル・ロボット振興協議会)ですが、同ロボットの研究開発の推進とその振興、普及を図ることを目的に、基本施策の立案、研究開発促進策、普及促進策のための策定を行っております。

以上、同会がマイクロマシンを含めた先端ロボットの研究開発推進のため施策立案やロボットの標準化・規格化、広報活動を含めた普及促進のための様々な取り組み、そして国際的な技術交流等を積極的に行っていることを知り、将来のロボット産業に大いに期待したいとの思いがさらに高まりました。

# 財団法人 発電設備技術検査協会

## 1. はじめに

財団法人 発電設備技術検査協会は、発電施設等の品質の維持向上を図るため、発電施設等に関する検査、試験研究等を行う第三者検査機関として昭和45年に設立された公益法人です。設立以来、電気事業法に基づく発電設備の溶接検査その他の検査試験業務を実施してきました。また、昭和55年から発電用原子力設備の立会検査業務を開始し、昭和59年には電気事業法に基づいて指定検査機関の指定を受け、溶接検査のほか使用前検査、定期検査等も行っています。

火力、原子力発電設備は、電気事業法により、溶接検査（溶接が行われているものが対象）及び使用前検査を受け、これに合格しなければ使用できないことになっており、さらに、火力発電設備のうち、ボイラー、1000kW以上の蒸気タービン及びガスタービン等は、一定の期間ごとに定期検査を受けなければならないことになっています。同協会は指定検査機関として、これらの検査の一部を国に代わって行っています。

また、原子力発電設備も電気事業法によって、原子炉関係が1年、タービン関係は2年ごとに定期検査が行われることになっており、協会は、この定期検査に際して、電力会社が行う社内検査への立会業務を行っています。

財団法人 発電設備技術検査協会では、このような検査業務の経験を生かしつつ、さらに検査業務の質的向上を図るために、原子力をはじめ発電設備の安全性、信頼性に関する調査・試験研究、検査技術や溶接技術に関する試験研究及び受託試験・検査その他の技術サービス業務にも積極的に取り組んでいます。

## 2. 調査・試験研究の内容

調査研究、試験研究に対する取り組みは、試験研究センター（調整部と東京試験研究センター、鶴見試験研究センター、足崎試験研究センターの3センターにより構成）が中



心となって、火力、原子力発電設備の検査技術、溶接技術、品質保証、保守・運転等について、国の委託、補助をうけて技術開発、実証試験等を行うとともに、協会独自の研究も行っています。

国（通産省）の委託事業としての調査・試験研究については、東京試験研究センターを中心に、発電設備の信頼性向上、健全性の実証に関する研究及び高経年化対応に関する研究等を進めています。また、鶴見試験研究センター、足崎試験研究センターには試験・検査設備等を設置しており、非破壊検査その他の検査技術及び溶接技術等に関する技術力向上のため、独自の検査・試験・研究にも積極的に取り組み推進しています。

## 3. マイクロマシン技術研究開発との関連

マイクロマシン技術の応用は多くの可能性を秘めており、その開発が期待されています。一方、マイクロマシン技術は多くの技術分野にまたがり、多様な技術開発力が必要とされています。したがって、マイクロマシンシステムの早期実現に向けて技術の確立を目指すため、マイクロマシン技術研究開発の方向を明確にして、効率よく、かつ、効果的に推進することが求められています。

財団法人 発電設備技術検査協会は、マイクロマシン技術開発の方向を明確にするための一助として、応用分野の一つである発電施設メンテナンス分野のアプリケーションに関する調査研究に取り組んでいます。

この研究は、マイクロマシン技術を、将来、発電施設のメンテナンスに適用することを想定し、電気事業者のニーズに基づいたメンテナンス用マイクロマシンの概念を調査・検討して明確にすることにより、マイクロマシン技術研究開発の有効な指針として提示していくことを目的としています。



大型平板試験体



大型平板試験設備

機器健全性実証試験（大型平板試験）

## JETROセミナー

日本貿易振興会（JETRO）のBGP事業の一環として日欧のマイクロマシン技術の国際交流の推進のため、スペインおよびスイスで開催されたセミナーで講演を行いました。詳細は以下の通りです。

### 「MICROSISTEMS I MICROMAQUINS」

日時 9月13日（金）  
場所 スペイン バルセロナ カタロニア工科大学  
(UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA)

#### 講演者および演題

- Luis Castaner カタロニア工科大学  
“Activitats GAME en Micrisistems”
- Emilio Lora CNW  
“Procesos y celdas para microsistemas”
- Graham Ensell サウザンプトン大学  
“Micromaching activities in Southampton”
- 平野 隆之 (財)マイクロマシンセンター 専務理事  
“Future Prospect of Micromachines”
- 服部 正 日本電装(株)基礎研1 部部长  
“Curent status of micromachine technologies in Japan”
- 作原 寿彦 セイコー電子工業(株) マイクロシステム部長  
“The Progress of Microfactory Technology”

### 「Seminar on Micromachines in Japanese Industry」

日時 9月20日（金）  
場所 スイス ニューシャテル ポーラックホテル  
講演者および演題

- 日本側講演者および演題はスペインと同様
- Nico De Rooij ニューシャテル大学  
“Programme Minast, Micro&Nano Systems”  
(財)マイクロマシンセンター事業紹介ビデオ

スペインでのセミナーは、参加者が約40名であり学生の姿も多く見受けられました。そして活発な意見交換が行われました。

スイスでのセミナーは、当初の予定を上回る参加者数60名でありスイスにおいてマイクロマシン技術の関心の高さが感じられました。セミナー終了後のアペリティフ時に相手方の所長が我々スタッフに「これを見てください、参加者が熱心にセミナーの印象を話しあっているでしょう。このセミナーは成功です。」と興奮気味に話しかけてきました。

これらセミナーの成功により、今後は海外との技術交流、情報交換等がより多く、より深く行われることと期待されます。



## MST'96 Potsdamで開催

ポツダムはベルリンのすぐ西にある人口14万人の静かな都市ですが、MST'96はその郊外のレジデンスホテルで、9月17日から19日まで開催されました。周囲はまだ森林も多いのですが、アパート群があり、ホテルから5分ぐらいのところ新しいスーパーマーケットができていました。参加者は約390名で、その中に日本人は17名含まれていました。名簿には国が記載されていませんが、予講集から見ると、大部分はドイツからで、近隣のスイス、フランス、イタリアその他から少数の参加があったようです。会場は隣接するオフィスが入っている3階建てのビルの階段状の大会議室と小部屋で行なわれた訳ですが、会場によっては小さい部屋に聴講者がぎっしり入り、狭すぎる場所もありました。また、展示会場は約30社ほどが出席して活気あるものでした。

さて、講演ですが、内容ごとの講演数は表のとおりです。(Tutorialsを省きます)。第1日目はOpening Plenary Talksがあり、日本からは当センターの平野専務理事が日本のアクティビティと将来の展望について講演し、反響を呼びました。アメリカからはSi半導体の歴史とそのパッケージについて講演がありました。アメリカはこの他にもPlenary Sessionで講演し、MEMSは政府関係からも注目され、投資をうけていると、報告しています。MEMSセンサの合計の市場は1995年は\$1,45Bですが2005年には4倍程度になると予測しています。講演会では日本電装(株)も産技プロの成果の一部を発表しており、反響も大きいようでした。発表者はフラウンホファー研究所、ベルリン工大、

プレーメン大などが多いのですが、研究機関と大学、メーカーと大学、大学と大学、ドイツの近隣諸国の大学同志等の共同発表も多く、ドイツを中心とするヨーロッパ諸国がこの関係に熱心であり、また交流も多いことを窺わせました。

バンケットは第1日目には会場のホテルの大きな食堂で、第2日目にはポツダム宣言が起草されたツェツィリエンホッフ宮殿で行われましたが、夜遅くまで熱気のこもる議論がなされました。

Contents	Counts
Opening Plenary Talks	8
Plenary Session	4
Materials and Technologies	22
Interconnection	6
System Design	12
Micro System Applications	6
Characterization and Testing	8
Sensors	13
Actuators	13
Midroptical Components	10
μ-Fab Project	7
Biomedical Based Application	7
Posters	42



## 第2回研究助成による研究成果の報告会開催

当センターでは自主事業の一環として平成5年度より、日頃マイクロマシンに関する基礎的な研究に取り組んでおられる大学の先生方の研究に対し助成を行い、マイクロマシン技術の一層の進展を図るとともに、産学交流をさらに推進しようとする「マイクロマシン技術に関する研究助成」を行っております。

このたび、平成8年3月に終了しました、平成5年度公募の研究助成対象課題の内、2年継続研究課題3テーマと、平成6年度公募の研究助成対象課題の内、単年度研究課題の3テーマについて報告書が完成いたしました。これを機に、去る9月26日（木）当センター会議室にて、「第2回マイクロマシン技術に関する研

究助成による研究成果報告書」が開催されました。報告会では先生方の最新情報を含めた研究成果報告（下表参照）がOHPとプロジェクターを使ってなされました。特にマイクロマシンとの関連や、周辺の研究と今後の課題など大変分かりやすく報告されました。今回はマイクロマシン用の材料と医療についての研究成果報告であったため、会員としても非常に関心があり、活発な質疑応答がなされ、成功裏に終了しました。

成果の概要は広報誌No16に掲載しました（片岡先生は海外出張のため、報告会での報告はありません）。

### マイクロマシン技術に関する研究助成課題

太文字は今回の報告者と研究課題

>

研究代表者 共同研究者 氏名	所属機関名称・職名	研究課題	研究期間 (年)
宮崎 修一	(平成5年度助成研究) 筑波大学 物質工学系 助教授	マイクロアクチュエータ用形状記憶合金薄膜の開発に関する基礎的研究	2
E Yeatman R Syms	ロンドン大学 インペリアルカレッジ 講師 同上 学科長	表面張力利用マイクロモルディング及びマイクロアクチュエータの研究	2
満洲 邦彦 藤正 巖	東京大学 国際・産学共同研究センター 教授	遠隔微細手術システム開発におけるマイクロマシン技術の応用に関する基礎的研究	2
片岡 一則	(平成6年度助成研究) 東京理科大学 基礎工学部 材料工学科 教授	優れた生体適合性表面の設計技術の開発	1
早乙女康典 井上 明久	群馬大学 工学部 助教授 東北大学 金属材料研究所 教授	アモルファス合金を用いたマイクロマシンの創製に関する研究	1
鈴木 憲	東京女子医科大学 医用工学研究施設 助手	マイクロマシン表面への血液適合性材料の安定固定化	1



# 入門講座 マイクロマシン技術の応用 (第1回)

前回までは、マイクロマシン技術を構成している、基盤技術、デバイス技術、及びシステム技術について解説しました。おそらく、マイクロマシン技術は非常に応用範囲の広い、汎用技術の一つであることに気づかれたことでしょう。しかもこの技術の重要な特徴の一つとして、微細加工技術や材料技術をはじめとする要素技術の多くはそれぞれ個別に使うことによっても大きな効果が期待されることが挙げられます。もちろん、マイクロマシン技術のすべてが実用化レベルに達した場合には、革新的な応用システムとしてのマイクロマシンシステムが、一層広い分野で使われることになるでしょう。

図1は、マイクロマシン技術の主な応用分野を樹木の形で表しています。(財)マイクロマシンセンターでは、このような分野における具体的な応用形態、その効果、実現させるための課題などを、技術開発の進展状況や社会的ニーズとあわせて調査研究を進めています。

そこで今回から、とりわけ大きな期待が寄せられているいくつかの応用分野を取り上げて、そこではどのようなニーズがあるか、またその実現にはどのような研究開発が必要かなどについて、具体的に解説します。そして今回は、私たちに身近な医療への応用を取り上げます。

## 1. 医療への応用

### 1.1 はじめに

マイクロマシンの応用分野として大きく期待されているものに医療があります。近年、診断・治療においては、生体を傷つけることができるだけ少なく、患者への肉体的苦痛の少ないこと(低侵襲)が求められています。そこで、マイクロマシン技術により小型化された、微細かつ複雑な診断・治療ができる微小な機械(医療用マイクロマシン)の必要性が高まっています。例えば、内臓の手術をする場合、マイクロマシン技術により医療用の診断装置、治療装置が従来になく小さく多機能化できれば、大きな手術(開腹手術)をすることなくこれらが容易に体内に挿入され、患部に直接的に作用することが可能となります。これにより、手術時での患者の負担(肉体的・精神的苦痛、入院期間、費用)の大幅な軽減が可能となります。この他にも、下記のような応用が期待されています。

### 1.2 応用が期待されている分野

- (1) 小型・高機能化により体内埋め込みが容易に
  - ・埋め込み型人工臓器に代表される臓器、細胞、組織などの埋め込み型の機能代替装置(人工臓器及び組織置換)
  - ・マイクロセンサを組み込んだ体内モニター機器
  - ・耳内補聴器
- (2) 小型化により患部、診断部へのアクセスが容易に
  - ・マイクロカプセルによる薬剤投与システム(ドラッグデリバリーシステム)
  - ・診断用細胞採取
- (3) 微細・高精度な治療が容易に
  - ・脳、眼、神経などの微小部分の精密な外科手術(マイクロサージェリ)
  - ・テレオペレーション外科、ロボット外科、コンピュータ支援外科
- (4) 小型・高機能化により低侵襲診断・治療が容易に
  - ・腹部や胸部を開かないで皮膚から器具を挿入し、内視鏡を用いて腹腔、胸腔内での手術を行う内視鏡下外科手術(体腔内外科治療)、低侵襲遠隔マイクロ外科

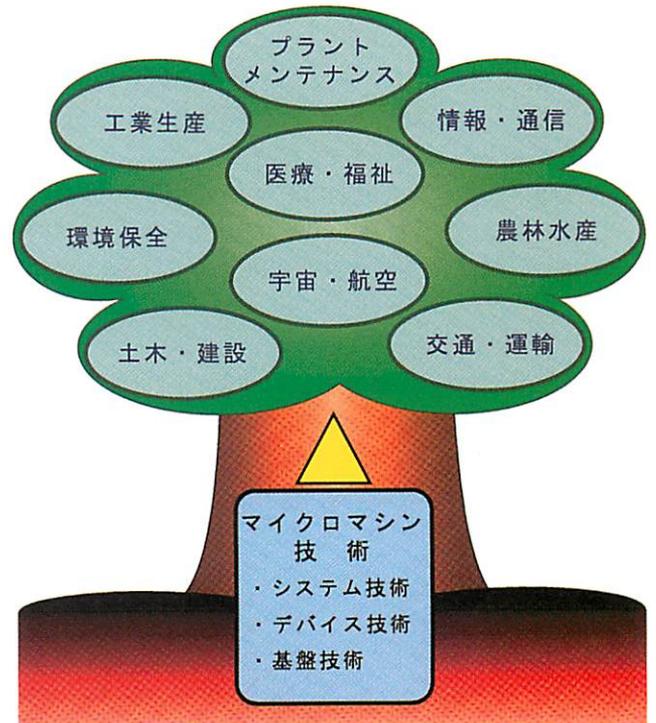


図1 マイクロマシン技術の応用分野

- ・ 細い管を体内に挿入し、血管や消化管などの閉塞や瘤の内側からの治療を行ったり、センサを用いて診断などをする管腔内処置(管腔内診断治療)
- ・ 低侵襲検査、マイクロプローブ検査法、体内その場検査

これらは、脳、神経、各臓器、組織内や、血管、消化管、気管、泌尿器などの管腔、さらには胸腔、腹腔などの管腔以外の体腔などの人の体のほとんどに適用が期待されており、しかも、微小化することにより、体に大きなダメージを与えることなく、これまで見ることが出来なかった場所の検査を可能にしたり、高精度で効率的な診断、治療を行うことができるようになります。

図2にマイクロマシン技術による体腔内診断・治療システムの概念図を示します。皮膚に開けた小さな孔から体内に入り、これまでは到達が困難であった脳の奥深いところなどで治療を行うことが可能となります。医師は遠隔操作により、

体内に入ったカテーテルを操作し、完全に塞がった冠状動脈の先端で治療を行ったり、クモ膜下出血の原因の一つである脳動脈瘤の治療などを観察しながら行うことができます。

### 1.3 必要な研究開発の内容

上記の様な診断・治療用マイクロマシンを実現するためには下記のような非常に多岐にわたる研究開発が必要とされます。

#### 必要とされる研究開発内容

機能	必要な研究開発
センシング	マイクロ触覚/圧覚センサ、マイクロ血圧・血流センサ、各種血液分析センサ、各種バイオセンサ、空間座標認識センサ
観察	CCDマイクロカメラデバイス、マイクロファイバースコープ、超音波診断デバイス
治療	高精度マイクロマニピュレータ、マイクロロボットハンド、マイクロアクチュエータ、遠隔操作用バーチャルリアリティ、テレオペレーション技術、制御技術
ドラッグデリバリー	マイクロ注射注入装置、マイクロ採血装置、マイクロポンプ、マイクロバルブ、カプセル型DDSシステム
電気刺激	神経インターフェース、人口網膜
システム化	高密度実装技術、システム化技術

上記医療用のマイクロマシン技術を研究開発する場合は、材料、生体環境、安全性、信頼性等を十二分に考慮する必要があるのは言うまでもありません。さらには、実際に臨床に密着し、医学的有効性と医学的適用のための研究開発、医用電気安全性、生体への安全性を考慮した材料選定技術、各種滅菌方法の開発等も併せて行う必要があります。

### 1.4 応用の効果

2010年における医療分野におけるマイクロマシン技術の経済効果(市場予測)は、国内だけで5,600億円と予測されており、産業としての期待も非常に大きいことが判ります。医療分野におけるマイクロマシン技術の発展は、経済的な効果

があるだけでなく、人に優しい医療福祉機器を実現し、豊かな社会を実現します。

### 参考文献

- 1) 藤正巖「医用マイクロマシンの開発研究」成果発表会抄録集 1996年3月
- 2) 「マイクロマシンの基礎技術の研究」(財)マイクロマシンセンター 平成8年3月
- 3) 「マイクロマシン技術の経済効果(技術予測)に関する調査研究報告書」(財)マイクロマシンセンター (社)日本機械工業連合会編集 平成7年3月

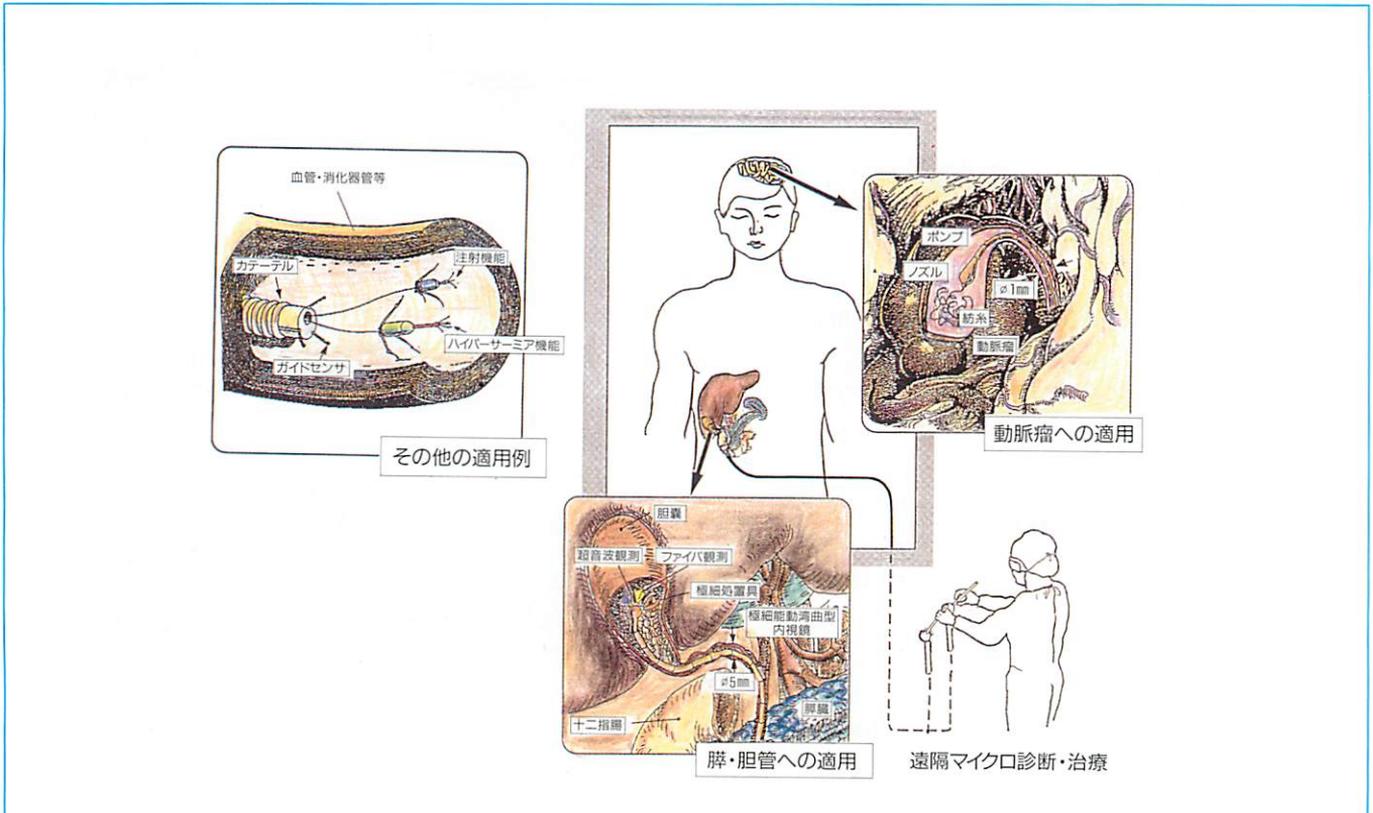


図2 体腔内診断・治療システム技術開発

## 第2回国際マイクロマシンシンポジウムいよいよ開催

マイクロマシンは、各種産業設備やプラントなどの高度で精緻なメンテナンス技術や微小部品を製造するマイクロファクトリ技術を必要とする広範な産業分野及び、患者の肉体的苦痛の少ない医療技術を必要とする医療福祉分野など、極めて広い分野において利用されることが期待されています。このような背景の下で、当センターは昨年、マイクロマシン技術の振興と普及啓発のために、初めての「国際マイクロマシンシンポジウム」を開催し、大きな成功を収めました。今年も、この成功を踏まえて「第2回国際マイクロマシンシンポジウム」を開催することで、着々と準備を進めています。

今回は、マイクロマシン技術に関し、欧米における研究開発成果、その適用状況及び、技術振興の方策などのプレゼンテーションと、本年が通商産業省工業技術院の産業科学研究開発制度における10年計画の「マイクロマシン技術の研究開発」プロジェクトの第2期の立ち上げのときでもあるので、その計画を紹介するとともにアプリケーションの展望を示し、内外の学識経験者との意見交換を行うことをねらいとしています。

シンポジウムは、7つのセッションから構成され、第1日目は、オープニングで東京大学の月尾嘉男教授が基調講演を行い、続いてのセッションで内外の招待講演者による産業化への方策の提言、海外の活動紹介、および革新研究紹介のプレゼンテーションを行います。海外からの招聘講演者は、次の4名です。

オランダ・トウェンテ大学

Dr. Albert van den BERG

欧州委員会

Mr. Horst FORSTER

米国・ミシガン大学

Prof. Kensall WISE

米国・マサチューセッツ工科大学

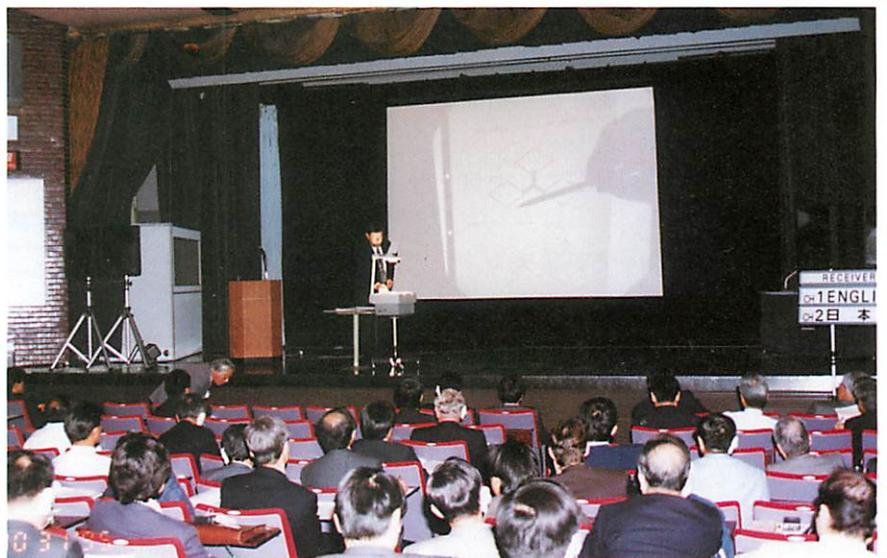
Prof. John MADDEN

第2日目は、産業科学技術研究開発制度プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」の進展状況について、濱野径雄工業技術院研究開発官による総論と当センター研究開発部会メンバーによる第2期システム化技術の研究開発の概要、及び研究開発の事例のプレゼンテーションを行い、終わりに当センターの活動を紹介することになっています。

本年は、国際シンポジウム参加者にもマイクロマシン展をも見学して頂くため、午後3時30分に閉会することになっています。(マイクロマシン展の終了は、午後5時)

その他の概要は次の通りです。

- ・会 場 科学技術館 サイエンスホール  
東京都千代田区北の丸公園2-1  
Tel: 03-3212-8485
- ・会 期 平成8年10月31日-11月1日
- ・主 催 (財)マイクロマシンセンター  
(財)日本産業技術振興協会
- ・後 援 通商産業省  
(予定) 工業技術院  
新エネルギー・産業技術総合開発機構
- ・協 賛 マイクロマシン連合  
(予定) マイクロマシン研究会 (東京)  
マイクロマシン研究会 (名古屋)  
(社)日本ロボット工業会  
(財)発電設備技術検査協会  
(社)日本機械工業連合会
- ・参加費 15,000円(予稿集代・懇親会費用を含みます)



国際マイクロマシンシンポジウム会場風景

## 一般賛助会員への入会のおすすめ

微細で複雑な作業を行う大きさ数mm以下の機能要素から構成された微小な機械＝マイクロマシンは、各機械システムの複雑化、精密化に伴う高度で精緻なメンテナンス技術を必要とする産業分野や患者の肉体的苦痛の少ない高度で精緻な医療技術を必要とする医療福祉分野等広い分野で関心が持たれています。マイクロマシンの基盤技術の確立及びマイクロマシンの普及を図り、我が国の産業経済並びに国際社会への貢献に資することを目的として、平成4年1月24日に通商産業大臣の認可を得て「財団法人マイクロマシンセンター」が設立されました。

当財団は、平成3年度から10年計画（250億円）でスターとした工業技術院産業科学技術研究開発制度の開発プロジェクト「マイクロマシン技術」の受託機関として研究開発を行うとともに、自主調査研究、産官学共同研究の推進や国際シンポジウム等の諸事業を行っています。

当財団の事業目的や事業にご賛同、ご理解をいただき、ご入会されますと、次の諸事業へ参加および利用がいただけます。

- 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し込み下さい。

会 費 等：入会金（入会時）400万円  
年会費200万円

お問い合わせ先：財団法人マイクロマシンセンター事務局総務部

## 編集後記

21世紀の新しい産業基盤づくりを目指して開始されたマイクロマシンプロジェクトも5年を経過し、平成8年度からは第2期に入っています。

広報誌「マイクロマシン」も今回で17号に達しますが、研究開発の進展・国際化に伴い記事の内容もスタート時に比較すると極めて充実し、広範で専門性が高いものとなっております。

一方、研究開発の進展にあわせてマイクロマシンの普及啓発活動にも力を注いでおり、教育の現場を預かる先生等には「産業グラフ：マイクロマシン」を発行し、次代を担う小中学生によるマイクロマシン絵画コンテストも当センターの恒例事業となりました。更には昨年10月からインターネット上にホームページを開いて情報の発信に努めております。今後はマイクロマシン技術を平易に解説したビデオ等の作成を通じ、マイクロマシンへの人々の理解が深まるよう努力していく所存です。

### 発行 財団法人マイクロマシンセンター

発行人 平野 隆之

〒101 東京都千代田区神田司町2-2 新倉ビル5階

TEL.03-5294-7131 FAX.03-5294-7137

無断転載を禁じます。