

MMC

# マイクロマシン

1996・1 No. 14

- 年頭所感
- MMCの事業活動
  - ・第1回国際マイクロマシンシンポジウム
  - ・第6回マイクロマシン展
- 海外事情 ダニエル・オーデン教授とのインタビュー
- トピックス 海外講演
- 入門講座 デバイス技術
- 一般賛助会員への入会のおすすめ

財団法人 マイクロマシンセンター

# 年 頭 所 感

通商産業省工業技術院長  
平 石 次 郎



平成8年の新春を迎え、謹んでお慶びの言葉を申し上げますとともに、年頭のごあいさつを申し上げます。

21世紀を目前に控えた今日、自由貿易体制の下、経済活動のグローバル化・ボーダーレス化が一段と進み、世界経済は本格的な大競争の時代に入っております。一方で、我が国経済は依然として厳しい状況にあり、国内では戦後の発展を支えてきた従来のキャッチアップ型の経済システムがむしろ新たな発展の足かせになっている面もあります。こうした経済の先行きの不透明感を払拭し、経済の活力を高め我が国の中長期的発展を切り開いていくためにも、規制緩和の推進、金融・資本市場の整備等の制度改革に加え、研究開発、情報化等の発展基盤の整備を通じた新たな経済フロンティアの拡大などの経済構造改革が必要であります。

特に、経済フロンティアの拡大を通じたより豊かな国民生活の実現のためには、その基礎となる科学技術の振興が不可欠であり、次世代に引き継ぐべき資産として科学技術に対する期待とその重要性が以前にも増して増大しております。しかし我が国の科学技術をめぐる状況は、長引く不況の影響を受け、政府、民間併せた科学技術研究費の総額が調査開始以来初めて2年連続で減少するなど、なお厳しいといわざるを得ません。こうした中で、昨年11月に科学技術に対する国民の期待を背景に科学技術基本法が成立するとともに、昨年12月に閣議決定された新経済計画においては「科学技術基本計画」を策定し、知的資本の総合的計画的な整備を推進するとともにできるだけ早期に政府研究開発投資の倍増の実現を図る旨決定されたところであります。これらにより、科学技術の振興に対する我が国としての取組の姿勢が明確にされたことは、「科学技術創造立国」を目指す我が国にとって大変意義深いことであります。創造的な科学技術の発展のために政府の果たすべき役割は大きく、そのためにも政府研究開発投資の倍増を例えば2000年を目途に出来る限り早期に実現することを目指すとともに、実際に研究に携わる研究者の方々が意欲を持って研究できるような柔軟かつ競争的な研究開発環境を整備し、具体的成果が生まれるよう努めていく所存でございます。

このような決意の下、工業技術院では平成8年度において、次のような施策を積極的に推進してまいります。

まず第1に、新たな経済フロンティアの拡大を可能にするため、独創的・先端的な研究開発を推進してまいります。将来の産業技術のシーズの発掘・提示を目的とし、独創的な研究開発テーマを公募する制度は平成7年度の2度にわたる補正予算において実施され、いずれも20倍前後の高い競争率となる等、大変高い評価を頂いたところであります。平成8年度においても提案公募による「独創的産業技術研究開発促進制度」の創設を提案しているところでありますが、引き続き、新たに「ヒューマンメディア」、「独創的高機能材料創製技術」の2テーマを加えた産業科学技術研究開発制度、エネルギー環境問題という地球的規模の課題に取り組むニューサンシャイン計画、さらには今後の少子高齢化に適切に対応するための医療福祉機器技術の研究開発、地域の研究開発ポテンシャルを活用した重要地域技術研究開発制度等を推進いたします。また国立研究所において光基盤技術、バイオテクノロジー等戦略的研究を推進いたします。加えて、研究開発の効果的な推進のため重点的なテーマ選定と適切なレビューを実施する

とともに、人材、資金、研究開発成果等に係る諸制度の見直しを進めてまいります。

第2に、科学技術の産業化を効果的に進めるため産学官の連携を推進し、独創的研究開発の重要な担い手である若手研究者、外国研究者等の積極的登用を図ってまいります。このため、「独創的産業技術研究開発促進制度」の活用に加え、産業技術フェローシップ制度や工業技術院（AIST）フェローシップ制度といった、内外の研究者の交流を支援する制度を拡充してまいります。

第3に、研究開発活動の効率化、高度化を図るため、研究開発基盤の整備を推進いたします。具体的には、計量標準等の知的基盤の整備を図るとともに、施設の老朽化・陳腐化が著しい国立研究所においては研究施設を整備してまいります。また研究情報に係るネットワークや公開データベースなどの研究情報基盤の整備や研究の基礎となる評価手法の提供といった研究開発基盤の整備を行ってまいります。

第4に、内外の研究ポテンシャルの向上を図るため国際研究交流を推進してまいります。本年度も引き続き日米包括協議の一環として米国との間で合意した「民需産業技術協力」、ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム、NEDO Grant等を実施してまいります。

第5に、新たな産業分野開拓の原動力となる新規事業創出を図るため、民間の技術シーズの産業化に取り組む技術開発活動への支援を推進いたします。具体的には、平成8年度においては新規産業の創造に資する技術開発に必要な資金を補助する新規産業創造技術開発支援制度の創設を提案しているところであります。

第6に、工業標準化行政を推進してまいります。具体的には、消費者保護、高齢者・福祉、環境保全等の社会ニーズに応える規格の整備を推進してまいります。また、規格、制度の国際的なハーモナイゼーション及び規制緩和の推進の観点から、JISの国際規格との整合化や品質システム、環境マネジメントシステム等新たなタイプの規格の作成・普及に注力するとともに、国際標準化活動に積極的に貢献してまいります。さらに、技術革新の進展に対応する新たな標準化行政を展開してまいります。

このような観点から、今春には標準化行政の今後の基本的方向性を定める「長期計画」を策定し、その実施を図ってまいります。

以上、新年を迎え、今後の技術開発施策についての私の所信の一端を申し上げます。工業技術院としては、これらの施策を通じて、産業界、大学等の皆様の御協力を頂きながら、21世紀を活力に満ちた豊かな社会とするために科学技術創造立国の実現を目指し、全力を尽くして我が国の科学技術研究開発を推進してまいり所存でございます。皆様の一層の御協力と御理解をお願いいたしまして私の新年のごあいさつとさせていただきます。



## 第1回 国際マイクロマシンシンポジウム

去る11月1、2日の両日、東京北の丸公園の科学技術館において、「マイクロマシン技術—次代の産業技術の基盤」をテーマとした第1回国際マイクロマシンシンポジウムが当センターと(財)日本産業技術振興協会との共催で開かれ、成功裏に閉幕しました。

本シンポジウムは、これまで当センターが、マイクロマシン研究会(東京)と共催してきた「マイクロマシンシンポジウム」と、産技プロジェクトの研究成果を公開するために(財)日本産業技術振興協会との共催で開いていた「成果発表会」とを併せ、更には、国際的な情報交流を促進するため、欧米からも講演者を招き、同時通訳で開催されたものです。

第1日目のオープニングでは、来賓として、通商産業省機械情報産業局 渡辺修局長はじめ、工業技術院の平石次郎院長、NEDOの松井秀行副理事長が挨拶をされ、マイクロマシン技術がいかに重要で、期待されているかを象徴するものとなりました。

引き続き、生命誌研究館の中村桂子先生による基調講演を始め、マイクロマシン技術関連の内外の研究者等による「マイクロマシン産業への途」、「海外の活動」および「革新的研究紹介」をテーマとした9件の招待講演が行われ、マイクロマシンが産業として実現する途を探りました。

このうち、米国からの招待講演者Wisconsin-Madison大学のGUCKEL教授が健康上の理由により、急に出席できなくなりましたが、東京大学の藤田博之教授、立命館大学の杉山進教授のご好意による代講で無事、カバーできました。

招待講演者は次の通りです。

- 児玉文雄 東京大学教授
- 田中茂夫 日本医科大学教授
- Dr. Guido R. Tschulena (ドイツ)
- Prof. Henry Guckel (米国) (藤田先生・杉山先生による代講)
- Dr. Constant Axelrad (フランス)
- 大前伸夫 大阪大学助教授
- 畑村洋太郎 東京大学教授
- 松田武久 国立循環器病センター部長
- 佐藤一雄 名古屋大学教授



第1回国際マイクロマシンシンポジウム来賓挨拶

第2日目には、通商産業省工業技術院のプロジェクトである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」の進展状況を発表するセッションとして行われ、冒頭の「総論」では通商産業省工業技術院の近藤正幸 研究開発官による講演が行われ、続いて1991年からスタートした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I期の成果等の発表として3国研からの発表を含め併せて20件の発表が行われ、今後の研究開発の進展が期待される内容の充実したシンポジウムとなりました。

今回の国際シンポジウムの全参加者数は、当初の予想を大きく上回り、505名に上り、第1日目には、一時、当日の参加申し込みをお断りするような状況で、大変な盛況でした。これも、マイクロマシン技術の研究開発に対する関心が非常に高まりを見せてきている証左と思われます。

なお、次回開催は次のとおりです。

### 第2回国際マイクロマシンシンポジウム

会期：1996年10月31日(木)～11月1日(金)  
会場：科学技術館サイエンスホール・東京北の丸公園

## 第6回 マイクロマシン展 出展紹介

去る10月31日～11月2日の3日間、東京北の丸公園の科学技術館において、第6回マイクロマシン展が、当センターとマイクロマシン研究会（東京）との共催で開催されました。

過去5回の展示会では、「産業用」を冠していましたが、より広い分野へのマイクロマシン技術の適用を目指して今回からは「マイクロマシン展」としました。

今回の展示会は、当センターの賛助会員を中心にマイクロマシン関連企業をはじめとして国立の3研究所、大学等内外からの69の企業・団体が出展し、展示会場の広さも去年の約1.5倍となりました。今年が産技プロジェクトの第I期の最終年度に当たるため、過去5年間の集大成が展示されたこともあり、3,500名を越える見学者となり、熱心に説明を聞いたり、レベルの高い質問も多く、しかも各展示を時間をかけてじっくり見ている方々が多く見受けられました。

研究成果を出展した企業には、実際の研究開発に携わっている若い研究者を説明員に起用したところが多く、各社のマイクロマシン技術の研究開発に対する積極的な取り組みと意気込みを見学者に強く印象付け、今後に大きな期待を持たせるものとなりました。

以下は、会員27社の出展概要です。（ブース順）

なお、次回開催は次のとおりです。

### 第7回マイクロマシン展

会期：1996年10月30日（水）～11月1日（金）

会場：科学技術館・東京北の丸公園



第6回マイクロマシン展会場風景

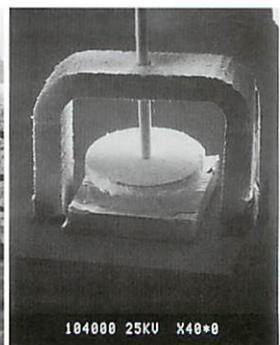
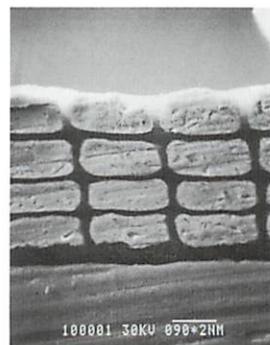
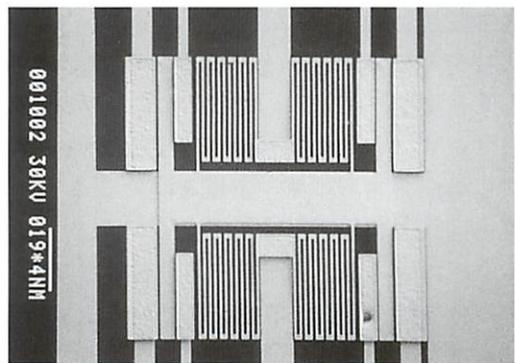
### 電磁／静電マイクロアクチュエータ

(株) 富士電機総合研究所

マイクロマシンシステムの駆動力源とするためのマイクロアクチュエータとして、1mmサイズの電磁／静電マイクロアクチュエータの研究開発を進めています。

電磁マイクロアクチュエータは、薄膜多層コイルと薄膜永久磁石を用いたアキシシャルギャップ形モータとすることにより、ロータ径1mmのマイクロ化を達成し、最大24,000r/min.の回転速度を得ました。ここで用いた薄膜多層コイルは、断面 $6 \times 17 \mu\text{m}$ 、5ターンのコイルを4層で厚さ $33 \mu\text{m}$ に積層しました。さらに、より高出力化を目的として、薄膜多層コイルの絶縁材料をポリイミドから熱伝導の良好なダイヤモンドにするため、ダイヤモンドの成膜、加工の研究を行っています。

静電アクチュエータは、新方式のリニアアクチュエータです。これは、機械的振動等のストロークの小さな往復運動から一方向の動きのみを取り出すことにより、長いストロークのリニア軸出力を得ます。メッキにより1mm角の金属製のアクチュエータを製作し、さらにアクチュエータアレイの開発を進めています。



## 信号発振デバイス

住友電気工業 (株)

水中マイクロカプセルに搭載され、超音波を発振して外部へ信号を伝えるデバイスを開発しました。水中で減衰の少ない周波数を発振するためには、通常音源として使用される圧電セラミックスでは大きくなりすぎます。そこで圧電セラミックスの柱が多数樹脂中に林立した複合圧電材料(写真1)を用いて小型化を図りました。

しかし複合材料では圧電セラミックス単体と比べ、エネルギー変換効率が低下します。この低減を可及的に抑制するためには、圧電セラミックス柱を微細化、

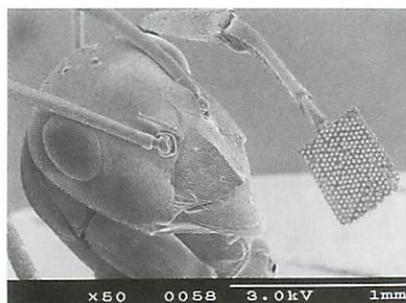


写真1 信号発振デバイス

高アスペクト比(高さ/横幅)化することが効果的であることが明らかになりました。

そこでディープエッチX線リソグラフィ技術を用いたセラミックスの微細加工プロセスを開発し、直径 $20\mu\text{m}$ 、高さ $140\mu\text{m}$ の圧電セラミックス柱列(写真2)の製作に成功しました。従来セラミックスの微細化限界は $100\mu\text{m}$ 程度とされており、大幅に向上したことになります。これを用いて複合圧電材料を製作し、寸法、エネルギー変換効率とも所望の値を満たすデバイスを実現することができました。

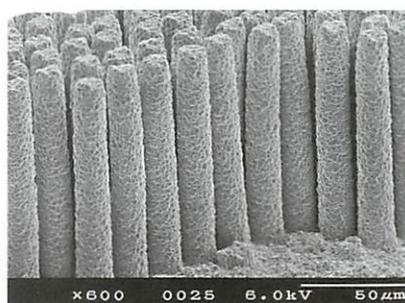


写真2 圧電セラミックス柱列

## マイクロ発電機

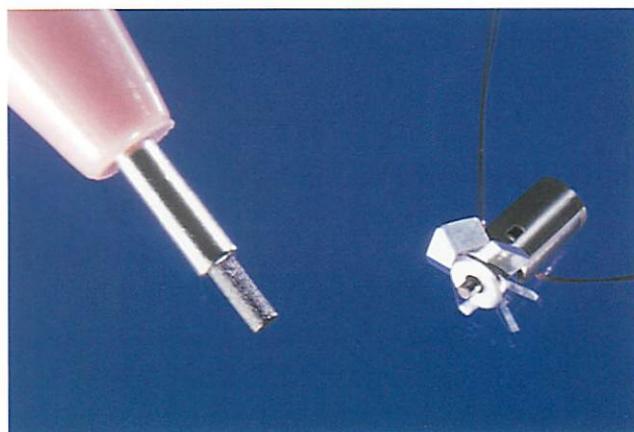
三菱電機 (株)

外径 $2\text{mm}$ 程度のマイクロカプセルへの搭載を目的に、マイクロ発電機の要素技術を開発し、直径 $1.2\text{mm}$ の発電機を試作しました。

要素技術としては、まず薄膜磁石の形成について、結晶方位を膜厚方向に揃えることによりラジアル異方性を有するサブミリのサイズの回転子を実現しました。ラジアル方向のエネルギー密度を高めることにより、発電機の高出力化に貢献することができます。また、コイル巻線について、有機系の絶縁樹脂と比較して信頼性の高い無機材である酸化シリコンの厚膜の低応力成膜技術を開発しました。その膜の高アスペクト比でエッチング技術並びに微細溝パターンへの電気メッキ技術により、高占積率・高密度の微細コイルの作製が可能になります。さらに、高速軸受について、イオンビームエッチングによる微細スパイラル溝形成技術、並びにイオンミキシングによる窒化チタン表面改質膜の形成技術を開発しました。これにより、負荷能力が高く耐摩耗性に優れた空気軸受が実現できます。また、固定子の形成について、円筒形状巻上げ法という独自のファブリケーション技術を開発することにより、微

細巻線を内蔵し複雑な3次元形状を有する高効率の円筒形状固定子を、省工程で作製することが可能になります。

これらの要素技術により直径 $1.2\text{mm}$ の発電機を試作し、軸端にタービンを取り付けて空気流で回転させたところ、数十ミリボルトの無負荷端子電圧の発生が計測され、発電機としての機能を有することが確認できました。今後は、要素技術の高度化による出力の向上を目指します。



## 探傷デバイス

松下技研 (株)

水の満たされた細配管群に対し、配管内部より配管の損傷を非破壊で検査する探傷デバイスのための超音波式探傷センサ、超音波走査ミラー付き静電ウォブルモータを開発しました。

超音波式探傷センサは圧電セラミックを使用し $\phi$ 1.4×1.5mm、中心周波数20MHzと小型で、配管検査基準を満たす損傷の検出が可能です。

静電ウォブルモータ(写真1)は、外径 $\phi$ 1.4mmと小型で、0~380回転/分の低速回転が可能です。このモータを実現するために、円筒上に犠牲層を含む種々の薄膜を形成し、ロータからステータまで一括で作り上げ、最後に犠牲層を除去してモータを完成する加工法を開発しました。これにより組立することなくサブミリサイズのモータを実現できます。

また、モータの軸と走査ミラーを一体で実現するために、微細放電加工による立体形状創成法(写真2)と面の仕上げを目的とした混入微粒子と電解を複合した高仕上げ面加工法を開発しました。これにより寸法精度0.11 $\mu$ m、表面粗さ32nmと優れた特性を有するサブミリサイズの立体加工を実現しました。

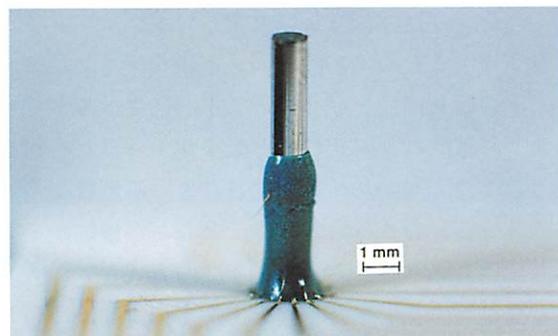


写真1

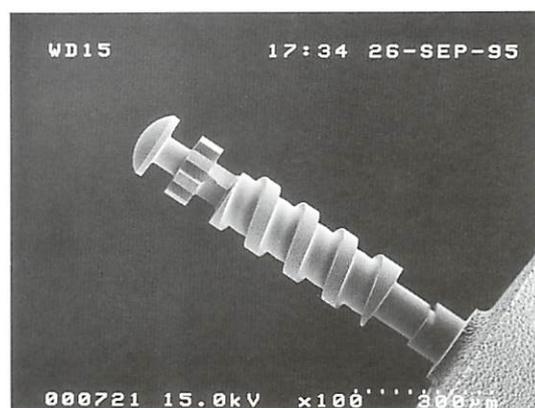


写真2

## マイクロジャイロ

(株) 村田製作所

マイクロカプセルが自分位置を認識するために必要な、超小型の振動ジャイロを開発しました。マイクロジャイロの振動部は、表面マイクロマシニング技術により、厚さ5 $\mu$ mのポリシリコンを加工してシリコンチップ上に形成します。寸法は400 $\mu$ m×800 $\mu$ mで、従来の機械加工・組立による振動ジャイロに比べて格段に小型化できました。

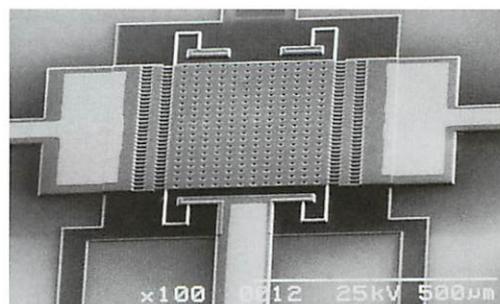
マイクロジャイロの作製技術のポイントは、ポリシリコンの高精度垂直加工と基板-振動体間狭ギャップ構造の犠牲層エッチング技術です。これらのプロセス上の課題に対して、基板温度を-150℃近くまで冷却する反応性イオンエッチング技術、凍結乾燥技術を適用することで設計寸法通りの素子を作製することができました。

作製したマイクロジャイロは、くし歯状の電極間に電圧を印加することで静電力により基板面内方向に振動します。印加する電圧の周波数を共振周波数に合わせることで、およそ10 $\mu$ mの振幅で振動させることができます。この状態で振動方向と直行し基板面内にある軸回りに素子が回転すると、基板垂直方向にコリオリ

力が働き、振動板が基板垂直方向にブレて振動します。このブレを基板と振動板の静電容量変化として検出することで、回転速度を検出します。

試作したマイクロジャイロは、真空雰囲気でおおよそ2°/sの分解能が得られました。また、マイクロジャイロからの信号をパソコンにより積分処理することで、初期位置からの角度変化を検出できることを実験により検証しました。

今後は、素子を更に小型高精度化するとともに小型パッケージング技術を開発して、将来のマイクロマシンのセンシングデバイスとしての適用を目指します。



## ロータリ型マイクロアクチュエータ

(株) 安川電機

高トルク・高速回転を特徴とするマイクロアクチュエータを実現するために、静電式と電磁式マイクロアクチュエータの研究開発を進めています。発生トルクで考えた場合、静電式は電磁式に比べ微小化するほど有利と言われています。しかし、実用化されている例はなく、また、具体的にどのくらいの寸法でどちらが優位かを実際に示した例もありません。従って、両方式のアクチュエータ寸法に対するトルク特性を把握する研究は、高トルク・高速回転を有する最適なマイクロアクチュエータを開発する上で重要なことです。また、マイクロアクチュエータのトルク特性の評価には、トルク測定装置の開発が必要です。

図1は、解析と試作機の実測値から両方式のロータ寸法とトルクを比較した結果です。ロータ径が0.7mm付近を境に両方式の優劣が逆転することが分かりました。トルク評価の為に開発した微小回転トルク測定装置を図2に示します。この装置の開発により、従来測定できなかった $10^{-7}$ ~ $10^{-5}$ Nmのトルク測定が可能になり、マイクロ

アクチュエータの評価ができるようになりました。

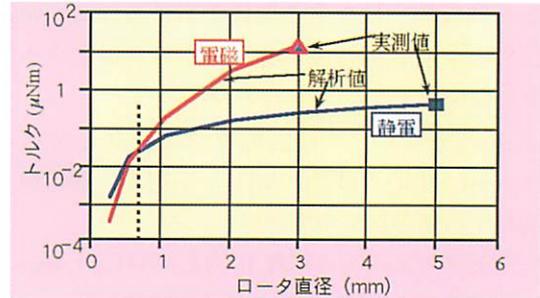


図1 ロータ直径とトルクの関係

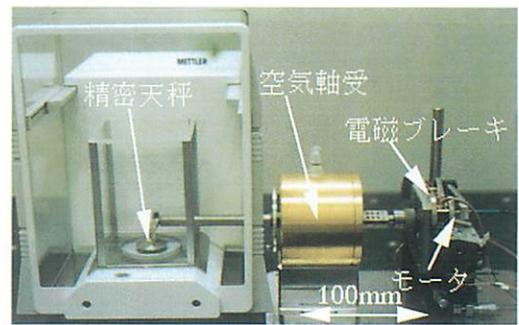


図2 微小回転トルク測定装置

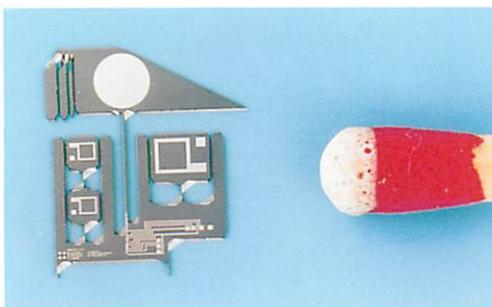
## マイクロスキャナ

オムロン (株)

オムロンでは、自走マシン誘導用センサなどへの応用が期待できる光ビームを2次元に走査して物体形状を認識する光走査式センサのマイクロ化に取り組んでいます。このセンサをマイクロ化するには、光を2方向にスキヤニングする光スキャナのマイクロ化と、ひとつの素子への機能の集積化によるセンサ構成要素数の削減が必要となります。

今回このマイクロ化と集積化をシリコン微細加工技術と半導体形成技術を組合せて試みた結果、2次元光走査が可能なシリコン振動子上に、受光素子とピエゾ抵抗素子とを一体化したマイクロスキャナが完成しました(写真参照)。

このマイクロスキャナは、外形10mm×10mmで、圧



電アクチュエータの加振で振動子のふたつの共振振動モードを発生させ、トーシオンばねで支持されるミラーの回転振動により2方向への光走査を可能にするものです。また、この振動子上にフォトダイオードを形成して光検知を可能にすると同時に、トーシオンばね部にばねの歪みを検知するピエゾ抵抗を形成して光が走査される位置を常にモニタできるようにしています。これらにより、従来別素子であったスキャナ、受光素子、振動検知センサがひとつの素子に集積され、センサのマイクロ化が図れました。

また、このマイクロスキャナを搭載した直径1インチの管内部形状を検知する外形22mmのセンサを試作し、スキャナで管内壁をスパイラル状に走査していく方法を用いることによって、管内形状を3次元的に検知できるようになりました。

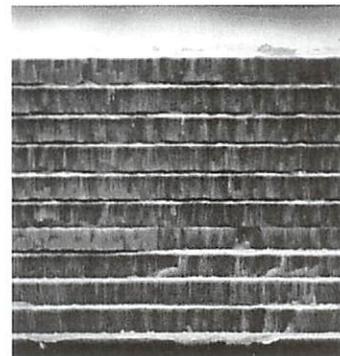
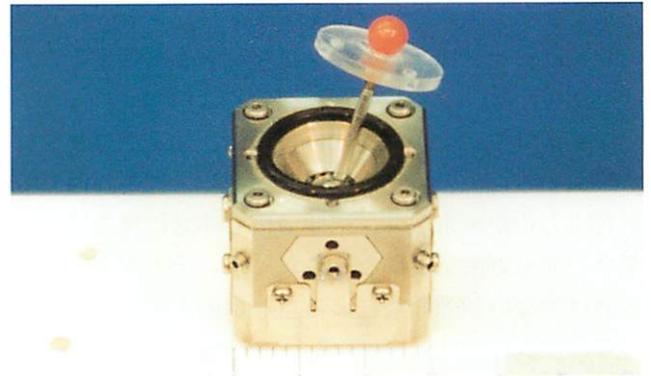
今後さらにセンサをマイクロ化するには、スキャナを加振しているアクチュエータのマイクロ化、集積化が必要です。そのために圧電アクチュエータの薄膜化に着目し、圧電材料の薄膜形成技術に取り組みました。その結果、高い圧電定数 ( $d_{31} = -100$  pC/N) を持つ厚さ約 $1\mu\text{m}$ のPZT薄膜が形成できるようになりました。

## 圧電駆動型3自由度ジョイント

川崎重工業 (株)

マザーマシンが配管内を移動するには、配管の屈曲部や分岐部でその形態を自由に変形させる必要があります。このため、マザーマシンを所望の形態に変化させる連結デバイスが必要になります。川崎重工業は、このような連結デバイスを対象とし、圧電素子を駆動源とする能動3自由度ジョイントの技術確立を目指しています。本3自由度ジョイントは、複数の圧電素子を組み合わせた力発生器をロータ球の周辺に配置し、ロータ球を摩擦駆動する構造に特徴があります。本研究では、力発生器先端を自由に軌道制御できる微小運動制御技術と複数の力発生器先端の運動方向を協調させるロータ球回転制御技術を確立しました。これらの制御技術は、複数のマイクロマシンの統合や協調を実現するための共通基盤技術となります。

さらに、本研究では、能動3自由度ジョイントを微小化するために、スパッタリングによる圧電薄膜形成技術やFIBによる3次元配線技術を使って積層型圧電素子をマイクロ化する技術を確立しました。また、マイクロ化することで圧電素子の駆動電圧を大幅に低減することができました。



積層型圧電マイクロアクチュエータ

## ホロニックメカニズム

三菱重工業 (株)

マイクロマシンに適したメカニズム構成として、基本的に同一、もしくは同種の機能要素を多数個ハード的に連結したメカニズムを提案しています。この機能要素を「ホロン」、メカニズムを「ホロニックメカニズム」と呼んでいます。写真1に示す40個のホロンから構成される動作モデルを試作しました。同一構造のホロンを36個、屈曲-回転-屈曲-…の順で連結しています。各ホロンの機能は単純ですが、多数連結したため全体の自由度は大きく、様々な移動形態をとることができます。

従来にない多自由度の制御手法として、作業や、移動環境に応じた基本形態を設定し各基本形態に必要な自由度だけを駆動する「変態制御」を提案しています。これを、連続写真(写真2)に示す「移動の連続的シミュレーション」で実験しました。動作モデルは、段差を四脚形態で降下した後、腹這い形態に「変態」して模擬配管の下をくぐり抜け、再び四脚形態に変態して歩きます。この一連の動作を連続して行わせることで、このメカニズムが形態を変態しながら移動などの作業をこなせることが例証できました。

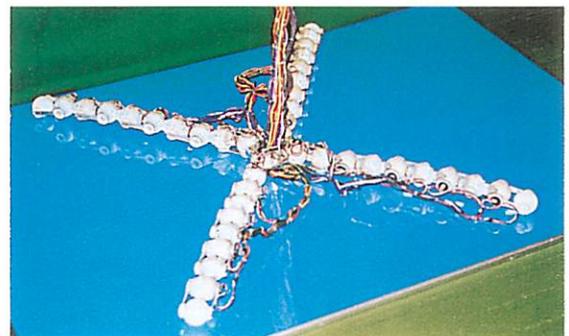


写真1 ホロニックメカニズム

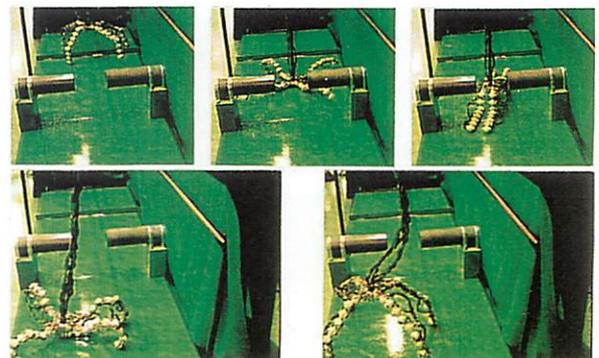


写真2 変態制御例証実験

## マイクロマシンの行動制御

ISロボティクス社

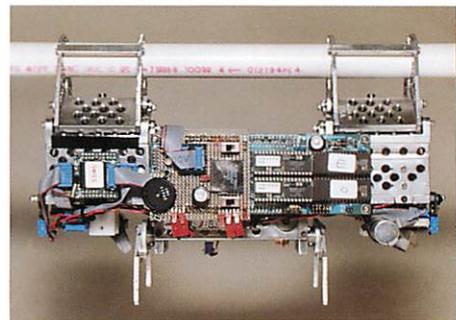
ISロボティクス社では、マイクロマシンのシステム化に必要な、複数のマイクロマシンを制御することが可能な行動制御の研究開発を行っています。

マイクロマシンの制御においては、マイクロマシンに搭載するために、制御回路の小型化、制御回路の低消費電力化が要求され、情報通信も非常に狭帯域での簡単な通信方法を余儀なくされます。そのため、行動制御は少ない制御回路による自律制御を可能にするもので、マイクロマシンの制御として優れています。

開発したロボットは10Kバイトのメモリを持ったマイクロプロセッサと単純なセンサから構成されているにもかかわらず、複雑な自律動作とマニピュレーション作業を行うことが可能です。これまでの制御は、機能毎に制御回路を構成していましたが、行動制御では、作業単位で制御を構成しています。これにより、各々の作業が単純な制御回路で実行できる特徴を持っています。開発した行動制御は、100ゲート以下と小型で、マイクロマシンに搭載可能な小型化に有利な自律制御

システムです。行動制御の制御性を示すためにパイプ検査作業を行う写真に示すRemus Robotと呼ばれるプロトタイプロボットを試作しました。このロボットは、これまで開発したKAA, Piper-1, Piper-2のロボットを高度化させたもので、センサ信号からアクチュエータの動作までの制御性の確認に用いました。

プロトタイプの研究開発により、行動制御は、最小限の制御回路で複雑な動作をリアルタイムで制御することを可能にする方法で、マイクロマシンの制御に最適です。



## 人工筋肉の研究

(財) SRIインターナショナル

SRIインターナショナルでは、電歪ポリマーを用いた小型ロボット用の人工筋肉を研究しています。

この筋肉は、ポリマー膜に柔軟な電極を付け、電圧をかけると厚さ方向に収縮し、面方向に伸びます。ポリマーは、それ自身の比誘電率により静電力を増すことが可能です。いままでに大きな歪値 (>30%) と大きな駆動圧力 (シリコンで0.21 MPa : ポリウレタンで1.9 MPa) を得ています。本人工筋肉の性能は、自然界に存在する筋肉に匹敵する性能で、かつ効率や応答においては生体の筋肉より勝っています。

人工筋肉は、スピンコーティング、ディッピングまたはキャストリングを用いて製作することができます。このようにして製作された筋肉をよりコンパクトにするため折ったり巻いたりすることが可能です。

図2に示す人工筋肉アクチュエータは、スピンコーティングで製作した後、折曲げそして巻き20層としました。本アクチュエータのサイズは、長さ10mm×直径3mmで得られる歪値が1mmで駆動圧力が最大2グラム ( $2 \times 10^4 \mu\text{N}$ ) です。また本アクチュエータの自重は、約0.1gです。

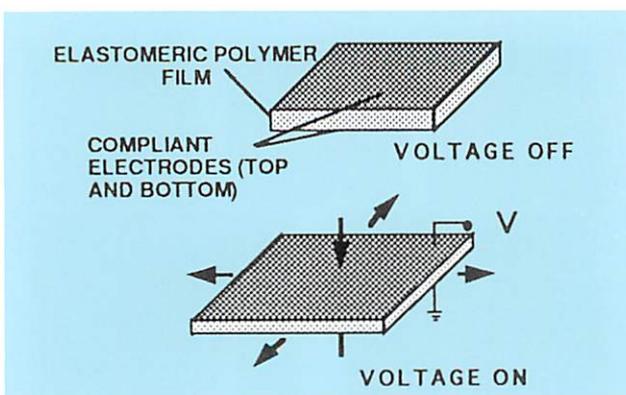


図1 人工筋肉の動作原理

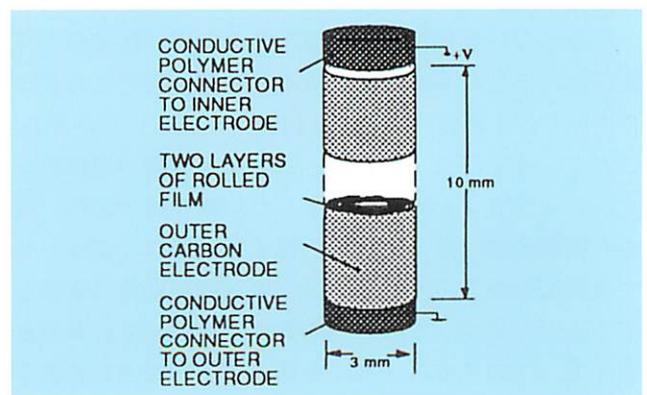


図2 ロールフィルム型デモ用アクチュエータの構造

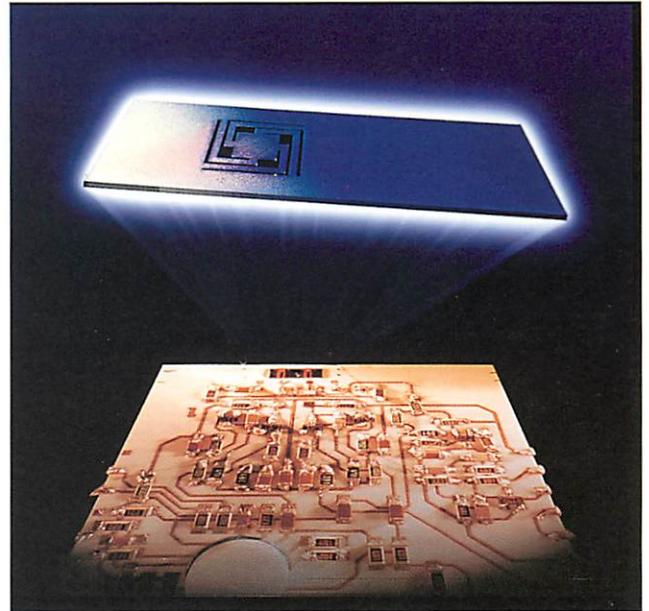
## マイクロサスペンションシステム

王立メルボルン工科大学

マイクロマシンの可動部品間の摩擦を最小にする駆動及びサスペンションシステムの研究を行っています。部品が小さくなると、摩擦力等の表面力の影響が大きくなるため、摩擦を最小にする研究はマイクロマシン技術の重要な要素技術となります。この研究の第1ステップとして、1自由度サスペンションシステムを開発しました。このシステムは多層コイル、シリコンの立体的梁構造、永久磁石、センサコイルから構成されています。

1自由度以外を構造的に拘束したこのシステムで、マイクロサスペンションの設計技術の研究を行っています。さらに、要素技術として、マイクロサスペンションシステムを製作するためのリソグラフィ技術、エッチング技術、メッキ技術等微細加工技術やNd-Fe-B永久薄膜磁石形成技術の研究を行っています。また、ミリサイズの磁気ベアリングを用いてニューラルネットワークや $H^\infty$ 制御等の先進制御技術によるマイクロサスペンションの制御技術の研究も行っています。今後

は開発した技術をもとに、マイクロ磁気ベアリングならびにマイクロギアとの集積化技術の開発を目指します。

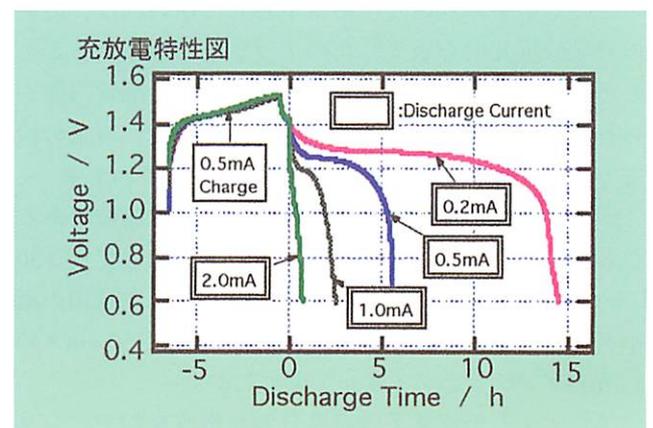


## マイクロバッテリーデバイス

三菱マテリアル (株)

マイクロマシンのエネルギー供給源の一つである2次電池（バッテリーデバイス）を展示いたしました。第1期では開発目標を小型化、高容量化に設定し、小型化に必要な不可欠な製造技術である膜状電極形成技術（プラズマイオン蒸着法、スクリーンコーティング法、マイクロ金型法）及びマイクロ電池組立技術を確立しました。

電極には、小型化にともなう放電容量の減少をできる限り少なくするため、放電容量特性に優れた水素吸蔵合金材料が用いられています。展示しました電池の寸法は $\phi 5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ です。この電池は、現行のミニチュア電池の薄形化の限界であります電池厚み1.5mmで、現行の電池より1桁高い1mAhという高容量を達成しています。この電池により大型の壁掛け時計、LED 12個を用いた表示パネル、液晶表示の温度計を動作させるとともに、小型走行車両モデル（ミニカー）の駆動源としてコンデンサーの約20倍以上の走行時間で動き回らせることができました。第2期では、マイクロバッテリーの高度化を目的として高電圧化、形状自在化に取り組む予定です。



## マイクロ超精密加工

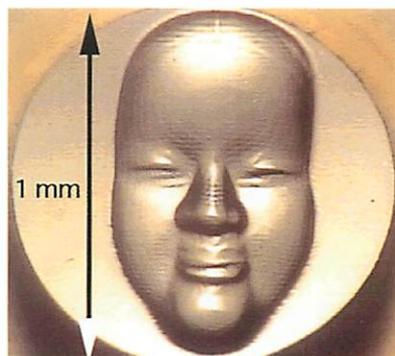
ファナック (株)

マイクロマシンを実現するためには、複雑な3次元形状を高精度に加工できる技術が不可欠です。

このマイクロ超精密加工機は、回転中心より、数ミクロンオフセットしたダイヤモンドミーリングツールの切れ刃を高速回転させて、ナノメートルの分解能を持つ超精密テーブル上でミーリング加工を行います。この技術により、直径1mmの円柱上に鏡面の肌を持つマイクロ能面を浮き彫り加工することに成功しました。この加工を実現するために、特殊ダイヤモンドツールや、芯ずれをサブミクロン以下に抑えてツールを保持する超精密把持機構などの新規開発を行いました。

新しく搭載された非接触形状測定装置は、従来の触針式と異なり、横方向からの測定が可能なので、加工対象物を傾けることなく形状精度・表面粗さなどのオンマシン測定の他、加工開始点の測定も可能となりました。

このように、微細加工の分野において、狭い溝加工を除き、任意方向の鏡面仕上げが可能な超精密マイクロ加工技術が実現されました。



## 微小アンテナ型赤外分光デバイス

横河電機 (株)

横河電機株式会社では、光を電波として微小なアンテナでとらえ、アンテナに生じた30THz (テラヘルツ) の超高周波の電流を超高速整流ダイオードにより検波し、信号変換する新しい原理のデバイスの試作に成功しました。これによりマイクロ波領域 (GHz) から赤外領域 (30THz) までの広い領域における電磁波、赤外光の計測が可能となりました。

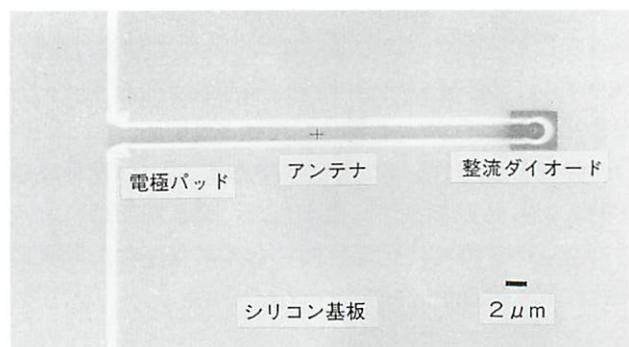
この素子を赤外線検出素子として用いれば、従来の分光分析装置を数ミリ角のチップ上に集積することも可能となり、電力プラントの細管検査を配管内側から行ったり、人体内部より診断を行うなど、将来の検査方法に大きな変革をもたらすものと考えています。

デバイス構造は、赤外線が超高周波の電磁波であることに注目し、シリコンチップ上に薄膜工程で長さ30  $\mu\text{m}$ の微小なアンテナをつくり、その先端に整流用の微小ダイオードを形成しています (図には長さ30  $\mu\text{m}$ ×幅1  $\mu\text{m}$ のアンテナとダイオードを示します)。

アンテナと整流素子の組み合わせ構成なので、シリ

コン上のラジオの受信回路です。また従来の赤外検出素子のように冷却器を必要としません。ダイオードのサイズは直径0.03  $\mu\text{m}$ と極めて小さく、新開発の加工モニタ機能が付加された集束イオンビーム加工技術を用いています。

今後の展開としては、この赤外検出素子の特性向上を図ると共に、分光機能を持つデバイスの実現に向けて、光源などの分光器として必要な素子の開発、シリコンチップ上への集積を行います。



## CCDマイクロカメラ

(株) 東 芝

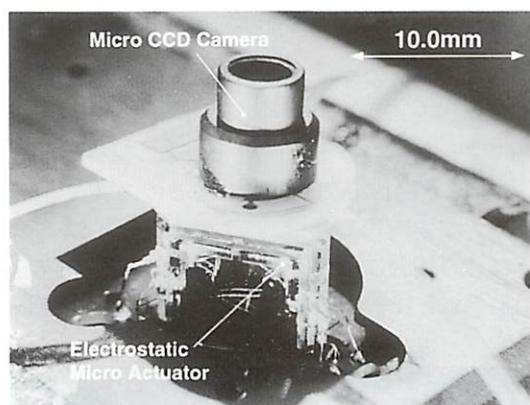
発電施設の細径配管の内部や、入り組んで狭い各種機器類の間の点検では、最も基本的な目視検査が要望されています。従来このような作業では工業用内視鏡が使われていましたが、画素が粗かったり、非常に離れた箇所や細かな位置決めを伴う観察が困難でした。そこで東芝では狭隘部を移動するロボットへの搭載を目的に、直径10mm長さ14mmのCCDマイクロカメラを開発しました。

イオンビームによって超微細加工した直径3mm長さ1.3mmの「反射屈折光学系」を新規に開発し、従来の組み合わせレンズ系の1/3の長さを実現しています。

F値は2.1~6.4で20 $\mu$ mを上回る分解能で10mmの至近距離から無限遠までの観察が可能です。またCCDや画像処理ICをパッケージから取り出し、直接積層して高密度化を図る「3次元実装技術」を開発しました。この技術により、従来は非常に薄いため不可能だったICの側面に端子を形成して電気的な結線が可能となります。光学系やCCD等は視線変更機構の上に装着され、撮影方向を上下左右 $\pm 10$ 度の範囲で細かく設定できます。この機構にはマイクロマシンの障害となる摩擦力を低減する為に、新たに開発した振動駆動制御型の

「静電アクチュエータ」が3台装着されています。1台当たりの寸法は幅2mm長さ5mm厚さ1mmです。

真暗な狭隘環境をライトの光で観察する場合、堆積物や金属傷からの反射光と周囲の暗い領域との間の照度差が大きく、通常のカメラでは良好な撮影は不可能でした。この「CCDマイクロカメラ」では、撮影可能な照度範囲を従来の16~170倍に拡大する「CCD画像信号処理技術」を開発し、明暗部が混在する劣悪な照明環境でも明暗両領域を40万画素相当の画像で観察することができます。将来は更に小形化を目指し、適用可能な分野の拡大を図ります。



## 協調制御技術応用システム

(株) メイテック

主展示品の「協調制御技術応用システム」は、メイテックが開発した圧電アクチュエータ技術と通信制御技術を応用した統合検査システムです。本システムでは、マイクロCCD（東芝製）、マイクロIRセンサ（フジクラ製）等を搭載した2台の検査モジュールが配管内を高速移動し、仮想環境を介したオペレータ操作とモジュールの協調制御により、効率的な配管内検査を行います。本システムの特徴を以下に示します。

### • デバイスの高機能化・分散化

各要素デバイスを高機能化・多機能化してスペース効率を高めるとともに、2台のモジュールに分散化して搭載しています。特に、各モジュール位置検出のために、圧電アクチュエータを利用した壁面振動超音波測距機能を備えています。

### • 効率的協調制御

粗検査と詳細検査という段階的検査に対応して作業分担された2台のモジュールの協調作業により、効率的な検査が可能です。

### • VRインタフェース

仮想環境を介したヒューマンインタフェースにより、不可視環境下におけるモジュール2台の直感的遠隔操作が可能です。

その他の展示品として、ピンタイプ圧電アクチュエータを応用した配管内移動モジュール（回路内蔵型 $\phi 36$ mmモデル、 $\phi 18$ mmモデル）と、ヒューマンインタフェース技術（意図理解機能）を特徴とする微小物体観察システムを出展しました。

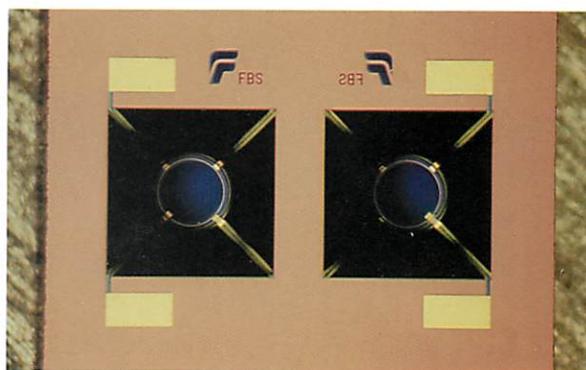


## ブロック技術のセルフパッケージへの応用

(株) フジクラ

株式会社フジクラでは、「機能ブロックの連結技術」をテーマに検討を進めてきました。機能ブロックの連結技術とは、レゴ型の玩具の様に外形・脱着方法等を規格化した種々の機能ブロックを集めて、マイクロマシンを組み立てようとするものです。この方法が実現すれば、個々のブロックは脱着可能なため、いったん組み立てたものを分解して再度組み上げたり、機能の追加・削除等も簡単にできることとなります。そのための要素技術として、我々は①接合技術、②表裏貫通配線技術、③微細加工技術、④膜物理定数計測技術を検討してきました。今回はその中より、表裏貫通配線技術及び接合技術の中から水硝子接合と異種材料直接接合、またそれらの技術の有用性を実証するために、それらの技術を用いて試作したセルフパッケージ型小型赤外線センサの展示と動作デモ、さらに今後のプロジェクトの展開に関する展示を行いました。セルフパッケージ型小型赤外線センサは、マイクロマシニング技術を活用し、赤外線検出部分を幅数十 $\mu\text{m}$ 、厚さ約 $1\mu\text{m}$ の誘電体ブリッジ4本で吊った構造としています(写真参照)。このセンサでは、キャップウエハとの接合に水硝子接合技術を、誘電体ブリッジ上に単結晶Siを残すのに直接接合技術を、信号電流のチ

ップ裏面からの取り出しに表裏貫通配線技術を活用しています。水硝子接合は低温で接合可能なため、上記のような微細構造を持つセンサにストレスを与えること無く組立可能であり、直接接合による単結晶検知部によりセンサの高感度化を達成し、また金属同士が接触している表裏貫通配線部は低抵抗で、センサの微小電流変化を裏面の電極より取り出すことが可能でした。また、このセンサは従来のもものと比較すると、小型で応答速度も速いことが確認できました。今後は、今まで検討した技術をさらに発展させ、各種デバイスを結合するマイクロジョイントの検討を進める予定です。



## マイクロ光電変換デバイス

三洋電機 (株)

マイクロマシンへの光エネルギー供給技術は、その開発課題より分類すると、マイクロ光電変換デバイスの高電圧化技術、高出力化技術、曲面実装技術に分けられます。

まず、高電圧化技術に関しては、マイクロマシン用アクチュエータとして有望な高電圧を必要とする圧電型や静電型アクチュエータを駆動させるエネルギー供給源として、微小なエリア内で多数の素子を直列接続するために、光半導体材料の水平方向への積層と水平方向のレーザによる多層薄膜の選択的加工により、3次元的で配線レスの高集積直列接続を実現しました。これにより、 $1\text{cm}^2$ 内で285個の素子を直列に接続することに成功し、世界最高の207Vの高電圧を発生するデバイスを開発しました。

次に、高出力化技術に関しては、マイクロマシンの表面を利用してエネルギー供給する場合、マイクロマシンの移動等に伴い、デバイス表面に入射する光入射角が変化するため、全ての方向からの光入射に対し多重反射による光閉じ込め効果により光の吸収率を高める必要があります。そこで、表面微細エッチング技術を用いて光電変換デバイス表面に $4\mu\text{m}$ ピッチ程度の微細な高アスペクト比凹凸構造を形成し、ほぼ水平方向(入射角約 $80^\circ$ )

からの光入射に対しても、垂直入射と同等の光吸収率を実現しました。

また、マイクロマシンの表面を有効に利用するため、任意の曲面に実装できるようフレキシブルな基板上で光電変換デバイスを形成し、曲率半径 $2\text{mm}$ 以下の実装を達成しました。本デバイスをアクチュエータに

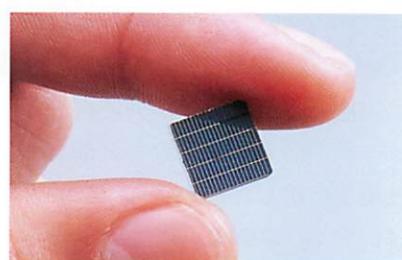


写真1 高電圧マイクロ光電変換デバイス



写真2 光エネルギー供給によるアクチュエータ走行

さらに、発電施設内の配管中の想定システムの検証システムにより、配管内においてもワイヤレスで光エネルギーが供給可能であるとともに、光通信により制御が可能であることを実証しました。

## 配管内マイクロ検査マシン

日本電装 (株)

当社では、配管内のマイクロ移動機構、環境認識用超音波デバイス、マイクロ波エネルギー供給デバイス、さらにこれらに共通する加工技術の研究開発を行っています。

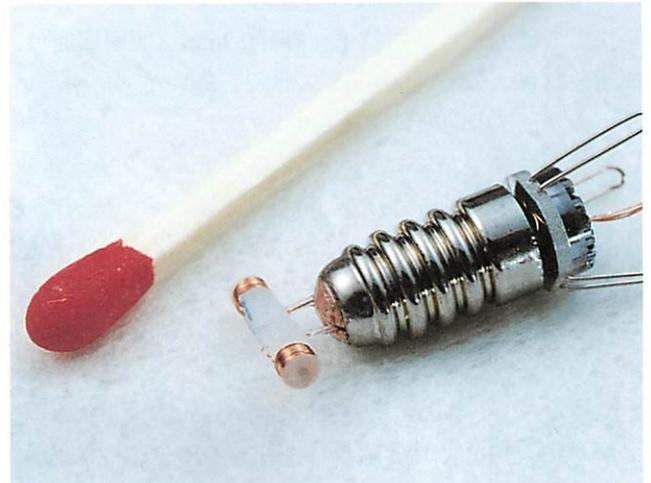
配管内マイクロ移動機構においては、曲がった配管内を前後に移動可能な寸動方式の移動機構と数 $\mu\text{m}$ 幅のクラックを感知可能な渦電流センサとを搭載したマイクロ検査マシンを開発しました。また、分岐配管等に対応可能な高度移動機構を実現するために、電極を3分割した圧電ユニモルフを積層した伸縮・屈曲アクチュエータを開発しました。

超音波デバイスにおいては、高効率の発受信が可能な複合圧電材アレイを開発し、超音波の電子収束・偏向による1次元画像の撮像に成功しました。また、30MHz、1nmの超高速微小運動計測システムも開発しました。

マイクロ波エネルギー供給においては、遮断周波数107GHz、耐圧27Vの高周波高耐圧ショットキーバリアダイオードを開発し、これを用いて配管内において無

索で圧電アクチュエータを動かすことを可能としました。

共通加工技術においては、従来は不可能であったAl-Si、Al-PZT、Cu-PZT、等の異種材料直接接合を水素結合を使った新規手法で可能にしました。さらに金属材料を用いて任意の3次元極薄構造体を形成するシェルボディ形成技術を開発しました。



## マイクロ加工技術及びマイクロ圧電モータ

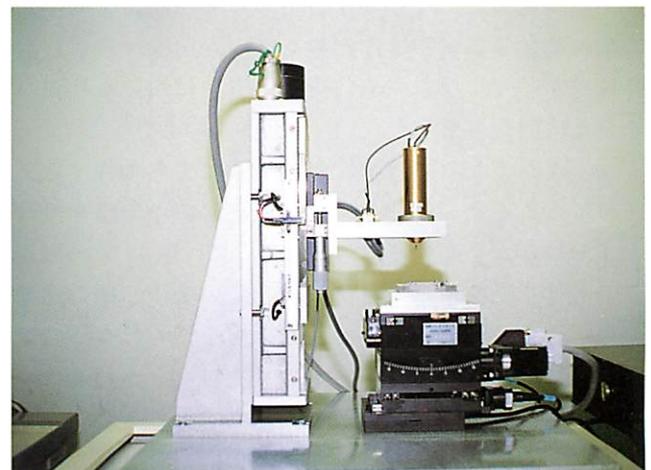
セイコー電子工業 (株)

マイクロマシン創出のための2つの新しいマイクロ加工技術の研究を行っています。1つはマイクロ電解加工技術で、走査型トンネル顕微鏡 (STM) を精密位置決め機構として利用し、極小領域を電気化学的に加工を行うものです。溶液中でサブミクロンの先端径をもつ加工プローブを被加工物に近接させ、両者の間に電圧を印加することにより非接触で電解エッチングや電解成膜を行うことができます。またSTMの機構を利用しているので、加工前後での加工部位の形状を観察することも可能です。

現在までのところ、分解能200~300nm、印加エネルギー $10\mu\text{W}$ 以下、加工可能領域 $150\times 150\mu\text{m}$ という結果が得られています。もう1つはマイクロ光加工技術で、こちらは走査型近視野原子間力顕微鏡 (SNOAM) を利用して、極小領域に光を照射することによりフォトリソグランドなどの感光性材料の加工を行います。光ファイバを加工して製作した加工プローブを被加工物に近接させ、プローブ先端から出射してくるエバネッセント光により露光を行うため、光の回折限界を超えた加工

が可能です。これまでに488nmのArレーザを用いて幅100nmのラインを形成することが可能となっています。

また、マイクロマシンのキーデバイスとしてマイクロ圧電モータの研究開発も併せて行っています。原理的に高トルク化が期待できる圧電モータについて、小型化に適した構造を検討するとともに、バッチプロセスの概念を取り入れた製作方法の研究も行っています。



## 環境認識デバイス

三菱電線工業 (株)

従来の技術では不可能な場所で観察ができる環境認識デバイスの研究を行っています。このデバイスの機能的な目標は立体視等の高機能観察や、先端部が屈曲することです。

ファイバスコープの研究では、コアとクラッドの屈折率差を極限にまで大きくすることで高い開口数を達成し、画素径を従来の $3.7\mu\text{m}$ から $2.8\mu\text{m}$ に細径化しました。また母材製造プロセスの最適化、高密度照明光伝送技術の研究を行った結果、外径 $0.2\text{mm}$ （照明機能付、画素数2,000、分解能 $80\mu\text{m}$ ）の世界一細いイメージファイバスコープの開発に成功しました。

形状記憶合金（SMA）マイクロコイルアクチュエータの研究では、最小外径 $76\mu\text{m}$ のコイルバネの作製に成功しました。このアクチュエータは、コイルバネ形態のために大きな変位量、良好な制御性及び柔軟性が得られます。さらに単位断面積当たりの発生力が大きい点や、マイクロ化によって熱容量が小さくなったために応答性がよい等の特徴があります。

加熱・冷却により伸縮動作をするフレキシブルなア

クチュエータとして、上記ファイバスコープを内蔵した有索型マイクロマシン先端の自由な屈曲動作を可能とするマイクロ機構への適用を目指しています。また、外径 $0.4\text{mm}$ のイメージファイバスコープを内蔵した外径 $2\text{mm}$ の首振り構造体を設計し、作製しました。動作試験を行った結果、設計通りの屈曲動作とそれに追従した鮮明な画像を得ることができました。この構造体の首振り動作を写真に示します。

今後は、これらの技術を更に発展させることにより、狭所における死角の少ない観察が可能な環境認識デバイスが実現するものと考えています。



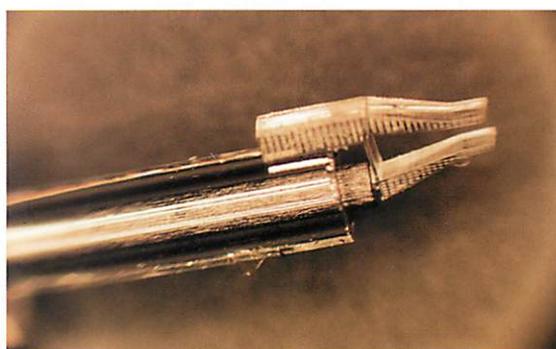
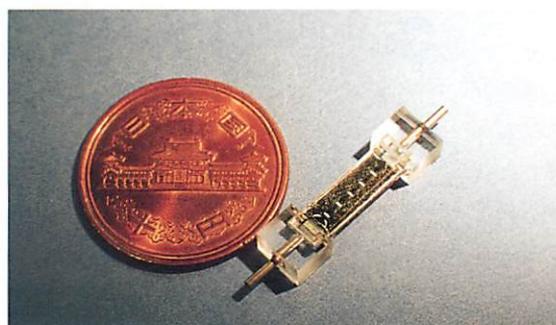
## 光駆動マイクロデバイス

(株) アイシン・コスモス研究所

光を駆動エネルギーとして動作するマイクロポンプとマイクログリッパを研究しています。駆動方式としてデバイス内部に配置した光吸収体により光エネルギーを熱エネルギーに変換し、デバイス内部圧を上昇させ駆動力を得るタイプを採用しました。また短時間で効率良く高圧を得るためデバイス内部には低沸点の作動流体を封入し、局所的に流体を相変化（流体から気体への変化）させています。さらに発生圧力を効率良く機械的仕事に変換するためシリコンをベースにした特殊なダイヤフラムや流体をピストンに用いる仕組みを新たに開発しました。

マイクロポンプでは上記駆動方式により動作するダイヤフラムをアレー化し、その上部に微小流路を設けダイヤフラムを蠕動運動させることで $0.58\mu\text{l}$ 分の微流量の液体を送液することに成功しています。蠕動運動型のポンプは構造が簡単で流路抵抗を低くできるのでマイクロ化に有利です。またマイクログリッパでは流体ピストンにより軸出力を取り出し、それをバネ定数の低いバイアスバネを有する把持機構により掴む力に

変換することで把持機能を実現しています。



## マイクロマシン用光発電昇圧システム

テルモ (株)

マイクロマシンに電気信号やエネルギーを供給しようとする、電線の硬さや重さがマイクロマシンの動きを妨げてしまうことがあります。そこで、非接触でエネルギーを供給する方法を目指して、光発電昇圧システムを開発しました。

このシステムは、光を電気に変換する部分（フォトセル）とフォトセルの出力を昇圧する機構（マイクロトランス）を一体にして作製されています。フォトセルは、用途により大きさや仕様が異なりますが、受光面の大きさが0.5mm×0.5mmのもの（写真1）で、市販のφ20×30のDCモータをまわすのに十分な電力を供給できます。また、フォトセルをφ4×12のモータに実装してレーザー光を照射すると、写真2のように非接触の状態でもータを駆動することができます。

マイクロトランスは、平面コイルを4層重ね合わせた構造で、効率を良くするためにコイルの外側に軟磁性体コアを設けてあります。2.9mm×1.9mmのスペースに1次側、2次側合わせて64回巻きのコイルが作製されており、現在、電圧を1.2倍に昇圧することができました。



写真1 試作したフォトセル（受光面0.5mm×0.5mm）

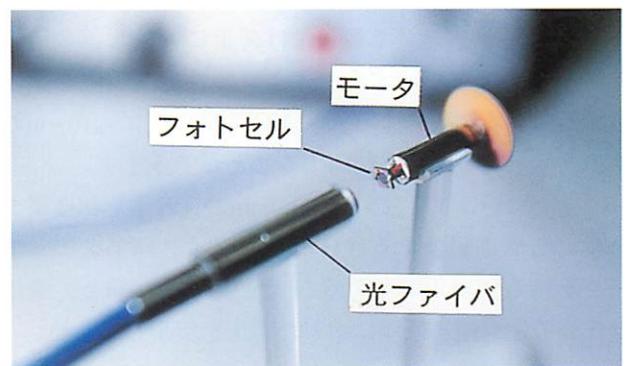


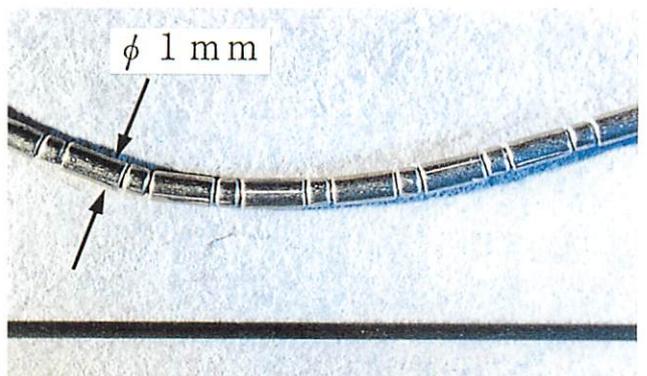
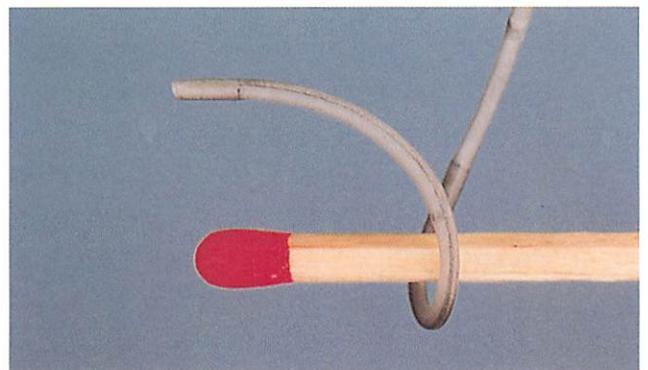
写真2 フォトセルの出力でモータをまわしている様子

## 管状マニピュレータ

オリンパス光学工業 (株)

配管内等の狭所空間で作業を行う有索作業モジュールのアクセス機能（腕）を担当する管状マニピュレータを実現するために、大きな変位と発生力量を持つマイクロアクチュエータ技術（Shape Memory Alloy ; SMA、ケモメカニカルゲル）、アクチュエータやセンサ、制御素子等の集積化技術（Multifunction Integrated Film ; MIF）、3次元微小構造体の加工・組立技術（Metal Injection Molding ; MIM、微小金型研磨技術）、マイクロアクチュエータ及び管状マニピュレータの駆動制御技術等に関する研究開発を実施しました。展示した管状マニピュレータは外径1mm、長手方向に5つの自由度を持ち、内部は中空になっていて光ファイバや電線を通すことができ、SMAプレートに貼り付けたMIFで湾曲量の制御を行っています。

また、管状構造体を得るための要素技術としてMIMで成形したボールジョイントタイプの連結構造体を展示しました。これも外径は1mmで、特別な組立工程を必要としない、プロセス内組立で作製したものです。



## マイクロ流体操作技術

(株) 日立製作所

高出力マイクロポンプと静電駆動マイクロバルブを開発しました。マイクロファクトリにおいては、高圧力・大流量の液体供給や高荷重押し付け機構の駆動など高圧力の流体操作が必要で、小型で高出力の流体操作デバイスが求められています。

開発したマイクロポンプ（右上図）は本体直径7mm、長さ7.5mmで、発生油圧1MPa、流量2mℓ/分と、小型で高出力・大流量の特性を達成しました。本ポンプの特徴は、ネジシール・軸受一体構造のトロコイドギア回転駆動方式及び、表面活性化接合法による高精度組立を採用したことにあります。応用例として、発生油圧を油圧シリンダで押し付け荷重に変換し、金属板に微小な文字を刻印するマイクロ塑性加工装置を試しました。本装置により、アルミニウム板に幅10μm以下の文字（右下図）を刻印することができます。

マイクロバルブ寸法5×5×1.4mmで、S形状金属フィルムを静電駆動する独自構造のマイクロアクチュエータを持ち、バルブ開閉時の変位量が220μmと、流体操作時の圧力損失低減に適した構造を実現しました。



## 発電施設用メンテナンスシステム

(財) 発電設備技術検査協会

マイクロマシン技術を将来、発電施設の保全作業に適用していくことを想定して、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構築を行い、発電施設用高機能メンテナンスシステム技術の開発方向を明確にすることを目的としています。

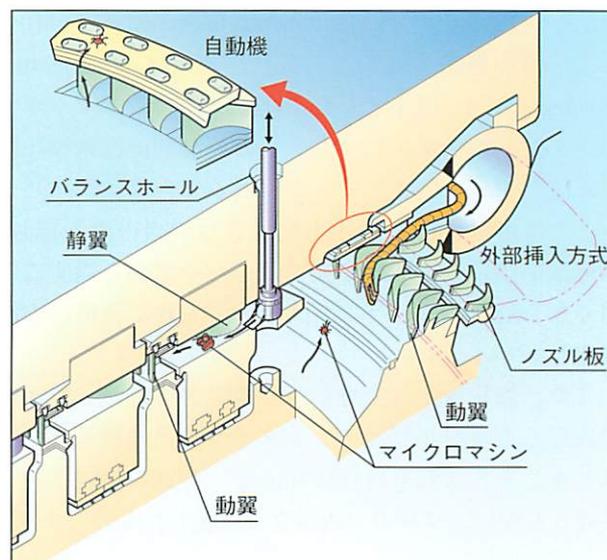
そのため発電所の保全作業において、マイクロマシンの特徴が活かせる機器狭隘部の検査・補修に重点を置いて、保全作業の実態と発電所のニーズを幅広く調査してきました。発電所におけるマイクロマシンへのニーズは、多種多様で、これらのニーズに対応したマイクロマシンの概念を検討するため、対象とする機器の構造的特徴や環境条件等の類似性の観点から機能分類を行い、(1)細管群外部、(2)機器内部、(3)水中構造物、(4)管群外部、(5)管内部を対象とする5種類のメンテナンス用マイクロマシン群を抽出しました。

さらに、これらのマイクロマシンの適用対象機器の中から代表機器・部位を取り上げ、必要となる諸機能について検討を行うとともに各種メンテナンス用マイクロマシンの概念について構想検討しました。

ここに示す図は、その一例で蒸気タービンを代表例

として取り上げた機器内部点検用マイクロマシンの概念図です。

今後、将来のメンテナンス用マイクロマシンの実用化を目指すため、発電施設の保全作業の進展動向、要素技術開発状況等を考慮しながら詳細検討を行い、適用対象及び基本仕様等を明確にしていく予定です。



## マイクロレーザカテーテル

テルモ (株)

テルモでは、外科手術を行わずに体深部の微小領域での的確な診断及び安全な治療を実現するためのマイクロレーザカテーテルの開発を目標に、診断用センサの搭載母体となるマイクロカテーテルや、治療手段としてのマイクロレーザの開発を行っています。

マイクロカテーテルでは、診断に必要な複数のセンサをカテーテルに実装することを目指してポリマー材料への微細加工技術開発に取り組んでいます。そして、エキシマレーザ加工・イオンアシスト蒸着法等を用いてカテーテルの外壁上に微細配線やセンサ搭載用のポートを形成し、図に示すように2つのセンサを搭載したカテーテルを試作しました。

一方、マイクロレーザは、治療に最適でありながら通常の光ファイバでは導光しにくい近赤外レーザ光をカテーテル先端から照射するために、光ファイバ先端にレーザ発振部を配置した新規構成のレーザを提案し開発を行っています。



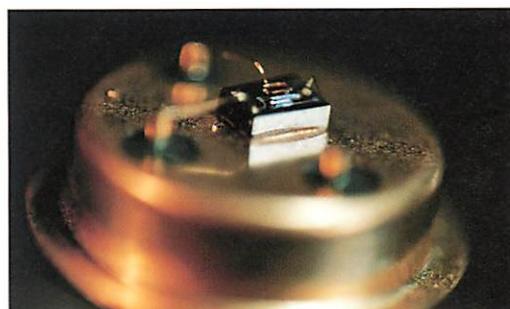
## 光学式圧覚センサ

オリンパス光学工業 (株)

内視鏡検診を受けたことのある方ならばご存じだと思いますが、内視鏡を体内に挿入する際には、熟練した医師が内視鏡の本体を通じて伝わる視覚及び触覚情報を頼りに操作しているのが現状です。しかし、将来極めて細くて柔軟な脳血管用カテーテル等が実用化されると、操作者の手元に感覚が伝わらないので挿入が困難になると予想されます。

そこでカテーテルの先端に接触を検知するセンサを設け、挿入操作を容易にするシステムが重要になります。写真の「光学式圧覚センサ」は、このシステムの一環として研究を進めているものです。このセンサは面発光レーザを用いた微小な光学干渉計を内蔵してお

り、外力が作用したときのセンサ自身の変形量を検知して電気信号に変換します。小型、高感度で電磁ノイズに強いので、マイクロマシン技術を応用した多機能マイクロカテーテルへの応用に適しています。



## マイクロ血圧・血流センサ

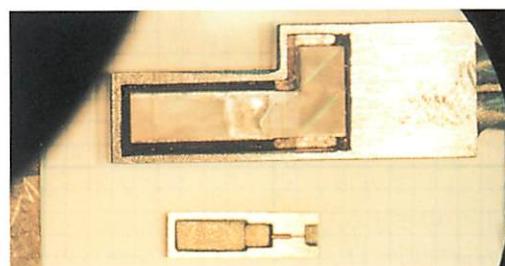
オムロン (株)

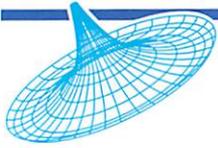
脳血管診断治療時の状態モニタ及び治療効果判定を目的とした、マイクロ血圧・血圧センサの開発を行っています。

圧力センシングに関しては、安全性が高く他の診断治療機器との併用が可能で、小型かつカテーテル側面に形成しやすい光弾性方式を基本に、加工・組立誤差が感度のばらつきに与える影響が少なくなるセンサ構造の設計指針を提示するとともに、指針を反映した試作センサの展示及び圧力センシングデモを行いました。

流速センシングに関しては、センサ全体の省スペース化を考え、圧力センサと流速センサの一体化に取り組みました。圧力センサに加わる流速依存情報を強調

させるためのセンサ周辺形状の工夫と、得られた圧力信号の変化から流速成分を取り出す信号処理の2点に力点を置いた圧力・流速複合センサのコンセプトを示し、原理検討の為の流体シミュレーションモデルの展示を行いました (写真)。





## 来日したダニエル・オーデン教授 (仏) とのインタビュー



Prof. Daniel Hauden

フランス国立科学研究庁 (CNRS) マイクロ技術研究所 (IMFC) 部長のダニエル・オーデン教授が、東京の科学技術館で開催された第1回国際マイクロマシンシンポジウムにアドバイザー・ボード・メンバーとして出席のため来日されました。同教授にインタビューをする機会を得ましたので、フランスにおけるマイクロマシン研究の現状について伺いました。

**Q.** 先生のいらっしゃる研究所、IMFCについて教えてください。

**A.** ブサンソンの我々の研究所IMFC-CNRSは、LETI-CEA、LAAS-CNRSと並んで、フランス国内でマイクロマシン分野の研究を行っている大きな研究機関の一つです。IMFCは、CNRSの4つの研究所のジョイント・プロジェクトです。これらの研究所では以前よりオプティクス、メカニクス、エレクトロニクス、コンピュータ・サイエンス、フレキシブル・マニファクチャリング、制御システム等の研究が行われてきました。現在IMFCでは45人の博士課程の学生を含め、130人の科学者がマイクロマシンに関する15のプロジェクトにわかれて研究を行っています。

**Q.** IMFCではマイクロマシン関連でどのような研究が行われていますか。

**A.** 現在、2つの非常に有望な分野の研究を行っています。それは、マイクロシステムとナノテクノロジーです。マイクロシステムの分野には、マイクロシステム用材料、2次元・3次元技術、マイクロコンポーネント、マイクロシステム用工学といったものが含まれます。ナノテクノロジーには、干渉計による高精度計測システム、オプト・メカニカル計測システム、近接場顕微鏡等が含まれます。

我々の研究の応用分野には、テレコミュニケーション、マイクロ・アセンブリ、マイクロ・ロボティクス、医療、センサ等があると思います。

**Q.** IMFCでの材料技術、製造技術について教えてください。

**A.** 材料の研究において必要なアプローチの一つとして、物体がマイクロになった場合の材料の機械的特性を把握することがあると思います。また、もう一つのアプローチとして、高機能材料があると思います。例えば、バルク・厚膜・薄膜のピエゾ材料や形状記憶合金がこれにあたります。我々は既に、SiあるいはSiO<sub>2</sub>上の薄膜SMAの研究を開始しています。これはケミカル・エッチングとスパッタによって製造しています。

我々の研究所では、シンクロトロンからのX線によ

るLIGAプロセス、Poor Man's LIGA、マイクロ光造形法の研究も行っています。LIGAでは横方向に非常に高い加工精度が得られますが、マイクロ光造形法では、より複雑な3次元の構造物を作ることができます。我々の研究所のマイクロ光造形では、約12 $\mu$ mの精度を実現しています。また、マイクロロボット用のアクチュエータ・モジュールを作製してリンクしました。

**Q.** ところで財政的な支援は、どこから受けていますか。

**A.** 人件費を除くと、50%は政府から、50%は産業界からの寄付です。

**Q.** 日本のマイクロマシン研究については、どのようにお感じになっていらっしゃいますか。

**A.** まず、我々は日本の研究機関と非常によい関係を築いていると言えます。1年半前に我々の研究所の支所を東京大学生産技術研究所に開設しました。CNRSの研究者と学生が5名ほど、そこで研究しています。

また、調査団として2度ほど、日本のマイクロマシン技術の調査を行いました。日本の産業界がマイクロマシンの研究活動において、現実をよく見据えたアプローチをとっていることを非常に評価しています。既存の加工技術と新しい技術が融合して革新的な研究成果が生じ、さらにそれらが積み重なって初めて、オリジナリティーというものが生まれてくるのです。この方向性は、フランスでも、特にブサンソンでもCETEHOR (Technical Center for Watch and Clock Industry) とともに促進していきたいと考えているものです。

**Q.** マイクロマシン技術に関する先生の将来予想をお聞かせください。

**A.** センサ関連では、自動車や環境調査、使い捨ての医療用マイクロシステムといったところに大きな市場があると思います。

より一般的には、原子力発電所や化学プラントの非破壊検査・評価、医療では(低侵襲)診断、そして、遠隔操作や宇宙関連への適用といった制御システムに、マイクロマシンの大きな市場があると考えています。  
(編集委員; 倉橋 崇)

## 海外講演

## ● International Conference on Precision Engineering '95

去る11月21日から4日間、シンガポールでInternational Conference on Precision Engineering '95が開催され、当センターの岡崎俊義国際交流部長が基調講演者の1人として招待され、「R&D and Future Prospect for Micromachine Technology in Japan」と題して講演を行いました。

この国際会議は、日本の(社)精密工学会とシンガポールのNanyang Technological Universityの研究機関であるGintic Institute of Manufacturing Technologyとが共同で開催し、金属加工、溶接技術等の5つの展示会を含むManufacturing Asia '95の一部として開催され、更に、木工関連産業の展示会Woodmac '95と合同で開催されたものです。開会式には、シンガポール政府の大臣が来賓として挨拶をし、非常に重要な催しとして位置付けられていることが窺えました。

主催者は、精密工学がシンガポールにおける産業、特に製造業において、将来の発展に重要な役割を果たすという考えを持っており、更には、製品の微小化と品質の向上が不可欠で、そのための鍵となる技術が精密工学であるという認識に基づきこの会議を開催したもので、今回の会議では、マイクロマシン技術関連では、岡崎部長の他には、スイスのNeuchatel大学のde ROOIJ教授が基調講演を行い、スイス・欧州の研究開発の現状と今後の展望を述べていました。

会議は、4つのパラレルセッションで行われ、一般公募の論文発表は162件、そのうち99件が日本からのもので、司会役も日本の方が多く、英語を公式言語として進行されましたが、あたかも日本国内のシンポジウムの観を呈していました。地元のシンガポールを除けば、中国が機械加工分野で熱心に研究開発をしていることを垣間見る事が出来ました。

## ● 欧州JETROセミナー

当センターでは、JETROが主催したドイツ・シュツットガルト（11月28日）およびイタリア・ミラノ（12月1日）でのマイクロマシンに関するセミナーに協力し、当センターから3名を講師として派遣しました。

いずれの地でも、マイクロマシン技術への関心が高く、特に幅広い分野の技術をコーディネートして進めている産技プロジェクトや当センターの事業活動には、大変な反響が見られました。

両セミナーでの講演者と演題は、次の通りです。

(財)マイクロマシンセンター 平野隆之 専務理事	「マイクロマシンの将来展望」
日本電装(株) 服部 正 基礎研究所副所長	「日本のマイクロマシン技術の現状」
セイコー電子工業(株) 安宅龍明 基礎技術研究室部長	「ISTFにおける加工・組立技術の現状」

シュツットガルトでは、参加者は約60人で、企業の研究者・技術者が大半でした。Q & Aでは、将来の市場予測の内容、産技プロジェクトの管理体制などの質問がありました。

ミラノでは、JETRO、ミラノ商工会議所等の主催によるジャパンフェスティバル（11月～12月）の一環として、JETROが日本の将来技術の紹介をするためにマイクロマシンをセミナーに取り上げたものです。セミナーの参加者は、約90名で、学生も多く見られました。Q & Aでは、日本と較べたイタリア側の取り組みへの質問、マイクロマシンの定義に関する質問がありました。夜には、レセプションが催され駐イタリア日本大使も挨拶されました。また、併せて展示会が開催され、日本電装(株)のパイプ検査マイクロマシンとマイクロカー、三洋電機(株)の「てんとう虫」が出展され、来場者の強い関心を集めていました。



ミラノJETROセミナーのパネリスト

前回までは、マイクロマシンを製作するための加工組立技術やそれを支えている理工学を中心に解説してきました。今回は、このような技術で製作される機能デバイスとして、マイクロアクチュエータを取り上げます。

### 1. マイクロアクチュエータ

掃除機やビデオをはじめとして、私たちの身近にある機械では、電磁力を利用したアクチュエータ(電磁モータ)がたくさん使われています。これは、電磁モータがエネルギー変換効率、制御性、汎用性などで非常に優れているためです。

マイクロマシンの場合もアクチュエータが必要ですが、その寸法を小さくすると、電磁モータの優位性が必ずしも成り立たなくなるといわれています。そのために、色々な物理的あるいは化学的作用を利用したマイクロアクチュエータが研究されています。表1は、その一部について特徴や方式を示しています。

表1 マイクロアクチュエータの主な種類

原理	特徴、利用方式など
<u>静電力</u>	マイクロ化で表面力利用が有利になる。高い寸法精度が必要である。フィルム型、ワブル型、回転型、直動型
<u>圧電効果</u>	大きな力が得られる。応答特性が良好である。変位が小さい。ヒステリシスが比較的大きい。積層型、バイモルフ型、超音波モータ
<u>形状記憶効果</u>	マイクロ化で応答特性が改善される。大きな力が得られる。コイル型、薄膜型、構造/アクチュエータ一体型
<u>電磁力</u>	比較的大きい寸法では、高効率と汎用性が期待される。回転型、直動型
<u>気液相変化</u>	マイクロ化で応答特性は良くなる。ダイヤフラム型
<u>熱膨張</u>	マイクロ化で応答特性は良くなる。大きな力が得られる。バイモルフ型

静電力の利用についてはいくつかの方法がありますが、その一つは図1に示すように、円筒の内面に相互に絶縁された電極を並べ、絶縁層を介してロータを入れておきます。そして、正の電荷を与える電極をA1からA2に切り替えると、その近傍にあるロータの局部に負の電荷が集まり、両者の間に静電引力が生じ、ロータは矢印の方向に回転します。図2はこの方法を使

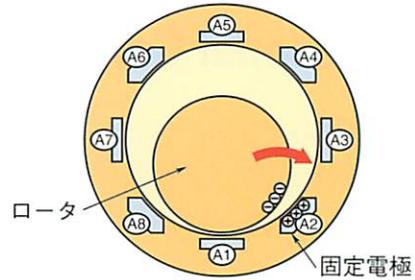


図1 静電力の利用法の例

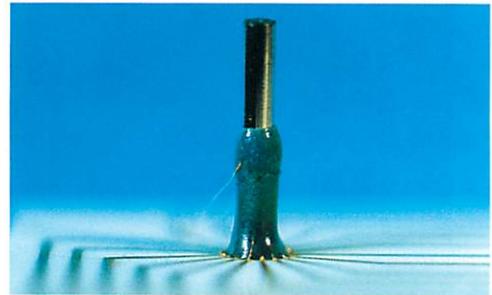


図2 静電型ワブルモータ (松下技研(株)提供)

った回転型静電モータの製作例を示しています。直径約1mmのロータは、固定電極を並べた円筒の内面を転がりながら、非常に小さな半径の円運動を行います。

この場合、電極とロータの間の静電引力の大きさは両者の電荷の積に比例し、その表面間の距離の2乗に反比例するので、両者を接近させた構造にすると大きな出力が得られることになります。静電力を利用したマイクロアクチュエータは種類が多く、このほかにもフィルム状絶縁体の表面近傍に微小間隔で電極を配列させ、その上に載せたフィルム状の可動子を動かす方式、ばねで支えた可動片と固定電極を同じ櫛歯状にして組み合わせ、可動片を往復運動させる方式などが報告されています。

セラミックの中には、例えばPZT(組成:  $Pb(ZrTi)O_3$ )のように、電圧を加えるとわずかに伸びる性質(圧電効果)を持っているものがあります。この圧電現象は応答特性に優れ、また発生力も大きいことから、超音波モータや精密位置決め用アクチュエータとして既に利用されています。図3に示す例では、細管内でマイクロマシン(写真ではカバーを外してある)を移動させるために、3本の足をPZTで加振します。

ある種の材料は、高い温度で形状を記憶させ

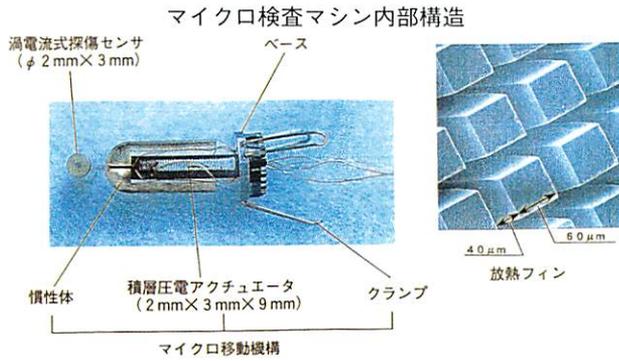


図3 管内移動マイクロマシン用アクチュエータ  
(日本電装(株)提供)

ておくと、低い温度で変形させても、結晶構造が変わる温度まで加熱することにより元の形状を回復する性質（形状記憶効果）を持っています。さらに、この温度以上の場合に比べて、低い温度でのヤング率（弾性的な剛さ）が小さくかつ降伏応力（塑性的な変形が起き始める応力）が低いという性質も持っています。この2つの性質を備えていると、その材料はアクチュエータとして利用できます。

図4は、代表的な形状記憶合金（SMA）であるTiNi合金を極めて細い線に加工し、これを外径が $100\mu\text{m}$ に満たないマイクロコイルアクチュエータにしたものです。このアクチュエータを2個以上使って色々なマイクロ機構を動かすことができます。また、SiプロセスでSMA薄膜のマイクロアクチュエータを製作した結果なども報告されています。

気相と液相の間の相変化を利用するマイクロアクチュエータとしては、マイクロダイヤフラムに液体を密封し、加熱し、気化させて、ダイヤフラムから力や変位を取り出す方式のものが製作されています。図5はその一例であり、Siプロセスで製作したマイクロダイヤフラムにフロ

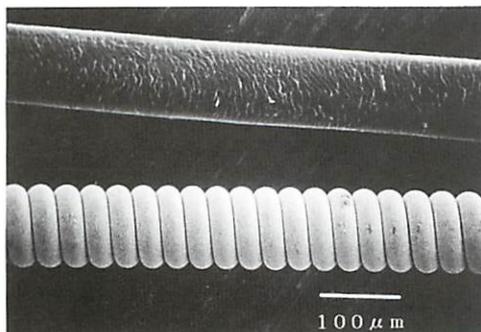


図4 SMAマイクロコイル（三菱電線工業(株)提供）

ンを密封し、レーザ光で加熱する方式を採用しています。これとは別の方法で気液相変化を利用している実用デバイスとして、インクジェットプリンタのヘッドがあります。

現在、情報通信機器などに組み込まれているアクチュエータのほとんどは電磁力を利用したマイクロモータです。電磁力利用のマイクロアクチュエータについては、螺旋状のマイクロコイルを平板上に形成させ、これを積み重ねて高密度化した電磁アクチュエータ用マイクロステータを製作する研究などが行われています。

このほかにも、熱膨張係数が大きく異なる2種類の材料の組み合わせ、光歪効果が現れるPLZT（PZTにLaを加えた材料）、溶媒による高分子ゲルの相転移などを利用したマイクロアクチュエータの研究も行われています。現在のところ、広い用途で利用できるマイクロアクチュエータは見いだされていないので、実用化にあたっては、それぞれのアクチュエータ（あるいはその原理）の特徴を活かした使い分けが必要になるでしょう。また、アクチュエータと機構が一体化された形のマイクロデバイスとして製作されることが多くなると思われます。

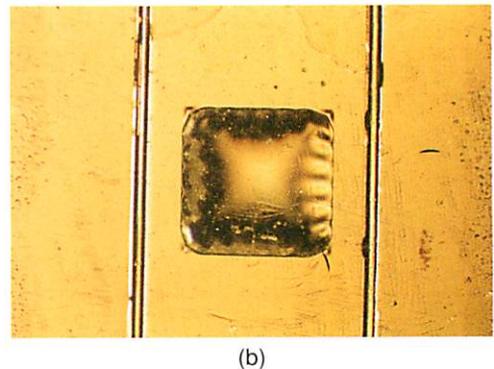
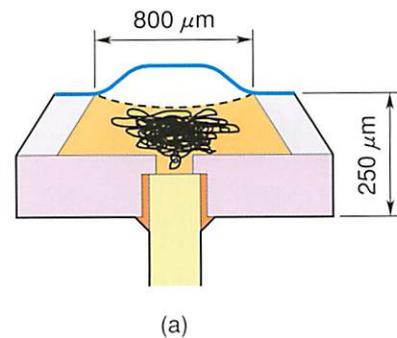


図5 光駆動型マイクロアクチュエータ  
(株アイシン・コスモス研究所提供)

## 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、各種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。

当財団は、平成3年度から10年計画（250億円）でスタート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」の経由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います。

つきましては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、次の諸事業へ参加、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)マイクロマシンセンター事務局総務部

## 編集後記

昨年、1995年は世評では“暗い年”とされている。マイクロマシンについて見ると昨年はマイクロマシンセンターが呼びかけて初のマイクロマシンサミットが開催されたり、ナショプロの中間評価が始まり、成果が第1回の国際マイクロマシンシンポジウムとマイクロマシン展で集中的に発表されるなど、何かとエポックメイキングの多い年であったと言える。新しい年はどうなるか。日本の経済全体は上向きのようなのだが、まだまだ大きな変化の年で個々の業種、企業を始め一人一人が経済産業の現場でアジャストしていくのではないか。マイクロマシンにとっては、ナショプロがシステム化技術を課題とした第2期に入り、新たな挑戦が始まる。

本号は1996年の最初の号である。工業技術院長の新年挨拶をいただいた。昨年は科学技術基本法が制定されたが、これからは、言い古された言葉ではあるが“資源を持たない日本”が頼れるのは人の頭脳、とりわけ科学技術。マイクロマシンもこの大きな流れの中でたゆまぬ研究開発を進めて次の世代の産業の基盤を確実にすることが期待されているのではないか。

### 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