

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

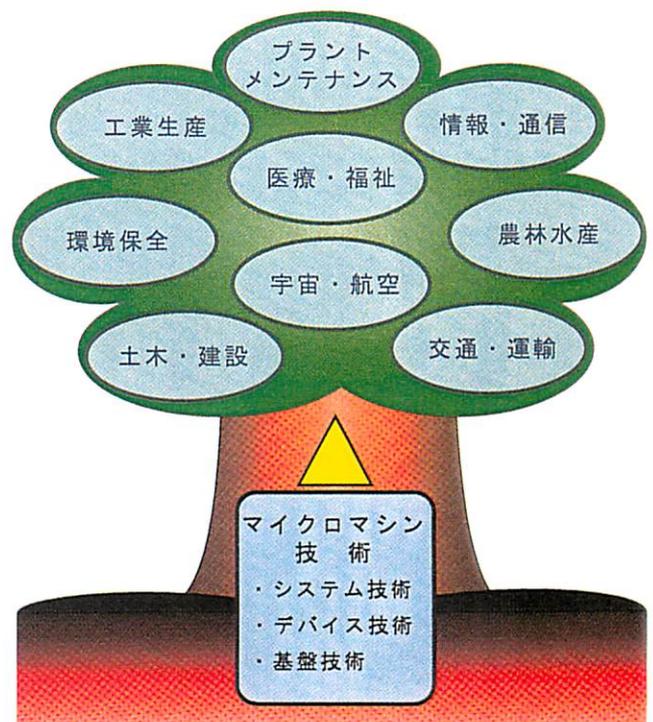


図1 マイクロマシン技術の応用分野

- ・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、これまで見る事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の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

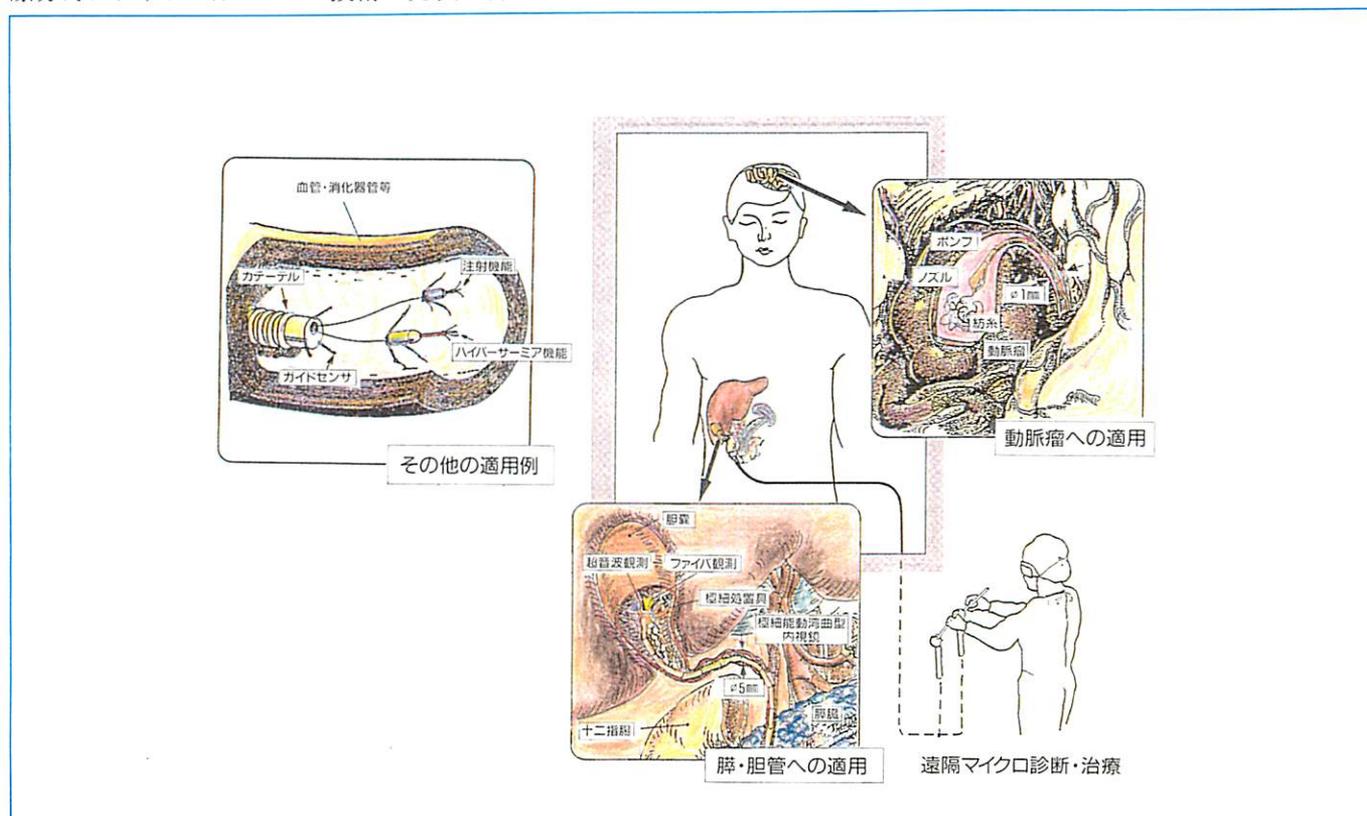


図2 体腔内診断・治療システム技術開発

今回は工業生産分野を取り上げて、マイクロマシン技術によって実現されるマイクロファクトリ¹⁾とその応用例を紹介します。

1. はじめに

現在の工業生産システムでは、小型製品を生産する場合でも、加工や組立における精度や速度を上げるために、マニピュレータなどの構造体部分の剛性を上げて、自重や加工反力による変形等を抑える方法で対応しています。その結果、生産物(部品)に対して生産システムが相対的に非常に大きくなり、工場の消費エネルギー、スペース等の面で大きな無駄が生じています。例えば、時計、カメラ等の小型精密機器は、多数のミリメートルサイズの部品で構成されていますが、精度を保つために、その製作には等身大(メートルサイズ)の工作機械やロボットが使われています。このため、たとえば1g程度の部品を垂直に40cm持ち上げるために必要な仕事量は理論的にはわずか4mJなのに対して、この作業を行う組立用ロボットはおよそ75Jを必要とします。そしてこの例では、理論上必要なエネルギーの約2万倍のエネルギーを消費していることになります。

2. マイクロファクトリ

小型工業製品や少量の化学製品等を製造する場合、その寸法や量にあわせて生産システムを小型化することにより、工場で消費されるエネルギーを著しく低減させることができます。なぜなら、生産システムの稼働に必要なエネルギーは、その体積(重量)や移送距離にほぼ比例するからです。生産システムの小型化により、工場建設の資材なども低減します。当然のことながら、省スペースという効果もあります。さらには、システムとしての柔軟性の向上も期待されています。

机の上に置けるような大きさの工場を「マイクロファクトリ」と呼んでいます。そして、このマイクロファクトリを実現させるためには、マイクロマシン技術で製作された様々な機能の超小型デバイスが必要です。さらに、このような工場は従来

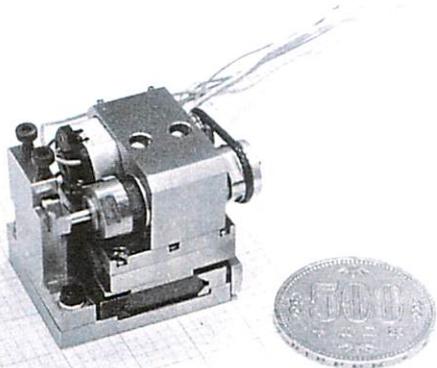


図1. マイクロ旋盤 (機械技術研究所提供)

の生産システムとは異なる、マイクロマシンの特長を活かしたシステム構成にする必要があります。

近年、様々な微細加工技術を利用して、数 $10\mu\text{m}$ の機械部品やsub-mmのモータ、アクチュエータ等が製作できるようになってきました。また最近、図1に示す大きさがわずか3cm立方のマイクロ旋盤も開発されました。²⁾ このように、マイクロファクトリもかなり現実味を帯びたものになってきました。

3. 応用例

「マイクロファクトリ」の特長として、(1)省エネルギー・省資源、(2)省スペース、(3)柔軟性を挙げましたが、つぎに、この特長を活かしたいくつかのマイクロファクトリを紹介します。

3-1. デスクトップファブリケーションシステム

デスクトップファブリケーションシステムの概念図を図2に示します。

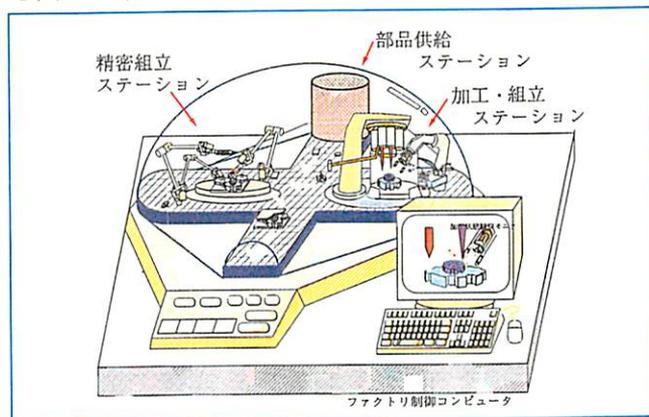


図2. デスクトップファブリケーションシステム

これは小型機構デバイス等を生産するシステムで、3つのステーションとこれを結ぶ搬送ユニットで構成され、机の上に置くことができる大きさです。そして、このシステムは、加工、組立、検査、搬送、制御、メンテナンス等の機能を備えています。

小さな部品の把持や操作を行うマニピュレータは小型で軽いほど慣性が小さくなり、高速かつ微細に動かすことができるようになります。また、マニピュレータが小さいと、作業スペースに多数のマニピュレータが同時にアクセスできるため、複数の部品の加工や組立が並行してできるようになります。その結果、生産システムや製品設計の自由度が増し、その性能が向上するとともに、新製品創出の機会も拡大します。

部品やデバイスの搬送では、工程間の搬送距離が短

くなり、搬送時間が短縮されるので、生産性の向上が期待できます。また、搬送スペースも小さいので、省スペースの効果もあります。生産システムの消費エネルギーは、その体積が小さいほど少なくなるので、このようなシステムによるファブリケーションの省エネルギー効果は極めて大きなものとなるでしょう。図3

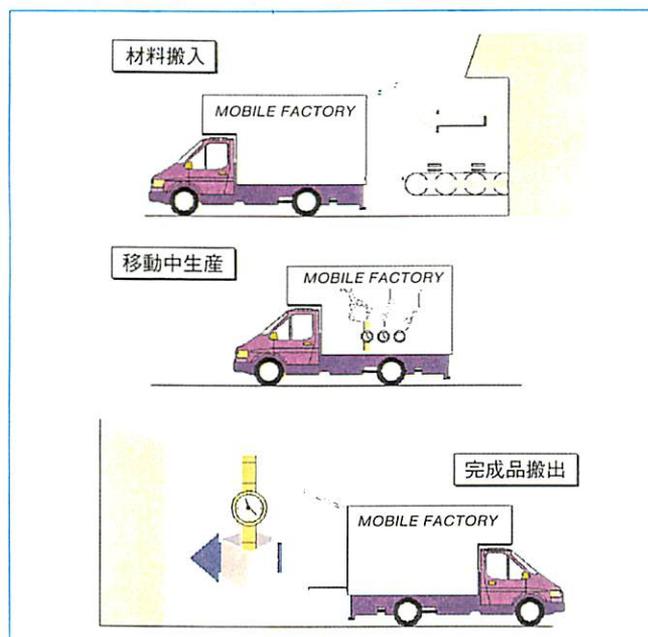


図3. 移動体生産システム

には、この生産システムのもう1つの利用例として、トラックに搭載して移動中に生産するシステムが示されています。

また、工場としての容積が小さいので、とりわけ作業環境に清浄な雰囲気が必要な場合は、従来のような大型のクリーンルームやクリーンベンチを使う場合に比べて、空調用エネルギーが飛躍的に節約でき、省エネルギー効果は相乗的に増大します。さらには、生産システム全体を雰囲気ガス、真空中に入れての生産も可能となるので、特殊環境下での生産も容易になります。例えば、機能素子、デバイス、ハイブリッドIC等がクリーンルームレスでの生産ができますし、医薬品・医療機器等を小さな無菌室で一貫生産することも可能になります。

参考文献

- 1) N. Kawahara et. al. ; to be published in J. Microsystem Technologies (1997)
- 2) T. Kitahara et. al. ; Proc. of Second International Micromachine Symposium (1996). P59

3-2. マイクロケミカルプラント

このシステムは、液体・気体を搬送するポンプや微小配管で形成されたマイクロ流体システムと反応を行う反応室等で構成されています。化学反応は反応物質が会う界面で生じるため、微小反応物質の反応は瞬時に終了します。このため、大きな発熱を伴う危険な化学反応も安全に行えるだけでなく、反応における界面と内部の濃度差を小さくする事ができ、均質な化学反応が可能となります。また、無駄な未反応物質や配管内等の残留物質が減少するので、必要な反応生成物を必要なだけ必要な時に高い収率で生成することができます。

生産以外に分析の分野でも、このシステムは有効です。血液やDNAの検査システムに適用しますと検体が少量ですみ、高価な検査試薬の節約ができます。また、液体やガスの検査システムでは、このような効果の他に、システムの小型化により持ち運びができるようになり、現場での分析が容易になります。特に、水、空気等の環境モニター等では、採取と分析が同時にできるメリットがあります。

マイクロケミカルプラントは、写真のDPEのように、これまで工場で製造していたものが家庭やオフィスで作ることができるようになります。

図4は化粧品のお店生産システムとしての応用例を示しています。これは小さな店舗にも設置でき、ユーザのその日の肌の状態を検査し、最適な化粧水等を必要な量だけ生産できる夢のシステムです。



図4. 店先生産システム

入門講座 マイクロマシン技術の応用 (第3回)

今回は、マイクロマシン技術の応用の最終回としてメンテナンス分野を取り上げて、マイクロマシン技術によって実現される、また実現が望まれているメンテナンスロボットとその応用例を紹介します。

1. はじめに

近年の機械設備・装置は、年々発展し、より精密、より複雑になっており、その機能を維持したり、保守したりするメンテナンスは、より一層困難になってきています。しかし、メンテナンスは、設備等の安全性、信頼性、品質、経済性を確保する上で、必要不可欠なものです。そのため、最近では、設備、装置等を設計する場合、そのメンテナンス性を設計に盛り込むことも今や常識となっています。

こういった中で、人が入れない狭隘部、分解しないとメンテナンスが出来ない箇所、危険な場所において、検査や修理を行う小型のメンテナンスロボットのニーズは非常に高まっています。また、メンテナンス作業には、いわゆる3Kと呼ばれる作業も多く、この面でもメンテナンスロボットのもたらす効果は大きいと言えます。

適応分野としては、輸送機械、発電所、ガス配管、鉄鋼・石油・化学プラント等多岐にわたり、これらは今日の産業社会を支えている重要な社会設備、施設であり、経済の基盤でもあるため、そのメンテナンスは非常に重要です。

輸送機械については、航空機のジェットエンジンのメンテナンスに既にマイクロカテーテルが使われており、分解なしでタービンの状態が検査されています。また、ジェットエンジンだけでなく、安全性を確保するために必要なメンテナンスに、マイクロマシン技術が適応できる分野は多いと考えられます。

表1に示す様に、製造業におけるメンテナンスにかかる費用は、9兆円に達すると言われ、電力、サービス等の非製造業のメンテナンス費用を含めると年間23兆円にも達すると言われています¹⁾。

分野	設備保全費用 (兆円)
製造業分野	9.50
非製造業分野	
①水道業界	0.235
②電力業界	2.00
③通信業界	1.40
④ガス業界	0.10
⑤航空業界	0.21
⑥ビルメンテナンス業界	2.20
⑦土木建築業界	7.50
合計	約23兆円

表1 国内における年間のメンテナンス費用

2. 発電施設用高機能メンテナンス技術開発

産技プロジェクトでは、大型発電施設において、その安全上とメンテナンスコストの低減を図ることを目的とし、熱交換器や配管系等を分解することなしに、その複雑で狭隘な場所における異常箇所を綿密に迅速に検査・補修することができる高機能メンテナンスシステムをひとつのターゲットとして研究開発を行っています。発電施設において熱交換器と蒸気タービン、その間で熱媒体を循環させるための配管群などには、20mmに満たない狭間が多く、かつ複雑に入りこんでいます。これらの定期検査などでは、タービンや熱交換器などの装置を分解して検査が行われています。特に、原子力発電所では、1～2年に一回原子炉を停止して、定期検査を行っており、検査に100日程度要すること、作業員の被爆の問題もあり、分解→検査→補修→組立の一連のメンテナンス作業を、分解することなく行われる高機能メンテナンスシステムをマイクロマシン技術によって実現されることが強く望まれています。

発電施設内メンテナンスシステムには、狭く複雑な通路を通してメンテナンスすることが強く求められる場合と、狭さよりも広大な範囲をメンテナンスすることを求められる場合があります。前者の場合は、カテーテル型のシステムが有効であるし、熱交換器の細管のメンテナンスでは、複数のロボットによるメンテナンスが有効であるし、機器の外部を広範囲にわたってメンテナンスする場合は、複数のロボットが協調するような群ロボットシステムが有効と考えられています²⁾。このメンテナンスの要望に応えるため、産技プロジェクトでは、図1に示す3つのメンテナンスシステムの実現を目指して研究開発を進めています³⁾。

3. マイクロ検査マシン

図2は、産技プロジェクトで開発されたマイクロ検査マシン⁴⁾です。直径5.8mm、全長20mmで直径8mmの配管内を貫性駆動⁵⁾により移動し、先端に取り付けられた渦電流センサにより配管のひびを検出します。この検査マシンは、将来発電所の配管を検査するマシンへつながるプロトモデルです。

貫性駆動は、アクチュエータの伸縮動作を利用した移動方式です。単純な構成(伸縮アクチュエータ、貫性体、クランプ)によって前後進動作ができ、機構内部で摩擦、磨耗が発生しないといったマイクロな移動

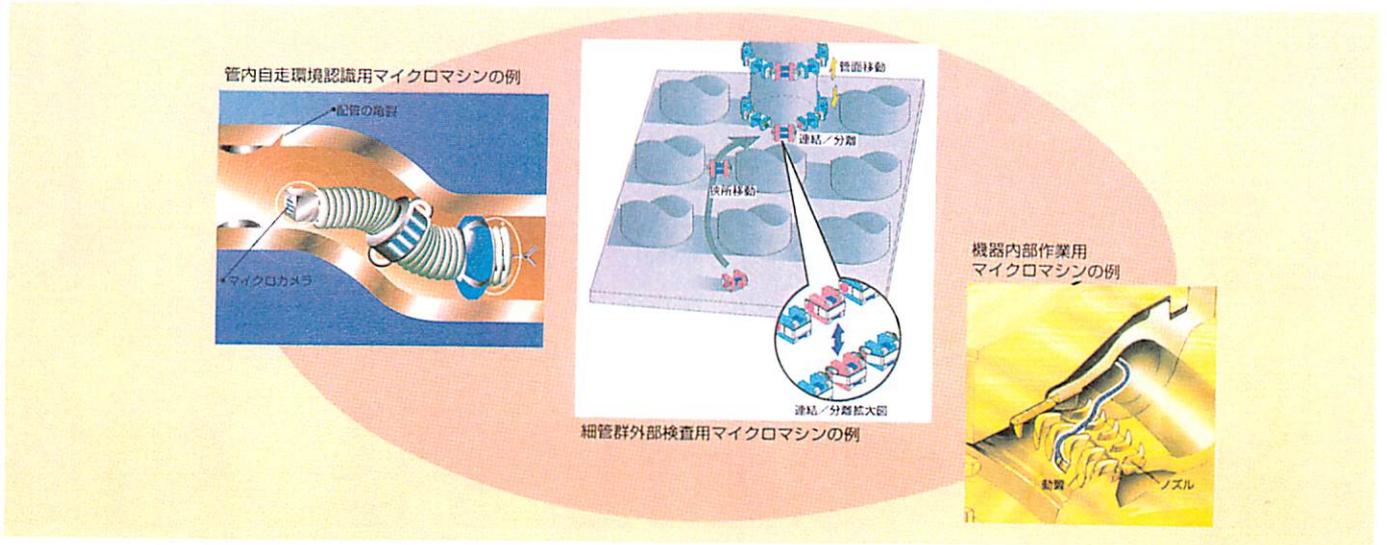


図1 「発電施設用高機能メンテナンス技術開発」
マイクロマシンセンターパンフレットより

方式に適した特徴を持っています。

マイクロ検査マシンで使用しているPZTスタック型圧電アクチュエータ（サイズ：2×3×9 mm）は、パッケージに内蔵されています（図2ではパッケージをカットしています）。このパッケージは、厚さ60 μ mで重さ0.084 gという超軽量構造体です。この3次元極薄構造体は、精密加工技術、メッキ技術、エッチング技術といった異なる分野における加工技術を複合したプロセスで構成されています。

また、アクチュエータ動作時には100℃以上に温度が上がるため、シリコンでできた放熱フィンが取り付けられています。この放熱フィンをも、熱の障壁となる接着層のない異種材料直接接合技術⁶⁾で取り付けることにより、放熱効果を高めています。

頭部の渦電流センサは直径2 mmで、50 μ mのワイヤを約200ターン巻いて形成しています。このセンサにより10 μ m程度の亀裂が検知可能です。なお、このマイクロ検査マシンは空気中のみならず液体中（フロリナート）の動作も可能です。

4. まとめ

図2のマイクロ検査マシンは、まだ移動機能と検査機能を持っただけの単純なシステムです。今後、産技プロジェクトで研究されている各種デバイスの省電力化や制御機能との一体化、デバイスの集積化といったシステム化技術が進むことによって、図1に示されるような、より高度なメンテナンスシステムが実現されていくことでしょう。

参考文献

- 1) マイクロマシン技術の経済効果に関する調査研究報告書（1995）（財）マイクロマシンセンター発行
- 2) マイクロロボット開発に関する調査研究報告書（1994）社日本産業用ロボット工業会発行
- 3) マイクロマシンセンターパンフレット
- 4) T. Idogaki et al., Symposium on Micro Machine and Human Science, 193-198, (1995)
- 5) T. Higuchi et al., JSPE-54-11, 2107-2112, (1988)
- 6) M. Nagakubo et al., Proc. of IARP workshop on Micromachine Technologies and Systems, 78, (1993)



図2 マイクロ検査マシン（株）デンソー提供