

# マイクロマシン

## MICROMACHINE

- 巻頭言 / 2
- 研究室紹介 / 3
- MMCの事業活動紹介 / 5
- 賛助会員の活動紹介 / 14
- トピックス / 16
- 講座「最近の微細加工技術」(第2回) / 18
- お知らせ / 20

MICROMACHINE CENTER



財団法人マイクロマシンセンター

No. 32

# マイクロマシン技術の 発展に向けて



通商産業省工業技術院  
院長 梶村 皓二

工業技術院では、産業科学技術研究開発制度のもと「マイクロマシン技術」研究開発を財団法人マイクロマシンセンターや関係企業・研究機関等の御協力を得つつ実施しております。本プロジェクトは、省エネルギー・省資源による環境に優しい社会への転換や、機械分野のマイクロ化といった社会的・技術的ニーズに応えるものとして平成三年度にスタートいたしました。以来、約十年の間に世界最小の直径14mmの配管内無索移動マシンや世界最小の加工・組立工場ともいえるマイクロファクトリの試作に成功するなど、数々の輝かしい成果を生みだしてまいりました。また、昨年度行われた外部有識者による技術評価においても「研究プロセスで得られた技術が多く産業に役立つ見込みのある成功したプロジェクト」として高い評価を得ております。これらマイクロマシン技術の世界に誇るべき業績は、ひとえにマイクロマシンプロジェクトの関係者各位の御努力及び御支援の賜物であり、改めて皆様に厚く御礼申し上げる次第であります。本年度はいよいよプロジェクトの最終年度となりますが、プロジェクトの集大成として更に実りある成果を挙げ、最終的に成果を広く社会に還元していくことを目指して技術の一層の研鑽を図ってまいります。

さて、平成12年4月に産学官で取りまとめられた「国家産業技術戦略」におきましては、今後の我が国の技術革新システムの大きな方向として、「キャッチアップ型」から「自らが新たな領域の市場を創造していくフロンティア創造型」への転換が示されております。中でもマイクロマシン技術については、機械分野の新たな需要開拓に繋がる重要技術課題として、従前培ってきた超精密加工や微細加工技術並びにシステム構成技術を基に、現在よりも遙かに小型でかつ簡便に必要な情報を入手できるオーダーメイドウェアラブル情報機器等、将来の成長分野である「情報・通信」、「医療・福祉」分野における活用が見込まれ、我が国の製造業の重要な一翼を引き続き担うことが期待されているところであります。

折しも本年度4月には「産業技術力強化法」が施行され、産業技術の強化に向けた取組を産学官が一体となって進めていくために、民間への技術移転のための国立公立大学教官等の民間企業の役員兼業についての規制が緩和されるなど所要の環境整備がなされました。工業技術院といたしましても、我が国の技術革新システムの更なる進化を目指して産業技術研究開発プロジェクトを積極的に推進していく所存でございますので、何卒皆様の一層の御理解と御協力を賜りますようお願い申し上げます。

## 薬を運ぶナノデバイス：高分子ミセル — その魅力と可能性 —

東京大学大学院工学系研究科 教授 片岡一則

### 1. はじめに

親水性の高分子鎖と水に難溶性の高分子鎖とを連結したブロック共重合体は、水媒体中で様々な駆動力に基づいて自律的に多分子会合し、メソスコピックなサイズ範囲（20～100nm程度）で粒径の揃ったコアシェル型の高分子ミセルを形成します。高分子ミセルの外殻（シェル）は、数十～数百本の親水性自由末端鎖が密集した構造となっており、その親水性とエントロピー弾性に基づく立体反発効果によって優れた分散安定性を示すのみならず、血漿タンパク質や細胞などの生体成分との非特異的な相互作用を極力抑えることが出来ます。一方、高い凝集力を有する内核（コア）は、ミセル構造の安定化に寄与するとともに、薬物などの生理活性物質のマイクロリザーバーとしての機能が期待されます。このような高い生体適合性と優れた薬物保持能を有し、かつ、サイズのスムーズな組織浸透性が期待される高分子ミセルは、制がん剤に代表される薬物や遺伝子治療に用いられる遺伝子を体内の特定臓器や細胞に送り届けるキャリア（運搬体）として大変に望ましい構造的特徴を有していると言うことが出来るでしょう。さらには、ミセル外殻を構成する連鎖の自由末端に定量的にリガンドを導入することも可能であり（図1参照）、特定細胞へミセル内包物をデリバリーする標的治療デバイス（人工ウイルス）や疾患原因物質を検知する診断デバイス（超分子プローブ）への応用が期待されています。私たちの研究室では、このようなユニークな特徴を持った高分子ミセルの機能展開を積極的に進めています。

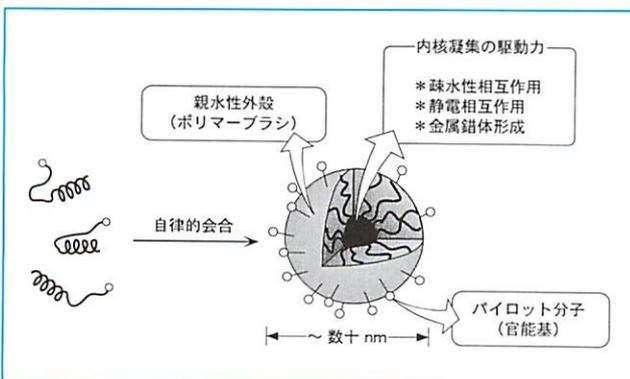


図1 様々な駆動力を利用した高分子ミセル形成

### 2. 薬物送達機能を有するブロック共重合体ミセルの構造設計とそのガン標的治療への展開

薬物送達機能を有するブロック共重合体ミセルの構造設計において、ミセル外殻を形成する連鎖として私たちが選択したのは、水溶性で低毒性、かつ柔軟な骨格を有して高い立体反発効果が期待出来るポリエチレングリコール（PEG）です。一方、内核を構成する連鎖としては、生体内分解性を考慮してポリアスパラギン酸（PAsp）を採用し、その側鎖カルボキシル基に疎水性でかつ自己会合性の高い制がん剤であるアドリアマイシン（ADR）をアミド結合を介して導入することによってミセルの構造安定性を高めるとともに、ミセル内核へ物理的に内包されるADR量の増大を図りました（図2）。このような機能

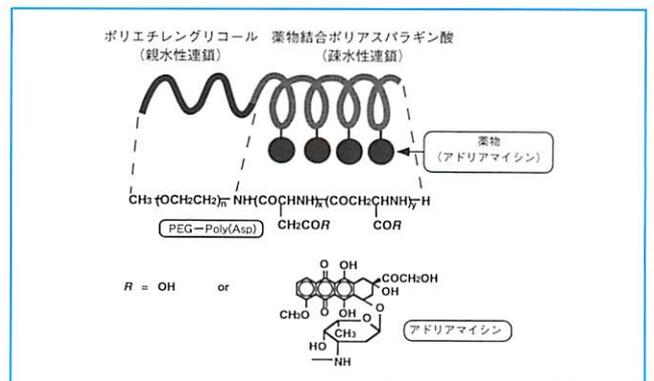
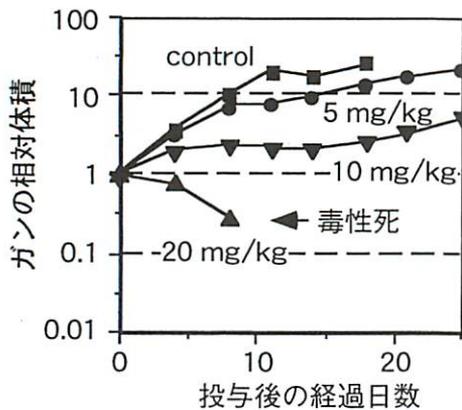


図2 抗がん剤アドリアマイシンを結合したブロック共重合体

設計を行ったADR内包高分子ミセル（PEG-PAsp(ADR)ミセル）は、その高い構造安定性と優れた生体適合性により、ADRそのものに比して格段に優れた血中滞留性を達成し、図3に示しますように、マウス皮下に移植した固形ガンの完全治癒をもたらす事が明らかとなっています。この系は現在、国立がんセンターにおいて前臨床試験が実施されています。また、内核形成の駆動力として、新たに錯形成反応に着目し、白金錯体制がん剤であるシスプラチンを内包するミセルを構築しました。このミセルについても、高い血中安定性と固形ガン集積性が実証され、薬物の体内動態を制御出来る高分子ミセル化医薬の広範な有用性が明らかとなりつつあります。

### 1) アドリアマイシン単体での抗ガン活性



### 2) ミセル化アドリアマイシンの抗ガン活性

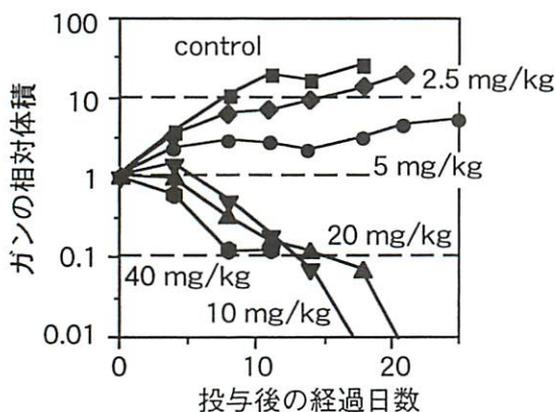


図3 大腸がん (Colon 26) に対するin vivo制がん活性  
ミセル中の化学結合ADR: アスパラギン酸残基の48mol%  
(重量%: 23%)  
ミセル中の物理吸着ADR: 18mol%

### 3. 静電相互作用を基調とする新規高分子ミセルの構築とその機能評価

反対荷電を有する高分子電解質同士を水中で混合すると通常、ポリイオンコンプレックス (PIC) と呼ばれる不溶性の会合体が生成します。ところが、ブロック共重合体の場合には、PICを内核とし、その周りを親水性の外殻が被う極めて分布の狭い、粒径数十nmの多分子会合体、ポリイオンコンプレックスミセル (PICミセル)、が自律的に形成される事を最近、私たちは見出しました。

酵素やDNAなどの生体高分子を内包するPICミセルは生体機能材料として様々な展開が可能です。例えば、ミセル内包に伴って、プラスミドDNAやアンチセンスDNAの核酸分解酵素耐性は飛躍的に向上

し、かつ遺伝子の発現効率も上昇します。この系は、天然のウイルスに代わる新たな遺伝子ベクターとしての有用性が期待されています。

### 4. 自由末端に官能基を有する新規ブロック共重合体の合成と反応性高分子ミセルの構築

高分子ミセルを薬物送達分野へ展開していく上で、分子認識能の賦与は重要な課題です。その為には、外縁に多数の官能基を配置した反応性高分子ミセルの構造設計法の確立が不可欠といえます。そこで、適用範囲の広い一般的な方法として、保護された官能基を組み込んだ金属アルコキッドを開始剤に用い、段階的なアニオン開環重合を行うことによって、末端に種々の官能基を有するブロック共重合体を得るという新たな合成経路を開発しました。この様なブロック共重合体から得られる高分子ミセルは外縁に多数の官能基を有し、様々なリガンド導入が可能であることから、臓器特異的薬物デリバリー担体としての幅広い用途が期待されています。事実、表層にラクトースを配置したミセルはレクチンに対する高い結合特異性を示すことが明らかとなっています。

### 5. おわりに

以上の例に示しましたように、ブロック共重合体の自己会合によって形成される高分子ミセルは、ウイルスサイズのナノデバイスとして、様々な薬物や遺伝子の運搬体としてドラッグデリバリーの分野でその有用性が明らかとされつつあります。この様なシステムは、いわば化学的アプローチによる分子器械ともいべきものであり、より精緻な標的認識能や刺激応答機能を賦与することによって「必要な時に必要な場所で必要な機能を遂行する」ケミカル・ナノマシンとしての活躍が期待されます。

#### 参考文献

- 1) 片岡一則、遺伝子医学 4(1), 156-161 (2000).
- 2) 原田敦史、片岡一則、蛋白質核酸酵素 45(7), 1265-1272 (2000).

## 平成11年度財団法人マイクロマシンセンター事業報告の概要

### I マイクロマシンに関する調査及び研究

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

第2期の4年度である工業技術院産業科学技術研究開発プロジェクトについて、研究開発基本計画(第2期)の研究開発目標の達成を目指し、研究開発体制を一層整備して、受託研究を積極的に進めた。また、通商産業省工業技術院のプロジェクトプレ最終評価を受けた。

##### (1) 発電施設用高機能メンテナンス技術開発

###### ① システム化技術の研究開発(管内自走環境認識用試作システム)

湾曲部を含む金属配管内において、無索にて水平、垂直方向に前進、後退、停止ができ、異物など周囲環境の認識が可能な機能をもつマイクロマシン試作システム(管内自走環境認識試作システム、マイクロ視覚、光エネルギー伝送のシステム化等)の作製を通じてシステム化技術の研究開発を行った。

###### ② システム化技術の研究開発(細管群外部検査用試作システム)

多数の単体マシンが検査対象の形態に応じて連結や分離をすることが可能な機能をもつマイクロマシン試作システム(細管群外部検査試作システム、減速・走行デバイス、マイクロコネクタのシステム化等)の作製を通じてシステム化技術の研究開発を行った。

###### ③ システム化技術の研究開発(機器内部作業用試作システム)

多様な構造の機器内部に進入し、内部の微小傷の計測や補修作業が可能な機能をもつマイクロマシン試作システム(機器内部作業試作システム、姿勢検出デバイス、モニタリングデバイスのシステム化等)の作製を通じてシステム化技術の研究開発を行った。

###### ④ 機能デバイスの高度化技術の研究開発

将来のマイクロマシンシステムを実現するために必要な構成要素であり、マイクロマシン技術としての先進性がある機能デバイスについて、マイクロ化、高性能化、複合機能化等の高度化技術の研究開発を行った。(人工筋肉、マイクロジョイント、低摩擦サスペンションデバイス、マイクロバッテリー、光駆動自由関節デバイス等)。

###### ⑤ 共通基盤技術の研究開発

マイクロマシンシステムを実現するために必要となる制御、計測、設計、評価技術等基盤となる共通的な技術の研究開発を行った(分散マイクロマシン群のパターン形成技術、階層型群制御技術、微小な力やトルクの測定、計測技術等)。

###### ⑥ 総合調査研究

将来の発電施設の保全作業に必要なメンテナンス用マイクロマシンの概念設計を行う技術総合調査研究を行った。

##### (2) マイクロファクトリ技術開発

###### ① マイクロ加工・組立用試作システムの研究開発

限られた狭所空間の中に、加工、組立、搬送、検査などの多数の工程に係わる機器類を統合化して組み込み、実際に、小型部品の製品モデルを作製出来る機能をもつマイクロ加工・組立用試作システムの作製を通じてシステム化技術の研究開発を行った(マイクロ加工技術、マイクロ組立技術、マイクロ流体操作技術、マイクロ光駆動技術、マイクロ電気駆動技術、マイクロ搬送技術、マイクロ検査技

術)。

###### ② 総合調査研究

マイクロファクトリ化により各種デバイスが集積化、高密度化した場合の電磁波干渉等のマイクロファクトリ化影響調査研究を行った。

また、マイクロファクトリの経済性分析の研究を工業技術院機械技術研究所と、さらにビーム加工用微小電子銃の高性能化に関する研究を工業技術院電子技術総合研究所と共同研究で行った。

##### (3) マイクロマシン技術の研究開発

###### ① マイクロマシンシステムの研究

医療分野のマイクロマシンシステムとして、体内診断治療システムである「脳血管診断・治療マイクロカテーテル」の主要構成要素となるマイクロレーザカテーテル及びマイクロ触覚センサカテーテルのマイクロ化と機能複合化の研究開発を行った。また、医薬品候補物質のスクリーニング等を行うための医療用微量液体分析・反応マイクロシステムの実現に必要な微量液体採取混合機構、マイクロガス分析デバイス、マイクロマルチリアクタの研究開発を行った。更に、医療用マイクロマシンの走査型撮像ユニットの研究開発を行った。

###### ② 総合調査研究

将来の医療応用分野におけるマイクロマシンシステムの活用についての先導的な調査研究を行った。

また、工業技術院機械技術研究所とマイクロマシンの設計・製作基盤技術に関する共同研究を行った。

##### 2. 新産業創出を目指した「マイクロ流体システム等」に関する技術動向調査(新エネルギー・産業技術総合開発機構からの受託調査)

「マイクロ流体システム」に関する技術動向調査、特許調査、製造技術等の検討を行うとともに、関連資料の収集、分析、シーズ開発の技術課題を明らかにした。

##### 3. マイクロマシン用材料に関する研究(工業技術院機械技術研究所との共同研究)

マイクロマシン用材料に関する工業技術院機械技術研究所との共同研究により(1)微小機能要素の作業環境に関する研究、(2)マイクロマシン用材料に関する研究、(3)マイクロマシン用材料のフィージビリティスタディを行った。

##### 4. マイクロマシン技術への他分野萌芽技術の適用に関する調査(日本小型自動車振興会からの補助事業)

マイクロマシン技術の多様化と実用化を促進するために必要な他分野における萌芽的な技術シーズの探索と、そのマイクロマシン技術への適応性、融合性の検証を官学産共同で推進した。

##### 5. 海外におけるマイクロマシン技術の応用状況に関する調査研究(日本機械工業連合会からの受託研究)

マイクロマシン技術による新産業創出のために、マイクロマシン技術にどのような進歩があればどのような利用システムの創出が考えられるかを考察する必要から、マイクロマシン技術の応用事例を具体的に調査し、実用化までのロードマップに関する調査研究を行った。

##### 6. 21世紀の健康・医療におけるマイクロマシンの応用可能性に関する調査研究(機械システム振興協会からの受託研究)

健康医療分野におけるマイクロマシンシステムの応用可能性につ

いてニーズの調査により必要なシーズ技術を示してそこから描き出される新しいシステムに関する調査研究を実施した。

#### 7. マイクロマシン技術国内外研究開発動向調査

データベースの内容の充実、使いやすいデータベースの構築を念頭に、国際会議、国際学会などを調査対象とした分野別動向調査を行った。

#### 8. マイクロマシンシステムの将来要素技術に関する調査研究

将来のマイクロマシンシステムに必要な要素技術の概念をこれまで蓄積してきたデータを基にして体系的に整理することにより明確にし、将来のシステム概念を導き出すための調査研究を実施した。

### II マイクロマシンに関する情報の収集及び提供事業

① 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、その他の資料を収集・整備した。② このうち、主要資料について「マイクロマシンインデックス」を定期的に発行し、関係者に提供した。③ また、インターネットを利用し、前年度からの英文広報誌及びマイクロマシン技術関連イベント情報に加え、日本語によるセンター紹介を掲載した。

### III 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

#### 1. マイクロマシン技術に関する研究助成

マイクロマシンに関する基礎的研究課題について研究助成を行い、マイクロマシン技術の一層の進展と、産学交流の一層の促進を図るため、平成11年度(第7回)の研究助成課題の募集を行い、新規テーマ7課題、継続テーマ6課題、合計13課題の研究助成を行った。

#### 2. 国際シンポジウムへの参加、ミッション派遣

- ① 平成11年4月、英国の大学・企業に調査団を派遣し、調査を行った。
- ② 同年8月、香港で開催されたICEE'99 (International Conference of Electrical Engineering '99)に参加し、発電施設用高機能メンテナンスマイクロマシンに関する研究成果を発表した。
- ③ 同年9月、オランダ、スイス、ドイツに調査ミッションを派遣し、海外におけるマイクロマシン技術の応用状況に関する調査を行った。
- ④ 同年9月、米国のサンタクララで開催されたSPIE (Micromachining and Microfabrication)に参加した。
- ⑤ 同年11月、米国のナッシュビルで開催されたME'99 (1999 International Mechanical Engineering Congress & Exposition)に参加した。
- ⑥ 同年11月、モスクワで開催されたIARP (International Advanced Robotics Program)に参加し、マイクロファクトリのアセンブリング技術を中心に講演を行なった。
- ⑦ 平成12年1月、米国のサンノゼで開催されたSPIE主催のPhotonics Westに参加した。
- ⑧ 同年1月、宮崎で開催されたMEMS2000 (第13回MEMS国際会議、IEEE主催、マイクロマシンセンター共催)に参加した。
- ⑨ 同年2月、ドイツ、スイスでメンテナンス用マイクロマシンに必要なマイクロマシン技術及び欧州における標準化動向調査を行った。
- ⑩ 同年2月、米国でマイクロファクトリを構成するマイクロデバイス用材料等の特性計測の技術動向及び計測方法の標準化動向調査を行った。

#### 3. 第5回マイクロサミットへの参加

平成11年4月に英国スコットランドのグラスゴーで開催された第5回

マイクロマシンサミットに参加した。

#### 4. 第5回国際マイクロマシンシンポジウムの開催

平成11年10月に東京の科学技術サイエンスホールで第5回国際マイクロマシンシンポジウムを日本産業技術振興協会との共催で実施しました。

#### 5. 海外技術交流セミナーの開催

平成11年6月、フランス、イタリア、スペインにおいて、現地研究機関と共同で「欧州セミナー」を開催、同年11月、米国クリーブランドにおいて、現地研究機関と共同で「北米セミナー」を開催した。

### IV マイクロマシンに関する標準化の推進

#### 1. 新規産業支援型国際標準開発事業「マイクロマシン用材料の特性計測評価方法の標準化」(新エネルギー産業技術総合開発機構からの受託研究)

総合調査として、国内外の技術開発動向の調査、推進指針の策定、標準化に適した項目や要件の調査等を進めた。研究開発として、標準的な引張試験方法、及び2年度目を実施するラウンド・ロビン・テストに向けて、計測評価の対象となる薄膜試験片の材質を選定し、特性のばらつきが極力生じない試験片の作成プロセスについて検討した。

#### 2. 標準化に関する調査研究

前年度の標準化事業に引き続き、以下の事業を行った。

- ① 計測評価法について、「MMCテクニカルレポート マイクロマシンの計測評価法」の発行に向けて、以前に実施した調査研究結果を総集編的に整理した。
- ② 平成10年11月15日に発足させた12か国/地域による「マイクロマシン国際標準化フォーラム」の最初のワーキングアイテムとして専門用語の標準化を取り上げ、国際的な意見交換を行った。

### V マイクロマシンに関する普及啓発事業

#### 1. 広報誌の発行

和文・英文広報誌を各4冊を発行した。

#### 2. マイクロマシン絵画コンテストの実施

賛助会員企業及び科学技術館の協力を得て、第6回のマイクロマシン絵画コンテストを実施した。小中学校合わせて34校から3,215点の応募があり、入選作品30点について表彰した。

#### 3. 平成10年度マイクロマシンの基礎技術の研究報告会の開催

平成10年度日本小型自動車振興会補助事業として実施した「マイクロマシンの基礎技術の研究」の成果発表会を平成11年7月及び平成12年1月、東京で開催した。

#### 4. 国内マイクロマシンセミナーの開催

平成11年9月に岩手県盛岡市、平成12年2月に大分県大分市でマイクロマシンセミナーを開催した。

#### 5. 事業紹介・普及啓発用ビデオの制作

産業科学技術研究開発プロジェクトの技術成果紹介ビデオ及び子供向け普及・啓発ビデオの改訂版を制作した。

#### 6. 子供向け普及・啓発用小冊子の作成

小学校高学年、中学生、及び小中学校の先生方を対象としたマイクロマシンの普及・啓発用の小冊子「マイクロマシンってな～に!？」を作成した。

#### 7. 第10回マイクロマシン展の開催

平成11年10月に東京の科学技術館で第10回マイクロマシン展を開催した。

## 第6回マイクロマシン技術研究助成の概要

財団法人マイクロマシンセンターは、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「マイクロマシン技術の研究開発」を新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より受託し、その研究開発を進めるとともに、マイクロマシン技術に関する各種の調査研究や普及啓発を図るための各種の自主事業を行っております。この研究助成制度はマイクロマシンセンターの自主事業の一環として、平成5年度より募集を開始したもので、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うとともに、マイクロマシン技術の一層の進展を図り、産学交流をさらに促進しようとするものです。

このたび、第6回（平成10年度）研究助成で、研究期間が1年間の1テーマと平成9年度より継続していました5テーマが終了しましたので、主な研究成果の要旨を次頁以降にまとめました。

### マイクロマシン技術に関する研究助成課題

| 研究課題 | 研究代表者<br>氏名<br>共同研究者 | 所属機関<br>名称・氏名 | 研究<br>期間 |
|------|----------------------|---------------|----------|
|------|----------------------|---------------|----------|

#### (平成10年度研究助成)

|                                  |       |           |        |
|----------------------------------|-------|-----------|--------|
| 気泡振動を利用したダイナミックバルブ型マイクロポンプに関する研究 | 中別府 修 | 東京工業大学工学部 | 助教授 1年 |
|----------------------------------|-------|-----------|--------|

#### (平成9年度研究助成)

|                                |       |                            |        |
|--------------------------------|-------|----------------------------|--------|
| 走行型プローブ顕微鏡によるプラズマエッチング         | 伊藤 寿浩 | 東京大学<br>先端科学技術研究センター       | 助教授 2年 |
| DNA分析用バイオチップに関する基礎的研究          | 庄子 習一 | 早稲田大学 理工学部<br>電子・情報通信学科    | 教授 2年  |
|                                | 田畑 修  | 立命館大学 理工学部                 | 助教授    |
| Siウエハ上の形状記憶合金アクチュエータの予歪設定法の研究  | 栗林 勝利 | 山口大学<br>工学部 機械工学科          | 教授 2年  |
|                                | 清水 聖治 | 同上                         | 助手     |
| 細胞表面タンパク質検出のための生体分子認識ナノプローブの開発 | 松永 是  | 東京農工大学<br>工学部 生命工学科        | 教授 2年  |
| マイクロマシンの摩擦の計測と制御に関する研究         | 鈴木 健司 | 東京大学大学院<br>工学系研究科 産業機械工学専攻 | 講師 2年  |

### 第8回（平成12年度）「マイクロマシン技術に関する研究助成課題の募集要項」

#### 1. 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。

#### 2. 研究期間

テーマA：平成13年4月～平成14年3月31日

テーマB：平成13年4月～平成15年3月31日

#### 3. 課題募集期間と課題決定及び助成金交付時期

募集期間：平成12年7月1日～10月31日

決定時期：平成13年3月中旬

助成金の交付：平成13年3月下旬

#### 4. 応募方法

応募用紙の請求は、下記財団法人マイクロマシンセンターへ送付先を明記のうえ、FAXにて請求して下さい。(FAX：03-5294-7137)

#### 5. 応募資格

マイクロマシン連合会に加盟する学協会等に所属する大学教員（教授、助教授、講師及び助手）

#### 6. その他

(1) 助成金総額：1,500万円程度

（1件につき、テーマAは200万円、テーマBは300万円を限度トス）

(2) 本事業は、産学交流の促進を目的の一つとして、助成の決定後、マイクロマシンセンターの賛助会員企業等との共同研究をお願いすることがあります。

(3) 問合せ先：財団法人マイクロマシンセンター

研究部（担当：程野）

# 気泡振動を利用したダイナミックバルブ型マイクロポンプに関する研究

東京工業大学 工学部機械宇宙学科 助教授 中別府 修

## 1. はじめに

ノズル・ディフューザー形状の流入流出口を液室に配置し、液室圧力の周期的変動により流体を駆動するポンプをダイナミックバルブポンプ(DVP)と呼び、単純な構造と摩擦や漏れの問題がないことが微細化に適し、マイクロ分析システムや次世代CPUの内部冷却用の液体駆動素子として研究・開発が進められています。

通常DVPは液室の圧力変動にピエゾを利用しますが、本研究では、可動部を排除しポンプの寿命や信頼性を向上させ、また、熱的作用で作動するポンプの開発を目指し、液室内で発生させた蒸気泡の振動を利用するDVPの開発を行いました。

## 2. 気泡駆動型マイクロポンプ

DVPに利用した典型的な非対称流路形状と試作したマイクロポンプを図1に示します。流路は厚さ $200\mu\text{m}$ のステンレス板にレーザー穴開け加工で形成され、のど部の長さは $200\mu\text{m}$ です。流路を $400\mu\text{m}$ のヒーターを蒸着したガラス板の上に乗せ、上下から金属フランジで閉じることでポンプを構成します。水、エタノール等を作動流体とし、ヒーターに所定の周波数、電圧で矩形電圧を印加すると、気泡が発生・振動し、ポンプ作用が生じます。この時のポンプ圧力および流量は出入りに立てたガラス管内の液位の変化から求められます。

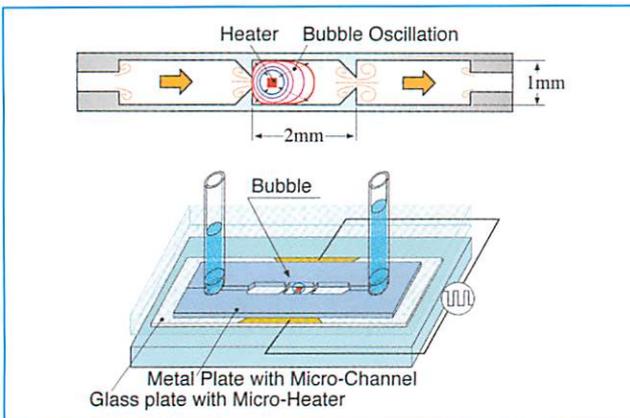


図1 非対称流路形状と気泡振動型マイクロポンプ

## 3. 実験結果

ポンプ内で発熱がOffの状態とOn状態の気泡の様子を図2に示します。気泡は、ある平均径まわりで体積振動を起こし、膨張時には左側の流路を塞ぎ右側に流体を押し、収縮時には両側から流体が液室に流れ込む様子が観察され、この運動でポンプ圧力が生じていると考えられます。

試作したマイクロポンプでは、最大圧力 $80\text{Pa}$ 、最大流量 $200\mu\text{l}/\text{min}$ が得られ、発生圧力と流量にはほぼ線形の関係が確認されました。また、一定加熱量条件で周波数を変化させ、

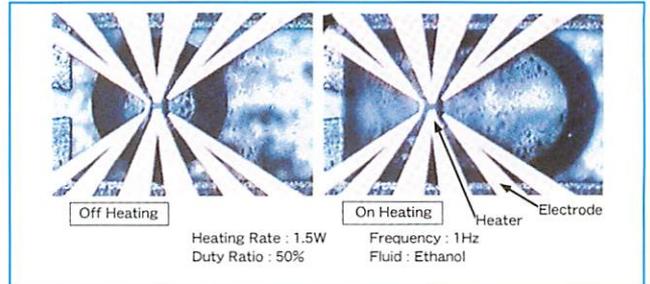


図2 気泡の運動

ポンプ特性を調べた結果を図3に示します。気泡振動型ポンプは実験を行った $1\sim 1000\text{Hz}$ の広い周波数範囲でポンプ作用を発生し $100\text{Hz}$ 付近が最も高い性能を示しています。この周波数は気泡振動と流体運動がマッチした一種の共振周波数であると考えられます。一方、同じ流路形状でピエゾにより液

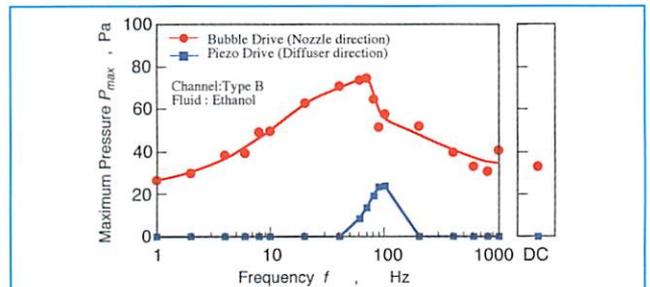


図3 気泡型およびピエゾ型マイクロポンプの作動特性

室圧力変化を与えた場合には、 $40\sim 200\text{Hz}$ の範囲でのみポンプ効果が確認され、 $100\text{Hz}$ 付近で最大性能を示します。両者の違いは、ピエゾ型が非対称流路内での流体運動の非対称性からポンプ圧力が発生しているのに対して、気泡型では、気泡が狭い流路方向へ侵入するのを表面張力効果が抑え気泡のブロッキングが生じ、広い流路方向へのみ膨張するという作動原理の違いに基づいていると考えられます。また、 $1000\text{Hz}$ という気泡の振動運動が追いつけない高周波数でもポンプ圧力が発生するのは、直流加熱成分に対して気泡が発泡、振動を自発的に起こすため、このことは、ヒーターを直流で加熱しても気泡振動が発生し圧力の発生が得られた実験からも確認されました。

## 4. おわりに

微細非対称流路内で蒸気泡を発生・振動させることでマイクロポンプとして作動することを確認し、その特性を調べました。同じ流路形状によるピエゾ駆動型DVPに比べ、気泡駆動型は広い周波数範囲でポンプ効果を発揮し、また、気泡の自発的振動により直流加熱でも作動することが確認されました。この特性から、CPUの直接冷却に対し廃熱を流体駆動に直接利用する自己完結型冷却システムの実現性が見えてきました。

# 走査型プローブ顕微鏡によるプラズマエッチング

東京大学 先端科学技術研究センター 助教授 伊藤 寿浩

## 1. はじめに

マイクロマシンプローブを利用した表面の微細加工は、ナノメートルオーダーの局所的リソグラフィや半導体素子検査用のウエハプローブカードなどへの応用が期待できる。本研究では、走査型プローブ顕微鏡によるプラズマエッチング(走査プローブプラズマエッチング)のための要素技術開発と半導体素子検査用プローブカードへの応用検討を行った。

## 2. 走査プローブプラズマエッチング

図1に本研究が目指す走査プローブプラズマエッチングシステムの概要を示す。本システムは、反応ガス中でダイナミック走査型力顕微鏡(SFM)を動作させながら、深針にDCバイアスを与えてプラズマ加工を行うものであり、特に多点同時加工を実現するため、パラレル動作可能な圧電カンチレバーアレイをプローブとして用いることを計画した。そのため本研究では、プローブ単体で3次元走査が可能なマイクロSFM開発と、ダイナミック走査型力顕微鏡による加工についての検討を行った。

まず、前者については、ゾルゲル法によるPb(ZrTi)O<sub>3</sub>膜を用いて図2(a)に示すようなデバイスを設計・製作し、その動作特性を調べた。図2(b)に示すプローブは1μm領域の走査が可能で、かつ標準的な走査条件で1nm程度の垂直分解能を有していた。また、後者については、プローブとしてAu導電性カンチレバーを、反応ガスとしてCF<sub>4</sub>を用いてバックグラウンド真空

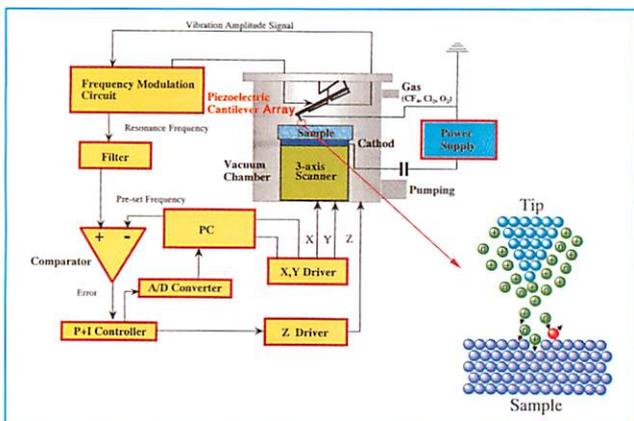


図1 走査プローブプラズマエッチングシステム

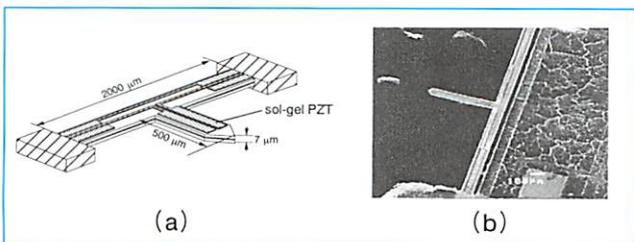


図2 3次元走査可能な圧電マイクロ走査型力顕微鏡

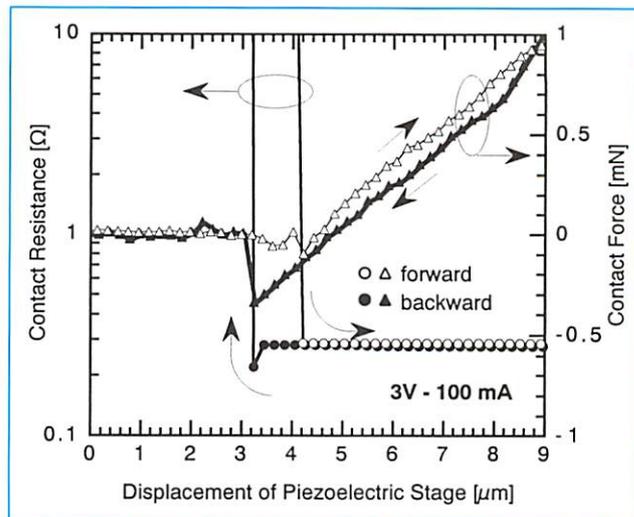


図3 Auめっきプローブのフリッピング特性

度 $1 \times 10^{-6}$ Torr以下、ガス導入後動作圧力0.1~1.0mTorr、バイアス電圧20V以下でSi表面の局所加工が可能な、ダイナミックSFM装置ベースのプローブプラズマエッチング装置を構築した。

## 3. マイクロマシンプローブカード

従来タングステン針などをプリント基板上に手作業で組み付けることにより製作しているプローブカードを、マイクロマシンングによりSi基板上などに一括製作できれば、高速検査が必要な微細パッドサイズ・ピッチのデバイスのプローブ検査が可能になる。しかし、このようなマイクロマシンプローブカードでは、従来のような機械的パッド表面の酸化膜を除去するだけの力に個々のプローブが耐えられないため、別の酸化膜除去方法が必要となる。そこで、本研究ではこのようなマイクロマシンプローブカードへ応用することを目的として、局所的なプローブ加工法の一つと言えるフリッピングについて検討した。フリッピングに必要なプローブ接触力および接触後の凝着力を測定した結果、図3に示すように、ICパッド材料であるAl膜を対象とした場合には、Auめっきプローブを用いたフリッピングにより、外部から力(接触力)を与えなくても0.3Ω以下の低抵抗コンタクトが得られることがわかった。また、その凝着力は0.3mN程度であり、コンタクトの直接切替が可能なマイクロマシンアクティブプローブカードの実現も可能であることがわかった。

## 4. まとめ

以上本研究では、走査型プローブ顕微鏡によるプラズマエッチングシステムのための要素技術を開発することにより、その実現性を示すとともに、プローブエッチングの応用としての半導体素子検査用マイクロマシンプローブカードを提案し、プローブ加工の一種であるフリッピングの有効性を示した。

# DNA分析用バイオチップに関する基礎的研究

早稲田大学 理工学部 電子・情報通信学科 教授 庄子 習一  
立命館大学 理工学部 機械工学科 教授 田畑 修

## 1. はじめに

マイクロマシン技術の応用により生体からDNAを抽出しその塩基配列を決定するまでのプロセスの精度、スピードは飛躍的に向上できると期待される。これを実現するマイクロシステムを構築するためには、微小領域におけるマイクロ構造体(DNA)のハンドリング、マイクロfluidicsを考慮した微小流路設計および多重マイクロ構造体内でのDNAの高感度検出など基礎技術の研究開発が必要である。そのため、生体試料ハンドリング用マイクロ流体素子・マイクロ反応システムおよび高感度DNA電気泳動分析用マイクロチップについて研究を行った。具体的には生体試料を複数の分析セルに導入するためのマイクロバルブと微量試料と試薬の混合/反応を行なうマイクロフローセルの開発およびLIGAプロセスによって実現される高アスペクト比構造を持つ複数の電気泳動微小流路を持つマイクロチップの設計・試作を行なった。

## 2. 生体試料ハンドリング用マイクロ流体素子・マイクロ反応システムの研究

ポジ形フォトリソを犠牲層として用いることにより、100℃以下の低温のプロセスでシリコンとシリコン薄膜あるいはテフロン薄膜の間に微小流路や圧力室を形成する方法でニューマチック型のマイクロバルブを形成し、その特性を評価した。微小流路とアクチュエータ部分を分離する構造により、実用的なディスプレイ型の試料導入用マイクロバルブが実現できた。試料を複数の分析セルに導入することを目的として、スイッチング型とフロー型の1入力4出力バルブを試作した。アクチュエータの動作を制御するため、ピエゾ抵抗型ダイヤフラム圧力センサを集積化した。

微小流路では液体の流れが層流となるため2液を混合する機構に工夫が必要となる。また、生化学反応を行なうセルでは温度の制御が重要となる。そこで、図1に構造を示す混合/反応用マイクロフローセルを試作した。層流領域での混合は2液の界面を通しての拡散により起こるため、試料の流れに対して多数の微小ノズルから試薬を噴き出させて両者の境界面をできるだけ増やすよう構造を設計している。多数の微小ノズル構造にはシリコンの陽極化成によるマクロポーラス形成法による微小構造体を用いた。図2に蛍光物質をサンプルとして用いた混合の導入口付近の顕微鏡写真を示す。反応部分はシリコン基板上にTi-Pt薄膜ヒータとp-n接合温度センサを形成したもので、PID温度制御をすることによりPCR反応を1サイクル当たり2分程度で行える性能であることを確かめた。

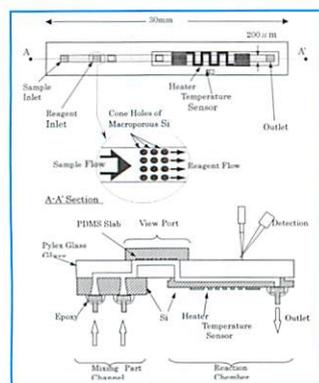


図1 生化学反応/混合用マイクロフローセル

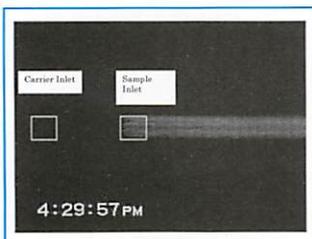


図2 サンプル導入部分の顕微鏡写真

## 3. 高感度DNA電気泳動分析用マイクロチップの研究

DNA分析用バイオチップとして、レーザ励起蛍光を検出に用いるマイクロキャピラリーアレイ電気泳動チップ( $\mu$ -CAEチップ)を考案し、移動マスクX線リソグラフィ(MDXL: Moving Mask Deep X-ray Lithography)を用いたPMMA加工、メッキによる金型作製、ホットエンボッシングによるプラスチックモールドイング、UV接着剤を用いた接合を組み合わせたプロセスを提案し、その実現可能性を実験により確認した。DNA分析用マイクロキャピラリーアレイ電気泳動( $\mu$ -CAE)チップの概念を図3に示す。チップ上のマイクロチャンネルアレイにはDNAを含んだサンプルとバッファ溶液の流れるチャンネルが交互に配置される。サンプルとバッファ溶液は流路の一端に設けられた注入孔より供給され、チップ左から右に向かって電気泳動される間にサンプル中のDNAが分離される。検出にはレーザ励起蛍光法を用いる。全てのチャンネルが平行に形成された部分(パラレルフロー部)の後に、チャンネル間の隔壁が取り除かれた蛍光検出領域が設けられている。検出領域における流れは、サンプル間を隔壁ではなくバッファ溶液により分離した流れ(マルチシーフロー)とする。チャンネルで励起された蛍光はマイクロレンズアレイで集光されることによって検出感度を向上させる。MDXL法によりチャンネル幅50  $\mu$  mのマスクを使用し、マスクの回転直径を0から15  $\mu$  mの範囲で変化させることによって傾斜角を90°から75°の範囲で制御可能であることが示された。これにより多数のマイクロキャピラリーを高密度に配列した $\mu$ -CAEチップをモールドイングにより低コストで大量生産することが可能になる。また、MDXL法によりPMMAに作製した凹形状を型としてマイクロレンズアレイの成型実験を行い、レンズ形状の製作に成功した。

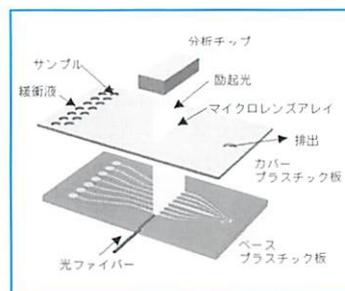


図3  $\mu$ -CAEチップの概念図

## 4. まとめ

本研究では実用的な生体試料ハンドリング用マイクロ流体素子・マイクロ反応システムについて研究を行い、実用的なマイクロバルブを開発し、生化学物質と試薬の混合/反応速度向上や正確な温度制御を実現するための多くの知見を得た。現在、生体物質の流路壁への付着や壁との衝突によるダメージの問題を解決するため、完全シーフローを実現するマイクロフローセルの研究および様々な生化学反応を同時に実現することを目的としたマイクロ反応セルアレイの研究を進めている。また、新しい概念の $\mu$ -CAEチップの提案と、移動マスクX線リソグラフィ、メッキ、ホットエンボッシングを組合せた加工プロセスの検討を行った。その結果加工プロセスの実現可能性を実験により確認することができた。今後、各プロセス技術を統合した $\mu$ -CAEチップの実現に取り組む予定である。また本プロセス技術をサブミクロン微細加工技術と組合せることによって、マイクロチャンネル内に分子ふるいを製作する技術を検討する予定である。

# Siウエハ上の形状記憶合金アクチュエータの予歪設定法の研究

山口大学 工学部 機械工学科 教授 栗林 勝利

## 1. はじめに

Siウエハ上に形状記憶合金（SMA）マイクロアクチュエータを作成する上での問題は、SMAマイクロアクチュエータにどのようにして人の手を介さずに自動的に予歪を与える熱処理プロセスの開発の問題です。本研究では、熱収縮材としてポリイミドを用いてこれを行いました。

## 2. 得られた結果

図1にSiウエハ上のSMAアクチュエータのファブリケーション法とカール型のSMA予歪設定のプロセスを示します。Siウエハの裏面に $5\mu\text{m}$ 程度のSMA（TiNi）薄膜をスパッター法により作成し、平板のま

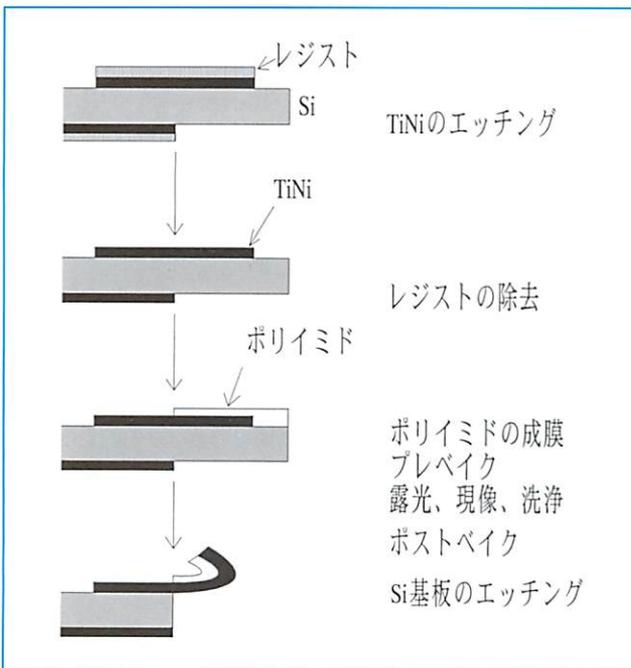


図1 ポリイミドを用いた形状記憶合金（TiNi）アクチュエータのファブリケーションプロセス

ま形状記憶処理を行います。それらにフォトリソグラフィ用レジストを塗布し、上にはアクチュエータのパターンを、下にはSiを部分的に除去するためのパターンを作成し、エッチングする。次に上のSMAの収縮させたい部分にポリイミドを塗布し、熱収縮させます。この結果、ポリイミドは収縮とともにバイアスバネの役割も果たすので、暖めるとSMAの回復力により平板になり、冷ますとバイアスバネの効果により円弧状にカールします。

作成されたSMAマイクロアクチュエータの写真を図2に示します。20mm×15mmのシリコンウエハに6個の



図2 制作したSMAアクチュエータの側面写真（6個の一括制作）

アクチュエータが作成されています。白い部分はシリコンウエハが除去され、下の紙が見えています。またこれらの1つについて電流により加熱して平板にし、室温にしてカールさせた様子を図3に示します。さらに動的に変位させたときのの応答結果を図4に示します。0ボルトと2ボルトの交番電圧を加えたときのSMAの変形を電磁型距離センサにより検出したものです。

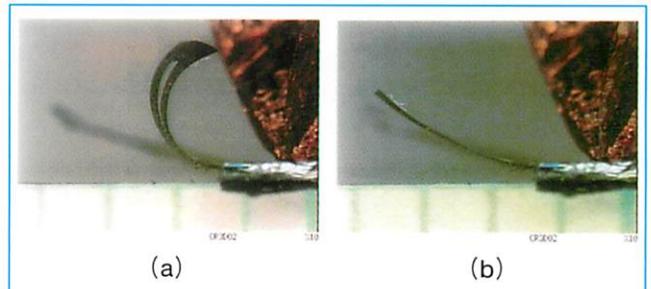


図3 電流加熱により変形動作させた結果  
(a) 電圧=0.0 V (b) 電圧=1.5 V

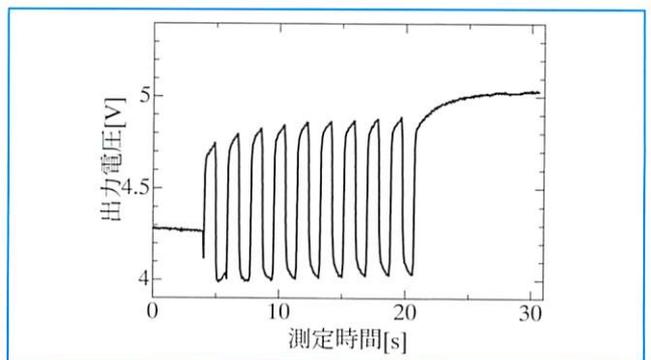


図4 0 Vと2 Vの交番矩形波電圧入力に対する応答結果

## 3. まとめ

予歪設定にポリイミドを用いて、形状記憶合金マイクロアクチュエータのファブリケーションを行う方法を開発し、このアクチュエータが動作することを確認しました。

# 細胞表面タンパク質検出のための生体分子認識ナノプローブの開発

東京農工大学 工学部 生命工学科 教授 松永 是

## 1. はじめに

これまでに、原子間力顕微鏡(AFM)のフォースカーブ測定を用いて生体分子間の相互作用力を1分子レベルで検出することが可能となっている。本計画においてはこれら知見を基に、AFMプローブとして分子認識タンパク質を用い、マイクロ検出システムとしての利用性について検討する。特に生体分子認識タンパク質として、抗バクテリア抗体を用い、バクテリアを1細胞レベルで検出するための新規プローブの開発を行う。

## 2. フォースカーブ測定による抗原抗体相互作用のイメージング

AFMのフォースカーブ測定を用いて、牛血清アルブミン(BSA)と抗BSA抗体間の特異的結合力が100~200pNであることが確認されている。そこで、抗BSA抗体固定化探針、及びBSA-基盤を用いたAFMイメージングを行い、特異的相互作用を画像として認識することを試みた。基板として、ビーズリソグラフィにより金のナノサイズパターンを施したスライドガラスを用い、金表面に化学架橋剤を用いてBSAの自己組織化単分子膜を形成させた(Fig. 1A)。AFMイメージングの結果、BSA、及び抗BSA抗体存在下において金表面とガラス表面とのナノサイズパターンの高低差が増大されたコントラスト像が得られた(Fig. 1B)。AFM画像の高低は、探針と試料表面との分子間力をはじめとする相互作用力で決定されている。抗体を固定化した探針を用いた時

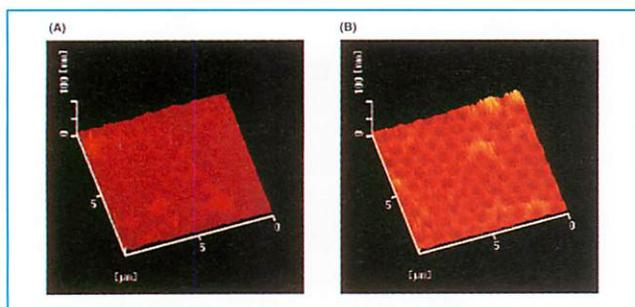


Fig.1 (A) AFM image of BSA-patterned array using a non-treated probe.  
(B) AFM image of BSA-patterned array using an antibody-conjugated probe.

はBSA固定化基板と吸着力が存在するため画像の高低差に違いが生じたことが考えられる。これらのことから、100~200pNの抗原抗体相互作用をAFMイメージングにより認識できることが示唆された。

## 3. 抗体固定化探針を用いた大腸菌表在性タンパク質のイメージング

$1 \times 10^9$  cells/mlとなるように調製した大腸菌*E.coli*(DH5  $\alpha$ , JM109)をスライドガラス上に風乾・固定化した。これを

サンプルとして、まず抗大腸菌抗体固定化探針を用いたフォースカーブ測定により特異的吸着力の検出を試みた。抗体を固定化していない探針を用いた場合にも、600pN以下の吸着力が検出されたことから、この相互作用は菌体表面と探針間に働く非特異的な力であると考えられた。これに対し、抗体固定化探針を用いた場合においては、600-2000pNの力が検出された。また、コントロールとして、*Pseudomonas aeruginosa*を固定化したスライドガラス上での吸着力を測定したところ、同等の力が検出されなかったことから、得られた吸着力が抗原抗体反応に由来する結合であることが示唆された。

次に、抗大腸菌抗体固定化処理した探針を用いて大腸菌1細胞のイメージングを行った。この時、未処理の探針で操作を行った位置と同じ位置に抗大腸菌抗体固定化探針をアプローチし、同一菌体の観察を行った。観察された菌体の形状、大きさを比較するために画像処理ソフトを用いて断面像を得た(Fig.2)。断面像の形状には両者の違いは

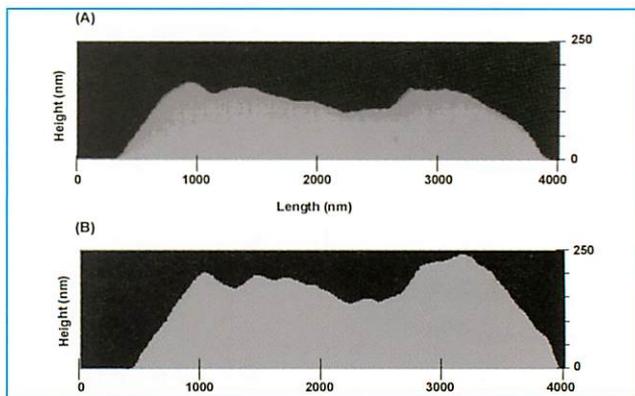


Fig.2 Sectional view of *E.coli* using non-treated probe(A)and antibody immobilized on probe(B).

見られず同一菌体の観察がなされていることが確認された。一方、高低差が最大となるところで菌体の厚みを比較したところ、未処理の探針を用いた時は150nm、抗体を固定化した探針を用いた時は250nmであった。この結果は、2のイメージング結果と一致した。以上の結果から、抗大腸菌抗体を用いた菌体表面のタンパク質の識別が可能であり、表在性タンパク質と抗体との相互作用をAFMを用いて識別できることが示唆された。

## 4. まとめ

本研究の結果、抗原抗体相互作用を1分子レベルでイメージングにより識別し、さらに生細胞表面においても同様の成果が得られた。これらの1生体分子相互作用イメージング技術を用いることで、超高感度センサの構築が実現されるものと期待される。

# マイクロマシンの摩擦の計測と制御に関する研究

東京大学大学院 工学系研究科 産業機械工学専攻 講師 鈴木 健司

## 1. はじめに

マイクロマシンのしゅう動面においては、垂直荷重が極めて小さくなるのに対し、表面間に働くファンデルワールス力、静電気力、表面に付着した水のメナスカス力などの影響が相対的に増大し、摩擦力に大きな影響を及ぼすようになる。本研究では、微小荷重条件下での摩擦力と表面間力を測定し、微小領域に特有な摩擦現象を解明するとともに、表面の性状を変化させることにより摩擦力をアクティブに制御することを目的としている。

## 2. 摩擦力の計測

微小荷重条件のもとで摩擦力と表面間力を測定するために、図1のような摩擦試験装置を開発した。平面試料

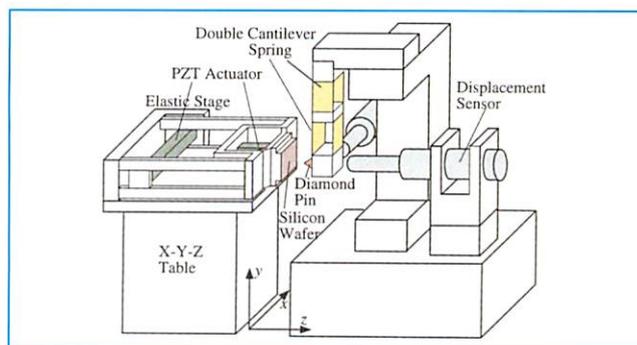


図1 摩擦試験装置

をピンに押しつけて荷重方向、摩擦方向に移動させ、ピン先端に働く荷重、摩擦力、引き離し力を測定できるようになっている。微小力の検出には互いに直交する2組の平行板ばねを用い、静電容量式変位計でばねのたわみを測定することにより  $x, z$  方向の力を求めた。摩擦力の分解能は、 $1.93 \mu\text{N}$  である。この装置を恒湿槽の中に入れ、湿度を 20%~90% の任意の値に設定できるようにした。平面試料はシリコンウェハを用い、ピンは先端半径  $10 \mu\text{m}$  のダイヤモンド探針を用いた。また、磁気ディスクに使用される PFPE 潤滑剤を塗布したウェハについても測定を行い、潤滑剤の効果を調べた。図2は湿度 80% のときの、荷重と摩擦係数の測定結果を示している。

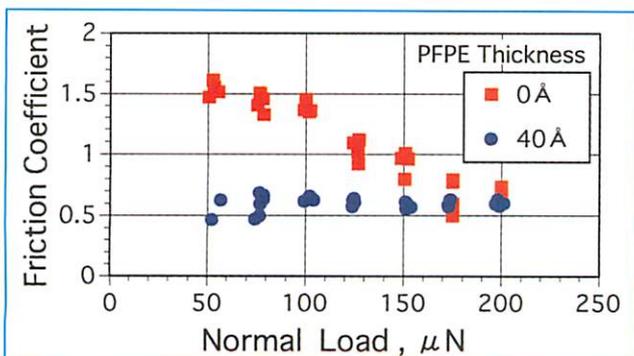


図2 荷重と摩擦係数の関係

潤滑剤を塗布しない場合には、荷重が小さくなるほど摩擦係数が増加している。これは、押しつけ力として、荷重以外に表面の吸着水による吸引力(メナスカス力)が働いているためと考えられる。一方、PFPE 潤滑剤を塗布した場合には、摩擦係数が荷重に依存しなくなっている。これは、潤滑剤の疎水性により表面に水が吸着しにくくなったためと考えられる。

## 3. 摩擦力の制御

摩擦力の制御手法として、本研究では、摩擦面の振動を利用した制御を試みた。図1の装置において、シリコンウェハの試料台背面に加振用の圧電素子を取り付け、ウェハ表面を  $x, y, z$  方向に加振できるようにした。荷重は  $120 \mu\text{N}$ 、摩擦速度は  $4.12 \mu\text{m/s}$  とし、加振周波数、振幅を変化させて摩擦力の変化を調べた。板ばねの固有振動数は  $51\text{Hz}$  であり、板ばねで計測されるのは変動する力を時間的に平均化した“見かけの力”である。すなわち、本実験では、平面試料を加振してすべり方向や荷重を高周波数で変動させることにより、見かけの摩擦力を制御していることになる。図3は  $y$  方向に振幅  $0.05 \mu\text{m}$ 、 $0.15 \mu\text{m}$ 、 $0.25 \mu\text{m}$  の振動を加えた時の、周波数と摩擦係数の関係を示している。摩擦係数は、振動を加えないときの

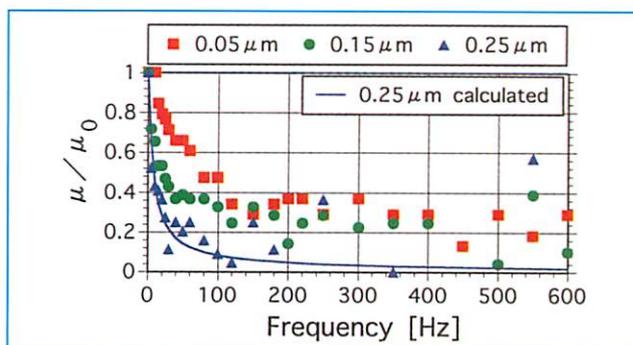


図3 加振による摩擦係数の変化

摩擦係数  $\mu_0$  で正規化されている。振幅、あるいは周波数を増加させると摩擦係数が減少し、条件によって摩擦係数は  $\mu_0$  から 0 までの広範囲の値を取ることがわかる。このことから、加振周波数、振幅を変化させることにより摩擦力が制御可能であることが示された。また、摩擦係数の計算値は実験値とよく一致することが確認された。

## 4. おわりに

微小荷重条件下での摩擦試験を行い、表面間力が摩擦力に及ぼす影響を調べた。また、表面に振動を加えることによって見かけの摩擦力が制御できることを示した。今後は、これらの現象を応用したマイクロマシンを開発していきたいと考えている。

# オリンパス光学工業株式会社



基礎技術研究所 所長 遊佐 厚

### 1. マイクロマシン技術への取組

マイクロマシン技術は、医療分野や工業分野における当社製品の小型化・高性能化を支え、かつ新規事業のコアになる技術と位置づけています。この当社の生命線と言える技術を獲得するために、産技プロジェクト「マイクロマシン技術の研究」に参加して、研究開発活動を進めてきました。

### 2. マイクロマシン技術研究開発成果

当社は産技プロジェクトの中では、複雑な機械や人体の内部等の複雑な構造体に進出し、検査や補修作業を行うマイクロマシンの研究を行っています。

産業用マイクロマシンの技術開発では、機器内部作業用試作システムの開発を担当し、狭い空間内で補修作業を行う技術と機能デバイスを3次元的に高密度に実装する技術開発を行ってきました。補修作業用モジュールは、マイクロレーザ溶接デバイスを装着した形状記憶合金（SMA）マニピュレータを試作し、0.5mm以下の位置精度で溶接作業が可能であることを確認できました。

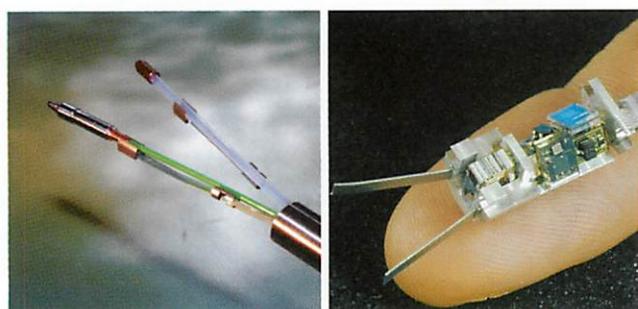


図1 補修用モジュール 図2 ヘッド部電装系モジュール

試作システムのヘッド部にはこの溶接作業に必要な多くの計測デバイスを配置する必要があります。そこで、薄いフィルム中に多くの機能を内装する多機能集積化薄膜（MIF）技術を用いた、3次元実装技術を開発しました。試作したヘッド部電装系モジュールには、SMAマニピュレータ、姿勢検出用デバイス（（株）村田製作所製）、モニタリングデバイス（オムロン（株）製）及びそれらを駆動するためのIC

が3次元的高密度に配置されています。

このモジュールでは、個々の機能デバイスの機能確認ができました。

医療用マイクロマシン技術開発では、1.5mm径のカテーテルにSMAワイヤによる湾曲機能を搭載し、さらに先端部には厚さ数ミクロンのSi歪みセンサからなるマイクロ圧覚センサを3個配置しています。このセンサと湾曲機能によりカテーテルが挿入される際の血管壁との接触圧を検知し、自動的にカテーテル先端部を回避方向に湾曲させる能動湾曲動作が実現されました。また、圧電振動子を用いた、生体組織等の対象物の粘弾性情報を検出可能なマイクロ触覚センサ（1.5mm<sup>2</sup>）も開発しました。

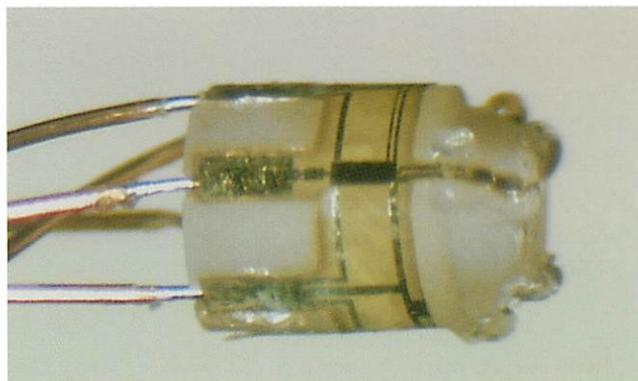


図3 マイクロ圧覚センサ

### 3. 今後の取り組み

これらのマイクロマシンプロジェクトの研究により微細加工技術を応用したセンサやモジュール、新規な実装技術等マイクロマシン要素技術の蓄積は着実に進んでいます。今後は、これらの要素技術に磨きを掛け、内視鏡をはじめとする既存事業の拡大や新規事業のコアとなる技術へ応用発展させたいと考えます。

# 川崎重工業株式会社



電子・制御技術開発センター 副センター長 三木修武

## 1. マイクロマシン技術への取り組み方針

当社は重工業メーカーとして、船舶、車両、航空機などの比較的大きな物を対象に技術開発に取り組んできました。しかし、これからは、小さな物を対象とする技術研究を行うことで、これまで見えていなかった新しい技術を獲得し、また、大きな物を扱う技術と小さな物を扱う技術の融合を図り、新しいビジネスを展開したいと考えています。マイクロマシンの研究では、大きさ、消費電力、計算機能力などに制約があるような限られた環境下で最高の性能を実現させる技術の開発を行っています。そのような技術を使えば、例えば宇宙のような限られた環境の基でマイクロマシンで開発した技術が生かせるものと考えます。

## 2. マイクロマシン技術開発の状況

マイクロマシンは、その大きさから容易に狭窄部に侵入させることが可能であり、これを利用してプラント、発電施設等の運転停止を必要としない新しい保守・点検のスタイルを実現する一つの要素技術として期待されています。しかしながら、十分に小型化されたマイクロマシンはその機能に制限を受け、一台で高機能な作業を実現することは困難となります。そこで、多数のマイクロマシンに協調的に作業を行わせ目的を達成する方法が考えられますが、当社は複数のマイクロマシンにより任意の作業パターンを形成可能な制御システムに関する研究開発を行

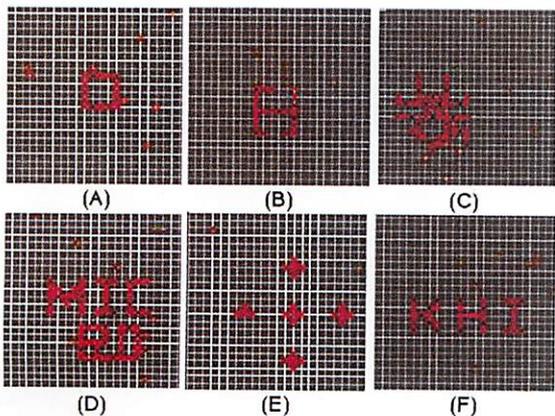


図1 群挙動シミュレータの実行画面

っております。複数のマイクロマシンによる協調作業は、従来の群ロボット研究と類似する点がある反面、マイクロマシンの構造に起因する特有の制約のため、これらの研究とは異なるアプローチをとる必要があります。本研究では群マイクロマシン制御における制約を、全てのマイクロマシンが一様であること、自己位置を相対的にのみ認識可能であること等として再整理し、これらの制約のもとで、任意のパターンを形成可能な制御アルゴリズムを提案しています。本手法において、各マイクロマシンは自律的に行動し、互いに協調しながら任意パターンを形成します。また本手法の正当性に関しては、計算機上に構築したシミュレータ（図1）および小型移動ロボット群（図2）を用いて検証を行っています。

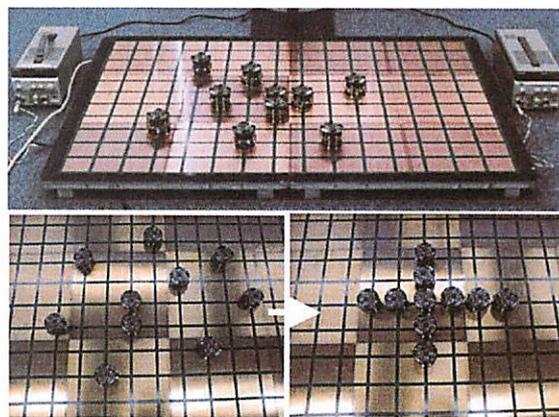


図2 小型移動ロボット群による実験風景

## 3. 今後の取り組み

今後、マイクロマシン技術は一層の飛躍が期待されており、その適用範囲もさらに拡大することが確実視されています。当社においてもこれまでの研究成果を踏まえつつ、より高い実用性、汎用性、信頼性を追求して参りたいと考えております。

## 第6回マイクロマシンサミット開催される

第6回マイクロマシンサミットが4月10～12日の3日間、広島国際会議場にて開催されました。今回は、1995年の第1回マイクロマシンサミット(京都)以来、5年ぶり2度目の日本での開催となり、MMCの国際委員会がorganizing committee、MMCが実施事務局をそれぞれ務めました。開催当日は、天候、桜の開花時期とも恵まれ、充実した会議となりました。

今回は、韓国とシンガポールを新たなメンバーに加え、15カ国・地域(延べ20カ国・地域)から、下記の参加がありました。

|       | 海外 | 国内 | 計  |
|-------|----|----|----|
| 代表    | 50 | 4  | 54 |
| オブザーバ | 13 | 26 | 39 |
| 計     | 63 | 30 | 93 |

参加15カ国・地域とその首席代表を以下に記します。

Australia (Ian Bates)  
 Benelux (Albert van den Berg)  
 Canada (Dan Gale)  
 China (Zhaoying Zhou)  
 France (Daniel Hauden)  
 Germany (Wolfgang Menz)  
 Japan (Naomasa Nakajima)  
 Korea (Young-Ho Cho)  
 Mediterranean (Paolo Dario)  
 Nordic (Jan-Ake Schweitz)  
 Singapore (L. C. Lee)  
 Switzerland (Nico de Rooij)  
 Taiwan (Min-Shong Lin)  
 UK (Geoff Beardmore)  
 USA (Albert Pisano)



写真1 会議場全景

日本側は、東京大学の中島尚正教授(主席代表)、㈱デンソーの石丸典生会長、オリンパス光学工業㈱の下山敏郎会長、MMCの平野専務理事が代表を務められました。また中島教授は、開催国首席代表として、会議の司会を務められました。

会議は8つのセッションからなり、それぞれleading speechとshort commentsからなる構成をとりました。討議のトピックスは、サミット開始の時のコンセプトに立ち戻り、マイクロマシンを発展させるための色々な課題を選びました。以下、各セッションでのスピーチと討議概要を記します。

### 「各国・地域のレビュー」:

各国/地域の首席代表を中心に、それぞれの現状が報告されました。全体的に見ると研究活動は活発になっており、新しい分野としてマイクロフルイデイクスへの取り組みが強調されていました。



写真2 参加者

「政府政策」：

Natural or Forced Collaboration? /Nordic  
EU 5th Framework Programme & EUREKA /EU  
The French Actual Position Compared with the Expected Ones Five Years Ago /France  
Expectations to Government Policy from Industry /Japan  
異なる産業を背景にした国の間の協力における政府の役割、コマーシャル化にはリスクの大きいマイクロマシン技術への政府の支援、マイクロマシン技術の進展にとって政府の役割の重要性が議論されました。

「教育」：

The Use of Multimedia in Microsystem Education /Switzerland  
MEMS/Micromachine Education in Tsinghua University /China  
Schoolchildren and Micromachines /Japan  
子供からエンジニアまで幅広く教育を進めるために国際協力が必要であること、マイクロマシンの発展には頭脳とスキルは必要で教育は重要な課題であるので、引き続き次回のサミットで議論することになりました。

「標準化」：

Standardization for Microsystems /Germany  
Short comments for Standardization /Japan  
Standardization - the Aerospace perspective /UK  
これまでも標準化の必要性が叫ばれながら進んでいない現状から、目的と目標をもう一度検討することの必要性や、市場化の前に何を取り上げるか、研究における標準化の議論がなされました。また、インターネットを使って議論するフォーラムの提案がありました。

「技術移転」：

MEMS Technology Transfer and Associated Problems /UK  
MEMS Research in Nanyang Technological University /Singapore  
Taiwan's Approach to MEMS Technology Transfer /Taiwan  
Technology Transfers at Photonics Research Ontario /Canada

「インフラストラクチャー」：

EU Scenario /Mediterranean  
Toward the Industrialization of MEMS" /Korea  
MEMS Commercialization: Taiwan's Foundry Role /Taiwan  
「技術移転」と「インフラストラクチャー」では活発な活動をしている経験が紹介されました。

「応用開拓」：

Microfluidics: Technology, Applications and Opportunities



写真3 宮島へのディナーツアー

/Canada  
The Unique Options Offered by The Australian Cooperative Research Centre Model /Australia  
Social Industrial Impact /China  
Marketing Evaluation of the French R and D and Industry in Microtechnologies /France  
Status of Fluidic MEMS in USA/ USA  
Wearable Micromachine /Japan  
MEMS Activities in Singapore /Singapore  
Micromachine Technology for Korea Industry /Korea  
MEMS for Magnetic Disk Drives /USA  
フルイディスク、ウェアラブル、ハードディスク、など様々な応用が紹介され、また応用を探索する取り組みが議論されました。

「将来展望」：

Microfluidics in USA /USA  
Micro Chemical Systems: A Paradigm Shift in the Chemical Industry /Benelux  
NEXUS - Market Forecast & Road Map / NEXUS  
Can Micromachines Fulfill our Dreams and Desires? /UK  
Strategies for the 21st Century / Japan  
マイクロマシンの将来のシナリオが議論され、特にマイクロフルイディスクを使ったバイオと化学産業におけるパラダイムシフトが議論されました。さらに、マイクロマシンが人類の希望に応えることの出来る可能性が示され、研究などの努力を進めていく必要が明確にされました。

会議終了時にはChairman's Summary (MMCホームページに掲載されています)を採択し、次回2001年にはドイツで、2002年にはベネルクスで開催することを決定しました。

会議終了後は、宮島へのディナーツアー (12日)、テクニカルツアー (13日三菱電機株、14日(株)デンソー)も開催され、多数の方の参加を頂きました。

## 薄膜で複雑な構造をつくる—表面マイクロマシニング

名古屋大学工学研究科 マイクロシステム工学専攻 教授 佐藤一雄

前号ではシリコン基板にエッチングで微細な3次元形状を形成する「バルクマイクロマシニング」を解説した。本号の「表面マイクロマシニング」は、これとは対照的に、シリコン基板の表面に薄膜を積層して、複雑な3次元構造を創り出す技術である。

### 1. 多結晶シリコン薄膜で構造体を作る

1980年代後半、米国のUCバークレー校やMITで開発された、シリコン基板上で動くことができる微細な機構部品やマイクロ静電モータはマイクロマシニングに強い衝撃を与えた。これを可能にしたのが表面マイクロマシニング技術である。図1はMITで開発されたマイクロ静電モータのSEM写真である。直



図1 多結晶シリコン薄膜でできた静電マイクロモータ (Case Western Reserve Univ., M. Mehregany教授のご提供)

径が0.1mmに満たない星形のロータの周囲に放射状に伸びたステータが配置され、ロータの中心にはロータをはずれないように保持する軸が基板に固定されている。これら3つの部材は何れも厚さが $1\mu\text{m}$  (0.001mm) ほどの多結晶シリコン薄膜で構成されている。ロータとステータの間に電圧を加えると、静電引力が両者の間に働く。ロータの先端とステータの先端が円周方向にずれた部分でロータに円周方向成分の力が加わってロータが回転する。

マイクロ静電モータの製作工程を図2で説明する。構造材料である多結晶シリコン薄膜および間隙を作るためのシリコン酸化膜をそれぞれ光リソグラフィとエッチングでパターンニングしながら交互に積み重ねていく。ステータと軸は基板に固定されるが、ロータは基板から分離して回転させるため、その表面全体を積層したシリコン酸化膜で包み込む。最後の工程で、シリコン酸化膜だけを選択的に溶かすエッチング液(フッ酸の溶液)に構造全体を浸すと、ロータは基板から完全に分離して回転可能になる。ここで、シリコン酸化膜のように、最後に溶けるこ

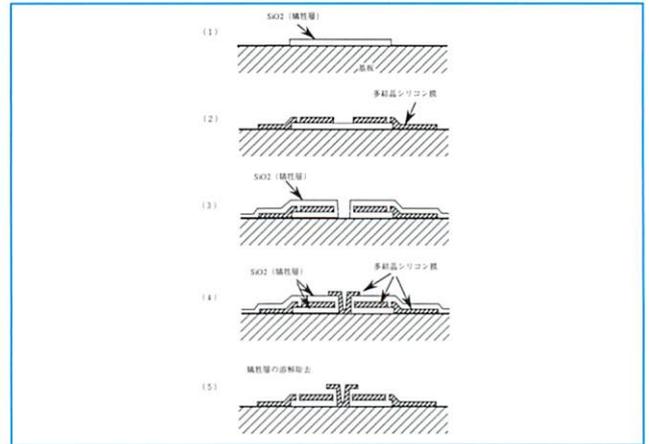


図2 静電マイクロモータの加工断面図

とによって構造を分離させる役目をする薄膜を「犠牲層」と呼ぶ。

残念ながら、回転型の静電モータはこれまでに応用の日の目を見ていない。それは、低トルク・高速回転のロータからの機械的出力の取り出しの問題、軸受の摩滅の問題などが解決していないからである。しかし、表面マイクロマシニング技術は別の形態で新製品を世の中に送りだした。その一例として、アナログデバイス社は図3のような自動車用加速度センサを実用化した。H型の質量部分は、4カ所の足の先端で基板に固定されている以外は、基板面から約 $1\mu\text{m}$  浮上している。基板面内で図の左右方向に加速度が加わると、H型の4本の足がたわんでHの中央の横棒が左右に変位する。この変位を楕円形にかみ合った電極間隙の変化として検出し、さらにこの変位をキャンセルするように楕円電極間に静電力を働かせてサーボ制御する。サーボ回路、アンプなどの電子回路とともに機械的な構造を1チップ上に集積化したシステムの実現は、マイクロマシニングの一つ

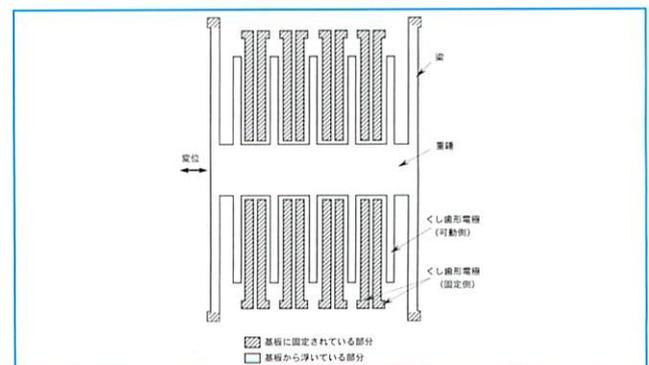


図3 多結晶シリコンでできた加速度センサの構造

のあり方を衆目に示したことで、また、米国の産官学の協力の成功例として高く評価されている。

## 2. 金属の表面マイクロマシニング

表面マイクロマシニングは前章で例示した多結晶シリコンだけでなく、金属材料を構造体とするデバイスにも適用される。構造材料と犠牲層の組み合わせを旨く選択してやれば、前章と同じ考え方で、薄膜の3次元構造が形成できる。

米国テキサスインスツルメンツ社のデジタル光処理（DLP）デバイスは、表面マイクロマシニングのもう一つの成功例である。図4はDLPデバイスの応用例のビデオプロジェクターの原理図である。DLP

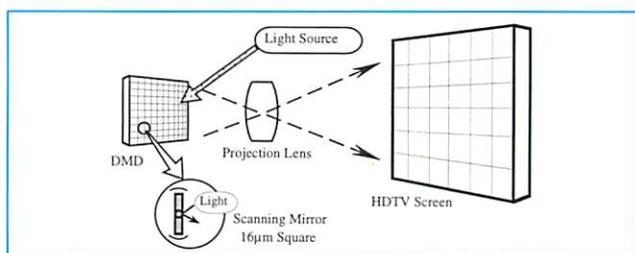


図4 デジタルマイクロミラー型プロジェクターの原理

デバイスの表面には100万個に及ぶ微小な反射ミラーが敷き詰められており、それぞれが±10度の首振り運動をするためのバネ構造で支えられている。ミラーとバネの材質はアルミニウム薄膜であり、このときの犠牲層は高分子材料である。ミラーは静電力で駆動されて首を振る。個々のミラーの運動はシリコン基板上に形成されたトランジスタで個別に制御される。光源からの光がデバイス面で反射して壁面に投影される。この応用はすでに液晶デバイスと並んでビデオプロジェクターの一方式としての地位を確立している。

## 3. 表面マイクロマシニングの長所と短所

以上に述べた、薄膜材料を構造体とする表面マイクロマシニング所をバルクマイクロマシニング技術と比較するとその長所は以下の2点に要約される。

- (1) 電子回路と一緒に機械構造体を作り込み、電子・機械集積システムを実現できる
- (2) シリコン基板の厚さを貫通してエッチングして作るバルク型の構造体よりも小さい構造体が加工できる

一方の短所は、以下の諸点である。

- (1) バルクマイクロマシニングに比べて構造材となる薄膜の物理的性質が制御しづらい
- (2) 犠牲層エッチング後の乾燥工程で薄膜構造が基板に固着してしまうことがある

- (3) 薄膜構造の剛性が低い

## 4. 技術のトレンド

### 4.1 バルクマイクロマシニングとの融合が始まる

前章で述べた表面マイクロマシニングの短所は、最近の研究の進展で徐々に克服されつつある。特に、薄膜構造で膜厚方向の剛性が低いという問題に関して、最近、以下のような解決策が考案されている。すなわち、ドライエッチングによってシリコン基板に狭くて深い溝を加工した基板の表面に、表面マイクロマシニングを実施する事で、図5に示すようなT型断面をもつ薄膜構造を基板から分離して加工した例が、ミシガン大学から発表された。T字型断面を

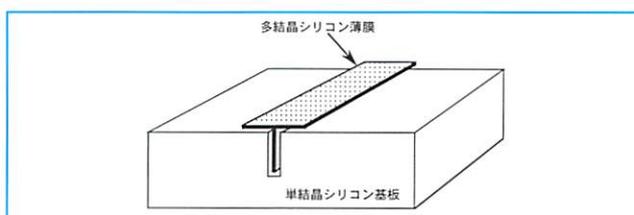


図5 T字型断面を持つ高剛性薄膜構造

持つ膜を加速度センサ用の固定電極板として応用している。このような加工は、前号で解説したドライエッチングで高いアスペクト比の溝加工が可能になったこと、および、均一な厚さの膜を深い溝の内面に成膜することが出来るようになったことで、初めて実現する。バルク加工と薄膜加工の複合・融合が、さらに高度な3次元加工を可能にすることは間違いない。

### 4.2 実装技術との複合化に期待

もう一つの注目すべき点は、デバイスの加工工程の中で、その後のデバイスの実装に必要なカプセル封止も行ってしまおうということである。多結晶シリコンの表面マイクロマシニングで可動部材をシリコン基板上につくった場合、雰囲気中の塵が可動部材と基板の隙間に入ることは許されない。シリコン基板からデバイスチップを切り出し、塵の入らないようにパッケージングするのは至難の業である。現実にパッケージングのコストの方がデバイス加工よりも高くつくことが多い。デバイスの犠牲層エッチングをする前に、さらにカプセル材料となる多結晶シリコンの膜でデバイスの表面を覆い、そのあとでカプセル材料の微細な孔から犠牲層エッチングを施し、可動部材を基板から分離する技術も開発されている。これにより、パッケージング工程そのものがシリコンデバイスの加工プロセスに内包されると同時に、犠牲層エッチング中やその後のパッケージング工程で塵が入り込む危険性も著しく低減する。

## 第6回国際マイクロマシンシンポジウム 開催ご案内

|               |   |               |  |
|---------------|---|---------------|--|
| <b>開催日時</b>   | 平成12年11月9日(木) 9:30~17:25<br>(懇親会: 18:00~20:00)<br>10日(金) 9:30~16:20 | <b>参加費</b>    | (社)日本ロボット工業会、<br>(財)発電設備技術検査協会、<br>(社)日本機械工業連合会  |
| <b>開催場所</b>   | 科学技術館 サイエンスホール<br>東京都千代田区北の九公園2-1                                   | <b>参加申込み</b>  | 15,000円(予稿集込み・懇親会参加自由)<br>平成12年10月27日までに(財)マイクロマシンセンター宛に所定の申込用紙に記入の上、FAXにてお申込み下さい。先着順に受付し、定員になり次第締め切らせていただきます。 |
| <b>主催</b>     | (財)マイクロマシンセンター<br>(財)日本産業技術振興協会                                     | <b>問い合わせ先</b> | (財)マイクロマシンセンター 国際交流部<br>Tel: 03-5294-7131 Fax: 03-5294-7137  |
| <b>後援(予定)</b> | 通商産業省、工業技術院、<br>新エネルギー・産業技術総合開発機構                                   |               |  |
| <b>協賛(予定)</b> | マイクロマシン連合、マイクロマシン研究会、マイクロメカトロニクス研究会、                                |               |  |

### \*\*\*\*\*プログラム(予定)\*\*\*\*\*

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>11月9日</b>   |   |  |
| 9:00~  | 受付開始  |  |
| <b>セッション1: 「オープニング」</b>                                  |   |  |
| 9:30   | 開会の辞  | 平野隆之/(財)マイクロマシンセンター 専務理事                                       |
| 9:30~ 9:35   | 開会挨拶  | 石丸典生/(財)マイクロマシンセンター 理事長  |
| 9:35~ 9:43   | 来賓挨拶(予定)  | /通商産業省   |
| 9:43~ 9:51   | 来賓挨拶(予定)  | /通商産業省工業技術院  |
| 9:51~ 10:00  | 来賓挨拶(予定)  | /新エネルギー・産業技術総合開発機構   |
| 10:00~ 10:40   | 特別講演「マイクロマシンと人工臓器の発展」(仮題)                                   | 仁田新一/東北大学  |
| <b>セッション2: 「マイクロマシン産業への道」</b>                            |   |  |
| 10:40~ 11:00   | 「基礎研究における国際連携」(仮題)  | Dominique COLLARD /IEMN  |
| 11:00~ 11:25   | 「標準化、ラウンドロビンテストに関する講演」                                      | Michael GAITAN /National Institute of Standards and Technology |
| 11:25~ 11:45   | 「マイクロマシン実用化への課題」(仮題)  | 池田恭一/東京農工大学  |
| 11:45~ 12:10   | 「MEMS Opportunities in Photonic Communication Networks」(仮題) | Ming C. WU/UCLA  |
| 12:10~ 13:15   | 昼 食   |  |
| <b>セッション3: 「マイクロマシン考 ―健康とマイクロマシン―」</b>                   |   |  |
| 13:15~ 13:35   | 「カスタム医療に関する講演」  | /交渉中   |
| 13:35~ 14:00   | 「Tele Health Care」(仮題)                                      | Masako MIYAZAKI/University of Alberta                          |
| 14:00~ 14:20   | 「手術支援ロボットの実現と今後の課題について: デビンチの使用経験から」(仮題)                    | 橋爪誠/九州大学   |
| 14:20~ 14:40   | 休 憩   |  |
| <b>セッション4: 「海外の動き」</b>                                   |   |  |
| 14:40~ 15:00   | 「ドイツの動き」(仮題)  | Hermann SANDMAIER/   |
| 15:00~ 15:20   | 「イタリアの動き」(仮題)   | Paolo DARIO/Scuola Superiore Sant'Anna                         |
| 15:20~ 15:40   | 「カナダの動き」(仮題)  | Dan GALE/Canadian Microelectronics Corporation                 |
| 15:40~ 16:00   | 「韓国の動き」(仮題)   | Young-Ho CHO/KAIST   |
| <b>セッション5: 「革新研究紹介」</b>                                  |   |  |
| 16:00~ 16:20   | 「Power MEMS」(仮題)  | 田中秀治/東北大学  |
| 16:20~ 16:45   | 「Nano Technology」(仮題)                                       | /交渉中   |
| 16:45~ 17:05   | 「Micro Chemical等に関する講演」                                     | 藤井輝夫/東京大学  |
| 17:05~ 17:25   | 「RF MEMS」   | 水野皓司/東北大学  |
| 18:00~ 20:00   | 懇親会(於 KKRホテル)   |  |
| <b>11月10日</b>  |   |  |
| 9:00~  | 受付開始  |  |
| <b>セッション6: 「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」</b> |   |  |
| 総論   |   |  |
| 9:30~ 9:45   | 「産業科学技術研究開発制度とマイクロマシン技術の研究開発」(仮題)                           | 山口佳和/通商産業省工業技術院 研究開発官(依頼中)                                     |
| 国立研究所におけるマイクロマシン技術の研究と展望                                 |   |  |
| 9:45~ 10:00  | 「機械技術研究所におけるマイクロマシン技術の研究開発」                                 | 小鍛治繁/通商産業省工業技術院 機械技術研究所  |
| 10:00~ 10:15   | 「電総研におけるマイクロマシン技術の研究」                                       | 平井成典/通商産業省工業技術院 電子技術総合研究所                                      |
| 10:15~ 10:30   | 「計測標準とマイクロマシン」  | 田中充/通商産業省工業技術院 計量研究所   |
| 10:30~ 10:40   | 休 憩   |  |
| マイクロマシンセンターにおける研究開発                                      |   |  |
| ○総論  |   |  |
| 10:40~ 11:10   | 「マイクロマシンプロジェクトの概要」  | 安宅龍明/(財)マイクロマシンセンター 研究開発部長                                     |
| ○システム化技術   |   |  |
| 11:10~ 11:30   | 「管内自走環境認識試作システムについて」  | 川原伸章/(財)マイクロマシンセンター W/G主査                                      |
| 11:30~ 11:50   | 「細管群外部検査試作システムについて」   | 武田宗久/(財)マイクロマシンセンター W/G主査                                      |
| 11:50~ 12:10   | 「機器内部作業試作システムについて」  | 太田亮/(財)マイクロマシンセンター W/G主査                                       |
| 12:10~ 12:30   | 「マイクロファクトリ試作システムについて」                                       | 吉田一吉/(財)マイクロマシンセンター W/G主査                                      |
| 12:30~ 13:30   | 昼 食   |  |
| ○要素技術  |   |  |
| 13:30~ 13:50   | 「マイクロ塗布デバイスの開発」   | 入佐耕一/(株)アイシン・コスモス研究所   |
| 13:50~ 14:10   | 「ディープX線リソグラフィを用いた微細加工技術によるマイクロコネクタの開発」                      | 蟹江智彦/住友電気工業(株)   |
| 14:10~ 14:30   | 「ウェハーレベルのMEMS 三次元積層技術」                                      | 佐藤卓暢/(株)フジクラ   |
| 14:30~ 14:50   | 「マイクロマシンの微小力、トルク計測」   | 尾上寧/横河電機(株)  |
| 14:50~ 15:00   | 休 憩   |  |
| 15:00~ 15:20   | 「細径能動湾曲カテーテルの研究開発」  | 安達英之/オリンパス光学工業(株)  |
| 15:20~ 15:50   | 「マイクロ構造の超微細加工技術」  | 寺嶋洋也/フナック(株)   |
| 15:50~ 16:10   | 「2次元搬送デバイスの開発」  | 渡辺泰正/(株)富士電機総合研究所  |
| <b>セッション7: 「クロージング」</b>                                  |   |  |
| 16:10~ 16:20   | 閉会挨拶(予定)  | (財)日本産業技術振興協会  |

表紙のことは：マイクロマシン絵画コンテスト入賞作品：上から、家庭用ミニ浄水器・たい肥機能付き、動脈硬化防止機、吸引燃焼型ウイルス用マイクロマシン、地球にやさしく繰り返し使える洗ざいマイクロマシン

## 編集後記

梅雨入りと同時に毎日ぐずついた日が続き、街は衆議院議員選挙でにぎやかです。  
さて、本誌32号の中身は工業技術院長の巻頭言に始まり、センターの平成11年度事業報告、第6回研究助成成果概要、第6回マイクロマシンサミットの開催さらには前号から始まった技術講座「最近の微細加工技術」など盛り沢山であります。  
なかでも、サミットは日本が提唱し95年に京都で第1回が開催され、以来5年ぶりに日本に戻って広島で開催されました。参加国は初回の10カ国・地域から20カ国・地域と倍増し、それに伴い出席者数も100余名となり、その盛況さは地元のテレビ2局から放映されました。来年のサミットはドイツで開催されることも決まり、今後のますますの発展が期待されています。  
ところで、本誌が発行される頃には、梅雨も明け新しい内閣も発足し、明るい未来が見えるようになって欲しいものです。

### 発行 財団法人マイクロマシンセンター

発行人 平野 隆之  
〒101-0048 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  
wwwホームページ: <http://www.ijnet.or.jp/MMC/>