

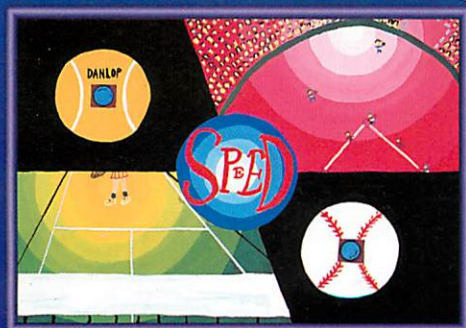


マイクロマシン MICROMACHINE

1997.7

- 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／15

- トピックス／17
- 講座「生物とマイクロマシン」(第1回)／22
- お知らせ／24



No.20

マイクロマシンの技術開発 の推進に期待

社団法人日本産業機械工業会

会長 三野 重和



工作機械、建設機械は直接目に触れるところから判るが、産業機械とはどういうものですか、という質問を良く受けます。

そこで、最初に産業機械について簡単にご紹介させていただきます。

わが国のみならず世界的に、統計上「機械」は大きく4つに分類されています。1つが、発電機、モーター、テレビ、通信・電子応用製品等の「電気機械」、2つ目が、自動車、産業車両等の「輸送機械」、3つ目が、光学機器、計測機械等の「精密機器」、4つ目が、ボイラー・原動機、化学機械、工作機械、建設機械等の「一般機械」であり、この一般機械と産業機械とは同意語として用いられています。なお、産業機械について公的な定義はありませんが、「各種産業の生産の用に供する機械・装置の総称」とされております。

私共（社）日本産業機械工業会の取扱い機種は、ボイラー・原動機、鉱山機械、化学機械（含む製紙機械）、タンク、環境装置（排煙脱硫装置、産業廃水处理装置、都市ごみ処理装置等）、プラスチック加工機械、ポンプ・圧縮機・送風機、運搬機械、動力伝導装置、製鉄機械、業務用洗濯機及びこれらを総合したプラント・エンジニアリングと多岐にわたっており、いわゆる重厚長大産業向け機種を中心とした一種の連合会といえます。

一方、工作機械、建設機械等はそれぞれ単一業種ごとの工業会組織（例えば（社）日本工作機械工業会等）になっております。

マイクロマシンといわれて最初に思い浮かべたのが、以前映画でみた「ミクロの決死圏」であり、重厚長大産業向け大型機械とマイクロマシンの接点は何かねと頭をひねったのが偽らざるところです。

その後、通商産業省関係の研究開発の動きを調べたところ、平成3年マイクロマシン技術の研究開発が産業科学技術研究開発制度に取り上げられ、その技術体系の確立が追求されるようになり、平成7年度には、マイクロマシンを利用した「発電施設用高機能メンテナンス技術開発」や「マイクロマシン技術のアプリケーションに関する調査研究」が行われたことを知りました。

申し上げるまでもなく、私ども工業会の取り扱う発電プラント、化学プラント、製鉄プラント、環境装置などの各種プラント並びに各種の単体機械は、技術の高度化・高機能化とともに複雑となり、その保守・点検または補修は、狭い限られた空間あるいは高温・高圧下での作業が行われております。

これらの保守・点検（例えば、高温下にあるボイラー、高圧のガス導管内等人間の目視では不可能な内部の劣化、探傷、修理）等が、マイクロマシン技術の確立により容易かつ安全に行われるようになれば、苛酷な作業環境の改善のみならず、省エネ・省コストの面からも画期的なことであります。また、私ども大型の機械メーカーにとっては、加工・組立て技術等に大きなインパクトを与えるものと見込まれます。

マイクロマシンの技術は、まさに新しい技術の体系であります。この体系を確立するためには様々な課題があると思いますが、マイクロマシンは、産業、社会、生活の広範囲な分野への応用の可能性を秘めております。

貴（財）マイクロマシンセンター事業の拡充により、マイクロマシンの技術開発の推進に期待するとともに、貴センターの益々のご発展を祈念しております。

スイス・ニューシャテル大学

Prof. Nico de Rooij
Dr. D. J. Strike

S A M L A B (Sensors, Actuators and Microsystems Laboratory) は、ニューシャテル大学マイクロテクノロジー研究所の一翼を担っており、10年以上の間、マイクロセンサ、マイクロアクチュエータ及びマイクロシステムの研究開発に関して最先端の極めて重要な役割を果たして来ています。スイス国内外の産業界と協力し、様々な商品の開発に携わって来ている一方では、学界での活動も非常に活発で、論文発表や特許の取得はこれまでに200件以上に上っています。

現在のS A M L A Bにおける主な活動は次の通りです。

- **エレクトロケミカルマイクロシステム**
微小電極列をベースにした検出器
電子嗅覚
環境センサシステム
生体外電子生理学システム
- **宇宙探査用マイクロ計測**
宇宙バイオリアクタ
宇宙探査用高性能化学センサ
 μ T A S (Miniature Total Chemical Analysis System)
血中ガス分析
- **マイクロ流体システム**
生体医用投薬システム
- **マイクロセンサ及びマイクロアクチュエータ**
角速度センサ
光-マイクロ機構コンポーネント
マイクロスイッチ
- **ナノサイエンス及びナノテクノロジー用ツール**
自己検出型カンチレバーシステム
S P Mの微小化
- **ミリモータ**
超音波ミリモータ
静電型ミリモータ

SAMLABにはよく完備されたクリーンルーム施設があり、プロトタイプ製作に使われています。さらに、ここは、誰でもが気軽に利用できるように、SAMLABのスタッフはもとより外部の研究機関の研究者が来て自らの研究開発を行っています。この研究所は電気化学エッチングストップ、表面マイクロマシニングやディープドライエッチングなどの革新的な研究開発を一歩一

歩前進させるのに極めて重要な役割を果たしています。数年前からは、新たに取り組みを始めようとする産業界の人々を対象とした技術教育の場としても利用されています。これらの教育には、“Hands on MEMS” コースやFSRM (Swiss Foundation for Research in Microtechnology) の“マイクロファブリケーション技術への入門” コースがあります。

クリーンルームの施設と同様に、SAMLABには化学研究施設があり、設備の整った計測研究室で新しいデバイスやシステムの研究開発を行っており、素晴らしい成果を上げています。

SAMLABにおける活動を4つのプロジェクトを中心に紹介しましょう。

宇宙バイオリアクタ

これは重力ゼロの条件下でのイースト菌培養を連続して監視するために開発されたもの(図1)で、宇宙

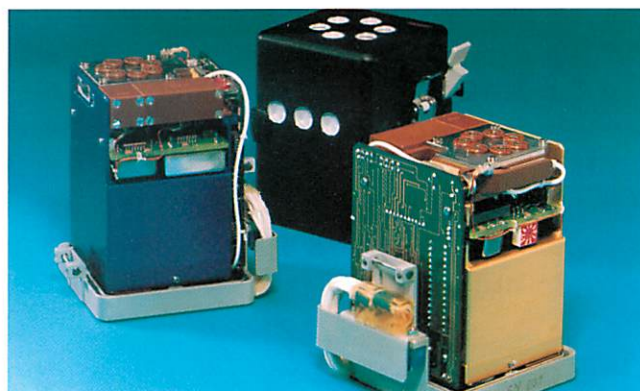


図1. 宇宙バイオリアクタの例 2種

利用という寸法的に厳しい条件を満たすためSiを利用した極めて高度なマイクロファブリケーション技術が採用されています。圧電式マイクロポンプがSiのフローセンサと結合され、3 mlのリアクターチャンバーへ培養液の流量をコントロールしながら供給するのに使われています。一方、微小なセンサシステムがpH、レドックス電位や温度をモニターするのに使われています。腐食を起こすアルカリ溶液の代わりに、培養液のpHを独特な電気化学的手法でコントロールしています。このリアクタは1994年と1996年のスペースシャトル実験で素晴らしい成果を収めました。

光マイクロ機構コンポーネント

オプティカルファイバを遠距離通信に使う場合、そのアラインメントは高精度が必要ですが、これはSiのマイクロマシニングの技法により実現できました。サイズを非常に小さくすることが出来るため、実現したメカニカルシステム全体の動作が従来の大きな機械的システムよりもずっと早くなっています。例えば、SAMPLABで開発された光ファイバスイッチ（図2）

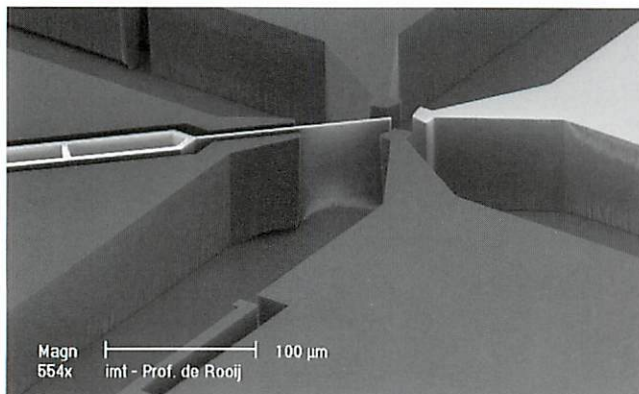


図2. プラズマでエッチング加工した幅2 μm の垂直方向のミラー（ファイバが溝に埋め込まれている）

は、従来のものより50倍のスイッチング速度となっており、高さ75 μm のミラーを静電気の力で動かし2つの出力用ファイバのいずれにも光を切り替えることが出来るようになっていきます。SAMPLABで開発されたもう一つのデバイスは次世代の通信用のメカニカル光変調器です。このデバイスは別々のレーザ光源を使う代わりに入力光の一部を変調するもので、情報通信システムを簡略化しコストを低減するという効果をもたらし、2-3Mbit/secのデータ転送速度を可能にしています。

超音波ミリモータ

このプロジェクトでは、腕時計用のミリメートルサイズのモータを開発しています。これは弾性力モータの原理を用いており、薄膜状の共振器の定在弾性波をロータの回転に変換しています。このタイプの超音波ミリモータは3~30Vの励起電圧で動作し、平均速度215rpm、モータトルク0.1 μNm 程度の特徴を示しています。ロータは金属とポリマーから作られています

が、現在更に開発を進めています。

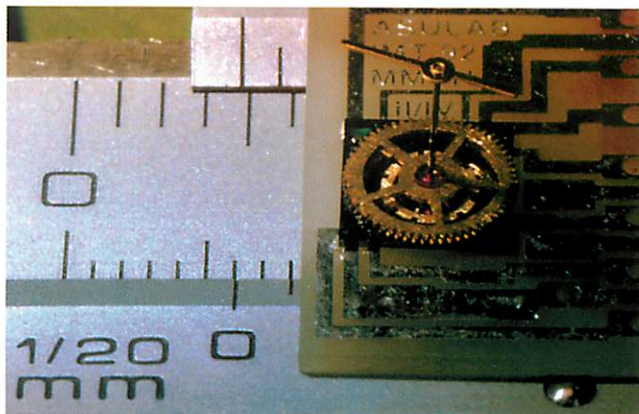


図3. 時計の分針を取り付けた超音波ミリモータ（直径6mm、高さ2mm）

電子嗅覚

これは、「味きき・鼻きき」の専門家に品質の評価を依存している分野である消費者向け製品の産業向けに開発されています。SAMPLABで開発を進めている電子嗅覚システムは導電性ポリマーで出来たセンサ列で構成されています。このセンサ列は微小間隔の櫛状にかみ合った電極列の上に電気化学的に形成されています。デポジションの条件や材料を変えたりすると様々な選択機能を持ったセンサを得ることが出来ます。このセンサをコンピュータ制御されたフローシステムに組み込むと、かなり長期に渡る自動計測が可能となります。適切なパターン認識技術を利用すれば様々な製品を分類することが出来るようになります。

SAMPLABは、ニューシャテル大学とローザンヌ工科大学及び次に示す機関からの基金により運営されています。

- ・ CTI (Commission of Technology and Innovation)
- ・ The Swiss Federal Office for Education and Science
- ・ The Swiss National Science Foundation
- ・ The Swiss Foundation for Micro-technology Research
- ・ The MINAST program (Swiss Priority Program in Micro- and Nanosystem Technology)

SAMPLABはNEXUS (European Network of Excellence in Microsystems) ネットワークにおける一つの中心点となっています。

平成8年度MMC事業報告

当センターは、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機能＝マイクロマシンに関する調査及び研究、情報の収集及び提供、内外関係機関等との交流及び協力等を行うことにより、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、もって我が国の産業経済の発展及び国際社会への貢献に寄与することを目的とし、以下の事業を行いました。平成8年度においては、国際シンポジウムの開催などによる我が国からの情報発信を積極的に行う等、前年度に引き続き国際交流事業の一層の充実を努めました。

こうした中で、工業技術院産業科学技術研究開発制度プロジェクトの受託研究を積極的に進めるとともに、諸外国との技術情報の交換を行い、調査・研究の成果を内外に発信しました。

1. マイクロマシンに関する調査及び研究

1.1 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)

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

本研究開発は第2期の初年度に当たり、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ました。

〔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(管内自走環境認識システム)

無索にて湾曲部を含む金属配管内の移動ができ、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において、本体となる移動デバイスやマイクロ波によるエネルギー供給・通信デバイスの開発等による管内自走環境認識試作システム、異物等を撮影して画像信号を低消費電力で伝送するマイクロ視覚及び光によりエネルギー供給と通信を行う光エネルギー伝送のシステム化等の研究開発に着手しました。

(2) システム化技術の研究開発(細管群外部検査システム)

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において、本体駆動源となる駆動デバイスの開発等による細管群外部検査試作システム、駆動デバイスの動力を走行機能に変換する減速・走行デバイス及び単体マシンを複数個連結するためのマイクロコネクタのシステム化等の研究開発に着手しました。

(3) システム化技術の研究開発(機器内部作業システム)

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において、本体となる多自由度湾曲管状機構や補修用マニピュレータの開発等による機器内部作業試作システム、小

型ジャイロによって構成される姿勢検出デバイス及び光スキャナを応用したモニタリングデバイスのシステム化等の研究開発に着手しました。

(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、駆動や作業に用いる変位と発生力が共に大きなアクチュエータである人工筋肉、結合面が互いに異なるデバイスを連結し信号とエネルギーの受け渡し可能なマイクロジョイント、マイクロ駆動部の摩擦を低減する磁気ベアリング等低摩擦サスペンションデバイス、マイクロマシンが外部からエネルギー供給を受けられない場合に非常用の安定電圧電源としてのリチャージャブルなマイクロバッテリー及びレーザ光の光電変換で発電した電力で駆動され作業用ツールの精密位置決めをする光駆動自由関節デバイス等の研究開発を行いました。

(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について、多数のマシンが作業に適したパターンを形成して同時に検査等を行うことができるような分散マイクロマシン群のパターン形成技術、狭隘で複雑な環境内を移動するための超多自由度のホロニックメカニズムの実現を目指す階層型群制御技術、マイクロマシンの微細形状や動的挙動及びアクチュエータ等の微小な力やトルクを測定、また管内の異物等を検知するマイクロ光分析を行うマイクロマシンの計測技術等の研究開発を行いました。

(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基本設計を行うメンテナンス用マイクロマシンの調査研究及びメンテナンス分野での活用が期待されるマイクロマシンシステムについての先導的な調査研究を行うマイクロマシン技術総合調査研究を行いました。

また、工業技術院機械技術研究所と微小デバイスの特性解析に関する共同研究を行いました。

〔マイクロファクトリ技術開発〕

(1) マイクロ加工・組立技術の研究開発

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において、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、マイクロ検査技術の研究開発を行いました。

(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問題点等のマイクロファクトリ化影響調査研究及び生産分野で活用が期待されるマイクロマシンシステムについての先導的な調査研究を行うマイクロマシン技術総合調査研究を行いました。

また、工業技術院機械技術研究所と生産システムのダウンサイジング動向調査等マイクロファクトリ技術に関する共同研究を行いました。

〔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、体腔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機能デバイスであ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いました。また、超小型液体合成システムの研究に着手しました。

(2) 総合調査研究

将来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うマイクロマシン技術総合調査研究を行いました。

1.2 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）

マイクロマシン材料に関する以下の研究について、工業技術院機械技術研究所と共同研究を行いました。(1)微小機能要素の動作環境に関する研究、(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ジビリティスタディ

1.3 マイクロマシンの設計・製作基盤技術に関する研究（工業技術院機械技術研究所との共同研究）

マイクロマシンシステムを設計・製作するための基盤技術を確立するため、工業技術院機械技術研究所と共同研究を行いました。

1.4 マイクロマシンの基礎技術の調査研究（日本小型自動車振興会からの補助事業：産学共同研究の推進）

多様なマイクロマシンシステムの構築に必要なマイクロ理工学及び設計技術に関する7テーマについて、技術シーズを探索し、産学共同研究を実施しました。

1.5 マイクロマシン技術の導入に伴う産業社会構造への影響に関する調査研究（（社）日本機械工業連合会からの受託研究）

21世紀において多くの潜在的な可能性が期待されるマイクロマシン技術の主要な応用分野及びアプリケーションを抽出し、既存の産業・社会構造の変化に影響を及ぼすと期待されるインパクトを検討するとともに、新規の産業社会構造を創出するマイクロマシン技術について、産業構造の変化、業態の変化及び新産業創出の3点に着眼して調査研究を実施しました。

1.6 マイクロマシン技術国内外研究開発動向調査（自主事業）

マイクロマシン関連の研究に取り組んでいる内外の大学・研究機関・民間企業を抽出して、研究者、研究課題、研究内容、研究成果及び研究組織等について調査を行い、研究開発動向を分析・整理しました。

1.7 マイクロマシン技術のアプリケーションに関する調査研究（財機システム振興協会からの受託研究）

マイクロマシン技術の新しいアプリケーションの調査研究を、農業分野、地球環境分野、都市生活分野、宇宙分野等に関して調査研究を行いました。

2. マイクロマシンに関する情報の収集及び提供事業

2.1 マイクロマシンに関する情報の収集

マイクロマシンに関する情報ならびに資料として定期刊行物、図書その他の資料を国内外の大学、産業界、公的機関等から収集し、当センターで実施した調査資料とともに、資料室に保管整備しました。（平成8年度収集図書115冊、累計491冊）

2.2 マイクロマシンに関する情報の提供

上記で収集した資料を基に、資料室で関係者に閲覧提供するとともに、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、関係者に提供配布しました。（平成8年度7冊発行）

2.3 マイクロマシン技術情報データベースの構築調査

データ収集のためのフォーマットを規定し、データベース構築のための準備が完了し、データの入力が可能となりました。

抄録集「マイクロマシンインデックス」については、キーワード検索が出来るようになりました。

3. マイクロマシンに関する内外関係機関との交流及び協力事業

官学産共同研究の推進事業として研究グラント、国際マイクロマシンシンポジウム、セミナーの開催等による研究者及び有識者の招聘、交流等内外関係機関との提携、交流及び協力の諸事業を行いました。

3.1 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な研究に取り組んでいる大学の教員に対し研究助成を行い、マイクロマシン技術の一層の進展と、産業交流の一層の促進を図るため、平成8年度（第4回）の研究助成課題の募集を行いました。これに対し多数の応募があり、厳正に審査した結果、2年度継続研究を含めて13課題の研究助成を行いました。

3.2 マイクロマシンに関する国際交流事業

(1) 第2回国際マイクロマシンシンポジウムの開催

平成8年10月31日及び11月1日、東京北の丸公園科学技術サイエンスホールにおいて「マイクロマシン技術一次代の産業技術の基盤」をテーマとした第2回国際マイクロマシンシンポジウムを（財）日本産業技術振興協会との共催で実施しました。

本シンポジウムは、マイクロマシン技術に関し、各国における研究開発成果、その適用状況及び技術振興の方策等を発表するとともに、第2期計画の初年度である工業技術院の産業科学技術研究開発制度によるマイクロマシン技術の研究開発プロジェクトの計画を紹介し、またアプリケーションの展望を示し、内外の学識経験者との意見交換を行いました。

登録者数は、430名（内、海外16カ国、41名）です。

(2) ASIA FORUM開催

マイクロマシン技術に関して欧米諸国に比べて遅れているアジア諸国とは、我が国の産業経済の観点から緊密な連携が必要であり、日本がこの分野での貢献をするために早い段階からネットワークを確立することが重要であるとの認識に基づき、中国、香港、韓国、マレーシア、シンガポー

ル、台湾及びタイの7カ国に呼びかけ、平成8年10月29日に第1回ASIA FORUMを開催しました。

(3) マイクロマシン技術交流セミナーの開催

技術交流を深めるため、ヨーロッパにおいてJETROと協力して、スペイン（平成8年9月13日開催）及びスイス（平成8年9月20日開催）で技術交流セミナーを開催しました。

また、アジア諸国とのマイクロマシン技術の交流とネットワーク作りを図るため、マレーシア（平成9年1月14日開催）及びシンガポール（平成9年1月17日開催）の両国でアジアでは初めてのセミナーをJETROの協力を得て開催しました。

(4) ミッション等の受け入れ

延べ14カ国（アジア5カ国、欧米9カ国）から来訪、我が国におけるマイクロマシン技術の研究開発及び当財団の事業活動等について意見の交換を行いました。

(5) ミッションの派遣

スイスのモントルーで開催された第2回マイクロマシンサミットのオブザーバー参加をかねて、スイス、イタリア及びドイツの大学、研究機関に13名の訪欧調査団を派遣（平成8年4月21日～5月5日）し、調査を実施しました。

(6) ワークショップの開催

平成8年11月にイギリスのオクスフォードにおいて、マイクロマシン技術の研究者、マイクロマシンユーザ及び地球環境分野等の専門研究者との間で討議を行い、マイクロマシン技術の動向及びマイクロマシン技術の新しいアプリケーション像について調査を実施しました。

(7) 国際会議・セミナーへの参加

① 第2回マイクロマシンサミットへの参加

平成8年4月24日～26日にスイスのモントルーに於いて開催された第2回マイクロマシンサミットに参加しました。会議では、主席代表による各国のマイクロマシン技術の現状報告及び7テーマについて専門家によるプレゼンテーションとその討議が行われました。

なお、本サミットでは、各国が協力してマイクロマシン技術の標準化を進める具体的な行動を起こすこと、次回開催はカナダのプリティッシュコロンビア州で平成9年4月開催方向で検討すること、サミットの開催はホスト国が行うが当財団を永久事務局とすること等の合意がなされました。

② MST96への参加

平成8年9月17日～19日ドイツのポツダムに於いて開催されたMST96に参加し、当財団平野専務理事が「日本における研究開発の状況と将来展望」について、基調講演を行いました。

③ AITC1997 (Asian International Technology Congress 1997) への協賛及び参加

平成9年1月6日～8日に香港で開催されたAITC1997に協賛し、4名の講演者を推薦しました。

④ MEMS'96の共催

平成9年1月26日～30日名古屋市に於いて開催されたMEMS'96を共催しました。当財団では、事業紹介ポスター及び産技プロジェクトの成果4点を展示しました。

4. マイクロマシン技術の標準化の推進 (一部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の標準化に必要とみなされる関連専門用語のうち103語の英訳を行いました。また、マイクロマシン技術分野における「形状・寸法」、「力・トルク」、「流体関連」について標準化の骨子を検討し、「材料特性」の計測評価法に関する調査を開始しました。さらに、海外の標準化活動との連帯に努めました。

5. マイクロマシンに関する普及啓発事業

5.1 広報誌の発行・配布

平成8年度においては、和文及び英文とも第15号～18号を発行しました。

5.2 平成8年度マイクロマシン技術研究開発成果の発表

平成8年11月1日に東京北の丸公園の科学技術館に於いて、当センターが新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から受託した研究開発プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」について、「第2期システム化技術研究開発」及び「研究開発成果の事例」に関し、成果発表を行いました。

5.3 事業紹介・普及啓発用ビデオの制作

当財団の事業紹介用ビデオの改訂版及び小中学生・一般向けビデオ「マイクロマシンってなに？」を平成8年11月に完成させ、賛助会員等に配布しました。

5.4 マイクロマシン絵画コンテストの実施

昨年度に続き、賛助会員企業の協力を得て、第3回のコンテストを実施しました。

千葉県習志野市、京都府長岡京市、神奈川県中井町の小中学校合わせて6校から応募を得ました。

応募総数 335点 入選作品 20点

5.5 第7回マイクロマシン展の開催

平成8年10月30日～11月1日に東京北の丸公園の科学技術館で第7回マイクロマシン展を開催しました。出展者は、産技プロジェクト第2期初年度の成果を中心に展示した当財団賛助会員22及びその他の一般企業・大学・団体40の62企業・団体で、3日間の来場者数は3,169名でした。

5.6 イブニングセミナーの開催

初期の目的を達成したため、平成8年9月の第28回で終了とし、これに代わるものを検討しました。

5.7 インターネットを用いた情報発信

マイクロマシンに関する情報発信の手段としてインターネットのWWWサーバを利用し、平成7年度から英文広報誌及びマイクロマシン技術関連イベント情報を発信しました。（ホームページディレクトリ名：<http://WWW.ijnet.or.jp/MMC/>）

5.8 国内マイクロマシンセミナーの開催

マイクロマシン技術の研究開発に関心を持つ人を対象としたマイクロマシンセミナーを北海道札幌市（平成8年9月5日開催）、長野県岡谷市（平成8年10月1日開催）及び香川県高松市（平成9年1月16日開催）に於いて合計3回開催しました。

第3回マイクロマシン技術研究助成成果の概要

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るとともに、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3回（平成7年度）研究助成で、研究期間が1年間の1テーマと平成6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 共同研究者 氏名	所属機関 名称・職名	研究期間
（平成6年度助成研究）			
外部刺激に応答する分子駆動システムの創製	市村 國宏	東京工業大学 資源化学研究所 教授	2年
昆虫の反射を利用したマイクロロボットの制御	安 田 隆	東京大学 工学系研究科機械情報工学専攻 助手	2年
振動型人工筋肉素子の生体内運動時の工学的特性に関する研究	松浦 弘幸 藤 正 巖	東京大学 先端科学技術センター 助手 埼玉大学 大学院 教授	2年
イオンドラッグ力による液体流動を応用したマイクロポンプの研究	土田 縫夫 大 澤 潤	豊田工業大学 制御情報工学科 教授 同上 助教授	2年
マイクロマシン用新材料としての単結晶絶縁膜とSi膜による多層SOI構造の研究	石 田 誠	豊橋技術科学大学 電気・電子工学系 助教授	2年
（平成7年度助成研究）			
薬物送達用マイクロマシンの標的指向性制御に関する基礎研究	青柳 隆夫	東京女子医科大学 医用工学研究施設 講師	1年

第5回（平成9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領」

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

平成10年3月下旬～平成11年3月31日

（テーマA）

若しくは、平成10年3月下旬～平成12年3月31日

（テーマB）

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9年7月1日～10月31日

決 定 時 期：平成10年3月上旬

助成金の交付：平成10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にて請求してください。

（Fax：03-5294-7137）

5. 応募資格

マイクロマシン連合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300万円を限度とする）

（2）本事業は、産学交流の促進を目的の一つとしているため、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：村上・波瀬）

外部刺激に応答する分子駆動システムの創製

東京工業大学 資源化学研究所 市村 國宏

1. はじめに

筋肉運動は骨格筋の筋フィラメントの滑走によって起こる。フィラメント界面での挙動についての分子論的な理解はほとんどなされていないが、いくつかの駆動モデルが提案されている。その中の一つに、界面における親水・疎水転移現象、すなわち、表面エネルギーの変化が重要な役割を果たしているとする鈴木誠氏（現東北大学）の提案がある。本研究の主たる目的は、光照射を外部刺激として表面エネルギーを制御し、それによって液滴の移動を操作することを試みることにある。光照射によって液滴の移動が可能となれば、光を駆動力とするデバイス構築は種々可能と想定される。

2. カリックスレゾルシンアレンの単分子膜と光応答性

我々はすでに、円筒構造の一方の縁に親水基を持つ環状両親媒性分子であるカリックスレゾルシンアレン誘導体（以下CRAと略す）が、シリルガラス表面に容易に溶液から吸着し、最密重点に近い形で自己組織化単分子膜を形成することを見いだしている。さらに、この円筒構造の他方の縁にアゾベンゼン基を導入すると、その水面上での単分子膜の面積が光照射によって可逆的に数10%変化することを明らかにした（図1）。これは光エネルギーが力学的なエネルギーに変換された系とも言える。

ついで、アゾベンゼンで置換されたCRA誘導体の光応答性を巨視的な現象へ変換する系の一つとして、コロイダルシリカの分散・凝集の光制御を検討した。粒径160nm程度のコロイダルシリカ表面にアゾベンゼン置換CRAを液相から吸着させると、有機溶媒に分散するようになる。これに紫外線を照射するとコロイダルシリカは凝集し、やがて沈降することが認められた。これは、光異性化によって吸着単分子膜の表面エ

ネルギーが増大し、その結果分散状態が不安定化して凝集沈降すると説明される。光照射によって巨視的に分子溶液物性が制御できたことを意味している。

これらの知見に基づき、アゾベンゼンCRAの吸着単分子膜について、光照射による水の接触角制御を試みた。しかし、CRA吸着膜表面での水の接触角は不安定であり、水素結合を介して吸着したCRA分子が脱離することが判明した。より強固な結合を実現させるために、CRAのフェノール性水酸基を化学的に改質して8つのカルボキシル基を有する化合物を新たに合成し、アルミニウムで蒸着したガラス基板上に吸着膜を形成させた。この新たな単分子吸着膜は水中でも安定であり、水に対する接触角が測定可能となった。紫外線照射前後でそれぞれ85°、78°であった。この接触角変化量はこれまでの報告に比較して大きな値である。そこで、水滴に移動を図2のようにして試みた。一つの水滴の半分ずつをそれぞれ紫外線および青色光で照射し、接触角は前者では小さく、後者では大きくなるように設定した。しかしながら、実際に水滴が移動するまでには至っていない。

3. おわりに

現時点では、初期の目的である液滴の移動を光でガイドして操作することに成功していない。しかし、アゾベンゼンCRAの分子構造、固体表面の形状をそれぞれさらに改質することによってさらなる接触角変化の増大が見込まれるので、検討を続ける予定である。

CRAおよびその誘導体は容易に単分子膜を形成する。潤滑、摩擦といった界面力学現象が単分子膜によって決まることを考慮すると、この種の化合物は本研究の目的以外に、マイクロマシン素子の駆動部における表面処理に有効に活用できると思われる。この点での検討もこれからの課題である。

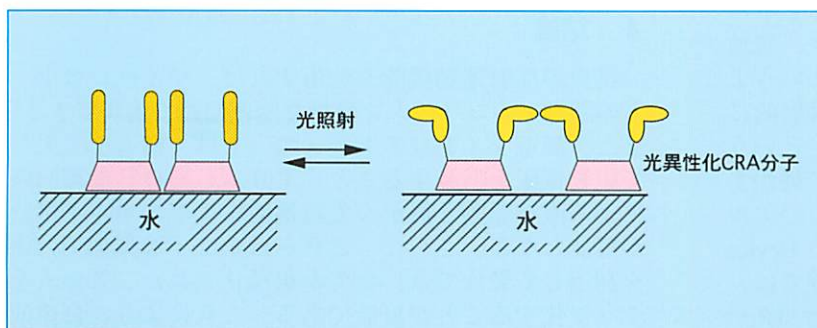


図1 水面上での光によるCRA単分子膜の伸縮挙動の模式図

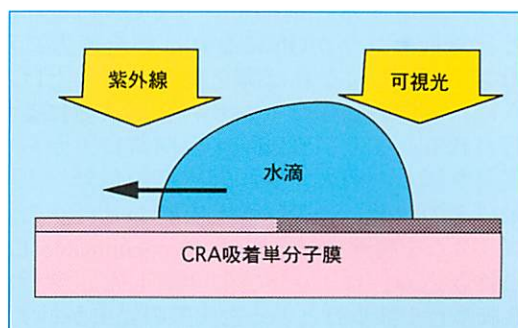


図2 光照射による液滴移動の模式図

昆虫の反射を利用したマイクロロボットの制御

東京大学 工学系研究科 機械情報工学専攻 安田 隆

1. はじめに

微小なアクチュエータやセンサ、電子回路、バッテリーなどが集積された自律的なマイクロロボットの運動を制御するには、制御回路を組み込むためのスペースが限られているため、制御アルゴリズムを単純化する必要がある。人間に比べて神経細胞の数が極端に少ない昆虫（人間の神経細胞の数が100億個以上であるのに対して昆虫は10万個程度）は、歩行運動をすばやく環境に適応させるために、末端の感覚入力を下位の神経系で処理することにより、反射的に脚の支持期と振動期を切り替えたり、歩行周期などを調節している。このような反射的な運動アルゴリズムは、論理回路で記述することが可能であり、マイクロロボットの制御に応用できる。本研究では、反射運動を組み合わせ、6脚ロボットの歩行パターンを生成するアルゴリズムを構築した。また、論理回路で制御可能な静電マイクロアクチュエータを開発し、反射アルゴリズムとの集積化によりマイクロロボットの実現が可能であることを示した。

2. 反射運動による6足歩行パターンの生成

製作した6脚ロボットを図1に示す。全長は312×

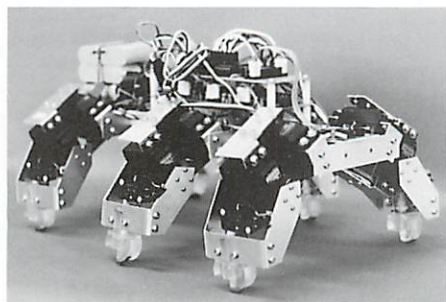


図1 反射を利用して歩行する6脚ロボット

210×160mm、電池を含む質量は1.8kgである。各脚は、脚を前後に動かすモータと上下に動かすモータ、前端センサ（脚が前端にあることを検出するセンサ）、着地センサ（脚が地面に接触していることを検出するセンサ）を有する。前端センサがONになれば脚を下ろし、着地センサがONになれば脚を後方にかき、着地センサがOFFになれば脚を前方に振り上げるというように、各脚の動作はセンサの2値状態により反射的に行われる。また、隣脚同士は同時に上がらないという協調を図るために、隣脚間で抑制信号（上下に動かすモータの状態）の受け渡しを行わせた。これらのアルゴリズムを論理式で記述し、Programmable Logic Deviceに書き込み、ロボット上に実装した。歩行実験では、3脚歩行や波歩行といった実際の昆虫が示す歩行パターンを、ロボットが歩行速度に応じて自動的に生成する

ことを実証した。また、凹凸面上の歩行実験では、ロボットが平面上よりも、より安定な歩行パターンを自動的に生成することを確認した。

3. 論理回路で駆動できる静電マイクロアクチュエータ

前述のロボットを微小化するには、論理回路で駆動できるようなマイクロアクチュエータである。そのため本研究では低電圧で大きく変形できる静電マイクロアクチュエータを実現した。製作したアクチュエータのSEM写真を図2に示す。このアクチュエータは、

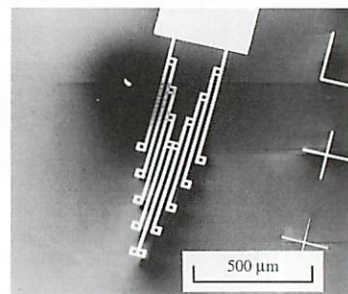


図2 静電マイクロアクチュエータ

低電圧で小さく変形するカンチレバーを複数個直列に接続することにより、全体として大きな変形量を得ることができる。必要な駆動電圧は11.8Vであり、先端の最大変位は245 μ mであった。材質はアルミニウムとクロムの薄膜である。CMOS論理デバイスの出力を直接アクチュエータに接続し、論理デバイスの入力レベルを変化させることにより、アクチュエータをON/OFF動作させることに成功した。従来の電磁力モータや静電マイクロアクチュエータでは、論理回路の出力の電流や電圧を増幅するための回路が必要であった。しかし、本研究で開発したアクチュエータにはそのような増幅回路が不要であり、システム全体が非常に簡単かつ微小になり得る。駆動電圧が低いということはエネルギー供給の面からも非常に有利であり、市販の太陽電池でアクチュエータを動作させることができることを確認し、その結果から必要な太陽電池を2mm×3mm程度の寸法に作り込めることを概算した。

4. 結論

昆虫の反射運動機能を利用すれば、マイクロロボットの制御アルゴリズムを簡単な論理回路で実現できる。また、静電マイクロアクチュエータは、構造を工夫して駆動電圧を低減することにより、CMOS論理回路による直接駆動と微小な太陽電池によるエネルギー供給が可能となる。さらに、これらは全て半導体加工技術を利用して製作でき、全てが集積化されたシステムをチップ化することが可能である。これにより、自律的に動作するマイクロロボットの実現が可能となる。

イオンドラグ力による液体流動を応用したマイクロポンプの研究

豊田工業大学 制御情報工学科 土田 縫夫 大澤 潤

1. まえがき

マイクロマシンを動かすためには高性能マイクロアクチュエータの実現が不可欠で、色々な駆動原理のものが研究されている。本研究では独自の駆動原理を有するイオンドラグ形のマイクロポンプ（アクチュエータ）の開発を行った。本ポンプは通常のポンプにおけるピストン、羽根車またはカム形ロータなどのような動く部品を全く必要としない極めてユニークなDC駆動ポンプである。

2. 加圧原理

図1にポンプの基本構造と加圧原理を示す。同図に示すように、加圧液体としての数10%のブチルアルコールを混入したシリコン油中に電極の片側半分に絶縁バリアが形成された正・負の電極が交互に置かれている。

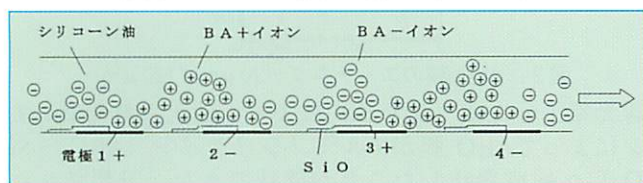


図1 加圧原理

同図において両イオン性物質であるブチルアルコール分子（BA）は、バリア層で保護されていない露出した正の電極1に接すると、電子をとられて正のイオンになる。そして最も近い異極性電極である右隣負電極2に引かれて右方向に加速される。このときイオンは周りの液体を引きずり、流動を起こしながら電極2の左半面（バリア層上）に漂着する。しかしこれらのイオンは、ここでは電荷の交換ができないので、液体の流動などによって電極2の露出部分にたどり着く。そして電荷の中和及び負電荷の付着が行われ負イオンとなり、それらは最も近い異種電極である正電極3に引かれ再び右方向に加速される。同様の現象が次々と起こり、正・負の電圧が交互に印加されている電極構造にもかかわらず、両イオン性物質は正負のイオンになりながら右の方向に加速されて、液体の流動を生じさせる。

3. 試作ポンプの構造

本研究では動作原理を確かめることと流量および加圧力を測定するために、図2に示されているような金属メッシュの片面を絶縁塗装したものをイオン加速電

極としたポンプを作製した。図には金属メッシュを6枚有し、イオンを5段加速する場合を示しているが、加速段数を色々変えて実験を行った。このような電極を液体の流入口と流出口を持つ小さな直方体に納めた。加圧力は流出口と流入口に細いパイプを立て液面差から求めた。また流速は流路に $0.06\mu\text{m}$ のアルミナの粉を入れ、その流動をCCDカメラ付きの顕微鏡で観察することにより求めた。

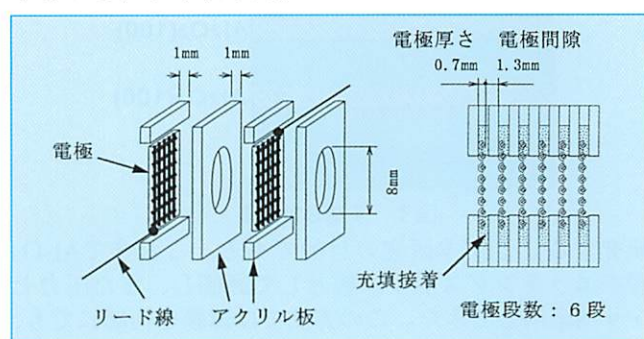


図2 ポンプ組立/構造図

4. 実験結果

図3に電極段数6段のポンプの加圧力及び電極電流の印加電界依存性を示す。同図よりポンプの加圧力は印加電界のほぼ2.5乗に比例し、電極の導電電流はほぼ1.2乗に比例することがわかる。このことから本ポンプはオーミックコンダクションに近い領域で動作していることがわかる。

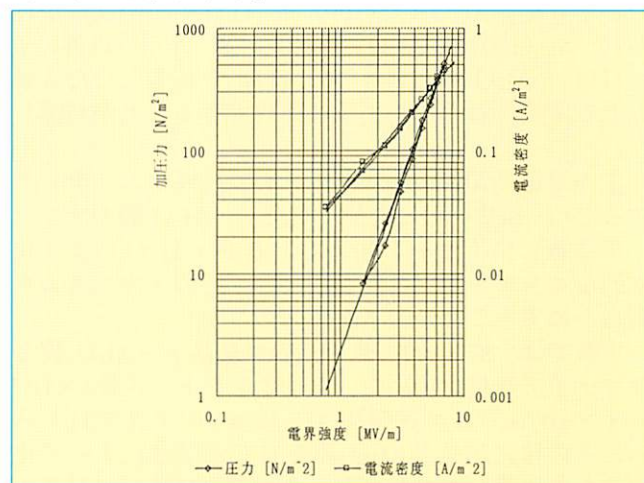


図3 イオンドラグマイクロポンプの加圧力

また、イオン加速段数を可変とした実験から、ポンプの加圧力はイオンの加速段数に比例し、ほぼ予想した動作が行われていることがわかった。

マイクロマシン用新材料としての単結晶絶縁薄膜とSi膜による多層SOI構造の研究

豊橋技術科学大学 電気・電子工学系 石田 誠

1. はじめに

SOI (Silicon On Insulator) 構造は、集積回路の高速、高密度化、低消費電力化のみならず、集積回路の3次元化を図る上で重要な基本構造である。今まで我々が研究してきたエピタキシャル成長による単結晶絶縁薄膜 Al_2O_3 とSi単結晶膜による多層薄膜SOI構造を形成し(図1)、マイクロマシン用新材料として提案、

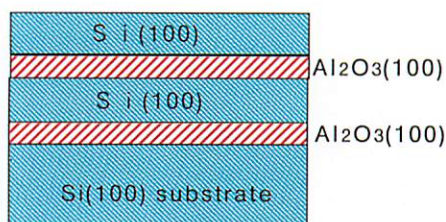


図1 多層SOI構造

研究することが本研究の目的である。これまで Al_2O_3 層をエッチングストップ層として評価し、また圧力センサへ応用してきた。この方法では薄膜を何層にでも、また希望の膜厚に制御することは容易であり、また、Si(111)等の別の結晶方位の基板を用いることで、種々の方位の膜も利用できる。そのほかに、この系はSiのICプロセスとの整合性がよく、ICプロセスと共存できる点も利点である。

2. 研究成果

SOI構造の形成を超高真空対応の気相成長法(UHV-CVD)と分子線エピタキシャル成長法により行った。当初めざしたように、Si(100)、(111)ウエハ上に、それぞれ Al_2O_3 の(100)と(111)面の成長が行われ、Si(100)/ Al_2O_3 (100)/Si(100)以外にSi(111)/ Al_2O_3 (111)/Si(111)を基本とした5層以上の薄膜多層構造が任意に形成できることが判明した。

この単結晶 Al_2O_3 膜やサファイア基板をエッチングするため、Si基板上に成長させた γ - Al_2O_3 膜やサファイア基板にSiイオンを注入し、 $\text{HF} + \text{H}_2\text{O}$ により化学的なエッチングが可能なことと、そのメカニズムを明らかにすることができた。

実験では、Si(100)基板上の単結晶 γ - Al_2O_3 膜とサファイア基板を用いた。Siイオンをドーズ量 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 、加速電圧30~120kVの条件で打ち込み、その後に単結晶 Al_2O_3 膜を HF 水溶液によって化学的なエッチングを行った。この部分は薬品($\text{HF} + \text{H}_2\text{O}$)によって $100 \text{ \AA} / \text{min}$ のエッチレートでエッチングされる。 Al_2O_3 膜へのイオン注入特性はSIMS測定により行った。その結果、投影飛程(Rp)は加速電圧80kVの場合450 $\text{ \AA}$ であった。しかしながら、シミュ

レーションの結果とは違いが生じた。これは、注入イオンによる損傷のエネルギー準位と十分な量の正孔とにより、基板が正に帯電し、打ち込み妨害を受けたと考えられる。そこで多層レジスト(Photoresist/Al)法を用いて同様の実験を行った結果、より深く注入ができ、注入特性が改善された。Siイオン注入を用いた化学エッチングによって単結晶 γ - Al_2O_3 膜やサファイア基板がエッチングされており、結果を段差測定器と電子走査顕微鏡を用いて確認した(図2)。また、X

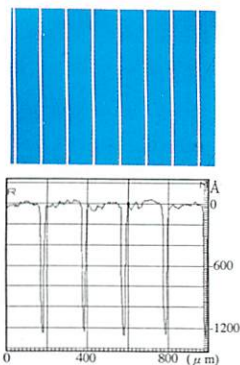


図2 Al_2O_3 膜のエッチング (20 $\mu\text{m}/120\mu\text{m}$)

線光電子分光法(XPS)により、注入されたSiイオンによって Al_2O_3 膜がアルミノシリケート($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)へ組成変化したことが確認できた。予想されるエッチング機構は、まずSiイオンが注入された Al_2O_3 膜には多くの欠陥と組成変化が起こる。それから、組成変化が起こった部分(アルミノシリケート)と欠陥部分が HF によってエッチングされたと考えられる。これを用いて、5 μm のラインアンドスペースの渦巻きパターンを形成したのが図3である。

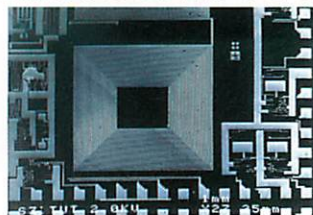


図3 エッチングされた Al_2O_3 5 μm の渦巻きパターン

3. まとめ

エピタキシャル成長による単結晶絶縁薄膜 Al_2O_3 とSi単結晶膜による多層薄膜SOIの特徴は、 Al_2O_3 がサファイアと同じく化学的に非常に安定で、Siのエッチングストップ層として利用でき、また電氣的絶縁層としても使用できるので、多くの応用が期待できる。またこの安定な Al_2O_3 を容易にエッチングする方法を開発でき、新しいマイクロマシン用材料として新しい展望を開くことができた。

振動型人工筋肉素子の生体内運動時の工学的特性に関する研究

東京大学 先端科学技術研究センター 松浦 弘幸
埼玉大学大学院 藤正 巖 産業医科大学 中野 正博

1. はじめに

本研究の最終目的は、生体内で動作するエネルギー変換素子(マイクロアクチュエータ)の作製である。そこで、微小物体(マイクロアクチュエータ)の水中での動作特性及びエネルギー変換機構と機械システム要素の解析・構築を行った。従来の振動型人工筋肉(媒質分子の熱運動に抗して、仕事をする微小機械)の研究を発展させるために、マイクロ・ナノマシンとしての筋肉(アクチン・ミオシン系)に着眼した。一般にマイクロマシンでは、機械寸法の微小化に伴い、エネルギー効率と S/N 比の極度の低下を来す。他方、生物機械システムでは、ノイズレベルでの入力エネルギーで効率良く動作する。そこで我々は「中間領域の微小機械に共通の原理が存在する」と考えて、媒質分子の熱運動(熱ノイズ)の一部を有効な仕事に変換し、自ら一方向に運動する微小機械を、確率共鳴機械(Stochastic Inclined Rods Model, SIRM)として提案した。

2. 確率共鳴機械は、熱ノイズを利用する

SIRM(図1)は、弾性体の傾いたロッドが体部より突き出

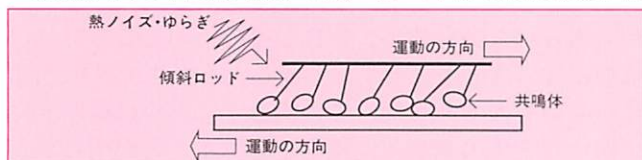


図1 確率共鳴機械 (SIRM)

ており、ロッドの先端には熱ノイズとの共鳴体として作用する頭部が付いている。SIRMの働く環境は熱的な開放・散逸系であり、ランジュバン方程式を用い、SIRMが満たすべき条件を解明した。つまり、(1)確率共鳴の存在：内部系(微小機械系)と外部系(環境、熱源等)との間に確率共鳴が存在すること。内部系と外部系の間でエネルギー移行が起こる状態の存在が必要であり、共鳴現象がこれに相当する。また、確率共鳴を起している機械系では、 S/N 比が1を超える。(2)微小機械・環境系に非対称構造の存在：微小機械自身(振動型人工筋肉素子、SIRM)が非対称構造を持つか、外部環境に非対称性の存在が必要である。SIRMに外部より熱ノイズが加わると、ロッド頭部の共鳴体がノイズ中の特定の周波数と共鳴を起こし振動する。しかし、この振動は等方的である。そこで、SIRMは対称性を破る(運動の方向性を作る)ために非対称的に傾いたロッドが必要である。さらに、ロッド間に協調運動は不要(ランダム運動で良い)であり、SIRMに加わる外力(熱ノイズ、外場等)の振幅や方向性は問題ではない。SIRMの駆動力は、確率共鳴(エネルギー移行部)とロッド(運動の方向性)により生み出される。ロッドは適度な弾性を持ち、これが、大地を斜めに押すことにより微小機械は一方向に駆動される。

SIRMの運動を解析するために、摩擦力、粘性抵抗、ゆら

ぎ、静電気力等の効果を組み入れた2次元のランジュバン方程式を組み立てた。この方程式より微小機械の出力、弾性定数、摩擦係数等の物理工学的要素を計算した。確率共鳴の存在する条件は、(1)相関関係の存在：熱ゆらぎと微小機械系との間に相関関係が重要である(一般的に中間領域では熱と機械系の間に相関が生じる)。(2)粘性抵抗(一般的に散逸力)の存在：散逸構造が存在しない場合、純力学的機械になる。この場合、確率共鳴が熱ゆらぎと機械系との間に生じず、 S/N 比が悪化する。(3)ロッド及び頭部の弾性定数が適切であること：弾性定数が適切な時には、共鳴現象が生じエネルギー移行が効率的に行われる。頭部の質量が、ミオシン程度ならば、SIRMの弾性体の固有角振動数は約 $1.0\text{E}11\text{rad/s}$ と推定される。この数値は、室温の平均のフォノン(熱ノイズ)の周波数にほぼ等しく、微小機械は良好な S/N 比(1を超える)を持つことが期待できる。

確率共鳴により生じた振動に、方向性を持たせるために傾いたロッドが必要である。しかし、微小機械系に非線形的な効果が加わると、方向性を生み出す効果は増強され、非線形性は、熱ゆらぎに非対称性を与える。特に、乱流や電磁気力は、傾いたロッド以上に強い運動の指向性を微小機械に付与する。つまり、これらの力は、SIRMの力出力の制御に使用できる。もし、ロッド頭部に約10個程の電荷対が存在すれば、ロッドの生み出す力と、静電的な力が等しくなる。さらに、電荷の変化により共鳴周波数が変わり、確率共鳴機械の出力に影響する。(表1参照)

表1 アクチン・ミオシン系の物理特性値

1) 確率共鳴(無負荷)の角振動数 (ミオシン頭部と熱ノイズ)	: $7.5\text{E}10 \sim 1.0\text{E}12\text{rad/s}$
2) ミオシン頭部の固有角振動数	: $1.0\text{E}11 \sim 1.0\text{E}12\text{rad/s}$
3) ミオシン頭部のバネ係数	: $1.0\text{E}1 \sim 1.0\text{E}3\text{N/m}$
4) ミオシン頭部の振動数	: $2.3 \sim 3.6\text{m/s}$
5) 確率共鳴の振幅	: $3.6\text{E}-12 \sim 3.1\text{E}-11\text{m}$
6) ミオシンの発生力	: $8.5\text{E}-11 \sim 1.8\text{E}-9\text{N}$
7) ミオシン頭部の仕事量	: $8.5\text{E}-19 \sim 1.8\text{E}-17\text{joules}$
8) 摩擦係数	: $3.3\text{E}-3 \sim 5.6\text{E}-2$
9) 垂直抗力	: $1.0\text{E}-8 \sim 1.0\text{E}-6\text{N}$
10) アクチンとミオシン間の摩擦係数	: $5.2\text{E}-11 \sim 3.3\text{E}-9\text{N}$

(参考) 1分子のATPの加水分解エネルギー: $7.0\text{E}-20\text{joules}$
300Kにおけるフォノンの角振動数: $1.2\text{E}11\text{rad/s}$

3. 将来の可能性

確率共鳴は中間領域の一般的現象であり、システム相互間のエネルギー・運動量の移行に関係する。確率共鳴は、情報の伝達に関与し、生物機械では情報処理への関与が示唆される。この熱ノイズ通信・熱ノイズ情報処理(確率通信)を用いると、信号伝達率の向上、測定感度の改善(閾値が不要)、廃熱の利用等の多くの利点が存在する。微小機械は、熱ゆらぎ・ノイズと争わず、ノイズとの共生、利用が基本原理である。中間領域機械学は、新しい次世代の工学であり、確率共鳴が重要な鍵である。

薬物送達用マイクロマシンの標的指向性制御に関する基礎研究

東京女子医科大学 医用工学研究施設 青柳 隆夫

1. はじめに

医療分野においてマイクロマシンを応用展開するには、そのマシンを機能させる部位へ確実に送達する必要がある。本研究では、生体の外部からの物理信号によってリモートコントロールすることにより、薬物がある特定の目的部位あるいは臓器に送達、集積する薬物運搬体、すなわち標的指向型薬物運搬用マイクロマシンの分子設計について検討した。本研究を通じて得られた知見は薬物運搬体に限定されることなく、生体内におけるマイクロマシンの移動制御を行うための基盤技術になるものと期待される。

2. 研究成果

本研究では、相転移温度を境に溶解・沈殿生成を繰り返す温度応答性高分子、ポリ（P-イソプロピルアクリルアミド、PIPAAmと略す）と疎水性のポリ-DL-ラクチド（PDLLAと略す）からなるブロック共重合体を合成し、温度応答性を有する会合体への展開を検討した。PIPAAmは相転移温度以下では親水性を示すことから、低温側で親水-疎水型のミセル様の会合体を形成し、高温にすると分子全体が疎水性になり凝集・不溶化すると考えられた。すなわち、ある特定部位を局所的に加温すれば、安定に存在していたこの高分子会合体が凝集し、集積する。このようなシステムを用いれば、外部からの温度変化という信号に応答した薬物ターゲティングが実現すると期待された。

まずはじめに、片末端に水酸基を有するPIPAAmを

合成し、この水酸基を開始点としてラクチドの開環重合を行い、PIPAAm-PDLLAブロック共重合体を合成した。このポリマーをジメチルアセトアミドに溶解させ、水に対して透析を行うことにより、会合体の調整を行った。

次に5℃から5℃おきに動的光散乱測定（DLS）を測定することにより、PIPAAm連鎖の温度変化に応答した会合体のサイズおよび会合体の均一性を観察した。この会合体は温度上昇に伴い、平均粒径が120nm程度の会合体の生成が示唆された。その後30℃付近まで温度上昇させても、粒径がほとんど変化しなかった。その後、35℃において急激に粒径の低下が観察され、約65nmの粒径の会合体が得られた。このときの多分散度はほぼ0.1程度であった。DLS測定原理より多分散度が0.1以下であればほぼ球形の会合体の生成を示唆するものである。さらに温度を上昇させると会合体は凝集し始め、沈殿を生じた。

すなわち、PIPAAm-PDLLAブロックコポリマーから得られた会合体は、生体温度の近いところではほぼ球形に近い高分子ミセルを形成し、そのサイズも65nmと小さいものであった。この高分子ミセルは温度上昇に伴い会合体の凝集・沈殿を生起することが明らかとなった。

3. 結語

この研究の応用例として、抗ガン剤を腫瘍部位にのみ送達させるシステムが可能である。この治療システムを用いれば、腫瘍が発生した臓器だけに抗ガン剤を選択的に送達されるために副作用が低減され、治療効果の優れた化学療法に発展すると考えられる。さらに将来、マイクロマシンを目的部位へ送達する基盤技術の確立に有用であると考えている。

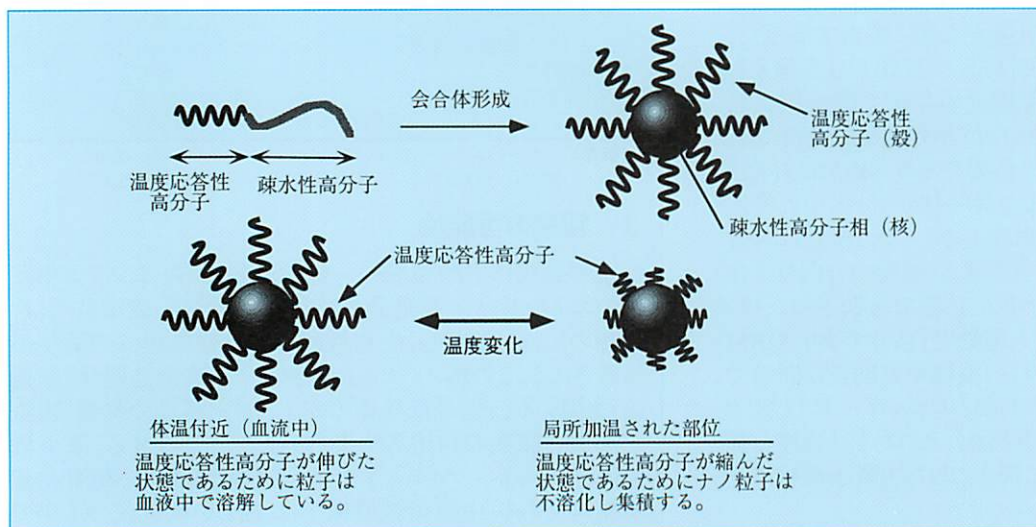


図1 温度応答性ナノ会合体の概念図

三洋電機株式会社

1. マイクロマシン技術への取り組み

21世紀に向け地球環境問題やエネルギー問題が地球規模でクローズアップされ、またインターネット等の通信手段の改革やマルチメディア分野のデジタルレボリューションによってグローバル化が急速に進行しています。このような大変革の中、次の世代に向け、人類が快適に生活できる空間を引き継ぐため、より進んだ生活様式を創る必要があると考えています。

当社をはじめとした半導体加工技術の進展は小型・高機能な電子機器を産みだし、ワイヤレス携帯機器に進歩し、生活を豊かにしてきました。また、半導体技術は太陽電池というクリーンな新エネルギー源も生み出しています。

マイクロマシン技術もまた新しい機械形態を産みだし、新しい生活様式を実現できる技術だと思います。当社では、「人と地球」の未来のために、21世紀の芽となるマイクロマシン技術を代表とした次世代基盤技術や要素技術の開発に積極的に取り組んでいきたいと考えています。

2. マイクロマシン技術の開発

マイクロマシンの実現を考えますと、ワイヤレスで動く「自走微小機械」が一つの形態と考えられますが、機械に与えるエネルギーを電源コードを使わず供給する技術は電子機器に比べより困難になっています。このため、産技プロの中で当社はエネルギー供給として有効な手段である光エネルギー伝送技術開発に取り組んでいます。

マイクロマシンに適した光エネルギー供給技術として、静電アクチュエータや圧電アクチュエータ等のマイクロアクチュエータ動作のために、小面積で数10～数100V程度の高電圧を供給すること、また、マイクロマシンの駆動に必要なエネルギーは体積に比例して減少するとしても、IC等の電子回路の消費電力は同等であり、より高出力のエネルギーを供給することが必要になります。図1は、当社で開発した $0.5\text{mm} \times 2\text{mm}$ の微小な光電変換素子を高密度に集積化し、285個の3次元的な接続を実現した 1cm^2 サイズの高電圧マイクロ光電変換デバイスを示

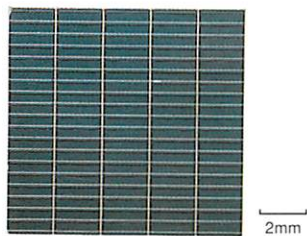


図1・高電圧マイクロ光電変換デバイス



常務取締役・研究開発本部長 桑野 幸徳

します。このデバイスは、太陽光下で世界最高の207Vの電圧を達成し、従来に比べ大幅な高出力化も同時に達成しました。これは、高電圧化するために薄膜構造のa-Si等を厚さ方向に積層した、異種材料から構成される多層薄膜を高精度に選択的除去加工するレーザ微細加工技術等により実現しました。

さらに、マイクロマシンの表面を有効に利用しエネルギーを供給するために曲面実装マイクロ光電変換デバイスを開発しました。これは、最小2mmの曲率半径まで実装可能で、図2のように、昆虫型の微小アクチュエータ（サイズ：約 $1\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ 、駆動電力：約2mW）上に実装し、外部から光を供給するだけで1cm程度のアクチュエータを平面内で駆動する程度のエネルギー供給が可能であることを実証しました。



図2・昆虫型アクチュエータへの光エネルギー供給

3. 今後の取り組み

現在、私たちの身の回りの機器はほとんど電気で制御されており、また光電エネルギーは電卓・時計から家庭用の発電所まで広く使われています。マイクロマシン技術や光電変換デバイス技術・システム化技術を進展させることによって、光エネルギーはより幅広い使い方が可能になります。さらに、光エネルギーの利用により省エネのみならず、「人にやさしい・地球環境にやさしい」デバイスが実現されと考えられます。今後、人にやさしい未来技術の実現に向け、より一層の高機能化、システム化を中心としたマイクロマシン技術の研究開発に取り組んでいきたいと考えています。（三洋電機(株) 研究開発本部 ニューマテリアル研究所 電子材料研究部 複合材料研究室 室長；樽井久樹）

賛助会員の活動紹介

株式会社 デンソー

1. マイクロマシン技術への取り組み

21世紀は、「エネルギー不足・資源の枯渇」、「自然環境の悪化」などの大きな課題が表面化してくる時代になると言われています。この課題を解決するため、知恵を発揮し技術を開発することが、今、企業に求められています。機械分野に登場したマイクロマシン技術は、「省エネルギー」、「省スペース」、「省資源」といったキーワードからも、21世紀の課題を解決する基盤技術になると期待されています。マイクロマシン技術は、幅広く多岐にわたるため全体像が把握されづらい技術ですが、キーワードからも技術的に正しいトレンドであり、今後、この技術が将来の数多くの新製品に生かされるものと思います。

2. マイクロマシン技術の開発

当社は、産技プロジェクトに参画し、配管内検査システムを研究開発しています。図1はマイクロマシン

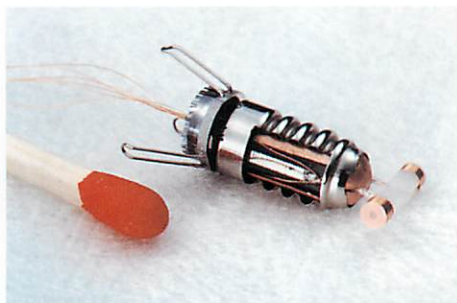


図1 マイクロ検査マシン

システムの課題抽出の目的で、プロジェクトの第1期に製作したマイクロ検査マシンです。頭部には、金属配管の亀裂を検知する目的で、直径2mmの渦電流センサを2個取り付けられています。また、パッケージ内部のスタック型圧電アクチュエータを伸縮動作させることにより、内径8mmの配管を6mm/sの速度で前後進移動することが可能です。移動機能と認識機能を持つ最も単純な配管内検査システムであると言えます。このマイクロ検査マシンには、厚さ60 μ m、重さ0.084gの3次元極薄構造体のパッケージを形成するためのシェルボディ形成技術や、アクチュエータから発生する熱を、抵抗少なく放熱フィンに伝達するための直接接合技術を用いています。

このマイクロ検査マシンの開発を通して、マイクロ特有の課題を抽出しました。最大の課題はワイヤレスにする場合のエネルギー供給です。バッテリーを用い



常務取締役・基礎研究所所長 大森 徳郎

るにせよ、光やマイクロ波によるエネルギー伝送方式を用いるにせよ、供給できるエネルギーは極く微量に限られます。そのため、そのシステムを構成するデバイスは低消費電力化が強く要求されます。現在は、積層数によって発生力と変位量をコントロールする低消費電力のアクチュエータと、マイクロ波を使ったエネルギー供給・通信デバイスについて研究を進めています。図2はそれらの技術を使って製作したワイヤレス

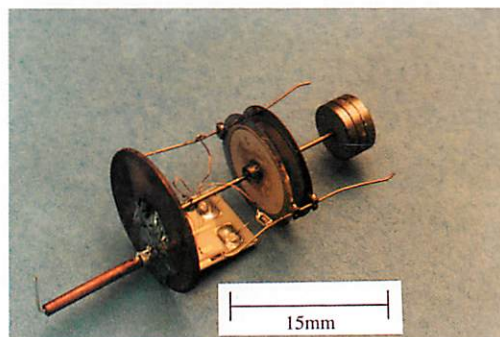


図2 無索移動機構

移動機構です。14GHzのマイクロ波を15V、600Hzの鋸歯状波に変換することで、 ϕ 15mmの配管内を1mm/sの速度で移動することができます。この無索移動機構には、配管内のマイクロ波を高効率で受信するアンテナや、高周波高耐圧の電力変換素子、低消費電力で移動するために必要な力と変位を発生する力積層アクチュエータを組み込んでいます。

3. 今後の取り組み

マイクロマシンは、その技術分野の広さから、さまざまな分野に取り入れられていくと予想されます。当社も、マイクロマシン技術を応用して、21世紀にマッチした製品を提供し、社会に貢献していきたいと考えています。

(株)デンソー 常務取締役
基礎研究所 所長；大森徳郎)

第3回マイクロマシンサミットが開催される

4月28日～30日の間、カナダのバンクーバーにおいて、第3回マイクロマシンサミットが開催されました。今回は昨年参加の10カ国（日本、米、英、伊、豪州、蘭、カナダ、スイス、独、仏）に加え、スカンジナビア、中国、台湾が新たに加わり、世界13の国と地域から81名が参加し、活況を呈しました。

日本からは、東京大学の中島教授首席代表をはじめとして、(株)デンソーの石丸会長、オリンパス光学工業(株)の下山会長、セイコーインスツルメンツ(株)の守友副社長、(財)マイクロマシンセンター（MMC）の平野専務理事の5名の代表と、MMC及び賛助会員の中から14名がオブザーバーとして参加しました。

今回はホスト国であるカナダのサイモンフレーザー大学内のMicromachining Technology CenterのGordon Guild社長が議長の進行により、カントリーレビューによる各国・地域のマイクロマシンに関する活動状況の紹介に加え、標準化、ヘルスケア、環境、新展開&新材料、輸送、情報技術といった観点でのマイクロマシン技術について議論がなされました。

今回のサミットにおける主な討議の内容は以下の通りです。

(1) カントリーレビュー

中国、台湾といった日本以外のアジア勢の状況がは

じめて報告され、注目されました。その他の国・地域については、昨年同様、研究開発状況、主要研究開発機関名等が紹介されましたが、特に大きな変動はなく、各国・地域とも政府等の支援を受けたプロジェクトを中心として研究開発が続けられていました。日本からは中島教授が産技プロの第2期計画の概要を中心に報告しました。

(2) 標準化

ドイツのメンツ教授、MMCの平野専務理事双方より、早期の標準化の必要性が示され、平野専務理事のマイクロマシンの国際的標準化のためのワークショップ開催の提案がなされましたが、それに対して、積極的あるいは消極的な意見が出され、各国の考え方の違いが明らかになりました。

(3) ヘルスケア

オリンパス光学工業の下山会長、カナダのアルバータマイクロエレクトロニクスセンターのラム社長より発表があり、低侵襲治療のためのマイクロマシン技術の重要性が確認されました。またラム社長よりマイクロマシン技術の有望な応用先としては分析システムや医療用デバイスがあり、その商品化に関しては、技術よりも市場ニーズが重要であるという意見が出されました。

表1 代表国首席代表（カントリーレビュー発表者）

国・地域	首席代表名	役職・所属
Australia	Ian Bates	Professor, Royal Melbourne Institute of Technology
Benelux	Albert van den Berg	Doctor, University of Twente, Netherlands
Canada	Gordon Guild (Dan Gale)	President, Simon Fraser University (Vice President, Canadian Microelectronics Corporation)
China	Zhaoying Zhou	Chairman, 国立精華大学
France	Daniel Hauden	Director, LPMO-CNRS
Germany	Wolfgang Menz	Director, Albert-Ludwigs Universitaet Freiburg
Italy	Paolo Dario	Professor, Scuola Superiore Sant'Anna
日本	中島 尚正	教授 東京大学工学部
Scandinavia	Ingemar Lundstrom	Doctor, Linkopings Universitet, Sweden
Switzerland	Nicolaas F. de Rooij	Professor, University of Neuchatel
台湾	Min-Shyong Lin	副院長 工業技術研究所
U. K.	Howard Dorey	Professor, Imperial College of Science
U. S. A	Richard Muller	Professor, University of California Berkeley

(4) 環境

デンソーの石丸会長、米ハネウェル社のホッカー氏、イギリスのインペリアル大学のドーレイ教授より発表があり、地球環境保全には地球規模での汚染状況の把握、環境監視が必要で、そのためにマイクロマシン技術を用いた低コストのセンサによる環境モニタリングの必要性が確認されました。また日本のマイクロファクトリのような省エネルギーのための取り組みを高く評価する意見も出されました。

(5) 新展開&新材料

新展開として、英エキシテック社のハーベイ氏からレーザーパルスアブレーションによる3次元微細構造の加工方法、カナダのアルバータ大学のハリソン教授から μ TAS（マイクロ流体解析システム）の発表がありました。また、新材料としては、圧電体、ポリマー、金属等シリコン系以外の様々な材料の重要性が述べられました。

(6) 輸送

中国North China技術研究所のZhang氏、米アナログデバイス社のペイネ氏、英Defence Research Agencyのワード氏らから自動車用の加速度センサをはじめとして、低コストのマイクロセンサの開発が商品レベル

で活発に行われていることが紹介されました。特にこの分野では不必要に高機能なものはコスト高になるため、適度な性能で安いセンサの開発が重要であることが強調されました。日本からコメントとして紹介したAHS（自動ハイウェイ走行システム）のVTRが、マイクロマシン技術により、将来どのようなものが実現できるかを具体的に示したものとして注目され、そこに議論が集中しました。

(7) 情報技術

セイコーインスツルメンツの守友副社長、スウェーデン・エリクソン社のエドウォール氏から情報通信ネットワーク等でマイクロマシン技術が応用されることが示されましたが、守友副社長のプレゼンテーションの中で示した市場規模予測に高い関心が持たれ、その値の妥当性について論議を呼びました。

全般的に、日本からのプレゼンテーションは、高い視点に立って将来のマイクロマシン技術の展望を示しており、その内容に対して、議長をはじめ、参加者から高い評価を得ました。

なお、今回は来年4月末にオーストラリアのメルボルンにおいて開催されることが決まりました。

表2 第3回マイクロマシンサミット発表一覧

トピックス	発表者	役職、所属（国・地域）
標準化	Menz Wolfgang	Director, Albert-Ludvig大学（独）
	平野 隆之	専務理事、(財)マイクロマシンセンター（日本）
ヘルスケア	Chris Lumb	社長、Alberta Microelectronic Center（カナダ）
	下山 敏郎	代表取締役会長、オリンパス光学工業(株)（日本）
環 境	Howard Dorey	教授、Imperial大学（英）
	Benjamin Hocker	Doctor, Honeywell Technology Center（米）
	石丸 典生	取締役会長、(株)デンソー（日本）
新展開・新材料	Erol Harvey	Doctor, Exitech Ltd.（英）
	D. Jed Harrison	教授、University of Alberta（カナダ）
輸 送	Wendong Zhang	教授、North China Institute of Technology（中国）
	Richard Payne	Doctor, Analog Devices Inc.（米）
	Michael Ward	Business Manager, Defence Research Agency（英）
情報技術	守友 貞雄	代表取締役副社長、セイコーインスツルメンツ(株)（日本）
	Gunnar Edwall	Doctor, Ericsson Components AB（スカンジナビア）

97欧州セミナー報告

当センターの国際交流事業の一環として海外のマイクロマシン研究機関との技術交流を目的としたセミナーを共催しました。詳細は以下の通りです。

6月23日(月)

「Micromachine Seminar」

場 所：Marina Congress Center

主 催：財団法人マイクロマシンセンター
TEKES (フィンランド工業技術院)

参加者：50名

演題および講演者

“Future Prospect of Micromachine”

平野 隆之 (財マイクロマシンセンター 専務理事)

“Current Status of Micromachine Technology R&D”

柳沢 一向 (財マイクロマシンセンター 研究開発部会長
オリンパス光学工業(株) 複合精密技術部 部長)

“Development of Inspection Micromachine”

川原 伸章 (株)デンソー 基礎研究所 主任研究員

“Development of Microgyroscope”

大和田邦樹 (株)村田製作所 横浜開発センタ 部長

“Micromachine Research in Finland”

Oiva Knuuttila TEKES

“Microtelemanipulation System”

Heikki Koivo Helsinki University of Technology

“Micromechanics Research at VTT”

Ari Lehto Technical Research Center of Finland

“Microactuators at Oulu University”

Seppo Leppavuri Oulu University

“Micromechanics for capacitive acceleration sensors”

Risto Mutikainen VTI Hamlin oy

セミナーでは、両国の技術紹介および成果報告があり活発な質疑応答が行われました。特に、日本側の産技プロ第1期の研究成果について、質問が多く関心の高さが伺えました。そして、トータルシステムとして研究を進めている産技プロジェクトの取り組みについて高い評価を得ることができました。

これまでに、フィンランドでのセミナーは一度も開催したことがなく、技術交流は殆ど行われていませんでしたが、このセミナーの成功がひとつのきっかけとなり今後の技術協力体制が確立できるものと期待されます。

6月26日(木)

「MMC/MIC Seminar on micromachines」

場 所：デンマーク工科大学

主 催：財団法人マイクロマシンセンター

デンマーク工科大学マイクロエレクトロニクスセンター

参加者：70名

演題および講演者：

日本側講演者および演題はフィンランドでのセミナーと同様

“Strategy within Technology Development at Microtronic,”

P. Schell Microtronic A/S

“Microsystems Research at NKT”

T. Freltoft NKT research A/S

“Microsensors & Microprobes”

S. Bouwstra Mikroelektronik Centret

“Artificial Muscles”

P. S. Larsen Riso National Laboratory

“Microdevices by Metal Plating”

O. Hansen Mikroelektronik Centret

“Design of Microactuators using Topology Optimization”

O. Sigmund Technical University of Denmark

“Microelectrodes for Biological Applications”

T. Sinkjaer University of Aalborg.

セミナーの参加者は、学生が大半を占めておりましたが、中には地元企業からの参加もありました。そして、日本のマイクロマシン技術とデンマーク工科大学での研究成果を中心に様々な分野での発表が行われ、特に学生からの日本側の研究成果に対する関心があることが感じられ、多くの質疑応答があり盛況なものになりました。そして、デンマークの近未来産業を担う研究者ならびに技術者にマイクロマシンに関する技術を提供することができました。

MMCでは、過去に何回かデンマーク工科大学に訪問し、技術交流を行ってきましたが、その当時は、クリーンルームが建築中でありました。しかし現在は完成し、興味のある成果がでてきていると思われます。

6月30日(月)

「JOINT SEMINAR ON MICROMACHINE/MST IN BESANCON」

場 所：フランス国立科学研究所 (CNRS)

主 催：財団法人マイクロマシンセンター

フランス国立科学研究所 (CNRS)

参加者：32名

演題および講演者：

日本側講演者および演題は、フィンランドセミナーと同様

“Outline of the 3 calls for proposal in Microsystems and ANVAR Role”

N. DELORME ANVAR

“Ultrasonics and Electromagnetic Micromotors”

M. FROELICHER CETEHOR

“Local LIGA technology and applications”

S. BASROUR CNRS

“Design and control of cooperative microrobots”

N. CHALILLET CNRS

“French Research Microsystem Programme 1997-2000”

D. HAUDEN CNRS

スイスとフランスの国境付近にあるブサンソンは、時計技術を基本とした電気機械関連の研究機関が多く存在し、官学産が連携して研究を行っている都市であります。セミナーではそのため多くの研究者の参加があり、より専門的な技術討論が行われました。そしてこれらの討議の結果は、今後の技術交流に非常に有益なものになると思われます。



97マイクロマシン北米ミッション

当センターは多岐に渡りマイクロマシンの振興と普及に力を注いでおり、その活動は日本はもとより海外からも高い評価を受けています。海外への調査ミッションはその重要な事業として位置付けられている国際交流の一環として企画され実施されているもので、マイクロマシンに関する情報の収集と交換のために海外の大学・研究機関を訪問して実績を上げてきています。

今回は4月28日～30日にカナダ・バンクーバで開催された第3回マイクロマシンサミットへのオブザーバ参加を機会に、「97北米マイクロマシン調査団」を4月26日～5月10日の間、派遣しました。東京大学中島尚正教授(前期団長)、セイコーインスツルメンツ(株)安宅龍明技術総括部長(後期団長)の他、当センター及び賛助会員企業からの12名で編成され、カナダと米国の5つの大学を訪問し、その研究開発状況の調査及び研究者との交流を行うとともに、産技プロジェクトを中心とした我が国の研究開発状況のプレゼンテーションを行い、理解を深めていただくことが出来ました。

訪問した大学とその概要は次の通りです。

(1)サイモンフレーザ大学／カナダ

応対者：Prof. John Stubbs(学長)

Prof. Ronald G. Marteniuk(学部長)

Mr. Gordon Guild 他

バンクーバーの中心部にあるハーバーセンターキャンパスを訪問しました。ここは教室・会議室のみの施設のため研究室の見学はありませんでしたが、関連する部門のスタッフを集めるなどの配慮を頂き、応用科学部門のマイクロマシン＆マイクロ加工研究所におけるマイクロマシンに関する研究開発がビデオにて紹介されました。主な研究成果としては内視鏡手術用圧覚センサ、DNA分析用流体デバイス、ヒーターを用いた加速度センサ等があり、各デバイスの応用先は医療、バイオ関連が多いようです。加工方法としては半導体加工技術がベースで、薄膜のブリッジ構造やエッチングによる溝の形成技術が中心になっており、設備としては4インチウエハの一連の半導体加工設備が揃っているとのことでした。

(2)ルイジアナ州立大学／米国

応対者：Dr. Volker Saile(所長) 他

ルイジアナ州・バトンルージュにあるCAMD (Center for Advanced Microstructures and Devices) と呼ばれる研究機関を訪問しました。ここはルイジアナ州政府の支援を受け、ルイジアナ州立大学によって運営管理されているもので、施設内にはSR装置(1.3～1.5GeV リング、直径16.3m)を所有しており、X線リソグラフィーを用いたハイアスペクト構造体加工技術の研究開発が行われています。主な研究成果としては、LIGAプロセスによるハードディスクドライブ用スピンドルモータ(IBM社と共同研究)、シリコンバルクマシニングと

LIGAプロセスによる体内埋め込み型薬品投与装置等が紹介されました。CAMDはMCNCを中心とする米国の大学・企業間研究協力ネットワークの中でX線リソグラフィーを用いた加工を担当する拠点になっています。

(3)ルイジアナ工科大学／米国

応対者：Prof. Barry A. Benedict(学部長)

Mr. Philip Coane 他

ルイジアナ州・ラストンにあるマイクロマニュファクチャリング研究所(IfM: Institute for Micromanufacturing)を訪問しました。本研究所は1995年に完成し、イオンビーム加工研究室、微細機械加工研究室、レーザ加工研究室、トランスファ技術研究室、クリーンルーム等から構成されていました。主な研究内容としてはレーザ加工(エキシマレーザアブレーション)技術、イオンビーム加工技術、微細機械加工(穴あけ加工、フライス加工、放電加工)技術、LIGA等の研究開発が行われており、これらの加工技術は主にマイクロ流体デバイス、オプトデバイス(ファイバーコネクタ等)、バイオメディカルデバイスに应用されるということでした。米国では半導体加工技術の延長上

にあるMEMSへの取り組みが一般的ですが、この研究所ではこのような流れとは異なり、日本と同じ

ように機械加工技術をはじめ広範囲な微細加工技術によってマイクロシステムを実現することを目指していることが特徴的でした。

(4)ケースウェスタンリザーブ大学／米国

応対者：Dr. Wen H. Ko(名誉教授) 他

クリーブランドにある電気工学・応用物理部門を訪問しました。ここでは半導体加工技術を中心としたいわゆるMEMS(特に圧力、力、変位、流量、化学量等各種センサ)の研究開発が行われています。研究設備としては4インチCMOS-ICの製造が可能な一連の半導体加工ライン(現在6インチラインに改造中)を持っている他、シリコン基板の接合装置、SiCエピタキシャル装置があります。研究内容としてはガスセンサ、流量センサ、温度センサ等が紹介され、それらのセンサのアレイ化やコントロールICとの1チップ化(スマート化)の研究開発が行われている他、流体デバイス、オプトデバイス、燃料噴射ノズル用のアクチュエータやSMA、ポリマー材料についての研究も行われています。



ルイジアナ工科大学にて

(5)マサチューセッツ工科大学／米国

応対者：Prof. Ian W. Hunter

Dr. Jhon Madden 他

ケンブリッジにあるMITでは複数の部門でマイクロアクチュエータ、マイクロ光学系、マイクロセンサ、シミュレーション、マイクロロボット等幅広い研究開発が行われていますが、今回はマイクロロボット、導電ポリマー応用等で幅広く研究している工学部機械工学科のハンター研究室とMEMSデバイスプロセス研究所を中心とするMTL (Microsystems Technology Laboratories)を訪れました。ハンター教授の研究室では光学、電気、機械、化学、分子生物学などの基盤技術をベースに生物学的課題の解決のためのロボット技術の開発を目指しており、究極の自律ロボットの開発のためのセンサー、アクチュエータ、システムの開発を行っている他、特に導電ポリ

マーを使って様々な機能デバイスを実現することを目指していました。また、MITは、4インチウエハ(ケー

スウェスタンリザーブ大学と同様、6インチラインに改造中)で種々の半導体デバイスの製造が可能な一連の半導体加工ラインを持っており、MITにおけるMEMSデバイス研究開発のインフラ拠点であり、産学協同での研究を通じて教育を行う機関となっています。



マサチューセッツ工科大学にて

マイクロマシン連合運営協議会開催される

第6回マイクロマシン連合運営協議会が5月30日(金)に、代表幹事佐藤知正東京大学教授を始め11団体の委員が出席し、(財)マイクロマシンセンターの会議室で開催されました。この協議会では、マイクロマシン連合の平成8年度活動報告、平成9年度活動計画、代表幹事の選出及び新規加入希望会員に関する審議等が行われました。

平成8年度のマイクロマシン連合の主な活動は、下表に示すイベントの協賛4件、マイクロマシン連合のホームページによる会員への情報提供等でした。平成9年度のマイクロマシン連合代表幹事には、藤正巖埼玉大学教授が選出されました。また、(社)電気学会セ

ンサ・マイクロマシン部門が新規に会員となり、マイクロマシン連合の会員構成は、会員29、準会員1、後援会員1となりました。平成9年度の活動計画では、マイクロマシン連合の会則に定められた事業計画に基づき共催・協賛を実施するとともに、連合会員のイベントやトピックス、マイクロマシン関連出版図書等の情報をマイクロマシン連合のホームページを通じて提供し、会員相互の情報交換を行う予定です。また、平成7年4月に初版のマイクロマシン連合会員名簿の見直しを行い、平成9年度事業として改訂版を出版する予定です。

平成8年度マイクロマシン連合協賛イベント

No.	イベント名	主催者	開催年月日	開催場所
1	第7回マイクロマシン国際シンポジウム	名古屋市他	'96.10.2 ～10.4	名古屋市工業研究所
2	第7回マイクロマシン展	(財)マイクロマシンセンター 他	'96.10.30 ～11.1	科学技術館
3	第2回国際マイクロマシンシンポジウム	(財)マイクロマシンセンター 他	'96.10.31 ～11.1	科学技術館 サイエンスホール
4	第10回国際微小機械システムワークショップ	米国電気電子工学会他	'97.1.26 ～1.30	ホテル ナゴヤキャッスル

なお、マイクロマシン連合のホームページは、下記のとおりです。

Home Page Address : <http://biomed.poli-sci.saitama-u.ac.jp>

第1回 機構のヒント「スケーリング」

東京大学大学院 工学系研究科 機械情報工学専攻 助教授 下山 勲

従来から生物の機能や構造を工学的に実現しようとする試みは数多くあった。航空機のように、機械として実現されたものが、手本であった生物よりずっと高性能になったと考えられる例も多い。

マイクロマシンはこれまでわれわれが作れなかった微小寸法の機械である。従来の機械を外挿的にスケールダウンしてマイクロマシンを設計しても、期待した性能が得られないこともある。この理由の一つは、スケールダウンすることによって、支配的な力、つまり相対的な力の関係が変わるからである。たとえば、寸法が小さくなれば、慣性力に比べて粘性力が支配的になる。流体力を利用した移動では、寸法が小さくなると粘性力を利用したほうがよいといわれている。また、寸法が小さくなるとともに表面張力が大きくなって、シリコン基板に微小部品が固着することはよく経験することである。微小世界では摩擦力も大きくなるので、回転軸も回りにくくなる。

ここで目を自然界に向ければ、生物は自然選択による進化の過程で寸法に適した構造や機能を獲得したと考えられる。そのなかでも昆虫は、小さな寸法にもかかわらず、飛んだり、はねたり、あるいは逃避行動をとり、その動きには驚かされる。昆虫はマイクロマシンの寸法と同程度の大きさなので、マイクロマシンのちょうどよい手本だ。

そこで、特に昆虫に着目して、マイクロマシンの立場から生物学的なデータをながめてみよう。図1に示すグラフは、いろいろな寸法の生物が単位時間に消費するエネルギー（代謝エネルギー）の実測値である。このグラフは、生物が単位時間に消費し

た酸素の量を、酸素 1 リットルあたり 20.1 kJ としてエネルギーに換算したものである。図 1 から、代謝エネルギー P_{met} は体重 m の 0.75 乗に比例していることがよみとれる。

$$P_{\text{met}} \propto m^{0.75}$$

これは、寸法が小さくなるとともに、単位体重あたりの代謝エネルギーが増大することを意味している。図1の関係が生物全体に成り立つと素直に認めればいろいろ面白い結論が導き出せる。たとえば、水中で呼吸できない生物の潜水時間Tは、体内に蓄えられる酸素の量を酸素の時間当たりの消費量で割ったものである。

$$\text{潜水時間 (T)} = \text{体内の酸素量} / \text{時間当たりの酸素の消費量}$$

体内の酸素量は体重に比例する。時間当たりの酸素の消費量は、代謝エネルギーに比例するので、体重の0.75乗に比例する。

体内の酸素量 $\propto m$

時間当たりの酸素の消費量 $\propto m^{0.75}$

したがって、潜水時間は体重の0.25乗に比例することになり、体重が増加するにつれて、潜水時間も増加することがいえる。

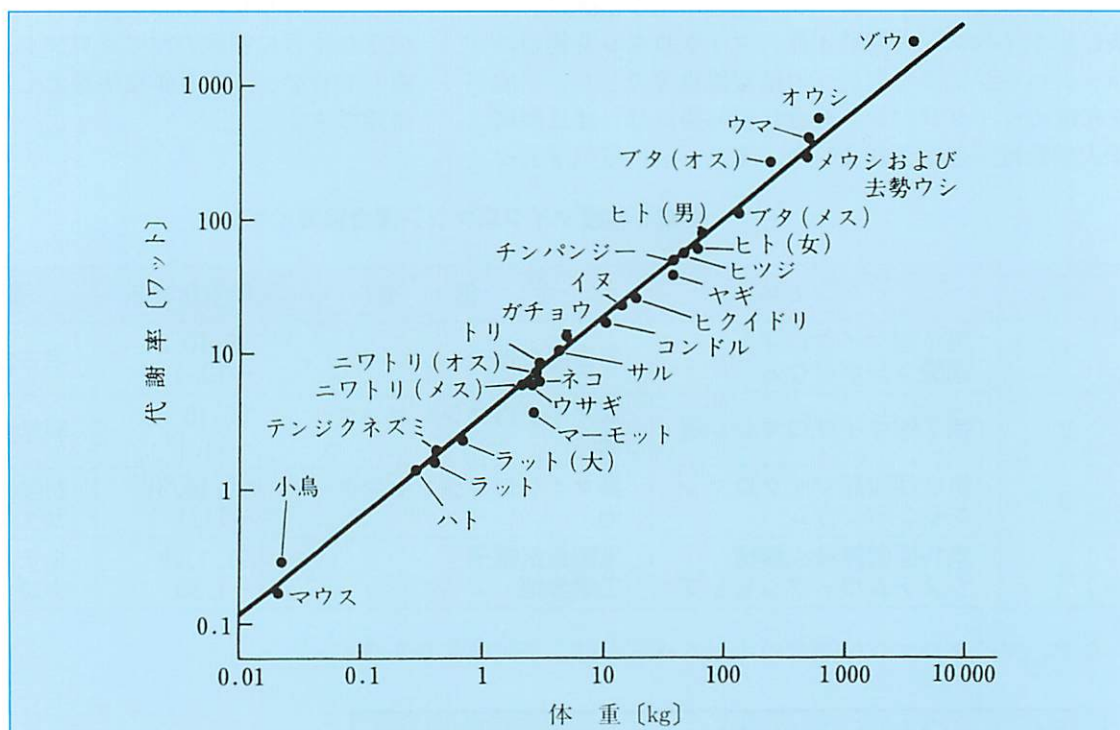


図1 哺乳類と鳥類の体重と代謝率を両対数グラフに描いたもの。1本の直線の上にいる。Benedictによる。シュミットニールセン著、下澤、太原、浦野訳、「スケーリング：動物設計論」（コロナ社）から転載

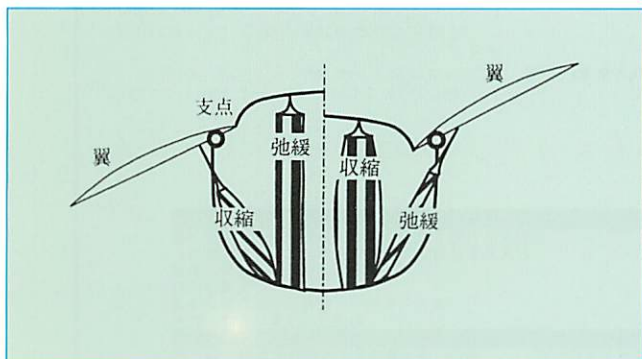


図2 昆虫の胸部の断面図

バッテリーに蓄えられるエネルギーの量も体積に比例するので、体重と潜水時間の関係はマイクロマシンでもそのまま成り立ちそうである。機械の寸法が小さくなるにつれて、摩擦や表面張力がエネルギー効率を低下させ、図1の代謝エネルギーの場合と同様に、機械内部でエネルギーがむだに消費され、効率が低下するといえるのではないか。バッテリーに蓄えられる単位体積あたりのエネルギーは一定なので、バッテリーで機械を駆動できる時間は、寸法が小さくなるとともに減少する。つまり、マイクロマシンをバッテリーのみで駆動するときには、駆動時間は短いものになるのではないか。長時間動かしたいマイクロマシンでは、一般的にいて、外部からのエネルギー供給が必須になると考えられる。

昆虫の構造としての特徴は外骨格である。昆虫の多くは胸の飛翔筋が直接翅を引くのではなくて、図2のように胸部の骨格の変形を介して翅の動きをつくっている。カイコガの胸部には約10種類の筋肉があって、それらの収縮のタイミングの違いで複雑な羽ばたきパターンを発生している。外骨格構造を使うと、アクチュエータを骨格構造のなかに平均的に置くことができるので、限られた体積を有効に利用できる。また、シリコン基板上の薄膜を折り紙のように折ると外骨格構造ができるのも面白い。ところで、昆虫が細胞でできた柔らかい皮膚をもてなかったのは、皮膚が厚く複雑すぎてスケールダウンできなかったからではないだろうか。

昆虫の飛翔もマイクロマシンにとって興味ある手本

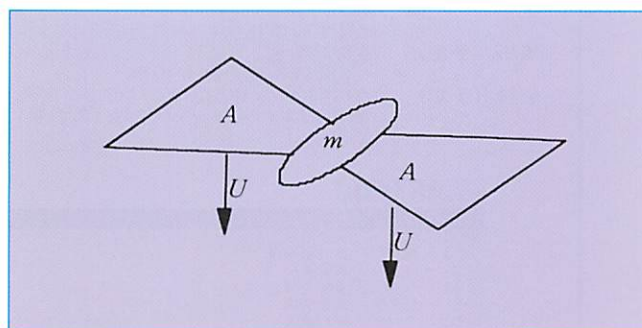


図3 飛行（羽ばたいて飛ぶ状態では、空気から翼が受ける力と重力がつり合っている）

である。図3に昆虫が羽ばたいているときの様子を示した。翼が受ける空気力 f_d が運動量変化によるものであるならば、それは次のように表される。

$$f_d \propto A U^2 \propto m$$

この力と重力がつりあって飛んでいるのだから、空気力 f_d は体重に比例することになる。体重 m が寸法の3乗に、翼面積 A が寸法の2乗に比例するなら、流速 U は寸法の0.5乗に比例する。

$$U \propto L^{0.5}$$

このとき、単位時間当たりの運動エネルギーの増加、つまり、単位時間に翼のする仕事 P は寸法の3.5乗に比例する。

$$P \propto f_d U \propto L^{3.5} = m^{1.17}$$

ところが、生物の代謝エネルギー P_{met} は体重 m の0.75乗に比例するので、飛翔に必要なパワー P と、供給可能パワーである代謝エネルギー P_{met} は、ある寸法を境に逆転し、寸法が小さくなるほど飛翔に必要なパワーが供給可能パワーに比べて小さくなる。つまり、エネルギー的には小さいものほど飛ぶのが楽になる。ただし、小さくなるほど代謝エネルギーに対する実効エネルギーの比（効率）が悪くなりそうなので、本当に小さいほど楽に飛べるかどうかは、一概にはいえないかもしれないが。

以上述べた以外にも、昆虫から学べることは多い。そこで、次回以降、「昆虫の感覚器」、「昆虫の神経系」がマイクロマシンにどのようなヒントを与えるかを述べていきたい。

第3回 国際マイクロマシンシンポジウム開催ご案内

開催日時	平成9年10月30日(木) 9:30～17:35(懇親会:18:00～20:00) 同 31日(金) 9:30～15:35	参加費	(社)日本ロボット工業会、(財)発電設備技術 検査協会、(社)日本機械工業連合会 15,000円(予稿集代・懇親会費用を含 みます)
開催場所	科学技術館 サイエンスホール 〒102 東京都千代田区北の丸公園2-1	参加申込み	平成9年10月15日までに(財)マイクロシ 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。
主催	(財)マイクロマシンセンター (財)日本産業技術振興協会	問い合わせ先	(財)マイクロマシンセンター 国際交流部 Tel:03-5294-7131 Fax:03-5294-7137
後援(予定)	通商産業省、工業技術院、新エネルギー ・産業技術総合開発機構		
協賛(予定)	マイクロマシン連合、マイクロマシン研究会 (東京)、マイクロマシン研究会(名古屋)		

プログラム

10月30日

セッション1:「オープニング」

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	開会の挨拶	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	通商産業省
9:43～9:51	来賓挨拶	工業技術院
9:51～10:00	来賓挨拶	新エネルギー・産業技術総合開発機構
10:00～10:45	特別講演	軽部征夫/東京大学 教授

セッション2:「マイクロマシン産業への途」

10:45～11:15	「DNAチップ——DNA診断およびDNA計算機のための化学集積回路」	陶山 明/東京大学大学院総合文化研究科
11:15～11:45	「地球環境から見たマイクロマシン技術への期待」	田尾博明/資源環境技術総合研究所
11:45～12:15	「計測評価の標準化」	三井公之/慶應義塾大学理工学部
12:15～13:15	昼食	

セッション3:「海外の活動」

13:15～13:45	「NEXUSの活動状況(仮)」	Mr. Gaetan MENOZZI/NEXUS 委員長, 欧州委員会
13:45～14:15	「Overview of Microfabrication Research in the U.S. and Current NSF Initiative」	Dr. Jay LEE/National Science Foundation, 米国
14:15～14:45	「Overview on the Micromachine Activities in the UK」	Prof. Howard DOREY/Imperial College of Science, 英国
14:45～15:00	休憩	

セッション4:「最新研究紹介」

15:00～15:20	「光マイクロマシン」	年吉 洋/東京大学生産技術研究所
15:20～15:40	「MEMS技術による新しいHDD(仮)」	/BSAC, University of California, 米国
15:40～16:00	「アモルファス合金を用いたマイクロマシンの創製」	早乙女康典/群馬大学工学部
16:00～16:20	「血液適合性高分子表面の設計」	由井伸彦/北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究科
16:20～16:40	「マイクロ昆虫ロボット」	下山 勲/東京大学大学院工学系研究科

セッション5:「マイクロマシン等」

16:40～16:55	「小学生の考えるマイクロマシン」	望月あや子/習志野市立大久保小学校
16:55～17:15	「文化としてのマイクロマシン」	鶴岡正樹/京都文教大学人間工学部
17:15～17:35	「文化・技術・マイクロマシン」	竹村慎一/東北芸術工科大学
18:00～20:00	懇親会(於 如水会館)	

10月31日

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」

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」	岡崎 誠/通商産業省工業技術院 研究開発官
9:45～10:00	「マイクロマシンのトライボロジー」	安藤泰久/通商産業省工業技術院機械技術研究所
10:00～10:15	「電子技術総合研究所におけるマイクロマシン技術の研究」	平井成興/通商産業省工業技術院電子技術総合研究所
10:15～10:30	「計量研究所におけるマイクロデバイス、マイクロ材料の評価技術」	梅田 章/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

10:40～11:00	「第2期研究開発について」	柳沢一向/(財)マイクロマシンセンター 研究開発部会長
●システム化技術		
11:00～11:15	「管内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
11:15～11:30	「細管群外部検査試作システムについて」	成宮 宏/(財)マイクロマシンセンター W/G 主査
11:30～11:45	「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
11:45～12:00	「マイクロファクトリ試作システムについて」	安宅龍明/(財)マイクロマシンセンター W/G 主査
12:00～13:00	昼食	

●要素の高度化技術

13:00～13:20	「超精密マイクロVみぞ格子加工」	河合知彦/ファナック(株)
13:20～13:40	「ブロック技術のセルフパッケージへの応用」	佐藤卓暢/(株)フジクラ
13:40～14:00	「2次元マイクロ搬送デバイス」	中澤治雄/(株)富士電機総合研究所
14:00～14:20	「マイクロ磁気軸受機構」	Dr. Ronald B. ZMOOD/Royal Melbourne Institute of Technology, 豪州
14:20～14:30	休憩	

●共通基盤技術

14:30～14:50	「マイクロマシンの高速形状計測」	田名網健雄/横河電機(株)
14:50～15:10	「マイクロマシン群のパターン生成技術の研究」	大塚康生/川崎重工(株)
15:10～15:30	「ホロニックメカニズムの制御」	井辺智吉/三菱重工(株)

セッション7:「クロージング」

15:30～15:35	閉会挨拶	林 暉/(財)日本産業技術振興協会 専務理事
-------------	------	------------------------

編集後記

広報誌「マイクロマシン」の発行も今回で20回目となります。年平均4回の発行回数で5年の歳月が経ったわけです。この間いろいろの分野の方に執筆をお願いし、快く引き受けて頂いたことに感謝いたします。

さて、マイクロマシンセンターの事業活動も活況を呈しており、研究活動をはじめ、調査活動、国際活動、広報活動等においてさらに着実な業務推進が図られると考えます。

特に、4月にカナダで開催された第3回マイクロマシンサミットは世界13カ国から86名が参加し、7つのトピックスについて討議がなされました。その中でも日本からのプレゼンテーションは高い視点に立ってマイクロマシンの将来を展望した発表がなされ、参加各国の出席者から高い評価を得たと聞いています。

今年も早半年が過ぎ、秋には第3回国際マイクロマシンシンポジウムとマイクロマシン展が開催される予定です。今後ともマイクロマシン技術の更なる飛躍に向けて、有益な情報発信ができるようにしたいと考えています。

発行 財団法人マイクロマシンセンター

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

無断転載を禁じます。