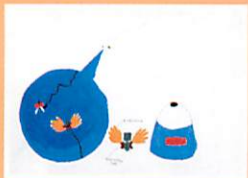


マイクロマシン

MICROMACHINE

- 年頭所感／2
- 研究室紹介／4
- MMCの事業活動紹介／6
- 賛助会員の活動紹介／18
- 海外だより／20
- 講座「マイクロマシンポータブル展示品」(第4回)／22
- お知らせ／24



財団法人 マイクロマシンセンター

No. 26

年頭所感



通商産業省機械情報産業局長
広瀬 勝貞

平成11年の新春を迎え、謹んでお慶び申し上げます。

我が国経済は2年連続のマイナス成長となるなど非常に厳しい状況にあります。

自動車産業、電機・電子産業、産業機械産業といった日本の経済成長の牽引役となってきた機械産業と、近年急速に発展し50兆円産業になった情報産業は、ともに日本経済の命運を担う産業であり、今後の機械情報産業の発展が日本経済の再生にとって非常に重要であると考えます。

政府といたしましても、我が国経済を再生し、平成11年度のプラス成長を確実なものとするため、昨年11月に緊急経済対策を策定いたしました。これを踏まえて編成された平成10年度第三次補正予算では、情報ベンチャーの支援や、半導体製造プロセスの高度化といった技術開発等の施策を講じ、機械情報産業への重点的な投資を行うこととしております。

また、税制面では法人税、所得税の大幅減税を行うほか、波及効果が高く需要喚起策として即効性のあるパソコンやトラックへの投資促進を図るための税制措置も講じてまいります。

とにかく本年は、これらの施策によりできる限り早期の景気回復に努めてまいります。

さらに、我が国経済を真に再生させるためには、このような緊急的な需要対策のみならずそれを中長期的な成長につなげていかなければなりません。そのためには、まず第一の課題として、経済・社会全体の効率化・発展に向けた情報化を進める必要があります。また、第二の課題として、将来性のある高付加価値の新規産業分野を創出することが不可欠です。さらに、第三の課題として、経済発展に伴って生じる環境制約や資源制約に対応した経済システムを構築していく必要があります。

第一の経済・社会の情報化については、日米の情報化投資の格差の拡大が指摘される中、急速な

スピードで迫ってくる「デジタル革命」に対応するべく、以下の三つの柱に沿って施策を展開してまいります。

ひとつは電子商取引などにより産業分野の情報化をさらに加速化させるとともに、教育の情報化やITS（高度道路交通システム）への取組といった公的分野の情報化を推進し、社会全体における情報化の動きを加速いたします。また、そのような高度なアプリケーションの展開を円滑にするため、次世代情報技術の開発や不正アクセスといった情報化社会の諸問題に対応した環境整備などを行い高度情報通信社会に向けた基盤整備に努めます。さらに、高度情報通信社会の担い手である人材を確保するため、先般成立した新事業創出促進法による情報関連人材育成事業、シニアベンチャー支援事業等、国民各層における情報活用能力を備えた人材の育成に努めます。

なお、コンピュータ西暦2000年問題については、対応に遅れの見られる中小企業への対策を中心に万全を期してまいります。

次に第二の課題である新規産業分野の創出につきましては、機械情報産業において特に今後飛躍的な成長が見込まれる分野として、情報通信関連分野に加え、航空・宇宙関連分野、新製造技術関連分野、医療・福祉関連分野といった産業があげられます。

特に、宇宙分野においては、宇宙空間の商業利用の本格化に伴い人工衛星への需要の爆発的拡大が見込まれます。そのため、平成11年度よりSERVISプロジェクトを開始し、今後地上試験及び宇宙実証実験を実施して、製造の低コスト化につながる民生部品の人工衛星への転用を図ります。

最後に、環境制約・資源制約への対応につきましては、まず、クリーンエネルギー自動車・低公害車、低燃費車の普及促進や省エネ型液晶技術の開発など、環境保全や省エネルギー施策の充実に努めます。また、将来のさらなる資源制約に対応した循環型経済システムを構築するため、各種産業におけるリサイクルを推進します。具体的には、昨年成立いたしましたいわゆる家電リサイクル法の円滑な施行に向けた環境の整備や、「使用済み自動車リサイクルイニシアティブ」の着実な実施による有用部品等の再利用の一層の促進を行います。

以上のような施策を通じ、当省といたしましては、当面の景気回復に全力を傾けるとともに、目前にせまった21世紀に向けて、次世代を見据えた機械情報産業の更なる発展と、それに伴う日本経済の再生と飛躍に向けて精一杯の努力をしてまいります。

あらためて、皆様の新年の御多幸を祈念いたしまして、ごあいさつとさせていただきます。

南オーストラリア大学におけるマイクロエンジニアリング

南オーストラリア大学 マイクロエレクトロニクスセンター M.R.ハスカード教授

背景

南オーストラリア大学のマイクロエレクトロニクスセンター(MEC)は、1970年に設立され、当初は実用を大変重視していた。従って、その研究は応用指向が非常に強く、組立設備の設計を行ったり、外部のファウンドリといかに円滑に連携するかを考えていた。設計に関しては、VLSIのデジタル設計のみならず、アナログ設計にも専門的な技術を確立していて、アナログ設計では電子回路とのインターフェイスを持つon-chip-sensorの設計も行っていた。1980年代の始めにMECは、大学院化学研究科の中にAnalysis and Sensors Group (ASG)との緊密な協力関係を構築し、後にMECとASGは、物理センサの開発を行っている第三のセンサグループに加わり、Sensor Science and Engineering Group (SSEG) という研究グループを支援する豪州研究諮問委員会を組織した。このグループは現在では活動を終えているが、MECとASGとの強い協力関係は今も継続されている。

このような背景の下で、MECはマイクロエレクトロニクス関連技術が高機能なセンサシステムを構築するのに必要であると認識し、MECの目標をマイクロエレクトロニクス技術を用いたマイクロエンジニアリングに絞った。MEMSという術語が使われているが、MECでは、マイクロエンジニアリングの技術は全ての分野に関わるものであり、スケールが微小(マイクロ)なだけで本質的にはエンジニアリングそのものであるもので、MECでは、マイクロエンジニアリングという術語を使っている。

ここで、南オーストラリア大学でのマイクロエンジニアリング研究の礎となっているいくつかの考え方を紹介する。

- ・マイクロエンジニアリングはマイクロエレクトロニクス産業から発展してくるにつれ、より包括的な技術となり、全ての分野と関連を持つようになってきている。
- ・マイクロエレクトロニクス産業の成長をよく調べると、二つの重要な事実が見え、それはマイクロエンジニアリングにも当てはまることわかる。

一つは、ムーアの法則は、ICの集積度が連続的に増加するということを予測している。現在は、SSIの段階を過ぎ、VLSIからULSIの段階となり、今やこれらが究極の集積化された電子工学システムということになっている。マイクロエンジニアリングに関しては、今、丁度、SSIの段階から立ち上がったところで、コンポーネントやモータ、ポンプ、パイプ、バルブなどの小さなサブシステムが作られるようになったところである。しかし、より複雑なシステムが現れ、一つの集積回路上に百万個以上のシステムを組み込むようになり、例えば、精製所のような複雑な化学システムを丸ごとマイクロシステムの基盤上に組み込むことが、もしかすると可能になるかもしれないところに来ている。

もう一つは、マイクロプロセッサが製造されるようになった時にマイクロエレクトロニクスが指数関数的に成長したことが上げられる。マイクロエレクトロニクスは、あたかも建物を組み上げる基礎ブロックのようなもので、エレクトロニクスが新しいシステムを構築するのみならず多様化する手助けとなっている。マイクロエンジニアリングは、包括的なシステムが現れ始

めた時に同様な結果をもたらすもので、化学システムを例にとると、ガスクロマトグラフと質量分光計を合体させてしまうかも知れない。機械的な包括システムはロボットの手や腕になるかもしれない。

この二つのことは、包括的にマイクロ加工技術を適用したシステムの創製が、集積回路を含むと含まないに関わらず、極めて緊要であることを示している。マイクロ加工技術を適用したコンポーネントの果たす役割を過小評価してはならない。なぜなら、そういうコンポーネントはシステム実現のための足がかりであるからである。

- ・物質界がデジタル的なものよりむしろアナログ的なものとして見なされているが、必ずしもそうではない。

MECは、アナログ機能の代わりにデジタルアレー構造物を利用した方はずっと有利だと考えている。この考え方は、味覚用のpHセンサに適用され、システムの信頼性向上のために大いに役立ち、また、加速度計では電子部品がかなり簡略化されている。

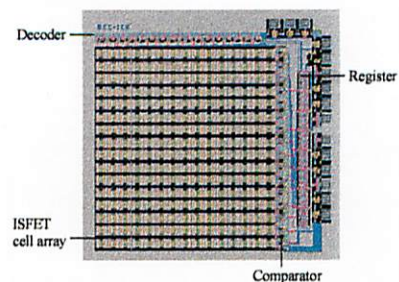
- ・全ての技術は、互いに関連しあっている。Siなどの半導体技術が脚光を浴びている間に、厚膜などの電子技術やプリント板技術は、マイクロエンジニアリングシステムを構成する一部となった。

- ・CADは、システムシミュレーションを包含していて、極めて重要である。マイクロエンジニアリングは非常に多くの学問分野にまたがっているもので、そのCADシステムは、IC設計用のCADシステムより何倍も複雑である。レイアウト用ソフトウェアに代わって、四角以外の形状へ展開する能力もまた大変重要である。

これらの考え方に基づき、MECはASGと共同で、マイクロ加工技術を適用するコンポーネントやシステムの製造に力を注いできた。豪州政府からの助成により、韓国やインドネシアの大学、およびこれらの国々の政府研究機関と協同で研究開発を行っている。以下は、その研究開発の例である。

ケミカル センシング アレー

集積回路で出来ている電流検出アレーも電圧検出アレーも、ともに設計を完了し、組み立てが完了している。基準電極を持った256個のISFETから構成されるISFETアレーは、味覚センシングシステム用の基本ユニットを形成する。ISFETアレー自身は、酸味の監視機能を持っている。ISFET上にくぼみを作り、そこにマイクロ加工したアレーをはめ込んで、酵素で満たし薄膜でカバーをすると甘み(ブドウ糖、蔗糖、果糖)を検知するバイオセンサーとなる。



ISFETセンサアレーチップのレイアウト

Yeow et al, Sensors and Actuators, B, 44, 434-440 (1997)

マイクロポンプ

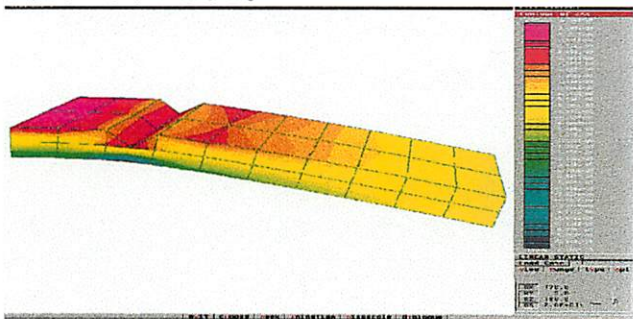
殆どの化学マイクロシステムには、少なくとも一個のマイクロポンプが必要である。初めは水圧ポンプであったが、最近ではダイヤフラム型ポンプが開発されている。

環境監視システム

水質や空気の汚染物質は最小の手間で遠隔監視する必要がある。マイクロ加工したシステムにより自己診断、自己校正が可能となっている。液体汚染物質検出システムには厚膜技術が役に立ち、最大8つの電極と1つの基準電極が同時に動作するようになっている。現在は、硫化物とpHの検出に的を絞った研究を行っている。汚染物質ガスを検出するために、マイクロ加工したガスクロマトグラフを開発中で、熱伝導センサと特定ガス検出センサを応用することを考えている。

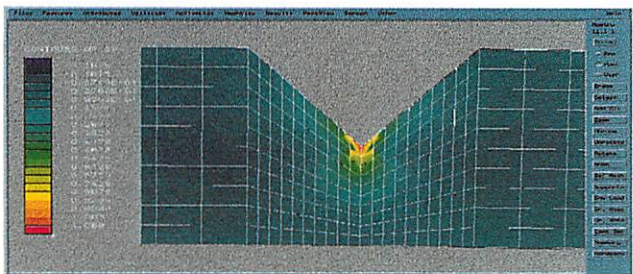
加速度計

2種類のタイプの加速時計が開発されている。最初に開発された加速時計は、ビームが4本あるシステムで、アナログ型の容量センサや特定の加速度を越えるとスイッチが入るように設計した20個のスレッシュドスイッチが組み込まれたものであった。次に開発されたセンサは、単純なカンチレバーシステムのもので、特定の加速度が印可されると破断し電気回路を遮断するもので、メカニカルヒューズに似ているものである。



加速度計設計の際のカンチレバー上の
応力と歪みのコンピュータシミュレーションの例

Truong et al, Fail-Safe Accelerometers for Airbags, MEC Annual Report 1996



クラックの成長解析例

Truong, et al, Fail-Safe Accelerometers for Airbags, MEC Annual Report 1996

フィールド・エミッション・ディスプレイ

フィールド・エミッション・ディスプレイは、通常のCRTと同等の機能を持ち、フラットパネル型である。このディスプレイは寸法が小さいというのがこれまで難点とされてきたが、手のひらサイズの機器には適しており、非常に大きな市場となっている「仮想現実」用ディスプレイへの応用に大いに期待されている。最近の研究開発は、作動機能を低くさせるSiの電界放射アレーの形成とそのドライブ

方法に向けられている。

材料表面のクラック

構造物の完璧性は多くの分野、特に、航空宇宙と海洋で重要になっている。クラックが内部に存在するかどうか確認するのに、その表面にインダクタセンサを埋め込み、渦電流を使って、その変化をモニタする方法がある。有限要素解析法により、"Focus Field"型渦電流センサがクラックの検出を約27%向上させることがわかった。改良型モデルでは、マイクロ加工を用いて渦電流センサを更に小型化した。新方式のセンサでは、マイクロコイルを持った渦電流ユニットを2個、同じシールドングの中に組み込むことが出来た。

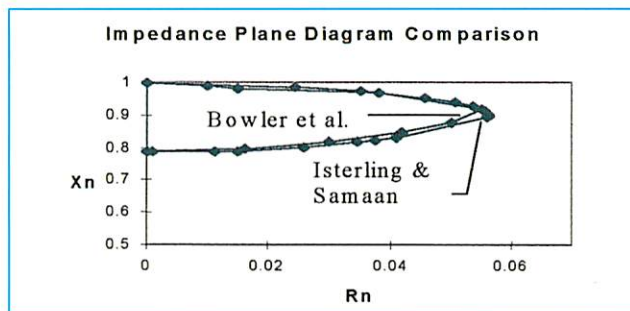


図1：インピーダンス平面図の再現

Isterling et al, Sensors Array for On-Line Monitoring of
Structural Integrity, MEC Annual Report 1996

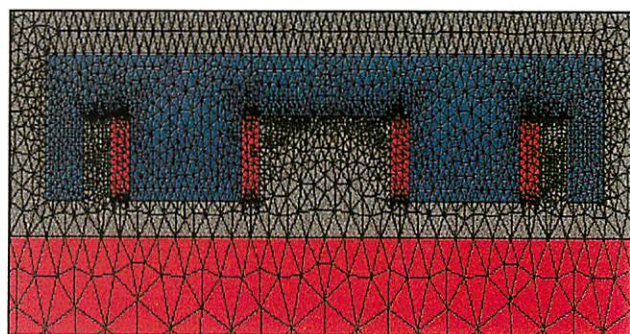


図2：二重型渦電流センサの有限要素メッシュ

Isterling et al, Sensors Array for On-Line Monitoring of
Structural Integrity, MEC Annual Report 1996

マイクロエンジニアリング用CADシステム

機械的、電気的、熱的あるいは、その他のシミュレーションが可能な総合的CADシステムを組み立てているところである。このようなシミュレーションを用いたアプローチは、マイクロ加工で作るシステムの設計には不可欠なものである。現在、テストケースとして利用しているものは、ダイヤフラム型の圧力変換器で、これにはいくつかの集積回路が組み込まれている。

結論

MECは、マイクロエンジニアリングの研究開発に関して積極的に関わってきており、この分野には輝かしい、息の長い未来があると確信している。また、他の豪州の大学・研究機関のグループと協力し、活動的なネットワーキングを持続させ、さらには海外との連携を強く拡大することにより、はじめてマイクロエンジニアリングの可能性を完全に実現することが可能であると考えている。

第4回国際マイクロマシンシンポジウム開催される

1998年10月29日・30日の2日間、東京北の丸公園の科学技術館において、第4回国際マイクロマシンシンポジウムが開催されました。

初日のオープニングでは通商産業省機械情報産業局広瀬勝貞局長、工業技術院佐藤壮郎院長およびNEDO松井秀行理事長（光岡 寛理事が代読）に来賓挨拶を頂きました。2日間の全登録者数は、441名に上り、このうち、海外からの参加者は、招待講演者を含めて、19ヶ国53名となりました。

桐蔭横浜大学工学部長の林輝教授が、「マイクロメカニズムの世界」と題して特別講演を行いました。林先生は、日本におけるマイクロマシンの草分け的存在で、そのご講演は先駆者のみが説くことが出来る興味あるものでした。マイクロマシンの開発は着手してみると、従来なかった新しい領域であるため意外に難しく、ようやく作っても気付かなかった効果のため期待通り動かなかったり、新たな設計理論も創らなければならないなど壁はいくつもあがるが、小さい機械ほど付加価値が高く、省資源・省スペースであり、天然資源の乏しい我が国にとっては最適な産業になるので大切に育てて行きたいと説かれていました。

第1日目は、林先生の他には、海外の7名を含む16名が招待講演者として招かれ、それぞれ、大変印象深い講演が行われました。海外からの講演者は次の通りでした。

Mr. Gaetan MENOZZI/NEXUS,欧州委員会
Mr. Lean-Christophe ELOY/YOLE Developpement(仏)
Mr. John HUIGEN/Bionic Ear Institute(豪)
Ms. Karen W. MARKUS/MCNC(米)
Prof. Wen H. KO/Case Western Reserve University(米)
Dr. Jean-Jacques GAGNEPAIN/CNRS(仏)
Dr. J. Michael RAMSEY/Oak Ridge National Lab.(米)

また、セッション3の「マイクロマシン考」は、その内容がユニークで大変好評でした。その講演の内容を本誌に載録しましたので、ご一読下さい。

第2日目は、産業技術研究開発制度に基づく国家プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」の進展状況について、工業技術院岡崎誠研究開発官の概況報告、および工業技術院機械技術研究所など3国研における研究開発の状況と将来展望の紹介があり、さらには、当センターの研究開発部会柳沢一向部会長が第2期の研究開発の現状について、また、研究開発部会のスタディグループ主査3名による技術動向調査の発表がおこなわれるとともに、産技プロジェクトの成果について8件のプレゼンテーションが行われました。

いずれの講演についても、内外の参加者から、企画・講演内容について高い評価を受けました。

次回の日程・開催場所は次の通りです。

第5回国際マイクロマシンシンポジウム開催予定

会期 1999年10月28日(木)・29日(金)

会場 東京北の丸公園・科学技術館サイエンスホール



第4回国際マイクロマシン会場風景

子供とマイクロマシンの出会い

東京大学大学院 科長 中島 尚正

ご紹介頂きました中島でございます。

私は思いがけないことから小学4年生用の教科書を書く機会を持ちました。タイトルは、「マイクロマシンの夢」です。これは、理科や技術課程の教科書ではなくて国語の教科書です。私が小学校の時、最も苦手とした教科です。このシンポジウムでお話する機会を作っていただいたのも、この教科書の執筆に加わったためであると思います。

まず、この経緯について簡単にご紹介させていただきます。

最近の教科書では、文芸作品ばかりではなく説明文が取り上げられています。説明文というのは、ある対象について説明した文章でして、日常生活の中で子供たちが対象物について客観的、論理的に筋道を立てて書かれた文章から、物事を理解する読解力をつけるために取り上げられているそうです。しかし、説明文の場合、説明の対象を上手に選ぶことが大変重要です。選ぶのは教科書の編集者ですが、上手に選ばないと子供たちが関心を失ってしまい、国語の授業が退屈なものになってしまうからです。教科書の編集者にとっては、説明文の対象として何を選ぶかが大変であって、教科書の販売にも影響するような重要なことであるようです。

ここにお見せするのが、その国語の教科書です。小学校4年の「下」ですから、ちょうど今の時期に学習を始めていると思います。この教科書の中に、「マイクロマシンの夢」というタイトルで、10ページ位の小文を書かせて頂きました。

ところで、「子供の科学」という雑誌があります。皆さんも、恐らく子供の頃、愛読されたかと思います。この雑誌が「最先端ロボットの世界」という特集を1992年の6月に組みました。そのときに執筆を頼まれまして、当時、ちょうど研究に取り組み始めていたマイクロロボットについて書きました。それが後に、説明文の対象を模索していた教科書の編集者の目に留まり、教科書の執筆に至りました。このような次第で、小学生とマイクロマシンが教科書の上で出会うことになったわけでした。本日のタイトルにあります「小学生とマイクロマシンの出会い」に関して、最も早く、関心を持ったのが教科書の編集者でした。

説明文については、それを読んだ小学生が、執筆者の意図していることを正しくイメージするか、あるいは理解するかどうか、非常に重要です。そのために子供たちにとって親しみやすいものを比喻にして説明したりするのですが、子供たちが正しくイメージできるかどうかが大変重要です。その場合、二つの点が大事だと思います。一つは、筋道だって論理を追ういわゆる読解力、それに加えて、もう一

つは、鮮明なイメージを浮かべるための予備的知識です。前者を文法としますと、後者はコンテンツです。コンテンツに関しては、予備的に十分な知識がないと子供たちはイメージできないわけで、そのことが説明文を書くときに大変苦勞するところです。子供たちが説明文を読んで正しくイメージ出来たかどうか、大きなポイントです。

これまでにこの教科書をお使いになった小学校の先生方と直接お話をする機会を何回か持っています。また、国語の時間に、子供たちに感想文の形で書かせて、著者である私あてに送るということを授業の一環として取り上げている学校がありまして、時折、子供たちからそういう感想文を受け取っています。北は北海道から南は長崎まで、これまでに数百通に上っています。そのような感想文から推察する限り、また、小学校の先生から直接お聞きする限り、子供たちは、幸いなことにマイクロマシンのイメージを的確にとらえていると断言出来ます。気がかりであった予備的な知識を、子供たちはどこで得ていたかということが、私にとっては興味深いのですが、いろいろ考えてみますと、それはロボットではないかと思います。子供はロボットの仕組みについては、玩具を通じて良く理解しています。未来のロボットに関しても、アニメーションなどを通じて、その仕組みとか動きとかを良く知っていて、ロボットの知識は十分あります。そういうものがベースになっているのではないかと思います。マイクロマシンは簡単にいえば、現在の知能ロボットをマイクロ化し、指先サイズにしたものだと思いますが、子供たちは既に持っている普通サイズのロボットを、私の文章につられて頭の中で縮小化するということがいとも簡単にできているのではないかと思います。イメージの中で、大きな物を縮小化するということは子供たちにとってそんなに難しいことではないというのが、私の仮説ですが、そんなにはずれてはいないと思います。ロボットの助けがあって、私のような素人の説明文でも子供たちは正しく理解してくれたのだと思います。

その説明文に対する感想文のうちの一部をご紹介します。

ここにお見せする例は、これは私の狙いでもあったわけですが、「私も将来、出来たらマイクロマシンの研究をしようと思います。私が研究を始めるときまで、中島先生がんばって下さい」ということを書いています。

「マイクロマシンの夢」は、10ページ足らずの小文ですが、小学校ではこれを20時間をかけて勉強させているのだそうです。丹念に読むようです。その授業の中で感想文を書くような時間を作ってい

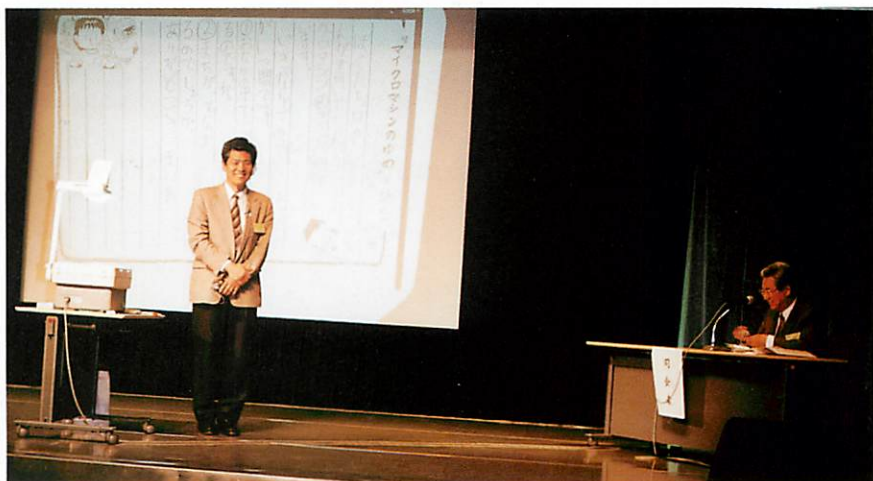
るのだと思います。子供たちはいろいろな観点からマイクロマシンに、また、著者に対しても関心を持つようですが、ここにお見せる子供の感想文では、「なぜ私がマイクロマシンの研究に携わったか」に関心があるようで、例えば、「奥さんの部屋の掃除が大変ねという言葉」に私が刺激されたのかどうかということを問いかけています。これは、子供が「中島さん頑張っていますね」というタイトルで書いた感想文でして、「頑張って元気にマイクロマシンの研究をしていますか。今、私たち4年生は頑張っています。」と言っています。子供たちの文章には、「頑張って」と言う言葉がよく現れます。「頑張って」という言葉が4年生にとって重要な言葉のようです。この理由として、親から常に言われているのではないかと、先生からも言われているのではないかと、仲間同士でも言い合っているのではないかと気がします。

この子は「マイクロマシンの夢」を勉強して大変関心を持ったようです。この感想文には、最後の方に大変重要なことが書かれています。「まだ研究段階であると言うことを知って大変がっかりした。」と。これは逆の見方をしますと、「私達の研究に大変期待している」、「私達が成果を上げることを大変期待している」と言うことでしょう。素直に、今すぐにもマイクロマシンが欲しいと言うことを訴えているのです。

この男の子は、「おなかの中で故障したらどうなるのでしょうか」、あるいは、「おなかの中で、間違えて治療してしまったらどうなるのでしょうか」と質問しています。実は、他にも、故障に関する質問を沢山受けています。一般的に筋道の立った感想文を書いていますし、マイクロマシンに対して関心が高く、また、私たちの夢を託せる後継者が出現していると思うと、大変、嬉しいのですが、故障のことに多くの子供が共通して関心を持っているということが、ちょっと気になります。というのは、例えば、ライト兄弟の子供の頃、この教科書があって、その兄弟が読んだとしたら、マイクロマシンの故障のことまで考えたかどうか、おそらく考えなかったのではないかと思います。ジェームスワットにしてもトーマス・エジソンにしても、そのようなことよりも、もっと夢をふくらますようなことを考えたのではないかと思います。私自身の子供の時のことを振り返って見ても、私の友達の小学生時代を振り返ってみても、多分、そういう発想はなかったのではないかと思います。そういうところから、ちょっと気になるのです。つまり、技術開発とか技術の創造活動に対して、子供たちが保守的になっていないかどうか、冒険して失敗することを恐れて、チャレンジ精神を喪失していないかどうか、その点が少し気になること

ろです。しかし、一方、今の子供たちは、私の子供の頃と比べて、近視眼的には物事を見ていないようです。環境に与える影響とか、社会との関係とかにまで広げて技術を見ています。だからこそ余裕があって故障のことまで考えが及ぶのではないかと考えますと、むしろ楽観的に評価できます。そのいずれであるか、いや、両面を持っているのかもしれませんが。そこでこのようなことから、工学教育の在り方について考えてみますと、私たちが学校に通っていた頃の教育の仕方とこれからの教育の仕方とは、少しウェイトを変える必要があるのではないかと思います。創造的な活動には、細心さと大胆さの二つが大事であるとともに、その二つのバランスが重要であると思います。細心というのは、慎重であることとか、緻密であることとか、注意深いこととかに結びつきますが、私たちの教育は、緻密であることに非常な力点が置かれたのではないかと考えます。現在、私共の工学部は21の学科に分かれています。が、学科が細分化されていることも緻密さを追求する教育の一つの現れではないかと推察しています。最近の子供たちは、既に十分、細心であり、緻密さを受け入れる素地があります。従って、これからは大胆さに大いに力を入れる必要があるのではないかと、冒険をさせることに工学教育は力を入れる必要があるのではないかと考える次第です。

子供たちとの出会いを通じて、このような感想を得ました。子供たちはマイクロマシンに対する夢を沢山持っていて、その実現を大変期待しています。私も、子供たちが研究を始めるまでは頑張りたいと思いますが、皆様方も、是非、ご健闘頂くとともに、マイクロマシンの研究にご支援を賜ればと思っています。どうもありがとうございました。



生物とマイクロマシンの出会い

筑波大学 講師 神崎 亮平

筑波大学の神崎でございます。

さて、この世の中には沢山の生き物が生活しています。どれくらいの種の生物ががこの世の中に生活しているかご存じでしょうか。大体数百万種です。驚くべきことにそのうちの約8割が昆虫です。数で言うと180万種以上が昆虫であると言われてます。昆虫は、皆さんがご存じのように、小さなサイズで自由に空中を飛び、また6足歩行をしています。ここで皆さんに昆虫が生きている小さな世界に紛れ込んで頂きたいと思います。もし、このような世界に入ったとすると、今まで小さな石ころであったものが、我々にとっては巨大な岩になるわけです。ところが、ここに示すアリは、いともたやすくこのように岩を登って行きます。また、空中ではハエがアクロバティックな飛翔をしているということが多分見られることでしょう。さらにアクロバティックな飛翔をしているハエを空中で捕まえるトンボなどに遭遇するかもしれません。このように昆虫たちは小さなサイズで、小さな世界で、勿論、力関係はいろいろありますが、非常にダイナミックな行動を日々、繰り返しています。このような昆虫の世界には、非常に興味があります。彼らは小さな世界で数々の優れたことをやっています。そこには、様々な環境下で生き延びる知恵があります。そういうことを、もし我々が知ることが出来るなら、非常に嬉しいことです。

さらに昆虫は、私たちと同じように、五感を持っています。環境下の臭い、風などの機械的な感覚、さらには、音、光、味などという様々なものを検知するセンサーを持っています。そして、時々刻々変化する環境情報を彼らは適切にキャッチして、その環境に最も適した行動を、即、発現することができます。さらに面白いのは、こういった行動が、実は、この小さな昆虫の中にあるさらに小さな脳神経系によって指令制御されているということです。ご存じのように我々には脳がありますが、昆虫にも脳があります。このような昆虫の脳や人間の脳は、ニューロンというものによって構成されています。ニューロンは、昆虫の脳であらうが、人間の脳であらうが基本的には同じものです。ところがその構成のされ方と数が随分違います。昆虫の場合は、10の4乗個から6乗個、大体「万」のオーダーです。それに対して人間の脳の場合は、約100億個です。昆虫は昆虫に適した環境下において、今、お話ししてきたような優れた行動機能を持っています。

もう一点、非常に興味のある点を昆虫の例でお示しますと、昆虫は今から約4億年前にこの地球上に現れました。ここに示すのは、約1億5千万年前のトンボの化石です。これはキリギリス、これはアブです。これは甲虫の仲間です。このように我々が何億年も前の化石を見てもトンボであるとか、キリギリスであるとかがすぐ分かってしまいます。これは、どういうことかということ、それくらい古い時代から彼らはあまり姿、形を変えていないのです。いわゆる、形態的、構造的なものをあまり変化させる必要がなかったのでしょう。勿論その間には、様々な環境変化があったはずですが、しかし、彼らはあまり変えなかったということがわか

ります。ゴキブリを例に取り、お話ししますと、ゴキブリは約2億5千万年前にこの地球上に現れました。そして、現在でもゴキブリはゴキブリです。勿論その間、環境は大きく変わり、ある種の生物は出現しては滅びたわけですが、ところが彼らは生き延びました。これはどういうことを意味しているかということ、おそらくは、例えばゴキブリであれば、かなり古い時代に環境に適応できるような完成された構造と機能を備えていたのではないかということが言えるわけです。環境に適応できるこのような昆虫の仕組みを我々が科学の目で分析することが出来、工学的に再構成して、例えば、昆虫サイズの環境に適応出来る小さなロボットをもし作ることが出来たらどうでしょう。これは非常に大きな夢です。

そこで、私は、どのようにして昆虫は、このような環境情報を処理して、行動発現に至るのだろうかという例を、昆虫の「ガ」を使って、お示します。これは、「カイコガ」です。絹を作る蚕です。これは触覚で、臭いを嗅ぐ鼻に相当します。メスは尻からフェロモンというオスを興奮させる臭い物質を空气中に放出します。オスがそれを鼻で嗅ぎますと、このようにメスを探索するわけです。皆さんは「ファブルの昆虫記」をご存じだと思いますが、そこには数キロにもわたってオスがメスを探しだすということが書かれています。では、彼らはどのような仕組みでこういう臭いを探索するのでしょうか。ここで、私たちが臭い源を探索するときのことを思い起こして頂きたい。例えば、暗闇の中でガス漏れがしている。では、どうやって探すだろうか。私たちは、臭いを嗅いでその臭いを覚えておいて、次に嗅いだときに先ほどより濃いか薄いか、もし濃ければ、こっちかなというように判断するのではないのでしょうか。そういうことを繰り返すことによって臭い源を探索するのだと思います。しかし、皆さんは経験でおわかりだとおもいますが、この方法では多分、臭い源を探し出すことは出来ません。ところが、昆虫は、今、お話ししたように数キロにわたって、その臭いを頼りに飛んでくるわけです。

では、昆虫はどうやっているのだろうか。これはどういうようにするのだろうか。人間と同じように記憶をベースにして、常に比較しながら臭いを探索するようなことをするのでしょうか。昆虫はそんなことはしていないと思います。なぜかという昆虫の脳神経系は数が非常に少ないからです。少ないが故に記憶学習という高次な機能を彼らはなかなか持ちにくいのです。それに対して我々の巨大な脳であれば、そういうことが出来ますから、おのずとそのような戦略的なことで、また、情報処理のレベルでも変わってくると思います。小さな世界で活躍する昆虫たちには、独自に持ったユニークな戦略とそれを指令制御するような仕組みがあるはずですが、これに関して重要なことが1980年代に議論されました。いったい臭いというのは、空气中にどのように分布しているのだろうか。ちょっと想像してみるとイメージとしては、臭いは、連続的に存在していて、臭い源が濃くてだんだん薄くなるという分布をしていると皆さんはお考えになると

と思いますが、実際の環境下においては、そういうようには存在していません。このOHPに示すように不連続に存在しています。

従って、メスがフェロモンを空气中に放出しても、オスがそれを連続的にキャッチするのではなくて、パルス的に、これをフィラメントと呼びますが、フィラメントをパルス的に、ある頻度に変化する時系列のパターンとして識別するということになるのです。こういったパターンが、彼らにとって極めて重要な臭い源探索のキーになっているということが分かってきました。実際にこのような様々な頻度パターンにおいて行動実験を昆虫を使って行ってみますと、臭い源探索には二つの重要なルールがあることが分かってきました。その一つは、臭い刺激が空气中に存在していますと、それを一瞬、フィラメントにヒットします。そうすると中枢神経系にはプログラム化されたネットワークがあり、それが行動を連続的に起こします。いわゆる、プログラム化された行動パターンです。それは、例えば、触覚に刺激が一瞬でも加わると、彼らは、その刺激が来た方向に一瞬動きます。臭いは、フィラメント上では、パルスのですから、次の瞬間にはもう存在しません。ところがプログラム化されていますので、その行動は続行されます。そして、右左、右左とジグザグ蛇行して最終的に、くるっと回ったりするパターンを引き起こすということが分かってきました。そしてこのジグザグは、回転ターンごとに有意に大きくなることもわかっています。そして、もう一つ面白いことは、このパターンというのは、刺激がくる度にリセットされて、プログラムは再スタートするのです。その結果として、例えば、刺激によって右や左に動き、また、刺激によって小さなターンから大きなターンを繰り返すというようなルールがあることが分かって来ました。例えば、様々な頻度で存在するフィラメントの空間の中を昆虫はどのように歩くかという、このように頻度が高くなればなるほど、プログラムがリセットされ再スタートするわけです。そうすると直進的な方向と小さなターンとがおのずと必然的に繰り返され、見かけ上、ほとんど直線的に歩行することになります。それに対して頻度が減れば減るほど、このOHPに示すように複雑なパターンになります。このように昆虫の臭い源探索は、複雑な記憶や学習機構をほとんど必要とせず、単純にプログラム化された行動とそのリセットを繰り返すことで発現するということが分かってきました。

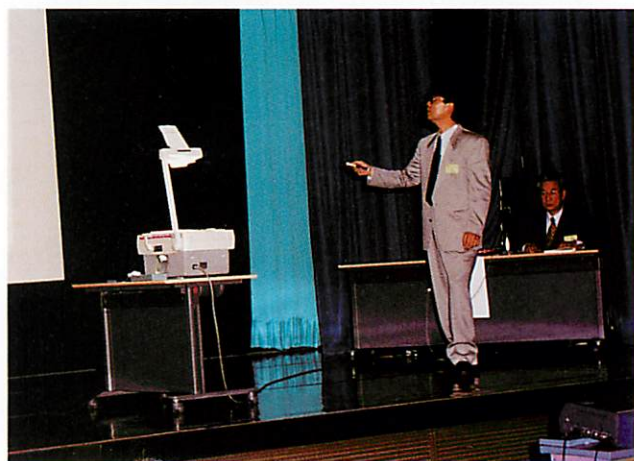
このような機構は勿論、脳の中にある神経の回路網によって形成されます。その回路網に関して、今は、ほぼ解明されています。昆虫は、頭部、胸部、腹部の三つの体節から構成されていますが、これは頭にある脳です。これは胸部にある脳です。昆虫の場合は分散脳といわれ、脳が持つ機能はそれぞれ違うのです。胸部の脳は歩いたり飛んだりするすべての運動機能を司っています。従って脳では、「右に曲がりなさい」、「左に曲がりなさい」という信号を送るだけです。その信号は、脳から左右に分かれた2本のチューブ状の神経で送られます。この左右の神経の状態をそれぞれ記録すると、興奮していない状態、興奮している状態、興奮していない状態というように、興奮していない状態の時、刺激が加わると興奮してその状態が保持され、興奮していると刺激によって興奮が抑えられ保持されるという、いわゆるフリップフロップ的な状態になり

ます。昆虫の脳にはこのような機構があるのです。それで左右を比較すると、まさに反転した、いわゆるT型のフリップフロップと同様なものが脳内で形成され、これによって、臭い源探索が指令されているということが分かってきました。

では、こういう回路が脳の中でどのように作られるのか、興味が湧くところです。このOHPは、脳の断面を示したもので、識別しやすいように染色しています。昆虫は神経細胞数が少ないので、神経を1本1本追うことが出来ます。レーザ顕微鏡で丹念に見ると構造が三次元的に分かり、回路網がはっきりしてきます。このOHPに示す脳内のある領域を介してこのような回路網によってフリップフロップ的な情報が形成されます。このような経路が、実は8つのニューロンによって再現出来ることも分かって来ました。そこで実際に、昆虫と同程度の大きさの臭い探索用の移動ロボットを作り、今、お話しした制御、指令回路を組み込み、センサとして昆虫の本物の触覚を使ってジグザグ運動やターンの動きをするか確かめて見ました。その結果は、ここに示すように、実に見事に昆虫がやるのと同じようなパターンで臭い源探索をすることが出来ました。さらに現在では、このような神経回路網がかなり詳しく分かっています。自由に飛翔する昆虫に、ここに示すようなテレメトリ装置をつけることによって、飛んでいる昆虫からその生体情報をキャッチすることも出来るようになってきました。さらに受け取った情報を逆にそのテレメトリに返してやって神経系を刺激すると、昆虫を自由に制御することも近い将来、可能になってくると考えています。

今日、お話ししてきたことを簡単に纏めると、昆虫というのは非常に小さなサイズの生き物で、長い自然淘汰の中で耐え抜いて来ました。そして、現在、様々な環境に適応した多種多様な生き物として存在しています。その結果として神経系は非常に単純で、基本的にはプログラム化された行動しか出来ない生物ですが、環境とのインタラクションを非常に重要視することによって、まるで知能があるかのように、そして、判断基準に基づいたような行動パターンが出来ています。将来、環境に適応した非常に小さな世界で活躍するロボットを造るのであれば、昆虫は非常に優れたモデルになってくるだろうと思います。

我々はそういうように信じているわけです。ありがとうございました。



折り紙とマイクロマシンの出会い

京都インターナショナルユニバーシティ 副学長 桃谷 好英

ご紹介頂きました桃谷でございます。

折り紙というものに馴染みの少ない方もおられると思いますので、先にカラスライドで折り紙をお見せしましょう。

ここに示すのは、約200年くらい昔に、開発された折り紙です。右端のものは、日本の方には馴染みのある「やっこ」です。真ん中の赤いのが「鶴」で、左端は「あやめ」です。もう一つお見せします。これもやはり200年程前のものです。これは「猿」が真ん中にいます。後ろには、昔のいろいろな人々の姿が示されています。例えば、こんなところで踊っている人がいますが、このような精密なものを約200年前に作っています。ところが、その後、折り紙は、小学校教育の中に取り込まれて、その中で非常に簡単に折れるような、そして、どちらかと言えば、「折り紙って、なんや、こんな格好のものしかできないのか」という程、稚拙な感じのものしか出来なくなっていました。

そこで、きょうは、今の新しい折り紙をお見せしようと思います。ここに、皆様お馴染みの恐竜がいます。右側はゴジラのつもりです。先ほどの講演で、虫についてのお話がありましたが、折角、虫のロボットを作って頂いたら、この折り紙の虫の中に仕込んで頂けたら面白いのではないかと思います。勿論、折り紙でも小さい物も作れますから。

次にお見せするのは、これです。一枚の紙を切らずに、このような複葉のプロペラ飛行機を折ることが出来ます。メカニカルな形のものも、実は出来るのです。

次のものは、サンタクロースです。こんな表情も折り紙でできます。

これは、本物の花ではありません。紙を折りましたら、まっすぐな線しか出来ないはずですが、実際にやってみますと、このように実物のような花も作ることもできるということを示す例です。

折り紙とマイクロマシンとの関わりですが、マイクロマシンを作るには、いくつかの条件があると思います。一つは、精密な立体的な構造を作らなくてはなりません。それで部品が出来たら、今度は、その部品を相互の位置関係をうまく精密に合わせて組み立てなくてはなりません。これが二つ目です。小さい部品を組み立てるとした時、精度が落ちたら困るわけで、部品がそのまま自分の

力で、形を作ってくれたら一番ありがたいのです。「Self-organization」と言ったら良いと思いますが、そういうものが欲しいのです。

私の専門は、生物学ですので、生物を例にとってお話ししましょう。

生物の体の中にある酵素は、アミノ酸という非常に小さな単位を一つにつないだだけの物質です。一つに繋がった物質のままでは、機能は持たないのですが、アミノ酸をつないだ物は、全く自分の力だけで立体構造を造って、一定の機能を持つという性質がありまして、折り紙でもそういうことが出来るかどうかと考えました。普通の常識では、折り紙は、手で折るものですが、「Self-organization」ということが実現出来ないかということを考えてみました。ですからマイクロマシンと関連付けるとしたら、一つは、立体構造、しかも小さいこと、二番目は、それをいかに組み立てるかということ、組み立てる途中で出来れば、自己組織化ということが起こって欲しいと言うことです。

ここで、実演をしてみようとおもいます。ごくありきたりのものを持ってきました。これは、皆さんよくご存じの「鶴」です。これをほどいてみます。ほどくのに多少、時間がかかりますが、このような一枚の平らな紙になりました。次に、よく見ていて下さい。はい、できました。(編集部注：一瞬のうちに、一枚の紙が立体的な折り紙の鶴になる)要するに一度筋をつけてありますと、このように一瞬のうちに形が形成されます。もう一回お見せしましょう。確かに、これは真四角な紙です。一枚の折り紙の端の一部分を持っているのですが、一瞬のうちに構造形成ができるわけです。しかし、これは折り紙が自分で形を作ったわけではなくて、私がほんの一部分を持って動かただけです。一ヶ所だけをわずかに動かただけで一瞬のうちに全体の形が出来るのです。これは、何か精密なものを組み立てようとするとき、大きな物の真ん中に造っておくと、その端をつかんで、わずかの力を加えると、その部分が必要な構造に組上がるということです。

もう少し別の物をお見せしましょう。これは、現在では、ほとんど絶滅してしまった技術ですが、このような普通の紙を細い円筒状に端からぐるぐる巻いて下さい。今からお見せするものには、「揉み紙」という名前があるものですが、ご覧下さい。

ここを指先で潰して、次に反対側を同じように潰して、次にこちら側を潰して、次にまた、ここを潰してというようにします。私は「揉み紙」の中では一番単純な方法をお見せしているところです。指先で潰して、このようにクチャクチャになったものですが、これを引き延ばしてみますと、六角形の繰り返し模様の綺麗なものが出現しています。こういう揉み紙は、実は、昔、京都で襖の模様に使われていたものです。

次にお見せするのは、折り紙と揉み紙の中間的なものです。これはいかにもシリコンのベースの上に単位を並べたように見えるかもしれませんが、これは実は、両端を持って引きますと広がります。そのまま戻しますと、再び元の形に戻ります。真ん中をさわる必要がありません。また揺すってやると元の構造に戻ります。もう一遍広げます。こういうことが実は、折り紙と揉み紙の両方を基にして進化させれば、このようなことが起こり得るわけです。これを、私は、繰り返し模様の折り紙と呼んでいるのですが、これを部分的に見ると、しっかりと立体的になっているのが分かります。可逆的に一枚の紙に戻るが、また、可逆的に立体構造を構成できます。機械の組み立てには計画された位置あわせが非常に大事ですが、このように位置合わせは何回やっても元の位置に戻ります。従って、薄いシリコンの板の上に、こういうパターンの折れ目だけを造っておいて、折るのではなくて計画的に薄いところを作っておいて、力を加えれば、瞬く間に立体構造が形成されるのではないかという希望的観測を持っています。

このような奇妙なものが、一応、折り紙でも再現できました。もっと複雑なものもありますので、スライドで見ていただこうと思います。

これは、アジサイの花です。実はこの花の集まりは、全体を一枚の紙で折ってあります。ただし、葉は別に折ってあります。

これは今から30年ほど前に作ったもので、花のように見えますけれどもフラクタルという構造になっています。つまり、相似形のものが、中へ無限に繋がって行くというものです。

これは、先ほどの繰り返し模様のように見えますが、レンガ状のものが、このように横に並んでいます。折り目を少しずつ変えていきますと、並び方が縦に変わって行きます。要するにエッシャの絵を真似てみたわけです。

これは、分子模型で、立体的な厚みを持ったDNA分子です。構造は二重螺旋になっています。DNAの分子の安定状態は、二重螺旋になっているときです。ですから、これは一枚の紙で折られています。

これも全体が一枚の紙です。タバコモザイクウイルスは拡大すると多分このような姿をしているのだと思います。この六角形の各部分が一個の蛋白質の分子で、これが螺旋状に多数並んでウイルスのRNA螺旋の外側を包んでいます。

これは細胞膜の模型です。この部分に脂質の膜があり、蛋白質で出来た穴があいているというそのようなモデルで、全体が一枚の紙でできています。

私は、マイクロマシンにとっても興味があり、このような分子模型を作り、生物学と化学を説明するようなことを現在やっております。

最後に「うさぎさん」が出てきました。これは、「不思議の国のアリス」の中の兎で、時計を持って走っているところです。

それでは、この辺でお話は終わりにさせていただきます。有り難うございました。



第9回マイクロマシン展開催される

第9回マイクロマシン展が、1998年10月28日～30日の3日間、東京・北の丸公園の科学技術館において、第4回国際マイクロマシンシンポジウムと併催する形で開催され、成功裏に閉幕しました。

出展者は、当センターとその賛助会員企業22社を含み、これまで最大の77の内外の企業・団体・大学・研究機関でした。この展示会では、マイクロマシンに関する最新技術や研究成果などが出展され、日本はもとよりアジア地域における最大規模のマイクロマシン技術の専門展示会として、年々規模、内容とも充実してきています。

今回は特に、専門家のみならず広く一般の方々にもマイクロマシンに親しんでいただけるよう「マイクロマシンが創る健康と医療の未来」と題した当センター独自のテーマ展示会場を新たに設けました。ここでは、賛助会員企業9社のご協力により、「低侵襲診断治療」「健康・在宅医療」「ライフサポートシステム」の3つのゾーン別に、誰もが関心のある“健康”と“医療”が、マイクロマシンによって今後どのように創造されていくかを、模型やダミーなどで見ることができました。

一般展示の主な出展品目は、マイクロマシン、そのコンポーネント及び応用システム、MEMS関連システム、分子機械関連技術、マイクロマシン製造関連機器・材料、マイクロマシン評価技術・機器などで、機械・精密機械、電機・電子、医療、情報通信、自動車・輸送、生物、物理、化学、建築、鉄鋼、航空宇宙、船舶・海洋などのあらゆる産業分野において、研究開発、技術、設計、生産・製造、経営・管理に携わる方々のための専門展示会となっています。

マイクロマシンの研究開発に係わる企業にとっては、技術、装置、製品をPRするための機会、大学や

研究機関等にとっては、研究成果の発表の機会、また、新規参入の企業にとっては、製品・技術の発表のための絶好の機会となっています。

また、展示会が報道でも取り上げられ、初日の10月28日朝NHKニュース番組「おはよう日本」で、7時45分から約4分間にわたってマイクロマシン展が生中継で放送されました。産技プロジェクトの内容、将来の応用可能性について簡潔ではありましたが、明解に説明されるとともに、成果の一部も紹介されました。紹介されたのは、安川電機(株)のマイクロサーボモータと三菱電機(株)と松下技研(株)が共同で開発している細管群外部検査用マイクロマシンです。マイクロサーボモータは、ルーレットに組み込まれ、見事指定した位置で停止し、細管群外部検査用マイクロマシンは、自重の2倍ある1円硬貨を力強く押すのが中継されました。正確な動作、けなげな働きを多くの視聴者に印象付けたことは間違いありません。

3日間の入場者は、これまで最高の約3,900名となりました。多くの人が時間をかけて熱心に展示を見学したり、質問していたため、会場は大変な熱気と混雑でした。

次回第10回マイクロマシン展の開催予定

会期：1999年10月27日（水）～29日（金）

会場：科学技術館／東京・北の丸公園

問い合わせ先：MESAGOジャパン(株)

TEL:03-3359-0894

FAX:03-3359-9328

E-mail:KYP03300@nifty.ne.jp

URL:<http://www.mesago-jp.com>



内外の見学者で賑わう会場



テーマ展示会場風景

平成9年度「マイクロマシンの基礎技術の研究」その2

(財)マイクロマシンセンターでは多様なマイクロシステムの構築に必要な理工学を始めとする技術シーズの探索によって基礎技術の強化を図るために学、官、産共同で平成4年度から種々の技術シーズを調査テーマとして取り上げてきました。平成9年度には8テーマについて調査研究を行ってきましたが、前号に引き続き残りの4テーマの報告要旨をここに掲載いたします。

生物における群制御と信号伝達に関する調査研究

筑波大学生物科学系 講師 神崎 亮平

生物、なかでも昆虫のようなスケールの小さい生物は、個々のレベルで行うことのできる行動機能は反射や定型の行動といわれるように比較的単純なものです1, 2)。しかし、ミツバチ・アリなどの社会性昆虫ではグループ内の個々のコミュニケーションや役割分担などにより、個体では到底達し得ない機能を発現し、高度な社会組織を形成します3)。

生物は自然選択を受けて進化をとげてきたと考えられ3)、その構造や機能は寸法に適したものと いえます4)。昆虫の信号伝達の仕組みやそれによって形成される群構造は、マイクロマシンの設計・制御にも活かすことができるはずです。

昆虫はわれわれ高等脊椎動物と同様に外界の光、音、匂い、味、触の五感を感知できます。感覚情報はまず感覚器官で受容され、脳・神経系で統合処理され、運動系を制御することによって昆虫の行動を解発します。昆虫では脳をはじめとした神経系を構成する全ニューロン数の実に9割以上が感覚ニューロンです。これはコミュニケーションを確立する上で昆虫の感覚器官が重要な役割を果たすことを意味します1)。

社会性昆虫であるミツバチはそのコロニー内において、音や振動などによって「個から個への一方通行」の情報伝達から、採餌ダンスに代表される「個から少数」、「個から多数」、「個から個への連鎖」、「全構成員間での双方向」の情報伝達と実に様々な型のコミュニケーションを行っています。

さらに、ミツバチは同一の個体であっても加齢により、巣部屋の掃除、幼虫の育児、女王の世話、餌の貯蔵、巣の増改築、巣の清掃、門番、餌の採集など分業といわれる異なる社会的役割を演じます。したがって、同じコミュニケーション情報でもミツバチの齢によってその意味が異なるのです。

ミツバチの社会構造(群、コロニー)は、一見非常に均質で規則的な信号により制御されているようにも見受けられますが、生物は常にその信号に冗長性・ルーズ性を持たせることにより適応選択を許容する基盤を備えています。昆虫とマイクロマシンとの最大の相違は自己増殖性と自然淘汰による機能の進化といえます。科学技術は無駄を少なくすること

を目的とするため、ロボットに備わる均質性は、個体変異の自然淘汰による適応進化とは相入れません。昆虫の環境に対する柔軟性は詰まるところ行動を司令・制御する脳神経系の機能によるところが大きいわけです。しかし、現状の生物型自律システムで、生物の内部状態までも取り入れられたものはほとんど見あたりません。

昆虫の脳機能の研究は現在精力的に行われ、一部では脳機能をモデル化し、小型ロボットを制御する研究も進んでいます。昆虫の内部機構や幾何学的構造を規範としたマイクロマシンの研究はまだ始まったばかりです。現在はまさにその黎明期であり、このような研究成果がマイクロマシンやその群構造の設計・制御に活用されることが期待されます。



良い蜜源を見つけて帰ったセイヨウミツバチが踊る採餌ダンス。ダンサーは250Hzの信号音を出しながら、さらに尻振り動作を加えながら踊り、フォロアー触角をかざすようにして情報を聞き取っている。

(参考文献)

- 1) 神崎亮平著、茂利勝彦絵、梅谷献二編：昆虫ロボットの夢、農文協(1998)
- 2) Alcock J.: Animal Behavior (5th Edition), Sinauer (1993)
- 3) Futuyma D.J.: Evolutionary Biology (2nd Edition), Sinauer (1986)
- 4) Schmidt-Nielsen K: スケーリング：動物設計論(下澤 樞夫他訳)、コロナ社(1994)
- 5) 梅谷献二編：昆虫産業、農林水産技術情報協会(1997)

微粒子組立による3次元マイクロ構造物製作手法に関する調査研究

東京大学先端科学技術研究センター 教授 佐藤 知正

微粒子を材料とした構造物製作手法は、セラミクスなど古くから広く用いられている技術です。それにも関わらず、マイクロ構造物の製作手法としてはこれまでほとんど用いられていません。

本調査研究では、リソグラフィや機械加工などのいわゆるマイクロマシニングによってではなく、結晶成長や溶融・凝固によって自然に成長または成形された粒子を機械構造物の部品として用いる微粒子組立技術のマイクロ領域への適用の可能性を考察し、解決すべき問題点を明らかにしました。

微粒子による構造物製作手法は、形状の作られ方に着目すると、(1) 金型による幾何学的拘束を用いる成形技術（セラミクスの型成形やスクリーン印刷、ノズルからの吐出成形など）、(2) パターン状の付着要因による拘束を用いる技術（コピーの原理を利用した技術）、(3) 1個1個の微粒子を人工的に組み立てる技術（本稿で対象とする微粒子組立技術）、(4) 自己組織的に構造物を成長させる技術（結晶成長のような方法）に大別できます。微粒子組立技術はこの中で、他の手法に比べて微小な構造物を、粒子1個1個の精度で設計通りに製作できるという大きな特徴を持っています。その反面、大量生産には現状では適していないので、この方法でしか作れないような極めて特殊な機能素子の製作に用いられると考えられます。

微粒子組立技術をさらに分類すると、レーザ光の放射圧による非接触マニピュレーションを用いる方法と、各種顕微鏡下での接触マニピュレーションを用いる方法とがあります。これらの手法はいずれもまだ研究段階で、実際の製作技術として用いられるには至っていません。これらのうち、実際に機能を持った素子を作るには、光学顕微鏡下あるいは電子顕微鏡下での接触マニピュレーションが現実的と思われます。それぞれに得意な対象物の大きさが異なり、粒子の寸法が数 μm 以上なら光学顕微鏡下、それ以下なら電子顕微鏡下、と使い分けられるものと考えられます。

微粒子組立は、必要な分解能を持った顕微鏡とマニピュレータが揃えばすぐに実現するものではありません。すでにこれらの個々の技術は微粒子の観察

や組立に十分な性能に到達しています。目的の微粒子をいかにして拾い上げ、右から左に動かし、目的の位置に正確に置くか、という一見とてもつまらないことが現在の重要な研究課題となっているのです。

物体の大きさが小さくなっていくと、物体に働く重力は大きさの3乗に比例して急激に小さくなっていきます。それに対して、静電気の力や分子どうしが互いに引き合う力など、通常はまったく気にする必要のない力が支配的になっていきます。微粒子はこのような力のために他の物体に付着しようとする傾向があります。ところが、この付着現象のメカニズムはまだよく明らかになっていないために、どのように操作すれば目的の通りに微粒子を再現性よく持ち上げたり置いたりできるのかがわかっていません。精密に作られたピンセットで微粒子をうまくつまめたとしても、いざこれを置こうと思うと、ピンセットにくっついて離れてくれないのです。これまでに付着力を説明する様々な理論が構築されていますが、これらは限られた理想的な状況においてのみ適用可能なもので、実際の微粒子組立環境下ではほとんど適用できないことがこれまでの研究で明らかになっています。微粒子組立技術の確立のために必要なことは、もはやマニピュレーションシステムの開発ではなく、現実起こっている微粒子の付着現象の解明、および力学の制御技術の確立にあるのです。

私達は、電子顕微鏡下での微粒子組立における微粒子の付着現象を、付着力を1 nNの分解能で実測することにより系統的に調べています。これまでに、電子顕微鏡下では予想通り静電力が支配的であること、この力はちょっとした表面の凹凸の違いによって大きく変化すること、接触している界面の（おそらく原子レベルの）なじみによって、付着力は時間とともに増大していくことなどが明らかになっています。現実にはこのように従来の理論では考慮されていない複雑な要因や現象が絡み合っているようです。

こうした現象の理解を基礎にして微粒子のマニピュレーション技術が確立されれば、微粒子組立は他のマイクロマシニング技術の相補的な技術として、重要な役割を果たすようになるでしょう。

化学分析／センサー技術(μTAS)に関する調査研究

早稲田大学理工学部 教授 庄子 習一

最近、欧米を中心にマイクロマシン技術を応用して化学分析システムを小型化したMicro Total Analysis System(μTAS)の研究が盛んに行なわれております。μTASの概念は一例を図に示すようにサンプルインジェクタ(試料導入機構)やキャリア、サンプルの流れを制御するポンプおよび試薬との混合／反応器、成分分離カラム、センサなどからなるシステムを集積化したものです。小型化とともにサンプルや試薬の量の低減、分析の高速化などがμTASの利点です。当初は、すべての要素をウエハレベルで集積化して作るモノリシック型のシステムも提案されましたが、現在は独立した要素をOリングなどを介して接続するハイブリッド型のシステムが実用的と考えられています。一方、μTASのすべての要素をマイクロ化することによっても十分利点があることが報告されております。サンプルと試薬の混合部や分析セルをマイクロマシンニングにより形成し、ポンプなどその他の要素は出来る限り小型のものを使用することにより、電池駆動が可能な小型の化学分析システムが実現されています。

分析化学の分野では、最近、高速液体クロマトグラフィ(HPLC)よりも分離効率が格段に優れたキャピラリー電気泳動(CE)という新しい手法が注目されています。従来のガラスキャピラリーの代わりにマイクロマシン技術を用いてガラスやシリコン基板上に流路を形成したタイプの分析システムが盛んに研究されるようになって来ております。このシステムでは電気浸透現象を利用して送液を行うため、機械的なポンプやバルブを必要とすることなく、電圧を印加することで容易に流体を制御することが可能という利点を持っています。

マイクロポンプやマイクロバルブなどの流体制御素子は様々なタイプのアクチュエータを用いたものが開発され、現在、実用化に向けた研究が進められています。また、非機械式のものでは電気浸透現象や表面張力の変化を利用したものなどが検討されています。

マイクロマシン技術は微小流路の形成やマイクロポンプ、マイクロバルブの製作に広く用いられています。また、マイクロセンサの集積化やμTASの組み立てにも応用されています。

米国を中心にDNA分析を対象としたμTAS研究が

盛んになっていますが、この背景にはDNAの増幅方法であるPolymerase Chain Reaction:PCRの確立があります。マイクロマシン技術を用いて熱容量の小さいマイクロ反応チャンバを作ると高速で効率の良いDNA増幅が可能となります。この分野の研究としては電気泳動で分離を行なった後、レーザ光励起による蛍光分析行なうシステムの報告例が多く、電気泳動チャンネルを並列に多数形成して同時多重検出による高速化、高効率化する研究がなされています。また、組み合わせの異なる単鎖のDNAプローブを基板上に形成したDNAチップを用いたDNA分析システムが注目されています。その他、マイクロマシン技術の生物学への応用も盛んで、小さいスケールと高空間分解能、多要素の集積化・並列化、メカトロ技術との融合による操作性の向上などのメリットを生かした研究がなされています。

今後、マイクロマシン分野の研究者と分析化学、薬学、医学など分野の研究者が連携を深めることにより、さらに高機能で実用的なμTASの開発が期待されます。

参考文献

庄子習一：電子情報通信学会論文誌，Vol. J.81-C-I,II, No.7 (1998) 385-393

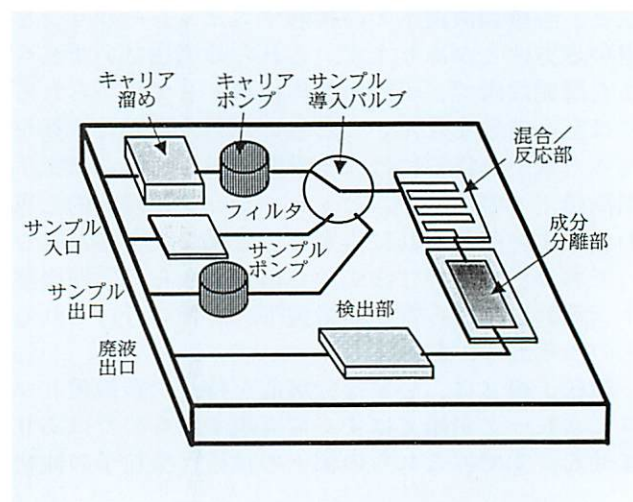


図. μTASの概念図

Fig. Schematic of a μTAS

分子機械のマイクロマシンとしての利用性に関する調査研究

東京工業大学生命理工学部 教授 藤平 正道

本研究部会の与えられた調査内容は(1)生物における細胞および遺伝子における分子機械性のサーベイ、(2)分子機械のマイクロマシンとしての利用性の調査であった。その後研究部会のメンバー間の討論を経て、「調査内容を生物における細胞、蛋白、遺伝子レベルでの分子機械性のサーベイ」と改めて調査することにした。特に蛋白を追加した理由は、生物におけるエネルギー変換で重要な役割を果たしているF1-ATPaseの回転運動を東京工業大学の吉田賢右教授と慶応義塾大学の木下彦彦教授のグループが共同研究で直接観察することに成功し、ネーチャー誌[1]に報告したことを知ったからである。

メンバーの専門性から、赤池が主として細胞、藤平・山本が蛋白、半田が遺伝子の分子機械性を調査することにした。勿論、藤平・山本、赤池、半田のメンバー間で密に連絡をとることを心がけた。しかしながら、いずれのテーマもそれ自体で膨大な知識体系であり、短時間で全てを網羅することはとても無理と考え、むしろ各責任者がそれぞれの立場から研究会をセミナーの形式で開催し、討論することとした。

(1) 細胞レベルでの分子機械性のサーベイ

細胞生物学とマイクロマシンとの接点は、実は多面的で奥深く、そして極めて未来への可能性の高いものである。

一つには人体ならびにその構成要素である細胞、臓器の構造や機能の解析手段としての各種機器(内視鏡、MRI)は、近年医療やバイオテクノロジーの発展により、急速に精緻化・高性能化の度合を強めており、そのマシンシステムとコンポーネントあるいはそれらのパートナーとしての診断・治療剤は微細化の傾向を深めている。すなわち、マイクロマシン技術の進歩により生体計測と生体操作の発展が支えられているのである。かつて小説・映画の世界でのフィクションとしてしか考えられなかった「ミクロの決死圏」のデバイスや機器は、着実に実用化への可能性を強めていると言えよう。

さて、このような視点から高分子材料・半導体金属・セラミックス等々の人工材料と細胞や臓器・組織との界面相互作用に基づく、生体応答(細胞のシグナル応答等)に焦点を当てた研究は重要度を高めている。ここでは、動的のみならず、静的相互作用場に分けて細胞応答を解析するアプローチについて、検討した。

細胞生物学とマイクロマシンとの接点を語る上でもう一つ重要なコンセプトは、様々な産業分野に有用なマイクロマシンを設計する上で、生体組織が大変すばらしい設計論の見本を提供してくれることである。すなわち、様々な臓器・細胞・細胞内システムは、その生体分子で構成されているハードウェアやアーキテクチャーが高機能性あるいはインテリジェンスにあふれたマイクロマシンシステム設計をめざす際に大いに学ばべき、とてもよいモデルとなる可能性を秘めていることである。のみならず、臓器間、細胞間、細胞-マトリックス間さらには細胞内にわたってシグナルが伝えられていくメカニズムが近年、つぎつぎと解明されていくに伴い、そのアルゴリズム・ソフトウェアでさえ、インテリジェンスにあふれたマイクロマシンシステムをデザインする際のヒントやモデルを与えてくれるものとなりつつある。生体に学び、人工材料システム・機械システムを設計するアプローチは、バイオミメティクス(生体模倣工学)と呼ばれつつある。今や、ある側面においては生体システムを超えるアプローチも追求されており、スーパーバイオミメティクスという言葉さえ提唱されるに到っている。本編に詳述された5つの研究例は、前

述した「生体とマイクロマシンの相互作用を解析した世界的レベルのチャレンジ」であると同時に、ここで述べた「マイクロマシン設計のバイオミメティクスを推進するための見事なケーススタディ」を示している。

(2) 蛋白レベルでの分子機械性のサーベイ

生物でのエネルギー変換、とくにATP合成に関わる蛋白がイオンの濃度勾配とカップルする過程で蛋白の回転運動によりATPの合成・消費を行っていることは生物の機能発現の意外性と合理性の極みとも表現できることのように思われた。そこで、ここでは、特に、このような蛋白レベルでの分子機械性を探る研究手法に焦点を絞り、調査した。特にこのような蛋白レベルでの分子機械性を探る研究手法としては、蛍光分光法を初めとする光が関わる測定法が極めて有効である。そこで、近年、特にナノメートル領域での光計測、分光に関しては走査型近視野光学顕微鏡の発展の寄与が目覚ましく、この手法を研究調査のサブテーマとして取り上げることにした。

本編では、以上のコンセプトに基づき「蛋白とマイクロマシンの接点—その構造と機能の評価法としての走査型近視野光学顕微鏡」というテーマで、ネーチャー誌[1]に掲載された吉田賢右教授と木下彦彦教授らの共同研究のその後の進展の他に5つの研究例が詳述されている。

(3) 遺伝子レベルでの分子機械性のサーベイ

分子機械のマイクロマシンとして応用の可能性のある単一生体分子および複数の生体分子から成る機能性複合体をいくつか選択して、それらの基礎研究面での現状を把握し、マイクロマシンとしての利用性を調査した。この調査は「遺伝子研究の最先端—生物科学とマイクロマシンの接点を求めて—」を基盤としたものである。各専門分野において最先端で最も活躍している6つの具体的な研究例を選定し、詳しく調査した。

まず、調査対象として、機能性複合体である(1)「遺伝子DNAからRNA合成する転写マシンの活性制御」および(2)「DNA固定アフィニティーラテックス粒子の設計とその応用」を選択した。次に、単一の生体分子である、NO2の代謝に関与する酵素nitrite reductase (NiR)、リボザイム、アンチセンスRNA、高機能性人工進化tRNAを調査対象として選び、(3)「都市環境修復と植物遺伝子—排ガス利用パネル植栽の可能性—」、(4)「リボザイムの構造と遺伝子治療への応用」、(5)「アンチセンス核酸を用いた抗ウイルス活性」、(6)「tRNA工学」という題で、それらの基礎研究面での現状とマイクロマシンとしての利用性の検討を行った。これらの6テーマの調査が本編に詳述されている。

以上、3分野の調査を進めて、改めて生物における分子機械性の巧妙さに驚かされた。あまりにも精緻で、おそらくそのままこれらの構造と機能を直接マイクロマシンへと応用することは現時点ではかなりの困難さがあるように思えた。ただし、その主要な要素を整理すれば、概念的にも、また実際の材料設計にもすぐに役立つことが沢山あるのではないかという強い印象も持った。網羅性にははなはだ欠けていると思われるが、本研究資料がいくらかでもマイクロマシンの研究を目指している研究者の方々に役立てば幸いである。

参考文献

- [1] H. Noji, R. Yasuda, M. Yoshida, and K. Kinoshita, Jr., Nature, 386, 299-302 (1997).

株式会社 フジクラ

1. マイクロマシン技術への取り組み

近年、シリコンの三次元加工技術を活用したマイクロシステム化の研究開発が活発に行われております。当社ではこのような時代のニーズに対応するため、センサの高機能化や新たな適用分野の開拓に向けた研究開発を行っております。また、産技プロジェクトでは「マイクロ視覚」の実現に必要な要素技術の研究開発に取り組んでいます。

2. マイクロマシン技術の開発

産技プロジェクトでは、二つの要素技術の開発に取り組んできました。一つはCCD制御に必要な複数のICチップをベアチップのまま積層して三次元構造に実装するための接合技術であり、もう一つは、これらのチップ間でコンパクトに電気信号を送受するための貫通電極の形成技術です。

接合技術には、対象となるチップに造り込まれた回路機能を損なわないことが要求されます。

そのため、室温に近い温度で、しかも低い外圧（電磁界や加重等）で接合可能な水硝子接合技術を開発しました。これにより、接合面の残留応力を抑えて剥離や歪みのない信頼性の高い接合が可能となりました。一例として、図1に示すセルフパッケージ型赤外線マイクロセンサを水硝子接合を用いて製作し、耐環境加速試験を行った結果、6年のMTTFが得られました。

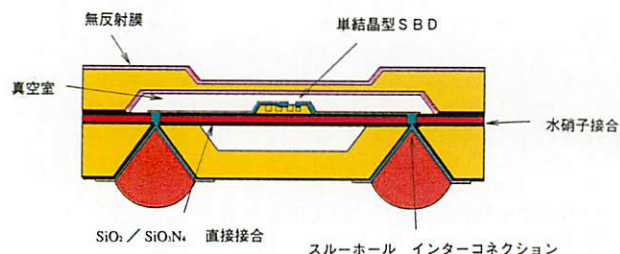


図1 セルフパッケージ型赤外線マイクロセンサ

また、もう一つの課題である貫通電極形成には、アスペクト比が100以上の貫通孔加工技術とその



常務取締役・研究開発部門長 稲田 浩一

孔に電極材料を充填する技術が必要となります。当社では安価で高アスペクト比加工が可能な光励起電解研磨法を貫通孔形成に適用し、検討を行いました。この技術では、シリコン基板にV溝を形成することで指定した場所だけを選択的に電気化学反応（電解研磨）を起こさせ貫通孔を形成することができますが、発生するガスの離脱や深細孔内の反応液循環を如何にスムーズにするかが技術上の課題でした。このため、電解液濃度や照射する光の波長を最適化したり、界面活性剤を使用した結果、孔の口径が $4.4\mu\text{m}$ で深さ（貫通孔の長さ）が $480\mu\text{m}$ の貫通孔（アスペクト比は109）を形成することができました。図2は、その断面をSEMで観測した結果です。



図2 貫通孔の断面SEM写真

3. 今後の取り組み

これまでの研究の成果により、良好な貫通孔を形成することが可能となりましたので、現在はこの孔に電極材料を充填する技術の開発を行っております。今後は、この技術を完成させるとともに、総合的に信頼性の高い貫通電極形成技術を確立して、産技プロの目標である「マイクロ視覚」の実現に貢献したいと考えております。

富士電機株式会社



常務取締役・総合研究所長 谷 恭夫

1. マイクロマシン技術への取り組み

半導体加工技術、微細機械加工技術を駆使した製品の代表的なものとしてセンサがあります。当社の製品の中でも自動車のエアバッグ作動用加速度センサ、プラントの監視用圧力センサ、微細な金属線をコイル状に成形したガス漏れセンサなど多くのセンサがあります。また、これらのセンサは犠牲層エッチングを利用した表面マイクロマシニング技術やシリコン基板上にセンサと回路を同時に組み込むインテリジェント化により、ますます小型、高性能化が図られています。

一方、センサと並ぶマイクロマシン技術の応用としてアクチュエータがありますが、初めてマイクロアクチュエータが出現した当初の衝撃の大きさに比べて、その後の発展は順調とは言えません。当社では産技プロジェクトを通じてこのアクチュエータの実用化への課題解決に向けて取り組んでいます。

2. マイクロマシン技術の開発

当社は産技プロジェクトの第一期はアクチュエータの微細化を目的として電磁および静電アクチュエータの研究を行ない、第二期では第一期で培った要素技術を応用した2次元搬送ユニットの研究に取り組んでいます。

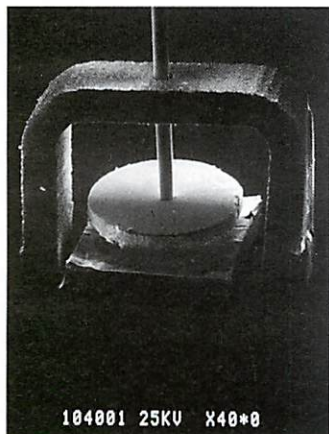


図1：マイクロ電磁アクチュエータ(回転子直径1mm)
Micro electromagnetic actuator (Rotor diameter : 1mm)

図1は第一期で試作した回転子直径がわずか1mmの電磁アクチュエータです。駆動原理は普通のモータと同じくコイル電流と永久磁石の間に働く電磁力

を利用しますが、微細構造のためコイルは薄膜コイル、永久磁石は希土類材料を使った薄膜磁石で作られています。このアクチュエータは無負荷状態で24,000r/mの高速回転を達成しました。

図2は第二期に研究中の2次元搬送ユニットのコイル部分を示しています。一辺の長さが1mm、厚さ約30 μ mの微小薄膜コイルが平板上に多数敷き詰められています。搬送キャリアは永久磁石製で、コイル電流との間の電磁力に引かれて平板上を移動しま

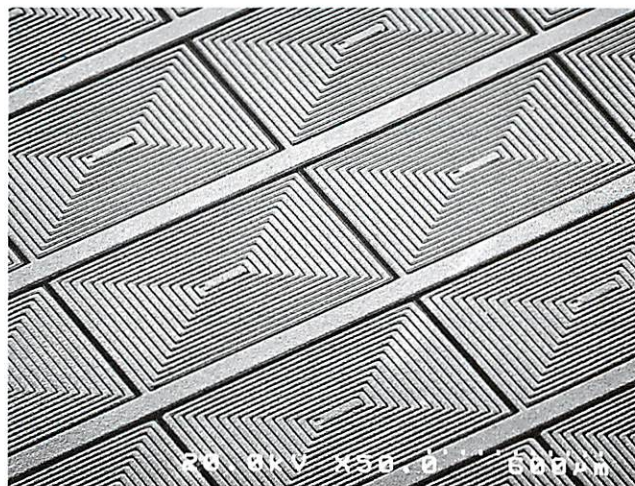


図2：2次元搬送ユニット（コイルの一辺1mm）

Two-dimensional micro conveyor (Side length of a coil : 1mm)

す。電流はコイル一個ごとに制御できるので、搬送キャリアは直進、斜行、反転などいろいろな動きが可能です。この搬送ユニットは製造装置の究極の小型化を狙った「マイクロファクトリー」の試作システムの中に置かれ、微小部品の搬送を通じてマイクロマシンの動作の実証を行なう予定です。

3. 今後の取り組み

マイクロマシン技術は多くの要素技術に支えられて成り立っています。当社も産技プロジェクトで培った薄膜形成技術や微細加工技術を生かして21世紀にふさわしいユニークな製品を生み出して行きたいと考えています。

MST 98ポツダムで開催

MST 98 (MICRO SYSTEM Technologies 98) カンファレンスが、12月1日(月)から12月3日(水)まで、ドイツポツダムのシーホテルにて開催されました。参加者は約300名ほどで、カンファレンス以外に展示会が併設されました。

登録発表件数は139件(下表参照)で、日本からは、東京工業大学、名古屋大学、京都大学(2件)、東北大学、足利工業大学から口頭4件、ポスター2件の発表が行われました。約2カ月後に MEMS99 がアメリカのフロリダで開催されるため、アメリカからの発表はプレナリーの1件のみでした。

初日の午前中は4つのチュートリアル(Microoptics, Modellong and Simulation, Metrology, Reliability of Packages)が同時並行で開催され、午後からオープニングトークが始まりました。主催者より挨拶の後、MSTの政策的な話がドイツ語で約10分間行われました。講演の中で日本企業名が数社出てきましたが、ドイツ語のため内容は理解できませんでした。

オープニングトークでは、カールスルーエ研究所(Prof. V. Saile)より L I G A プロセス (S O R 光利用) のビジネス戦略、九州工業大学(水垣教授)より日本のマイクロマシン技術の紹介、ニューシャテル大学(Prof. N. F. de Rooij)より MST のトレンド、ボッシュ社(Dr. J. Marek)より自動車用アプリケーション、M C N C (Karen W. Markus)よりアメリカにおける MEMS アプリケーションの最新動向に関する講演がありました。

各国とも情報通信分野と医療応用分野のアプリケーションに力をいれていますが、今回のカンファレンスでは、光デバイスに関する講演が多く見られました。

また、日本への注目度は高く Prof. de Rooij の講演では当センターのマイクロファクトリの紹介があり、Karen W. Markus の講演では、住友電工(株)の超音波センサーに関して写真を用いた紹介がありました。

2日目からは、午前中に2件の全体講演があり、その後、2日目に3つ、3日目に4つのセッションが同時並行で開催されました。その中で特徴的だったのが、アプリケーションの将来展望に関するセッションで、80名定員の会議室に入りきれないほどの人気がありました。医療分野、自動車分野における MST 技術の応用に関する将来展望、N E X U S による MST の世界市場規模予測、将来シナリオに関し

て講演があり、活発な議論が行われました。

各セッションとも最新技術の発表に活発な討論が行われましたが、全般的に標準化に関する開発がかなり進んでいるように感じられました。例えば、流体センサーモジュールに関して、一方は標準的な電気コネクタに接続し、他方はやはり一般的な流路コネクタに接続する構造にし、内部は MST デバイスと電子回路デバイスを各々 BGA パッケージ化し積層接続する構造が、ドイツ標準にプレ登録され(VDMA 66305 01.98)、今後ユーザーの声を反映していくとの事でした。

光デバイスに関しても、これまでのデバイス開発からファブリケーション開発に移行し、アセンブリにおけるシステムパレット(マガジン)や3D位置検出測定方法に関して標準化が検討され、ビジネス萌芽期を感じました。

ポスター発表は初日の夕方からホテルの廊下で行われ、大変込み合いましたが会期中掲示されていたので、空いた時間でも見ることができました。

国地域別カンファレンス登録発表件数
(Tutorials, Opening Talk を除く)

	ORAL	POSTER
ドイツ	69(2)	28
日本	4	2
オーストリア	4	2
台湾	3	2
イギリス	3	
イタリア	3	
スイス	2	
フランス	2	
ベルギー	1(1)	3
アメリカ	1(1)	
スウェーデン	1	
中国	1	
ベラルーシ		2
スペイン		2
ルーマニア		1
ポーランド		1
フィンランド		1
ブルガリア		1
合計	94(4)	45

※()内はPlenary Session

IARP第2回マイクロロボットのワークショップ、北京で開催

IARP (International Advanced Robotics Programme) は1982年にベルサイユにおいて行われた経済サミットの合意に基づいて発足したもので、ロボット関係の研究開発状況に関する情報交換ならびに意見交換を行う国際研究協力プログラムの一つです。そのワークショップの1つ2nd International Work Shop on Micro Robotics and Systemsが10月22日と23日に北京の中心部に近い中国科技会堂(China Hall of Science & Technology)で開催されました。

主催は上海大学の副校長であるGong教授ですが、事務局を中国科学院(北京市)のTan教授が勤められました。会議全体の進行はワシントン大学のTarn教授(中国系)によって行なわれました。出席者は39名で、ほとんどが大学教授です。国別の参加者は米国が13名(うち5名は中国系)、ドイツが1名、フランスが7名、ロシアが2名、日本が2名、そして中国が14名です。日本からは名古屋大学の福田教授及びマイクロマシンセンターの内海課長が参加しました。

会議は総合講演、技術講演の順に行われ、23日の午後にはパネルディスカッションが行われました。総合講演では、中国が自国のマイクロロボットの開発状況を、また別の講演で中国のMEMS技術の開発の現状を紹介しました。また、フランスからは昨年度から4年計画で発足したマイクロシステムプログラムCNRSについての紹介が行われました。福田先生はマイクロマニピュレータについて招待講演をされました。

技術講演としては、マイクロアクチュエータ及びマニピュレータ、マイクロロボット技術、応用技術等について現状技術の紹介が行われました。マイクロマシンセンターからは産技プロジェクトでの研究開発テーマの中から医療応用関係の報告を行ないましたが、発表後の討論時間及び休憩時間、また会場からホテルへの移動中においても熱心な質問・討論を受けるなど、大変好評でした。パネルディスカッションにおいては南カリフォルニア大学のPeter Will教授が座長となり、各国から1名ずつ、計6名がパネラーとなり、マイクロロボットの用途、研究開発の方向等についてプレゼンテーションがおこなわれました。その後、会場も交えた討論が行われましたが、会場から多くの意見が出され、大変活発な討論会でした。



IARP第2回マイクロロボットのワークショップ、パネルディスカッション風景

【出席者】

国名	出席者
米国	Norman Caplan(IARP President, National Science Foundation), T.J. Tarn(Washington University), C. S. George Lee(Purdue University), Oussama Khatib(Stanford University), Fathi Salam(Michigan State University), Ning Xi(Michigan State University), Peter Will(Univ. Southern California), T. C. Steve Hsia(U.C. Davis), Ralph Hollis(Carnegie Mellon Univ.), Roberto Horowitz(University of California at Berkeley), Rosemary L. Smith(U.C. Davis), Scott D. Collins(U.C. Davis), Bradley J. Nelson(University of Minnesota)
ドイツ	Heinz Woern(University of Karlsruhe)
フランス	H. Camon(LAAS/CNRS), N. Troisfontaine(University de Paris 6), A. Bourjault(LAB UMR 6596), F. Bastien(Institut des Microtechniques de Franche-Comte), Daniel Hauden(Institut des Microtechniques de Franche-Comte), M. Calin(LAB UMR 6596), N. Chaillet(LAB UMR 6596)
ロシア	V. G. Gradetsky(Russian Academy of Sciences), L. N. Kravchuk(Russian Academy of Sciences)
日本	Toshio Fukuda(Nagoya University), Y. Utsumi(Micromachine Center)
中国	Yihui Wu(中国科学院春光机所), Sun Linzhi(上海大学), Mei Tao(香港中文大学), Z.Y. Zhou(清华大学), X.Y. Ye(清华大学), Zhao Wei(北京航空航天大学), Bi Shusheng(北京航空航天大学), Zhenbang Gong(上海大学), Yihui Wu(中国科学院春光机所), Sun Linzhi(上海大学), Mei Tao(香港中文大学), Z.Y. Zhou(清华大学), X.Y. Ye(清华大学), Zhao Wei(北京航空航天大学), Bi Shusheng(北京航空航天大学), Zhenbang Gong(上海大学), Min Tan(中国科学院自动化研究所), Wang Tianmiao(北京航空航天大学机器人所), Yang Yinmin(广东工业大学), Cheng Lianglun(广东工业大学), Tang Esheng(中国科学院), Xia Shanhong(中国科学院电子学研究所)

三菱電機(株) マイクロ発電機

1. マイクロマシン技術の研究開発

当社は、発電所の蒸気発生器の伝熱管を想定し、その表面の傷等の検査を行う「細管群外部検査試作システム」の開発を担当しています。これは、図1に示す様な複数のマイクロ単体マシンが、管の周りに巻き付いて移動しながら深傷を行うものです。その開発では、種々のシステム化技術とともに、小型で高出力のモータ（駆動デバイス）を実現する技術が重要な開発課題になります。

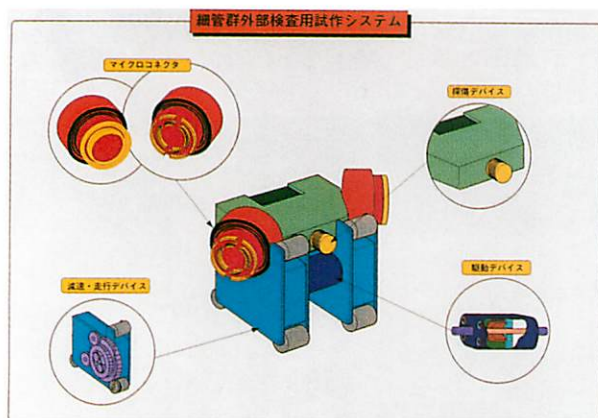


図1 マイクロ単体マシン

2. ポータブル展示品の概要

【展示品の製作意義】

駆動デバイスに採用するマイクロ電磁モータでは、高密度なコイル巻線を内蔵した円筒形状固定子や、強力な永久磁石を用いた回転子が重要な要素になります。それらを実現するための基礎技術開発の中で、当社ではモータと構造を同じくする発電機を開発してきました。指先よりもはるかに小さな発電機から、電気的な出力を取り出せることを示すことで、マイクロマシン技術の応用例を一般の人に紹介するのが目的です。（図2）

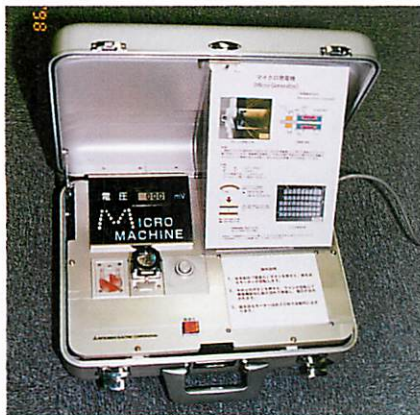


図2 ポータブル展示品

【展示品の説明】

展示品に用いたのと同じ発電機を、図3に示します。直径は1.2mm、長さは2mmで、1分間に30万回転させると40mV程度の無負荷端子電圧を発生できます。発電機の軸には小さなタービンが取り付けられており、これらは透明なパイプの中に固定されています。手前の赤いスイッチを入れて、別途設置されたファンを回し、つぎに上側のボタンを押すと、パイプ内に風が流れます。すると、タービンが回って発電が行われ、その出力電圧が左奥にデジタル表示されます。

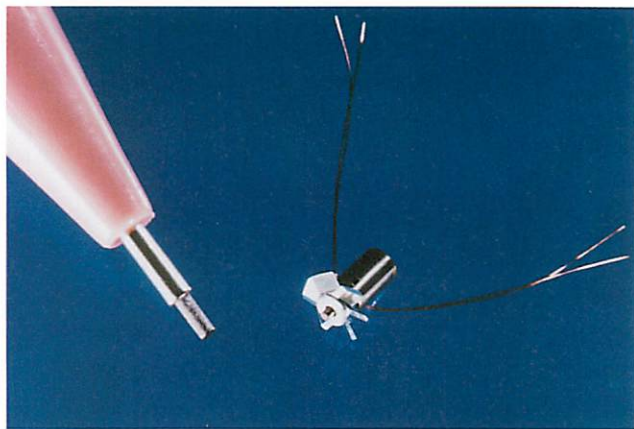


図3 マイクロ発電機

【展示品のポイント】

この世界最小の発電機は、固定子と回転子の隙間が半径方向にあるラジアルギャップ型です。このタイプは高効率を期待できる反面、マイクロ化が難しいという課題があります。それに対して、高度なマイクロマシン技術を開発することにより、この課題を克服することに成功しました。また、マイクロ発電機は、周囲の流体の流れ等の機械エネルギーを電気エネルギーに変えることができるため、無索で動くマイクロマシンに内蔵されたエネルギー変換デバイスとしての用途も考えられます。

3. 将来への応用

マイクロ発電機やマイクロモータは、各種のマイクロマシンのエネルギー源や駆動源として、幅広い応用が期待できます。また、高密度なコイル巻線や高性能の薄膜磁石を作る技術は、急速に小型高性能化が進む情報通信機器や電子機器に搭載されるキーデバイスの開発や、将来のニューコンセプトデバイスの開発に役立ちます。今後、こうした機能要素技術とシステム化技術をバランスさせながら、マイクロマシン技術を開発していきます。

三菱電線工業(株)

SMAマイクロコイル首振り内視鏡

1. マイクロマシン技術の研究開発

当社は微小な機械部品の加工・組立機構をデスクトップサイズに凝縮した「マイクロファクトリ」において視覚機能を担う環境認識デバイスの開発を行っています。加工工程においてはマイクロ部品加工時の外観検査・加工物の寸法計測、組立工程においては組立状態の検査を行うため、顕微観察、3次元センシング等の機能が要求されています(図1)。本デバイスを実現するために、接触検知機能、SMA(形状記憶合金)マイクロコイルアクチュエータを用いた首振り機能、立体視機能等の開発を進めています。

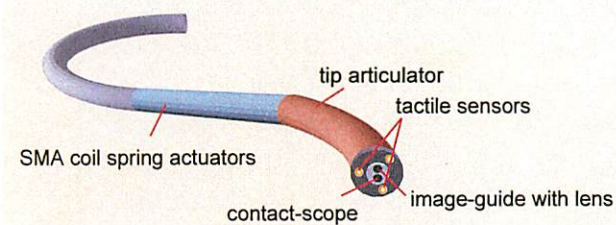


図1 環境認識デバイス

2. ポータブル展示品の概要

【展示品の製作意義】

通常の内視鏡では、先端に固定したワイヤを手元まで延ばし、これを引くことにより先端の首振りを実現しています。ところが内視鏡が大きな湾曲部を通過したり、長尺化した場合、手元でのワイヤの牽引力が先端に伝達されなくなるという問題点がありました。これを解決するには内視鏡先端部にアクチュエータを配置し、先端部のみで首振り動作をさせる必要があります。そこでこれを実現するために小型化が容易で大きな発生力と変位量が得られるSMAマイクロコイルを適用しました。SMAマイクロコイルを細径の内視鏡に組み込み、首振り機構を構



図2 ポータブル展示品

成する展示品を製作することにより、微小な領域で大きな発生力の得られるアクチュエータの実現可能性が実証されました(図2)。

【展示品説明】

先端首振りの駆動源として素線径 $200\mu\text{m}$ 、外径 $700\mu\text{m}$ のSMAコイルを2本組合わせて拮抗型のアクチュエータを構成し、これを左右2方向の首振りを行うため2組使用しています。このアクチュエータと6000画素のイメージガイドをもつファイバ스코ープを組み合わせて、外径 2.5mm 、首振り角度 60° の内視鏡を実現しています。SMAマイクロコイルによる首振り動作とそれに伴う観察領域の変化を、モニタ上で確認することができます(図3)。

【展示品のポイント】



図3 先端首振り動作状態

本展示品では分かりやすくするために、ファイバースコープを大きく湾曲させて設置しています。このような状態では牽引ワイヤ方式での先端首振りとは不可能ですが、先端に内蔵したSMAアクチュエータにより広範な視野を得ることが可能です。内視鏡からの画像をモニタにより表示しているため、先端の動作が非常に分かりやすくなっています。またアクチュエータの制御機能を付加すれば、ファイバースコープ先端を任意の位置で静止させることも可能です。

3. 将来への応用

医療用、工業用のファイバースコープへ、その外径を大きくせずに高機能化できる利点を生かした応用が考えられます。SMAコイルバネはこれまでも、家電、生活関連、産業機械等に応用されてきています。しかし本展示品で示したSMAコイルはこれまでにない小型のもので、さらに小型化による性能向上により、これまでにない多くの分野での応用を検討しています。



MMCテクニカルレポート 「マイクロマシン技術専門用語」発行さる

当センターの標準化委員会および標準化調査研究委員会と専門用語ワーキンググループにおいて、平成5年度より進めてきましたマイクロマシン技術関連専門用語の標準化を目的とした調査研究成果を、この度テクニカルレポートの形に集大成し、平成10年10月10日付けで初版（テクニカルレポート番号:MMC TR-S001(01)-1998、以降「用語TR」と略す）を発行しました。この用語TRは、A5版で約180ページあり、マイクロマシン技術で新たに使われるようになった用語のみならず、マイクロマシン技術にとって重要であると考えられる関連用語を含めた、220語について収録されています。これらの用語の選定基準・留意点、分類表と、用語毎の「定義」、「解説」、「参考資料」、「関連用語」が、和文と英文の両方で記載され、クロス・レファレンスも可能になっています。

多分野にまたがるマイクロマシン技術の研究者や、これから研究を始めようとする方々のみならず、一般の方々に対するマイクロマシン技術の普及・啓蒙に大変役に立つハンドブックとなっています。また、この11月にスタートした国際標準化フォーラムにおいては、この用語TRをベースに国際ネットワーク上の会議により、マイクロマシン技術専門用語の国際標準に向けた議論を進めています。

編集後記

○明けましておめでとうございます。

昨年10月に開催されました第4回国際マイクロマシンシンポジウム及び第9回マイクロマシン展は、マイクロマシン展初日にNHK ニュースで生中継されたこともあり、大盛況でした。本号はこの報告を中心にお届けいたします。

○賛助会員のご協力を得て制作しました「9つのポータブル展示品」について、昨年4月発行の23号から本26号まで1年にわたり紹介してまいりました。この展示品は、各種イベント等の際会場で展示し、「マイクロマシン技術の研究開発の成果」を多くの方々に理解して頂くのに大変貢献しています。

○お気づきでしょうか。96年9月の第16号以来親しまれて(?)きました表紙のデザインが一新されました。背景で将来とマイクロイメージを現し、マイクロサイズ(原子レベル)、マシン(歯車)、健康・医療応用(人体・胸部レントゲン)を表現しています。左の帯の部分は絵画コンテスト入賞作品により、子供たちが描くマイクロマシンの夢が、マイクロマシン技術によりかなえられることをイメージしています。

発行 財団法人マイクロマシンセンター

発行人 平野 隆之
〒101-0048 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/>

無断転載を禁じます。