

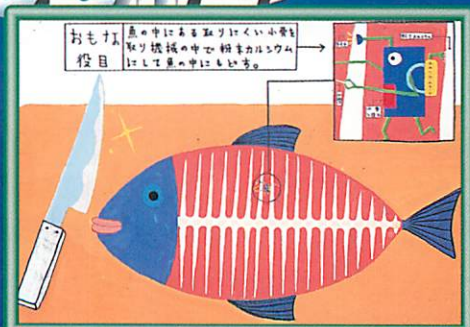


マイクロマシン MICROMACHINE

1998.1

- 巻頭言／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／17

- 海外だより／18
- TOPICS／21
- 講座「生物とマイクロマシン」(第3回)／22
- お知らせ／24



No.22

年 頭 所 感

通商産業省機械情報産業局長

広瀬 勝 貞



平成10年の新春を迎え、謹んでお慶びを申し上げます。

内外の環境変化に対応し新しい「国のかたち」を求めて、我が国は昨年からいわゆる6大改革に着手致しております。中でも経済構造改革は高コスト構造を是正し、新規産業を創出し大競争時代に耐える強靱な経済体質を再構築しようというものであり、何としてもやり抜かねばならない課題と考えております。

こうした構造的課題に加え、足下の経済は先行きに対する不透明感や、内需の落ち込みによって景気が低迷し、また、一部金融機関の破綻などを契機とする金融システムの不安定化など容易ならざるものがあります。政府といたしましても法人税の引き下げ、所得税減税、地価税の凍結等税制上の措置を中心に景気回復を図るとともに、10兆円に上る政府保有株を担保とした新型国債の発行により金融システムの安定化にも万全の対策を講じているところであります。

本年は当面の経済の安定と発展を確保しつつ、中期的には構造的改革に向けて、着実に前進を図っていくべき大いなる挑戦の年だと思っております。

機械情報産業におきましても、我が国経済の活性化、構造改革の推進等に資する観点から、以下の諸点に重点的に取り組んでまいり所存であります。

第一の課題は、新規産業の創出です。企業が立地する国を選ぶという国際的な大競争時代が到来する中、産業や雇用の空洞化の問題に適切に対応し国民経済の発展を確保していくためには、既存産業の高付加価値化を含め新規産業の創出が鍵であります。このためには、事業者の努力と活力の発揮が基本ですが、現実には、様々な規制の存在や技術的な制約等が、新規産業の創出を阻害している場合があります。こうした認識の下、例えば福祉用具産業においては製品の評価システムの確立を含めた市場の整備、コンテンツ産業においては先端的な制作環境の整備など、それぞれの分野に即した具体的な環境整備を図ることにより、医療・福祉関連分野、情報通信関連分野、新製造技術関連分野、航空・宇宙（民需）関連分野を始めとした各分野の創出を支援してまいり所存であります。

第二の課題は、情報化の推進です。情報化は業務の効率化や生産性の向上の観点からも、競争力強化の観点からも鍵となるものであり、産業分野、公的分野に限らず国民生活の向上に資するものです。このような認識に基づき、内閣に高度情報通信社会推進本部を設置し、政府全体としての積極的な取り組みを進めるとともに、当省におきましても情報化推進本部を中心として、産業分野や公的分野の情報化

やこれに応える情報産業の基盤の整備を進めているところでございます。

中でも、産業分野の情報化は、国際競争が激化する中で、極めて重要な課題となっております。このため、電子商取引についてこれまで世界最大の規模で実証実験を行ってまいりましたが、その本格的導入を図ることとし、CALS（生産・調達・運用支援統合情報システムの開発）やEDI（電子データ交換）の普及促進はもとより、次世代情報処理技術基盤技術や超高度先端電子技術を始め、次世紀の情報化を牽引する開発や、国際的発展に向けたセキュリティやプライバシー対策、知的財産権問題などの制度面における環境整備を引き続き強力に推進する所存でございます。

また、公的分野の情報化につきましても、国民の負担軽減、行政効率の向上の観点から、電子申請などにすべく所管法令の見直しを引き続き推進するとともに、医療や教育等の情報化についても関係各省庁と連携しながら一層の推進を図っていきたいと思います。

第三の課題は、環境問題です。地球温暖化防止京都会議において、気候変動問題に対処するための国際的な枠組と、先進国による法的拘束力のある積極的な削減目標に合意し、中長期的観点から地球温暖化を防止する上で重要な第一歩を踏み出すこととなりました。この実現に向けて、関係各業界における御努力を期待するとともに、当省といたしましても、クリーンエネルギー自動車の開発・普及、PFC等の地球温暖化ガスの代替ガスシステムの研究、高性能工業炉等の開発・導入の促進、自転車の利用推進などの各種施策を通じて支援してまいりる所存でございます。

また、リサイクル対策につきましても、廃自動車の処理システムの構築及びリサイクル目標の設定等を内容とした「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、リサイクル対応生産システム（インバースマニュファクチャリングシステム）の開発、さらには電気・電子機器のリサイクルシステムの確立などを通じ、引き続き積極的に資源の有効利用するための取り組みを推進してまいります。

以上のように、本年は内外環境が変化する中、我が国機械情報産業が世界経済の中で確固たる地位を維持するために、更なる飛躍を必要とする年になると考えられます。当省といたしましても、先端的技术開発や様々な環境整備などに精一杯の支援をしてまいりたいと考えております。

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。

英国・インペリアル大学

Prof. Richard R. A. SYMS Dr. Eric M. YEATMAN Dr. Andrew S. HOLMS

インペリアル大学でのマイクロエンジニアリングの研究活動について紹介します。

インペリアル大学でマイクロエンジニアリングの研究が始まったのは1992年です。これには日本の通商産業省のマイクロマシンプロジェクトに取り組んでいる日本の研究者達との交流が大いに影響しました。それ以来、私達の活動は他の二つの部門——複合光学とマイクロエレクトロニクス——と切磋琢磨し、共に発展してきています。日本とは、工業技術院の機械技術研究所との人的交流や(財)マイクロマシンセンターの様々な支援とを通して関係を保ってきています。私達の学科 (Optical and Semiconductor Devices Section) には、デバイス製造装置、半導体製造装置を備えたクリーンルーム、化学処理施設、実験室があり、現在の研究は新しい製造プロセスからデバイスやシステムへとその領域を広げてきており、以下に述べる研究を行っています。

Siを用いたマイクロ加工とマイクロアクチュエータ

表面マイクロ加工とバルクマイクロ加工を組み合わせたSiのMEMSを作る技術が開発されています。単結晶材料のみを使い、背向型p-n結合により電氣的絶縁を得ることが出来ました。このデバイスは通常の表面マイクロ加工をしたコンポーネントに比べ大きく（全長数ミリ、基盤から100 μm の位置）、従ってその動きも大きく光学顕微鏡で容易に観察出来ます。図1は、その典型的なデバイスです。また、電気と熱により広範囲にチューニングが可能な機械的共振器を開発しており、さらに能動型周波数整合システム(active frequency-matching system) に組み込んだ結合共振型ジャイロ스코プ(coupled-resonator gyroscope) の開発を進めています。

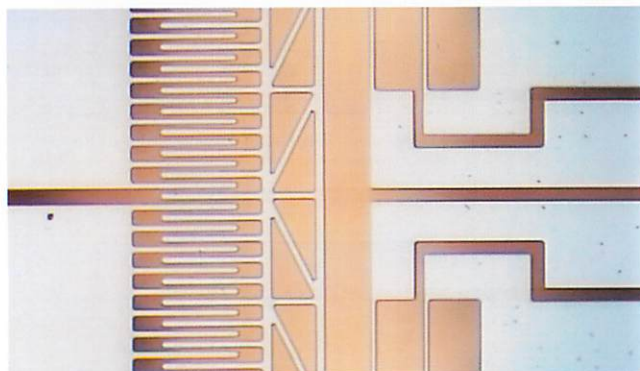


図1. 櫛形静電アクチュエータ (電極幅 5 μm)

圧電材料とマイクロアクチュエータ

Siの微小構造体の上でアクチュエータを形成する層に使うため、圧電セラミックスの製法を様々な化学的手法で調査しています。最近、ゾル・ゲル手法に代わる金属有機体の分解生成物を発見しました。このことにより、良好な強誘電特性を持つ厚膜PZTを早く安定的に作る事が出来るようになり、現在、この材料を使ってバイモルフのカンチレバーを作っています。また、表面張力を電氣的に制御することによって動作する (electro-wetting) 新しいタイプのマイクロアクチュエータを作るための予備的な成果を得ています。

三次元のマイクロ形成法

費用のかかるLIGAプロセスに代わる安価な方式として、簡単なリソグラフィ機器を用いたものを作ろうと研究が行われています。金属の微小構造を深く作るうとする場合、1) 導電性のシード層のデポジション、2) フォトリソグリスのデポジション、3) リソグラフィ、4) 金属の電鍍、という標準的な手法を何回も繰り返すことにより可能です。このアプローチの方法とUV近接リソグラフィとエキシマレーザマイクロ加工とを結びつけた結果、図2に示すNi製の6層のマイクロタービンのように複雑な形状のデバイスが実現できました。

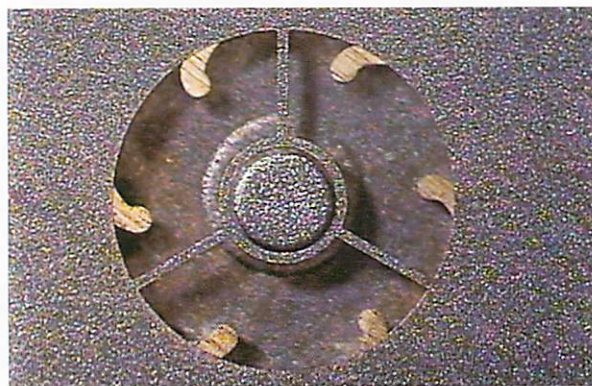


図2. Ni製マイクロタービン
シャフト径は200 μm 高さは各層とも10~100 μm

並列組立

マイクロコンポーネントの取扱いとそれらをマイクロシステムに組み込むということに大きな関心を持っており、最近実現できたのは、ウェハサイズの並列組立プロセスです。この方法では、電鍍法で作ったコンポーネントを光學的に透明なキャリアの上に保持し、

中間のポリマー層を溶融除去するためにキャリアの裏側を通してレーザ光をパルス状に照射すると、このコンポーネントを取り外すことが出来ます。別のウェハ上のコンポーネントと結合させるためにウェハからコンポーネントを転移させるには、二つのウェハを接近させてアライメントを取り、必要なコンポーネントを取り外すためにキャリアの反対側に置くだけです。図3はモータの構造を示します。ここでは、ロータとステータはそれぞれ別々に加工され、上記のレーザ光利用の組立法によりステータ上にロータを搭載したものです。

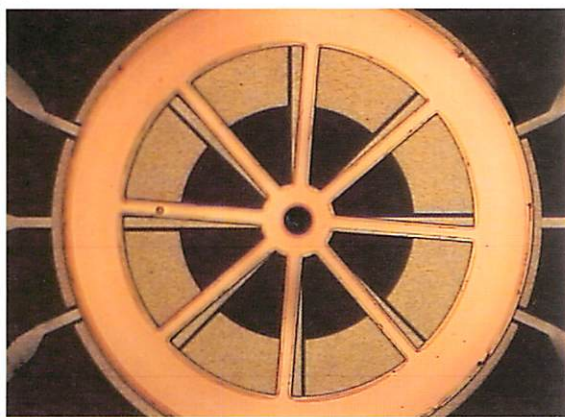


図3. ウォブルモータ（ロータ径1mm）

三次元マイクロ構造の自己組立法

リソグラフィやエッチングでは得られない真の三次元構造を組み立てる手法を確立しようとして研究が行われています。平面外でフラットなパーツを回転させたり固定したりして自己組立を行う方法を開発しました。回転は、可動部分を素材に結合させた低融点物質のパッドにより生じる表面張力を利用しています。一定の角度（例えば90°）は簡単な機械的リミッタを用いれば得られます。図4は自己組立構造の例です。マ

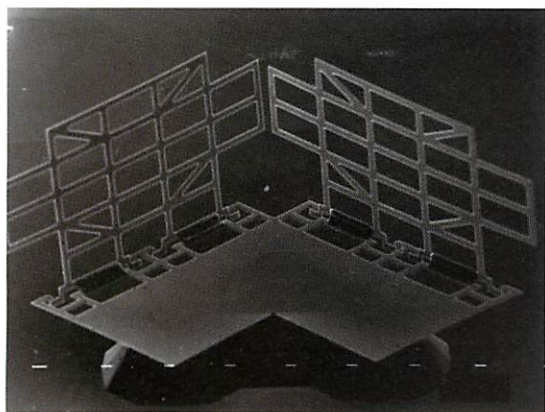


図4. 三次元マイクロ構造体
低融点のガラスパッドによる表面張力を利用して
作ったSiフラップ（フラップの高さ300 μm ）

イクロ加工したSi部品で、低融点の燐酸ホウ珪酸塩ガラスのパッドを用いています。現在、高Qマイクロ波回路用の折り畳み式インダクタのような自己組立のアプリケーションを開発しています。

光デバイスとオプトメカニカルデバイス

私達は、ゾル・ゲル手法、スピンコーティングの反復使用、急速焼き入れの方法で長年、Si基盤上に厚いガラス層を組み立てるための独自の手法を開発してきました。これにより、カプラや熱・光スイッチのようなSi上にシリカを載せた導波素子の組立や機能性を高めるための新材料の調査を行うことが出来るようになってきました。半導体含有ガラス製導波素子により光学的な非線形性を実現し、また、光学的応用のための希土酸化物添加の調査を進めています。最新のプロジェクトには、オプティカルな走査／読み取り用に導波素子とマイクロアクチュエータを組み合わせようとしているものがあります。

マイクロ分析システム

Siベースのマイクロ分析システムを構築しようと試みられており、リボンコネクタの光ファイバの位置決め用に精密なアライメント特性を得ようとして、(100) Siの異方性エッチングの手法がよく用いられます。同様な手法を使って円筒状電極用のアライメントアセンブリを作ることができます。図5は、静電四極子レンズの形にした4つの電極を示します。このレンズはイオン光学システムの映像エレメントとして使えます。また、小型質量分光計の質量分析器として使え、最近、質量選別の予備的デモを行いました。

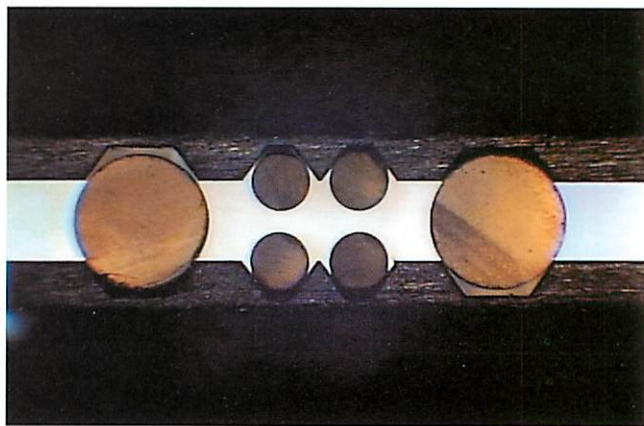


図5. Siの異方性エッチングで作った静電四極子レンズ
（電極径500 μm ）

英国のマイクロエンジニアリングプロジェクトには、英国工業技術自然科学研究協議会（EPSRC）、ウルフソン基金及び英国国防省から資金援助があります。

第3回国際マイクロマシンシンポジウム開催される

1997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3回国際マイクロマシンシンポジウムが開催され、成功裡に閉幕しました。

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（産業機械課中嶋誠課長が代読）、工業技術院佐藤壮郎院長及びNEDO岩崎八男理事長に來賓挨拶を頂きました。2日間の全登録者数は、423名に上り、このうち、海外からは、マイクロマシンに焦点を合わせた英国政府の貿易産業省調査団（ITS Mission: International Technology Service Mission/ 団長Prof. Howard DOREY, Imperial College）を含め、47名となりました。

東京大学の軽部征夫教授が、「マイクロバイオセンサーの動向」と題して特別講演を行い、糖尿病の検査に適用が期待される低価格・使い捨てタイプのセンサーを例に引き、このようなマイクロマシンが開発されれば、産業としても有望であり、マイクロマシンがより身近なものとなるとし、マイクロマシン技術の研究開発の重要性について説かれました。第1日目には、軽部先生の他に内外の14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。海外からは次の4名が招待講演を行いました。

Mr. Gaetan MENOZZI/NEXUS、欧州委員会
Dr. Jay LEE/National Science Foundation（米国）
Prof. Howard DOREY/Imperial College（英国）

Prof. Roberto HOROWITZ/UC Berkeley（米国）

英国政府の調査セッション団長のProf. DOREYは、海外招待講演者の一人でした。

また、セッション5の「マイクロマシン考」は、マイクロマシン技術とは全く異なる分野の3名にプレゼンターとなって頂きました。その講演は内容がユニークで大変好評なため、本誌に載録しましたので、是非ご一読下さい。

第2日目は、産業科学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総論及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紹介があり、プロジェクト第2期の概要について、当センターの研究開発部会柳沢一向部会長とシステム化技術の4つのワーキンググループの主査による報告と2期2年目の成果例7つの報告が行われました。

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4回国際マイクロマシンシンポジウム開催予定

会期 1998年10月29日（木）・30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3回国際マイクロマシンシンポジウム会場風景

小学生の考えるマイクロマシン

千葉県習志野市立大久保小学校 教諭 望月 あや子

私は毎日、6才、7才の子供を相手にして話をしておりますので、少し年令が上の皆様に今日は、緊張しています。

控え室で待機している時に、他の方のご講演をモニターでうかがっていますと、その内容が随分、専門的だと感じました。私は全くの門外漢ですが、10才の、きっと皆様方よりは頭が柔らかい子供達が考えたマイクロマシンですので、面白いなと関心を持って聞いて下されば幸いです。

ここ数年の様々なものの変化に、めまぐるしさを感じる事が少なくありません。大人の世界では仕事にも家庭にも様々な機械が入り込み、便利さを感じながらも困惑を隠しきれない状態だと言えるのではないのでしょうか。子供達の世界にも同様の現象が起きています。ファミコンやテレビゲームが彼らの生活に入り込んで来ていますが、大人よりも遙かに順応性に優れている彼らにとって、これらの機器は玩具のようなものでしかなく、便利さを感じながら、なおかつその追求を実践しているようです。テレビゲームやファミコンの腕前は大人顔負けではないでしょうか。学校での学習にもパソコンが導入され初歩的な作動をはじめ、作図や復習に役立て、またワープロとして作文学習にも活用しているほどです。こうした子供達の生活にも近未来的な情報が少しずつ入ってきています。

子供達が使っている教科書、テレビなどのマスメディア、児童向けの図書等により大人の世界にも共通するような情報が豊富にあります。中でも教科書は、童話や昔話等に代表される物語文が多くを占めていた以前に比べると、説明文と呼ばれるジャンルの文章が随分増えてきています。さらにこの説明文領域に採用される文章にも変化が表れています。以前は昆虫、哺乳類、魚類等でしたが、それは子供達が身近に感じる現実的なものが素材として書かれ、子供達自身が培ってきた経験をフルに活用しながら読み進めることが出来るものでした。

しかし、現在採用されている教材の中には、立花隆氏が著した「宇宙船地球号」に代表される「未来」や「環境問題」に照準を当てていると考えられるものがあります。小学校4年生が学習する中島尚正氏が著した国語教材文「マイクロマシンのゆめ」も例外ではありません。この「マイクロマシンのゆめ」は最近、教科書に登場してきました。この教材文は子供達にとって非常に興味深いものです。何故なら、書かれている内容がとてもショッキングだからです。子供



達にとっては非日常的なことであり、数少ない経験の中には存在していない領域だったからです。そこで改めてマイクロマシンといわれるものの存在を知り、どんな働きが可能か、どんな仕事が望まれているのか、今現在の状況は、研究開発はどこまで進んでいるのか等、関心が膨らんで来ます。子供達は教材文の理解と学習に伴った資料収集とから得た情報を自身の経験や感性、思考等を駆使して自由な発想で創造を始めます。

中島尚正先生から頂いたマイクロロボットのお礼を兼ねて子供達が書いた感想文に次のようなものがあります。「僕は、物を作ることが大好きなので、将来、是非、中島先生と一緒にマイクロマシンを作りたいです。」とか、「こんなマイクロマシンを考えました。役に立てて下さい。」等と子供らしい素直な感じ方で自由に自分の考えを述べているのです。技術的に見て実際に可能かどうか疑わしい内容のものもありますが、そこは子供達のまさに伸び伸びとした想像力を発揮し、大人では考えつかないようなマイクロマシンを創造していきます。そんな子供達が創造するマイクロマシンについてこれからお話をします。

子供達はどんなマイクロマシンを創ろうかと、学習したことや得られた情報を基に自分だけのマイクロマシンを完成させようと想像を巡らしました。子供達の創造するマイクロマシンには、「便利さ」の追求と「小ささ」の追求の2点があります。「便利さ」の追求ということでは、1台のマイクロマシンに大変多くの仕事をさせようとします。1台に多様な動きを要求するあまり多種の道具を装備させてしまいます。これは、沢山の仕事が一こなせられれば、多機能ロボットのように大変便利であるという発想からだと言えます。また、「小ささ」の追求では、場所をとらず手軽で肩乗りサイズのものや「直径5mm」等のような表現をし

ており、小さくすることについての「マイクロ」という言葉の意味を正しくとらえています。技術的にも技能的にも未熟ですが、子供達は豊かな発想と願いを持ってマイクロマシンを考え、自分達が困ったり助けられたりした経験を含めて、その創造に反映させていますので、何枚かの絵をお見せしながらお話をします。

この絵は、血管の中に入れる大きさのマイクロマシンを描いており、伸びる手に薬を持っています。子供の頭脳では、医療用にこういうものがあったら痛い思いをしなくても病気を治せるのではないかという発想からです。

次の絵も病気を治す「しずく型」のマイクロマシンで、やはりいろいろな治療器具を装備し簡単に直せたらいいなというように発想しています。また、自分たちが可愛がっているペットの苦痛を和らげてやりたいという発想から、ノミ・ダニを退治する害虫駆除用マイクロマシンを創造しています。

子供達は、掃除についても考えています。高層ビルには必ず窓があり、それに付随するガラスがあって、窓ガラスの掃除は必要不可欠です。ソーラバッテリーで作動する窓用の小さい掃除機は外観を損なわず、面積や使用頻度に合わせて作動させるとしています。このアイデアからは、ビルだけでなく水族館の水槽のガラス清掃用としての応用も可能であろうと考えます。

修理に関しては、ものが豊富な世界に生きている子供達にとってあまり実用感がありませんでしたが、マイクロマシンが故障したらという仮定から、やはりマイクロマシンに修理して貰わなければならないことを子供なりに力説していました。

最近の子供は一人であることが多く、自分が困った時になんとかしてくれるものであることをマイクロマシンに要求しています。一緒に遊んでくれたり、一緒に学習したり、一緒に生活したり、一緒に時間を過ごしたりと、自分一人では持て余しそうな困った時の「お助けマン」的発想法です。

大人用のマイクロマシンには、子供達はさらに進んだサポート的機能を持つものを要求しています。昨今、女性の社会進出も多く、子供達の身近な女性である母親も例外でなく時間的な拘束に違いがあるものの、多くの母親が仕事を持っています。その母親を見て育っているので子供達自身も仕事を持つことに憧れ、女性が仕事を持っても生活が可能なことを考える時、その女性達のサポートをマイクロマシンに頼ることを考えるのは当然と言えるでしょう。

以上お話しした実践は平成7年度と8年度のものです。実践を行った大久保東小学校は国語科の研究校であり、その研究の一環として「マイクロマシンのゆめ」という教材文に取り組みました。子供達と同様に教師側も

また、未知の世界に近いものがありました。まず、マイクロマシンの具体像がはっきりしていませんでしたから、その解決が先決問題でした。それがマイクロマシンの第一歩だったわけですが、子供達が学習に取り組み始めた段階でも一番の問題でした。それから教材文に惹きつけられマイクロマシンについての理解が進み、知識を増やし想像を巡らしました。

子供達はマイクロマシン創造とともに動力についても考えました。理科教材の「光電池」の学習を並行させたことが要因となり、何で動くのか、どんな動力が考えられるのか等、子供なりに考えていました。例えば、医療に使われるマイクロマシンなら病巣や血管を、掃除用ならゴミや埃をそれに活用し、未知の世界であることを利用して都合良く考えていました。また、作動させるのにも「便利さ」を考えており、コントローラやモニタが実際に使われることを仮定しながら取り組んでいました。

最後に、子供達はマイクロマシンの実現を大変期待しています。子供達が考えたようないろいろな仕事が可能になるわけですから、大人の私達よりもその期待は大きいものです。しかし、こんなことも警告しています。「実現したらマイクロマシンに頼ってしまうと思う。病気の治療は良いけれど家で洗濯などをして貰ったりしていると少し体が怠けてしまう。少しは自分でやろうと。」と子供なりに生活に対する懸念もあるようです。

そこで今日お集まりの研究者の皆様にお願ひがあります。以上述べたように学習を通じて得た情報から子供達は柔軟な頭脳でマイクロマシンを考えて来ましたが、子供向けのマイクロマシンについての知識や正確な情報は現在、満足できるものではありません。マイクロマシンを子供たちの頭脳で理解するには知識や情報がまだ不十分です。小学生向けは勿論ですが、学習したことに知識がプラスされて一層豊富になりつつある中学生向けに照準を絞った資料が出れば興味を持つのではないかと思います。後に続く子供達のために彼らを対象としたものが企画され、研究者の方々に是非、そういう資料を作って頂きたいのです。彼らの知識に最新の情報を与えたり刺激剤となるならば、さらなる進歩も可能ではないでしょうか。

子供達に、どんな発展が待ち受けているのか私達には到底、予想もできませんが、マイクロマシンは医療用、産業用共に人間のあらゆる生活に役立つでしょうから、子供達がマイクロマシンを使いこなす立場になれば、また、新たな夢も膨らんで行くことと思います。

彼らが将来、マイクロマシンの実現と実用化のためには是非、力を発揮して欲しいと考えています。

文化としてのマイクロマシン

京都文教大学 講師 鵜飼 正 樹

始めにお断りしておきたいと思いますが「マイクロマシン考」というセッションでの報告を引き受けたとき、私はマイクロマシンについての知識がほとんどありませんでした。(財)マイクロマシンセンターからいろいろ資料をお送り頂き、また併催されている「マイクロマシン展」も、今日見てきましたが、どういものかなかなかわからない。それであえて「文系」の人間として開き直って、マイクロマシンを素人の立場で「微細で複雑な作業を行う為に大きさ数ミリ以下の高度な機能要素で構成された微小な機械」という定義、もっと砕いて私なりに言えば、「非常に小さな機械である」という勝手な理解、あるいは誤解と申しますか、それに基づいて、空想、それは場合によっては妄想のようなものかもしれません。そのようなものを羽ばたかせてみることで報告とさせていただきます。

まず、私がマイクロマシンから連想したことは、日本の昔話に出てくる小さな子どもの話です。日本民俗学では、こういう話のことを「小さ子譚」と呼んでいます。一寸法師とか、親指太郎とか、名前はいろいろあるのですが、小さいがゆえに特殊な能力を持つ人の話です。

一つ紹介したい話があります。山形県の最上郡で伝えられている「五分次郎」の話です。昔、あるところに子供のいない老夫婦がいて、そのおばあさんの親指の腹が急に痛くなり腫れあがり、やがてそこから赤ん坊が生まれてきました。ところがその赤ん坊は指から生まれてきたものですから非常に小さい。五分しかない。メートル法で言うと約1.5センチしかない子供でした。そこでこの老夫婦はその子を五分次郎と名付けて可愛がりました。ある日のことでしたが、五分次郎が木の葉の船に乗って海に出ましたが、その船が風に流されてある村に着き、その1軒の老婆の家に泊まることになりました。その夜、五分次郎はその老婆から「化け物が毎晩のように村に現れ、村人を次々に食べていく」という話を聞きました。その夜、化け物が現れてきました。その化け物は村人を探して、あちこち臭いを嗅ぎ回っていましたが、非常に大きな化け物でしたので、五分次郎はその鼻息に吸い込まれ、化け物の腹に入ってしまう。そして、刀代わりの針で腹の中を突いたところ、化け物は死んでしまい、化け物を退治した五分次郎は、その村の長者の婿となったという話です。このように特殊な能力を持った小さな人が幸せになるという話が日本全国至る所で伝えられています。中には打ち出の小槌を振って普通の人間の大きさになり、めでたしめでたしとなる話もありますが、五分次郎のように小さいままで幸せになって暮らしたという話がいくつもあります。

ところで、逆に五分次郎の側からわれわれ人間の世界を見るとどうなるのでしょうか。残念ながら、日本の昔話にはそのあたりが描かれたものはないようです。そこで、有名な「ガリバー旅行記」を取り上げてみます。ご存じのようにガリバーは、こび



との国リリパットに行き、次いで巨人の国プロブデインナグへ行きます。そこでは、周りは大きな人間ばかりで、例えばその一節を読み上げますと「道を歩いていて私は公道に出た。少なくともそのときの私には公道と思えたが、事実はこの住民たちにとっては麦畑の間を通っている畦道にしかすぎなかった。この道をしばらく歩いたが、両側には何も見えなかった。折から収穫の時期間近で、麦の穂が少なくとも40フィートの高さに達していた。40フィートですから約12メートルですね。1時間ばかり歩いていくとこの畑の端にでた。一つの畑は少なくとも高さ120フィートの生け垣でぐるっと周囲を囲まれていた。木に至ってはあまりにも高くそびえていてその高さを測ることは到底できるものではなかった。」と書かれています。さらに面白いのは、大きく見えることで、我々にとって普段は別におかしくないものが「あら」が見えてくるということです。例えば、女性の乳房について書いた部分ですが、「私は有り体に告白するが、何がゾッとするとほどやらしいと言っても、彼女の巨大な乳房に匹敵するものを私は知らない。物好きな読者にその大きさ、格好、色合いが大体どのようなものであったかを伝えたいのであるが、残念ながら何にたとえたらいいのか私にはまだ、見当がつかないのである。6フィートの高さに隆起し、周囲はまず16フィート位はある。乳首の大きさは私の頭の半分位で、乳首と乳頭部の色合いは、斑点やらニキビやらそばかすやらでその複雑怪奇なことは驚くばかりである。まさに複雑で吐き気を催すものである」と、こんな風に書かれています。ガリバーは、非常に小さな人間として、その国で見せ物になり、国王に可愛がられる話になるわけですが、小さなものから見返した世界というのは、おそらくこの様に見えるのではないかと思います。

ここで少し話を変えてみましょう。マイクロマシンも機械の一つですね。では、人間の目には、機械はどのようにイメージされてきたのでしょうか。人間にとって機械は、ガリバーが行ったリリパット国、つまり、こびとの国的なものとして現れるのか、それともプロブデインナグ国、つまり、巨人の国的なものとして現れるのか。おそらく、機械はプロブデインナグ国的に見えているのではないかと、つまり、人間を外に拡張し、延長してきたものが機械だったと言えるのではないかと思います。人間以上の力、

早さ、大きさ等々、いずれも人間を超えるものとして機械はイメージされて来たわけですから。

ところがマイクロマシンというものが、実はそういうものと全く違っている、つまり、マイクロマシンに囲まれた生活というものをイメージしてみると、我々はリリパットの国に行ったガリバーのようなものではないかと考えられます。

様々な技術が人間を変えたということがよく言われますが、ではマイクロマシンは人間をどのように変える可能性があるのでしょうか。一つ確実に指摘できることは、マイクロマシンが、我々人間に、内側から見る眼差しをもたらすのではないかとことです。人間はこれまで、常に外部にこそフロンティアがあるのだと考えて、狩猟採集や新田開墾の時代から宇宙開発の現代まで、私たちの外の世界を開くことにもっぱら従事していた。それは、自分を拡大することを目指すことだったと言うことが出来ます。しかし、マイクロマシンというものは、むしろその逆の方向を目指しているものです。マイクロマシンは自己縮小を目指している。そして例えば、様々な配管の内部、機械の内部、人体の内部に入り込んで様々な作業をする。つまり、マイクロマシンの目から見えるものは、内部であると考えることが出来ます。内部を見ると言うことは、それまで隠されていたことで保たれていたバランスを失わせる危険性も確かにあると思います。例えば、あなたの血管にはコレステロールがこんなにたまっていますよ、ということをマイクロマシンによってはっきりと目に見える形で映し出されたとしたら、動揺しない人はおそらくいないと思います。そして、それを血管のコレステロールを掃除するマイクロマシンで削り取って健康な血管を取り戻そうというようなことにでもなったら、これは、機械論的な人間観の極致のようで、気持ちが悪いものです。それなら、そういうことを知らないままだった方が幸せだったのではないとも言える。それでもマイクロマシンの技術は人間の内部をどんどん目に見えるようにしていくことでしょう。

ただそれが「人間を変えよう」とまで言えるかどうかについてはもう少し、留保が必要なのではないかと考えます。というのは、既に私たちは、例えば人体であれば、内臓や骨格、さらには細胞、遺伝子にいたるまで、既に知識として持っているからです。だからマイクロマシンの目は人体に関する我々の知識を単に再確認することだけで終わるということもあり得ます。また、内部であっても私たちの視覚を通じて見ることに終始するのであれば、結局は、内部のものを外部に出して見ているだけに過ぎないとも言えるでしょう。

おそらく、マイクロマシンで活性化されるのは視覚以外の感覚ではないでしょうか。例えば人体の中、血管の中をマイクロマシンが走るとき、我々はそれを「痛い」と感じるのか、「かゆい」と感じるのか、「くすぐったい」と感じるのか、あるいは「気持ち良い」と感じるのでしょうか。そのとき機械の出すエンジンの音は私たちにはどのように聞こえるのでしょうか。あるいは、人体の中にマイクロマシンが埋め込まれたとき、私たちは機械によって自分が動かされていると感じるのでしょうか、それとも機械が自分の中に住んでいると感じるのでしょうか、それとも機械を自分の中に飼っていると感じるのでしょうか。そしてそのとき

機械は私自身なののでしょうか、それとも私ではないのでしょうか。このようにマイクロマシンによって触覚や聴覚、さらには嗅覚、味覚など視覚以外の感覚が活性化されたり、新たに開発されたりすることが考えられます。それは、あまりにも視覚に優位を置き過ぎた近代において、五感を再統合した感覚を私たちの身体に取り戻す可能性として考えられるのではないのでしょうか。

ところで、展示会でも見て参りましたが、マイクロマシンはわれわれ素人にとっては非常にわかりにくい。マイクロマシンは素人にとってブラックボックスとなってしまうかねない領域であり、それは非常に危険なことでもあるということを指摘しておきたいと思います。

高度に専門的な領域でしか使われないものは、われわれにとって全く見えない、わからないものです。ところが、それが知らないうちに身の回りでどんどん使われるようになってくる。それは不安をかきたてます。そして、一部の専門家だけがそれを操作する知識を持っているとすれば、使われ方次第で非常に危険なものともなります。ところがその一方で、素人が使いこなせるような機械になることで、思いもかけない使われ方をするようになって普及していく機械というものもあります。最近の例を挙げれば、女子高生が使い始めることで新しい機能が付加され、さらに爆発的に普及していったポケットベルなどが典型的でしょう。使いこなすやすく身近で、日常的なレベルで使えるということが、素人にとって重要なことで、それがまた新しい技術を開発する契機ともなっていくわけです。

それに関連して言っておきたいことは、「かわいい」ということです。「かわいい」は、今や日本の美意識を特徴づける言葉だといっているほど、いろいろなところで使われています。小さいとか、幼いとか、無害であるとか、丸みを帯びているとか、甘いといったニュアンス、これが「かわいい」ですが、マイクロマシンは小さいということに関しては、文句なく当てはまるわけです。しかしほかの要素についてはどうでしょうか。どちらかというところ、精巧さとか、高度な技術とかいう印象が勝っていて「かわいい」とは言えないのではないのでしょうか。マイクロマシンを語る言葉も、ついつい堅い言葉になりがちです。もちろんマイクロマシンは機械として立派に機能してさえいればよい。かわいかりうがかわいくなかりうがどうでもよいという考えがあるかと思いますが、しかしそのことによってマイクロマシンやそれに伴う技術が、それを知らない者にとってブラックボックスと化してしまいます。そのときマイクロマシンというのは、素人にとって恐怖の対象となってしまうかねない。そういう意味でマイクロマシンがかわいい、使いやすいという形で実用化され、語られることを期待したい。

昔話の「小さ子」について、はじめに述べましたが、マイクロマシンは機械の「小さ子」だと言うことができます。昔話では「小さ子」が幸福をもたらしてくれる人だった。マイクロマシンも機械の「小さ子」として我々に幸福をもたらしてくれることを望みたい。よもやガリバーのリリパット国の話の冒頭の有名な一節のように、われわれ人間が「目が覚めたらロープでベッドに縛りつけられていた」というようなことのないように願いたいものです。

文化・芸術・マイクロマシン

東北芸術工科大学 助教授 竹村 真一

私の専門は文化人類学で、先に講演されたお二人と同様にマイクロマシンについては、やはり門外漢です。ただ人類学、あるいは人間学の立場から技術が我々の文化、生き方、社会にどのような影響を与えていくかという問題については、常に大きな関心を抱いています。特に最近の技術動向、生命科学、遺伝子診断等の領域は、我々にとっても重要な問題です。きょうのこれまでの講演を聞かせて頂いていますと、マイクロマシンと言う領域、あるいはナノテクノロジーと言う領域で皆さんがおやりになろうとしていることは、我々の基本的な人間観、あるいは世界の見方に大きな影響を与えつつあると思います。今、いみじくもある方が「人間のことをもっと勉強しなくてはいけない」とコメントされましたが、今まさに、そういう問題を私達人類学者が最先端の技術とのインターフェイスにおいて考えていかなければならないと考えています。

そういう立場からきょうは、3点ほど問題提起をさせて頂きたいと思います。

その一つは、私たちの基本的な人間観、あるいは生命観の大きな転換ということです。

2点目は、ミクロからマクロまで相対的に範囲の非常に広いスケールで、世界を見るという自由を得たこの世代の新しい感性のあり方についてです。

そして3点目には、近代科学技術の基本的なパラダイムの転換の可能性についてです。

この3点に通底するテーマは私なりに申しますと、連続性と非連続性のパラドックスと言うことだと思っています。どれも大変大きな問題ですが、少なくともこのセッションに呼ばれたということは、門外漢、あるいは文化系からの問題提起をしろということと理解しましてお話をしてみたいと思います。

まず、人間観、生命観の転換についてですが、マイクロマシン、あるいはナノテクノロジーの一番の面白さ、あるいは大きなインパクトはミクロレベルのスケールに降り立つことによって逆に従来語られていた二元論、例えば自然と人工、機械と生命、あるいはデジタルとアナログという二元論を越えていく視点が得られているということです。そういうものを一つの連続的なものとして語る平面をマイクロマシンが、もしかすると用意してくれつつあるのかもしれないということです。細胞、あるいはその細胞の重要な器官の一つであるリボゾームはRNAという分子テープでプログラムされた一つのナノマシンであるというように捉えれば、皆さんが目指している工学的な生成物(agent)と我々の細胞を構成している生命の構成要素とは一つ

の平面で語ることの出来るパラダイムを作りつつあるわけです。細胞をバイオコンピュータとして研究しているトレンドも非常に大きいですし、酵素という一つの分子組立、あるいは鞭毛モータについてその研究動向を門外漢なりに、側面から覗いていても大変面白い。また、そういうレベルで機械と生命を統合した平面で理解が進みつつあるという事を非常に感動をもって見ております。

同時に、生命をバイオマシンとして見るだけでなく、今度は逆に人工機械を生命、あるいは生命の応用として見るのが重要と考えます。きょうの軽部先生の特別講演「マイクロバイオセンサーの動向」のお話にある「血管の中を航行するセンサ付のマイクロマシン」で糖尿病患者の体調を自動制御するとか、あるいは田尾先生の講演「地球環境保全から見たマイクロマシン技術への期待」にあったミクロなレベルのグローバルセンサが地球上に張り巡らされて、地球上の観測点のサンプルを取って来て解析するというのではなくて、その場(on-site)でデータ解析されたものを地球規模のネットワークを利用して全部集められて来るといったようなことが実現されたときに、私達は今までの世界の見方とは違う領域に突き進んで行くようになります。

ここで非常に面白いのは、従来の人間の技術というのは「自然」を開発していくにしろ、「物質」を加工して何かを作っていくにしろ、比較的等身大の日常的なレベルのリアリティに働きかけながら、つまりその面では連続した次元に働きかけながら、逆にその自然環境から自立し囲い込まれた人工空間を作ろうとして来たわけです。連続的な次元に働き掛けながら非連続的な領域を作ろうとして来た。その結果、自然生命圏において人間圏というのがある種の「異物性」、あるいは「他者性」をもって非連続的な領域を作ったという部分が今まであったわけですが、逆にナノテクノロジーあるいは、マイクロマシンの技術がそういう日常の等身大なレベルから、とても普通の人が触れられ



ないような非日常的、非連続的なミクロな次元、不可視の次元にアプローチしながら、逆にそのレベルに降り立つことによってかえって我々の生命と人工世界、マイクロマシンを含めた人工的にこれから組み上げられる世界に一つの連続性をもたらしつつあるということです。不連続な領域に降り立つことによって逆に連続的な平面を作り、例えば、大きなガソリンエンジンで動くような機械が、環境にある種の「異物性」、「破壊性」を与えるのに対して、もっとエレガントに省エネルギー型でエコロジカルなマイクロマシンが自然環境の中、あるいは生命の中に自然に入って行ってシームレスな連続性を作るという可能性が見えて来ます。

これは人類の技術文明の上で考えてみますと、ある意味では今までの技術の指向性が全く逆転した様な部分があります。特にミクロなレベル、原子レベルに降り立ちながら、同時にとんでもない爆発力によって地球生態系に大きな脅威を与えている核の技術について比較してみたときに、同じように原子・分子のレベルに降り立ちながら一つの連続的な人工空間と自然空間との間に一つの連続的な平面を作る可能性、二元論を越えるような可能性を持っているということで非常に画期的なことではないかと思えます。そういう可能性を見ると、やはり非常にポジティブに考えたい部分があるのですが、同時にその連続性から、ある非連続性が派生してくる可能性があります。それは具体的に言うと、ドラグ・デリバリ・システム（DDS）を埋め込んだ人間の生体、人間と機械との一種のハイブリダイゼーション、それが最近のある種の表現で言えば「ポストヒューマン」と言いますが、今までの人間、あるいは生命を越えた「ポストヒューマン」的なリアリティを、もしかすると作っていくかも知れないのです。

こういう例え話があります。自動車レースのF1では機械をチューニングするためのメカニックのチームを作ります。一方、現代のオリンピックは自分の体だけが勝負で、ドラッグでチューニングすることもままならない。しかしこれからは、DDSその他を含めて人間が機械を内在化して生きていくことが当然になったときに、機械を微妙にチューニングしてそれが自分の体の力を拡大（augment）し、それでオリンピックを競い合うようになって行くのではないか。そうするとF1レースとオリンピックは段々区別が付かない次元に行きはしないか。F1レースとオリンピックはもしかすると21世紀のある時点では一つに合わる（merge）という可能性まで、もしかすると見えてくるのではないか。こういう話をすると、なんと非人間的だとか、気色悪いとかの反応が大抵の場合あると思えます。しかしどうでしょうか。考えて見れば私達が日常使っている眼鏡は目の拡張、目の延長と言う事が

出来、普通に掛けて我々生身で生きるのと全く同じ次元で使われています。それがもう少し内化してくると人工内耳となり、これは実用化されつつあります。更に発展すると、体の中で動くバイオチップ、あるいは糖尿病患者の体調をチューニングするマイクロバイオマシンが作られるようになる。そうすると、そういうものを埋め込んだ人がオリンピックに出てはいけないということはないわけです。そうするとオリンピックは生身で戦うもの、F1レースは機械をチューニングするものという区別が必然的になくなっていくことが大いに考えられます。

リン・マーグリスという共生進化論で有名な学者が、細胞は一つのコンピュータであると言っています。コンピュータを構築している部品は、最初からコンピュータを作るために形成されたわけではなくて別々の目的に作られた部品であり、ある時一つのコンセプトの下に寄り合ってコンピュータを作りあげる。細胞も同じであり、もともと酸素呼吸をするバクテリアが何十億年か前に、より大きな膜を持った細胞と共生進化し始め、現在の酸素呼吸をしながら核を持ち、膜を持つ細胞、生物に進化したと言っています。このように考えてみますと、地球の生命の進化史というのは一種の共生進化の歴史、全くバラバラにあった関係のないパーツが寄り合って一つの連続性を作ってきた歴史でもあります。

そう考えますと、バイオチップという一つのマイクロマシン（＝機械環境）と共生進化しながら新しい生物圏、あるいは人間圏というものが生まれてくるのが、必ずしも「反自然」とか「非人間的」とは言えないのではないかと考えます。感情的には「気持ちが悪い」ということがあるにしても、生命史、人類史の大きな観点からは、それは必ずしも「反自然」、「非人間的」とは言えないどころか、むしろ、それを感情的に「反自然」、「非人間的」と言うとしたら、我々の自然観、人生観そのものが小さすぎるのかもしれないとまで言えるかも知れません。

とはいえ、そこにはやはり大きな断層があります。少なくとも合理的に考えれば生命進化史、自然進化史の延長上にあるかも知れないが、ある種の非連続性をもたらすのは事実です。しかしそのみならず、例えばバイオチップや、生命の素子をモデルに研究が進んでいるDNA、蛋白質は熱に弱かったり、いろいろな生命特有の弱点をもっています。生命特有の強さを持ちながら生命特有の弱さをカバーするような別の素材で作る生物機械、それが人間の生体と融合した時に、今までのウェットウェアとしての地球生命と全く違う次元に私達の生命が進んで行く可能性があります。

きょうお話ししているのは、3年後、5年後というレベルでなくて、むしろ30年後、50年後かもしれませ

ん。しかし少なくとも人類学者、人間学者の立場からすると、今、この革命は始まっているわけです。DDSや軽部先生の講演にあったマイクロマシンが、糖尿病患者への対症療法として実用化されたときには、それは単なる糖尿病への対症療法を越えて、オリンピック選手の一つのビルドアップチューナーになって行くかも知れません。普通の人間にとっての共生進化すべきパートナーとなっていく可能性は既に充分見えてきています。

そう考えますとナノテクノロジーやマイクロマシンの研究によって生命の本質が改めて深く見えてきた時代であり、そういう意味で、生命と地球を自己認識する一つの大きな筋道として、皆さんがおやりになる研究があると思います。しかしそれは生命の自己認識が同時に生命の自己超越の次元、今までの生命は否定はしないにしても少なくとも違う次元に押し出して行くという契機にはなるかもしれません。翻って考えれば人類は未だ過渡的な存在かもしれません。我々は進化の頂点であるどころか、まだまだ本来の地球と人類のポテンシャルというのを十全に実現しているのにはほど遠い、そういう途上の存在だと考えれば、これも一つの大きなプロセス、一経過点に過ぎないのかも知れませんが、少なくともそこに大きな連続性と非連続性のパラドックスが見えてきていることは事実だと思います。

2点目のスケーリングと言う話。これも、もう一つ大きな革命的な視点です。顕微鏡でものを見たり、天体望遠鏡で惑星を拡大して見たりするのは、17世紀から始まっていたことでしたが、今は、天体を見る、あるいは微生物を見るという別々のリアリティから、それは一つのホロニック（wholistic）な自由なスケーリングの中で認識する自由を私達に与えてくれました。例えば、我々を取り巻く地球環境が問題になっていますが、微生物の視点から見ると、我々の身体そのものが一つの環境です。となると我々にとって語るべき環境は我々の外の環境だけではなく、我々の内なる環境でもあるわけです。そういう相対的なスケーリングからもたらされる新しい認識があると思います。同様に、先ほど述べたコンピュータとの類似で言えば、私達の体や細胞は、沢山の別々の機能を持ったパーツからなるコンピュータのようなもの、あるいはいろいろな微生物からなる一つの多元的な共生社会であると言えます。このように我々の体を捉えたとなれば、それと同じアナロジーがこの地球についても言えるかも知れません。つまり、私達一人一人は個体に見えるけれども、我々人間はもしかすると一種のミトコンドリアではないかと、これは単なるアナロジーですが、少なくとも一つのミトコンドリア的な存在として、より大きな超有機体みたいなものへと全体化していく、あるいは共

生進化する一つの部分なのかも知れないという見方も、自由としては与えられてくる。そういう認識論的な転換、勿論これは単なるスケーリングではありません。ミクロのレベルでは重力よりも表面張力や粘性が重要になってくるということです。熱振動の問題が出てくるとかスケーリングによっていろいろリアリティが違ってくる。これも非常に重要な点ですが、同時にそれを往復運動しながら、そういう多元的なスケールでこの世界を見る自由を得るということが我々にとって非常に重要なことです。

3点目については、近代科学技術そのものについて、これには私も答えがありません。むしろ挑発的に皆さんにうかがいたい質問ですが、今までお話ししてきましたように私達人間という存在は、個々人が一つの多元的な社会です。英語で個人のことを「individual」と言いますが、これは「それ以上divide（分割）出来ない存在」を意味します。しかし、現代の生命観で見る個体は「individual」でなくて「dividual」、つまりいくらかでも分割可能な多元的なものから成り立っていることになります。そういう生命観で見ていくと、我々を構成している多元性と言うのは必ずしも機能的に合理的な良いものばかりではないかもしれない。例えば、エイズと言う病気が逆転写酵素やレトロウィルスの問題で、我々に開示したことは、確かにレトロウィルスは危険で怖い病気であるということですが、同時に、逆転写によって我々にもたらされる遺伝情報が、生命の歴史の観点で見ると、新しい進化、契機を作るというポジティブな側面を持っているのです。このように私達に逆転写されたいろいろなものの集積は、ときには、クズDNA、ジャンクDNA等と表現されることがありますが、そういう一種の膨大な無駄ともいえるようなものをはらんでいます。これをフリーマンダイソンという学者は「誤りの許容」と言う表現をしていますが、そういう視点、無駄も含めた多元性という立場から見えていったときに、今までの要素論のようにパーツを用意し、それを組み上げて合理的な機械を作っていくという要素還元論的な、あるいは機械論的なアプローチの限界というものが、逆にこのレベルで見えてきはしないかということです。「誤りの許容」とまでは言わないにしても、少なくとも遺伝子というのは完全に合理的な必要最小限のパーツだけで綺麗に出来ているわけではありません。遺伝子だけではなくて人間の生命の本質が、そういうある種の機械論的、要素論的な方向を逸脱するようなものを持っている限りマイクロマシンの研究の進むべき方向は、近代機械論を当然内部から打ち破って行かなくてはならない所に行くのではないかと、私は否定的な要因ではなくて、一つの期待を持って申し上げているわけです。

第8回マイクロマシン展開催される

第8回マイクロマシン展が、1997年10月29日～31日の3日間、東京・北の丸公園の科学技術館で、第3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、盛況裡に閉幕しました。

出展者は、当センターとその賛助会員21社を含み、これまで最大の合わせて70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等が出展され、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。

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、電気・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して、その内容がますます充実してきています。マイクロマシンの研究開発に関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。

展示会最終日の10月31日には、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が多忙な公務の日程を割いて相次いで来場され、時間を掛けて見学をされていました。来場者数は、3日間で約3,300名の多数に上りました。

また、展示会が報道でも取り上げられ、10月31日夜のNHK衛星放送BS1の「ビジネスライン」の番組で「次世代の産業技術」というサブタイトルでマイクロマシン展の様子が放送され、産技プロジェクトの成果がいくつか紹介されました。

次回のマイクロマシン展の開催予定

会期：1998年10月28日(水)～30日(金)

会場：科学技術館／東京・北の丸公園

問合わせ先：MESAGO ジャパン(株)

電話：03-3359-0894

FAX：03-3359-9328

E-mail:KYP03300@niftyserve.or.jp

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



内外の見学者で賑わう会場

世界初の標準化国際ワークショップ開催される

当センターでは、かねてよりマイクロマシン技術の発展のためには、その標準化が重要であることをマイクロマシン・サミット等を通して呼びかけて参りましたが、平成9年4月カナダで開かれた第3回マイクロマシン・サミットで、初めての標準化国際ワークショップを開くことの賛同を得ました。これを受けて、当センター主催の「マイクロマシン標準化国際ワークショップ東京'97」を平成9年10月28日に東京YMCAホテルで開催しました。

通商産業省工業技術院標準部から本間清機械規格課長及び通商産業省機械情報産業局産業機械課から小澤典明課長補佐をご来賓としてお迎えし、当センター標準化委員会委員長の中央大学・佐藤壽芳教授を議長として、本間課長のゲストスピーチでスタートしました。各国・地域からの参画者と、発表内容は下記の通りです。

・標準化について：平野隆之専務理事

〈財)マイクロマシンセンター〉

日本での調査研究状況として、

・専門用語：諸貴信行助教授

〈東京都立大学、標準化委員会・WG主査〉

・計測評価法：三井公之教授

〈慶應義塾大学、標準化委員会・WG主査〉

各国・地域の標準化活動状況として（国・地域名のアルファベット順）、

・オーストラリア：Ian BATES教授

〈Royal Melbourne Institutes of Technology〉

・中国：楊 毅華教授

〈清華大学〉

・フィンランド：Mika SAIKKU氏

〈The Finnish School of Watchmaking〉

・EU/NEXUS、フランス：Gaetan MENOZZI氏

〈SEXTANT Avionique、NEXUS議長〉

・台湾：謝 正雄教授

〈国立交通大学〉

・IEC、イギリス：Howard DOREY教授

〈Imperial College of Science〉

上記発表の後、標準化の今後について当センターの標準化委員会及び標準化調査研究委員会の委員をまじえた参画者全員による活発な討議が行われ、最後に佐藤議長から右記の議長サマリーが出され、参画者16名とオブザーバーを含めた総勢約30名の初の標準化国際ワークショップを成功裡に終えました。また、その後に行われた懇談会では、海外からの参画者を囲んで、極めてアットホームで、フランクに標準化の今後について語り合えました。



議長 サマリー

1. マイクロマシンの発展に、標準化は重要なファクターの1つである。

国際的には、IECが半導体デバイス・ベースで、ワーキング・グループをスタートさせたが、多くの専門分野にまたがるマイクロマシンに対応するために、より幅広いアプローチが期待される。

本ワークショップは、マイクロマシンの標準化の今後について討議する意図で行われた。

2. 本ワークショップでは、マイクロマシンに関して、
・専門用語、計測評価法の日本での調査研究状況、
・IEC、NEXUS、EU及び参加各国・地域における活動状況
の報告がなされた。

3. 上記発表の後、マイクロマシン標準化の今後の可能性について討議した。

参加者は、

・IECのワークへの期待とともに、ワークの範囲をより広げて欲しいとの要望がある一方、
・マイクロマシン全体を扱う国際標準化組織が作られるまでは、IECと平行して、国際ワーキング・グループ又はネットワークが、国際標準化を進める（特に専門用語については）手助けとなる。
との共通した認識を得た。

4. 本ワークショップは、'98年4月にメルボルンで行われる次回マイクロマシン・サミットに併せて、次の会合が開催されることを期待する。

また、さらなる討議と協力を行うために、本ワークショップの結果を、次回サミットで報告する。

21世紀の生活様式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 欧州調査報告

21世紀の生活様式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事業の一環として、11月16日～23日に欧州調査団を派遣し、欧州における生活様式の調査とマイクロマシン関連技術の開発動向調査を行いました。調査団の構成は、当調査研究委員会ワーキンググループ主査・東京大学 城所哲夫助教（都市工学科）、東京大学 鎮西恒雄助手（医学系研究科）、賛助企業から2名及び当センターから3名の合計7名でした。

欧州における生活様式の調査

理工科大学（フランス）の経済学研究室、王立工科大学（スウェーデン）の地域計画学部、ウェールズ大学（イギリス）の都市・地域計画学部を訪問し、専門家のお話をうかがいました。いずれの訪問先もマイクロマシン技術に興味を示していただき、好意的にお話をしていただけました。主に生活様式を受容する器である社会や都市の特色と問題点をうかがい、マイクロマシン技術が産業として、またはその問題解決手段として役割を担えるかという話題にまで触れることができ、とても有意義なものとなりました。

主な話題として、フランスでは高齢化、世代間の社会的連帯の構築、プライバシーについて、スウェーデンでは重要な都市政策課題である次世代道路交通システムについて、そしてイギリスでは地域開発による市場競争力と持続可能性や労働形態などについて話し合われました。

また、ストックホルム介護技術センター（スウェーデン）を訪問し、福祉機器の調査を行いました。

マイクロマシン関連技術の開発動向調査

王立工科大学とウェールズ大学におけるMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）技術の開発動向調査を行いました。また、イギリスI E E（Institution of Electrical Engineers）主催のマイクロ加工技術会議（ロンドン）に参加して最近のマイクロ加工技術の動向調査を行いました。

王立工科大学はMEMS技術により自動車や医療用の流体密度計、圧力センサ、バルブレス流体ポンプなどを精力的に開発しています。特にシリコンの構造体を、塗布したポリマーの熱収縮効果により立体的に持ち上げ、3次元の熱線流速計を構成するなどのデバイスの高度化、そして一方ではマイクロポンプをプラス

チック材料に置き換えるなどのデバイスの低コスト化が試みられていました。

ウェールズ大学ではバイオケミカル実験モジュールの研究を行っています。スペースシャトルや衛星の無重力空間における様々な化学的・生物学的反応を行うために、pHセンサ、グルコースセンサなどを集積した小型実験モジュールの開発を行っており、宇宙でマイクロマシン技術が活躍する日も遠くない印象を受けました。

またあわせてMEMS技術者やバイオ技術者と「持続可能なライフスタイル」について自由討議を行いました。アイディアとして特徴的であったのは、輸送に伴う環境負荷を抑える観点から、農地を各家庭に移した「家庭農園」であり、それはバイオ技術とセンサ技術の融合による育成管理と廃物処理が統合されたシステムです。今後バイオ技術者の抱く理想と積極的に接点をもってマイクロマシンの応用を考えていくのもおもしろいのではないかと感じました。



ウェールズ大学 Dr. Barrow（写真右）研究室での自由討議

なお、I E E主催の会議にあわせて、平野専務理事による招待講演「マイクロマシン～過去、現在そして未来～」が行われ、技術面や政策面についての質疑応答が行われました。特に次代を担う子供たちの夢にマイクロマシンの将来を託す未来志向の啓発活動は大きく評価されました。

今回の欧州調査を通じて、欧州のマイクロマシン研究の一端を深く知ることができ、またマイクロマシン技術が社会に真に受け入れられていくためには、その技術の必要性に加えて地域特有の風土や社会施策を考慮していかなければならないことが再認識されました。

三菱電機株式会社

1. マイクロマシン技術への取り組み

昨今、環境問題への関心が急速に高まっています。当社では、1990年代のはじめにマイクロマシン技術の開発に着手した当初から、「人に優しい、地球に優しい、存在を感じさせない」マシンを目標にして来ました。人にとって辛い作業を肩代わりし、製造中や稼働時もエネルギーや資源を無駄遣いせず、人が気付かない間に仕事をこなす。そんな機械が理想ではないかと、通産省の産技プロジェクトに参画して、大きな期待と共に研究開発を推進しています。

2. マイクロマシン技術の開発

産技プロジェクトの中で当社は、細管群外部検査システムの研究開発に取り組んでいます。これは、本体が5mm立法、コネクタを加えても幅が10mm以下の単体マシンを複数個作り、対象とする管のまわりを取り巻いて上下動しながら、管の傷を検査するものです。その中では、二つのシステム化技術を開発しています。一つは、ブロック組立法です。従来のマイクロ部品の組立では、精密位置決めのできるマニピュレータが活躍していました。これに対して、テーパ形状の接合素子に永久磁石を埋め込むことにより、磁石の極性と吸引力を利用して位置決め・結合を行う新しい概念の組立法を提案しました（図1）。この方法を用いれば、

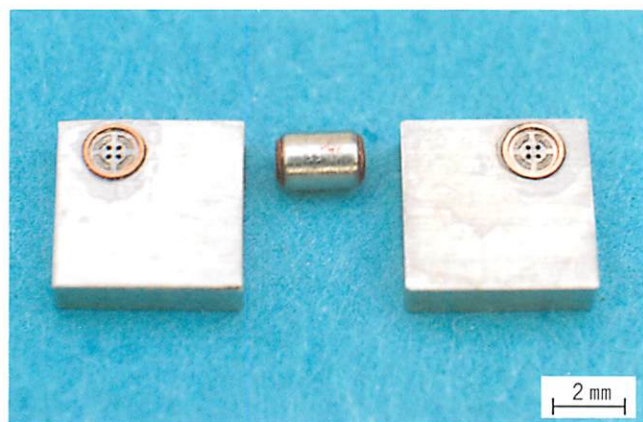


図1. ブロック組立部品の一例

マイクロ部品を相手部品の近くに大まかに配置するだけで、磁石の力により自動的に組み立てることができるようになります。

また、もう一つのシステム化技術として、走行をはじめとする単体マシンの運動機能シミュレータを開発しています。従来のマイクロマシンは、試作、性能測



常務取締役・開発本部長 野間口 有

定、改良の繰り返しで開発される例が少なからずありました。それに対して、車輪駆動するマイクロマシンの運動を、力学的に解析するシミュレータを開発しました（図2）。例えば、駆動輪と従動輪の摩擦係数が



図2. シミュレーション画面の一例

マイクロマシンの旋回性能に及ぼす影響、といった問題に対する解がたちどころに得られます。こうしたシミュレータの有効活用によって、開発に要する試作回数やそのための労力・資源を削減し、総合的に見て効率的に開発を進めることが可能になります。

また、マイクロマシンの開発には、上記の他に個々の要素技術も不可欠です。デバイス開発の一環として、高トルクのマイクロモータの開発にも取り組んでいます。

3. 今後の取り組み

当社では、システム化技術と要素技術をバランス良く開発しながら、冒頭に述べた理想の機械を実現するべく、日夜努力を続けています。その中で、産技プロジェクトの推進と共に、マイクロマシンシステムの実用化を通じた社会への貢献を目指した研究開発を進めて行きます。

来日したMenozzi NEXUS委員長（仏）へのインタビュー

NEXUS委員長であるSextant Avionique社のGaetan Menozzi氏が、第3回マイクロマシン国際シンポジウムに出席するため来日されました。同氏にインタビューする機会を得ましたので、NEXUSの最近動向やSextant社のマイクロシステム開発状況等を伺いました。



Q：NEXUS発足の背景について教えてください。

A：NEXUSはマイクロシステムの研究開発、製造、応用展開を促進するためにヨーロッパ委員会の資金により1992年に発足した組織で、はじめは学会主導で運営されていました。その後1995年にNEXUS IIと呼ばれる産業界主導の運営の組織に移行しました。現在は、NEXUS IIIという新しいフェーズにあり、NEXUSと同様に中央及び東ヨーロッパ諸国の研究所を中心として組織されたNEXUSPANと合体し、西はアイルランド、東はロシアと全ヨーロッパを網羅した組織になっています。98年には2000年以降、自己資金による運営組織に発展させるためのフェーズとしてNEXUS IVをスタートさせる計画です。

Q：NEXUSは将来どのような活動に力を入れていこうとしていますか。

A：NEXUSは産業界主導の活動に移行したので、メインの活動は、「技術を市場に押し出し、製品を生み出す」ことであり、そのための最も重要な部門としてUser Supplier Clubsを発足しました。このクラブはMST（マイクロシステム技術）の応用を検討するもので、MSTの供給者、使用者、研究開発者によって構成されています。現在、自動車、医療バイオ、装置・プロセス制御、マルチメディア、航空宇宙・地球物理の5つのクラブがあり、それぞれのメンバーは15から30の企業や研究所からなっており、年間3、4回の会議やワークショップを開催しています。そして市場、技術ニーズ、製品性能、標準化等がそれぞれで検討、分析されています。将来の活動としては、これらの構成、活動内容をさらに発展させることと、ヨーロッパにおけるMSTとMEMSの市場の詳細な分析のためのグループであるStrategic Guidance Groupの運営があります。このグループは市場分析グループ、User Supplier Clubs、基準担当グループ、学術的なワークショップから情報収集のための特別委員会、それらの情報を取りまとめ、ヨーロッパ委員会及びすべてのNEXUSのメンバーのために、将来の指針やキーターゲットを提示する役割を担うものです。

Q：あなたの会社SEXTANT Avioniqueについて教えてください。

A：SEXTANT AvioniqueはフランスのThomson CSF系列の一つで、従業員6,000人の規模で、主に民生と軍用のフライトコントロール等航空電子システムを製造している会社です。マイクロシステムに関しては、航空電子システムや石油探索用高性能センサ（圧力センサ、加速度センサ等）のトップメーカであります。これらのセンサは70年、80年代に電子機械技術、精密加工技術を用いて開発しましたが、80年代半ば以降、シリコンと石英のバルクマイクロマシニング技術を用いたマイクロシステムの開発に移行しています。なぜなら、それにより迅速な小型化設計、高性能化、低コスト化が可能になり、トップメーカの座を維持できると考えたからです。現在、当社のセンサユニットは2000 m²のクリーンルーム内の4インチウエハライン等の設備を用い、100名のスタッフによって研究、製造されています。

Q：日本のマイクロマシンプロジェクトについてどう思われますか。

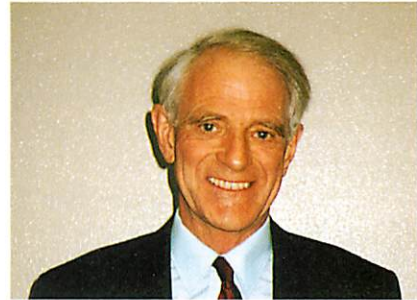
A：私は日本のマイクロマシンプロジェクトは、将来有望なシステムを開発するための大きな「傘」のようなものだと思います。海外から見れば特異なプロジェクトに思えるかもしれませんが、それは多くの企業が各々のデバイスを開発し、協力しあってマイクロマシンシステムを市場に生み出すことができる機会を与えていると思います。また、日本の企業がマイクロマシン技術の優位性をすぐに製品に利用しようとしていることも非常に印象的でした。

Q：最後にマイクロマシンにおけるあなたの夢がありましたらお聞かせ下さい。

A：私には2つの夢があります。一つは私の仕事に関わることで、私の会社でMST/MEMSを用いて開発した最高性能の製品が生まれ、航空宇宙・石油探査システム用の高性能製品のシェアが増大できたらよいと思っています。もう一つは私の個人的な夢ですが、医療やバイオに関わる分野に応用されたMSTやMEMS製品が開発され、それらが2000年以降の我々の生活をよりよくするための大きな成果となってほしいと思っています。

来日したインペリアル大学 Dorey教授（英）へのインタビュー

英インペリアル大学・電気電子工学部のHoward Dorey教授が、第3回マイクロマシン国際シンポジウムに出席するため来日されました。同教授にインタビューする機会を得ましたので、IECでの標準化の動向やインペリアル大学でのマイクロシステム開発状況等を伺いました。



Q：IECにおけるマイクロシステムの標準化について教えてください。

A：IECの標準化ワーキンググループではまだ会合は行っていません。最初の会合は12月に開催される予定ですが、我々は今はまだ、標準化のための準備を行っている段階で、日本やドイツ等の標準化と一緒に活動していくことを決め、最も重要な標準化は何かを検討しているところです。あるグループは特定のデバイスの標準化を進めたがっていますし、また他のグループでは寸法、プロセス、パッケージ、材料等他の標準化を進めたがっています。我々は具体的な標準化を進める前に、各国代表が集まり、優先順位を検討することが必要と考えており、それには何ヵ月も要するでしょう。

Q：MCIG (Microengineering Common Interest Group) について教えてください。

A：英国にはマイクロエンジニアリングやマイクロマシンに関連する多くの団体がありますが、MCIGもそのうちの1つです。メンバーは約50の大学や企業からなっています。活動内容は、基本的にマイクロマシンをどう作るかということと、マイクロマシンをどう使うかということの2つに関連することで、通常は主なマイクロマシンの製造者やユーザを訪れ、会合を開催しています。それらを通じて、彼らの抱えている課題を知り、その課題解決のための助言を行っています。最近のMCIGの関心としては、日本へのミッションの結果がありますが、他には病院と大量生産工場に関する問題の検討会をスタートさせています。

Q：先生の大学(インペリアル大学)ではどのようなマイクロマシン技術に関わる研究が行われていますか？

A：私の所属する電気電子工学部では、3つのマイクロシステム技術の研究チームがあります。1つはオプティカルスイッチやスペクトロメータ等オプトデバイスの研究チームで、主にガラスやシリコンを用いた研究を行っています。また2つ目はディスプレイの研究チームで、マイクロな部品を使って大きなディスプレイを実現する研究を行っています。3つ目は眼に関わる研究チームで、レーザドップラを用いた網膜の血液

の流れの測定の研究を行っています。また、化学工学部では化学センサの研究を行っていますし、医療関連の研究室では、ほとんどすべてがマイクロエンジニアリングを使っています。我々の大学には100を超える研究分野があり、そこでは、小型の赤外・紫外分光計、質量分析器、オプティカルスイッチシステム、水質検査・制御、航空機用エンジン、脳・心臓・胃・腸・肝臓等の低侵襲手術といった広範囲にわたる研究が行われています。私の見積りでは約2000人の研究者がそこでマイクロエンジニアリングに関連した研究を行っており、そのうちの半数はマイクロエンジニアリングを利用する立場であると思います。

Q：近い将来、どのような新しい技術が必要になると思われますか。

A：近い将来、必要な新しい技術としては、個々のマイクロマシンに完全に適合したパッケージ技術があると思います。また、化学センサやアクチュエータは現在のものよりも低コストで大量生産できるようにする必要があります。さらに、ある時間体内で安全に使用できる手術道具にも、まだ多くの新しい技術が必要になるでしょう。我々の向かうところはどこでも、新しく必要な技術があり、それには終わりは無いと考えています。

Q：最後にマイクロマシンにおける先生の夢がありましたらお聞かせ下さい。

A：私の夢は、マイクロマシンが日々の我々のニーズを満足させ、その使用量がここ10年以内に現在の電子デバイスを上回るようになることです。我々に何をしてくれるのか教えてくれる電子デバイスよりも、実際に何かしてくれるデバイスの方がきっと喜ばれるでしょうから、マイクロマシン技術により、何か毎日使って役に立つものを考え出したいと思っています。例えば、歩き方を検知して、それに合った履き心地に調整してくれる靴や、外部環境に合わせて、内部の温度や湿度を自動的に調整してくれる服があったらよいと思います。ただし、自動的に我々の腕前を向上させるようなテニスラケットやゴルフクラブは禁止すべきだと思いますが。

第16回 IARP 合同調整会議

IARP (International Advanced Robotics Program) は、先進各国のロボット関係の研究開発状況の情報交換及び今後のロボット開発に関する意見交換をする場として、1982年のベルサイユサミットでの合意に基づいて発足し、JCF (Joint Coordinating Forum) (合同調整会議) のほか、多数のワークショップを実施しています。今回第16回 JCF が開催され11カ国から参集し、日本からは機械技術研究所の小森谷室長、マイクロマシンセンターの室井課長が参加しました。

【開催日時】 1997年 9 月29日 (月) 10:15~17:00
30日 (火) 8:40~15:00

【開催場所】 カナダ宇宙局会議室
(Saint-Hubert, Quebec)

【内 容】

会議はオブザーバとして出席の中国、ブラジルのロボット開発の状況説明に始まり、ロシアを正式メンバーとしたい旨が話され、次に各国のこれまでのイベント報告、今後の活動方針が示されました。日本からは、1998年10月にヒューマノイドロボットのワークショップ開催の提案がされ、それに対し人間共存型ロボティクスとしてより幅広いテーマにすることで支持されました。開催日は1998年10月26日で了解されました。

【出席者】

Dr. S. RAMAKRISHNAN	/Australia	CSIRO, Manufacturing Science and Technology
Dr. PETER KOPACEK	/Austria	Technische Universitaet Wien
Dr. DAVID G. HUNTER	/Canada	Space Station Program, Canadian Space Agency
Mr. GEORGES GIRALT	/France	CNRS, Robotics and A.I. Group
Dr. TOMAS MARTIN	/Germany	Federal manufacturing Technologies and Quality Assurance Programmes, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Mr. GIUSEPPE MOSCI	/Italy	Elsag Bailey-A Finmeccanica Company
Dr. KIYOSHI KOMORIYA	/Japan	Department of Robotics, MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY
Mr. NOBUYOSHI MUROI	/Japan	International Exchange Department, MICROMACHINE CENTER
Mr. NORMAN CAPLAN	/USA	Division of Bioengineering and Environmental Systems, NATIONAL SCIENCE FOUNDATION
Dr. VALERY G. GRADETSKY	/Russia	Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of Sciences
Dr. ZHEN-BANG GONG	/P. R. of China	SHANGHAI UNIVERSITY
Dr. LIU HSU	/Brazil	DEPT. ELECTRICAL ENGINEERING COPPE/UFRJ

これらの議論に続いて各国の先端ロボット技術開発の動向の紹介が行われました。

その中で日本からは今後の研究開発の方向と、具体的な活動例として平成8年度からスタートした先導研究であるフレンドリーネットワークロボティクスの研究、また最近国内でも注目を集めた自動車メーカの2足歩行ヒューマノイドロボットのビデオ映像が示され、さらに産技プロジェクトのマイクロマシン技術の研究が紹介されました。

マイクロマシン技術の研究に関しては、この第2期に取り組んでいる4つの試作システムと機能デバイスの高度化技術及び共通基盤技術の研究開発の概要について説明されました。

他国でもマイクロマシン技術は将来のロボット技術にとって重要な技術の1つとしてとらえられており、特に今回初めて参加したブラジル、中国からも関心が示されました。

その後、IARPの活動方針がまとめられ、今回の合同調整会議を日本で10月27、28日に開催することで日本の提案通りに承認されました。(次回のこの開催日程は、上述のワークショップ開催とさらにその後に開催される第4回国際マイクロマシンシンポジウム(平成10年10月29日、30日開催予定)に時機を合わせたものです。)



IARP 合同調整会議出席者の顔ぶれ

日中共同マイクロマシンワークショップ報告

1996年5月清華大学の周兆英精密儀器・機械学系主任（学部長）から提案があり、準備を進めていた日中共同マイクロマシンワークショップが1997年9月28日～30日の3日間、北京の清華大学で開催されました。

日本側からは、次の3点を中心としたプレゼンテーションを行いました。

- (1) マイクロマシン技術に関してMEMSを含め幅広く日本の現状を紹介
- (2) 当センターの事業紹介
- (3) 産技プロジェクトの成果例の紹介

ワークショップに先立ち、日本側参加者と後援をした中国の国家教育委員会、国家自然科学基金委員会、国家科学技術委員会の幹部との顔合わせが行われ、中国側が本ワークショップを非常に重要視していることが窺えました。中国側参加者は中国各地から集まりましたが、参加者数を限定したため多数が選に漏れたとのことでした。中国側は、学会・大学・研究機関からの研究者のみで企業からの参加はなく、プレゼンテーションは半導体技術をベースにしたMEMSが中心でした。また、台湾から国立交通大学機械工学系の助教授が参加をしており、研究開発の世界では、政治の影響が余り感じられないようです。

中国の研究者にとって、理解が困難ではなかったかと思われたのが、マイクロファクトリです。中国の産業・社会基盤が十分に発達しているとは言えないためか、その必要性についての理解がプレゼンテーションだけでは十分ではないと思われたので、特に設けられたラウンドテーブルでの質疑応答の際、日本側から積極的に取り上げ、日本のマイクロマシン技術研究開発の基本的な考え方を丁寧に説明しました。その結果、なんとか日本の研究開発の進む方向の理解が得られた感触を得ました。また、中国側からの質問には、将来のアプリケーションに関するものもありましたが、むしろ技術的な内容に関するものが多く、中国の現状が未だ研究室、実験室での基礎的レベルのもので、産業化への道はまだ少し先との感を深めました。日本側から中国側へは、将来の展開を考えつつMEMS主体の研究開発を進めることを示唆しました。

今回の共同ワークショップは、周教授らの努力もあり広く中国国内に当センターの活動を知らしめ、日本の研究開発の現状と日本の進む将来の方向を理解させる絶好の機会になるとともに、マイクロマシン技術/MEMSに中国全体が大きな関心を持つきっかけとなったと確信させるものとなりました。



日中共同ワークショップ

参加者は次の通りでした。

日本側：

中島尚正	東京大学大学院工学系研究科教授
藤田博之	東京大学生産技術研究所教授
北原時雄	工業技術院機械技術研究所主任研究官
安宅龍明	セイコーインスツルメンツ(株)技術総括部長
倉橋 崇	(株)デンソー基礎研究所主任部員
高田博史	住友電気工業(株)播磨研究所主幹
成宮 宏	三菱電機(株)精密科学技術部マネージャ
柳沢一向	オリンパス光学工業(株)複合精密技術部長
吉岡 剛	三菱重工業(株)軽水炉技術部長代理
平野隆之	(財)マイクロマシンセンター専務理事
岡崎俊義	(財)マイクロマシンセンター国際交流部長

中国側の主な参加者：

丁 衡 高	中国工程院院士（北京）
李 志 堅	清華大学教授
金 国 藩	清華大学教授
王 立 鼎	中国科学院院士（長春）
周 兆 英	清華大学教授
鮑 敏 杭	復旦大学教授（上海）
蔡 鶴 皋	哈爾濱工科大学（吉林省）
田 昭 武	廈門大学教授（広東省）
梁 春 広	Hebei Semiconductor Research Institute （山西省石家荘）
高 鍾 毓	清華大学教授
蔣 庄 德	西安交通大学教授
李 川 奇	中国科学技術大学教授（安徽省合肥市）
陸 祖 宏	東南大学（南京市）

第3回 制御系のヒント「昆虫の神経系」

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

1. はじめに

昆虫は、小さな脳・神経系にもかかわらず生き延びるのに必要な行動の発現メカニズムを備えている。このメカニズムはマイクロロボットの制御系の大きなヒントを与えてくれるだろう。

昆虫の行動は、感覚器から脳に入った情報が引き起こす定型的行動（プログラム）と、反射的運動との組み合わせであると考えられている。その詳細は未だ定かではないが、近年、行動観察というマクロからのアプローチと神経生理というミクロからのアプローチを統合して、刺激から神経系を経て行動発現に至るメカニズムを統一的に説明しようとする考え方（神経行動学）がある。

2. 小さな制御系

マイクロマシンに搭載する制御系の重さと体積には制限があるので、高性能な制御系を組み込むことはできないだろう。マイクロマシンに要求される機能を吟味した、小さな制御系があるはずだ。そこで、例として、カイコガを取りあげ、その行動プログラムの本質を利用して、小さいながらもマイクロマシンを制御できる制御系はできないだろうか考えてみたい。

単純な環境下では、昆虫の定型的、反射的な行動が再現性よく現れる。たとえば、雄のカイコガはフェロモン源である雌に向かって進む。右の触角をパルス的にフェロモン刺激するとカイコガは図1のように体軸

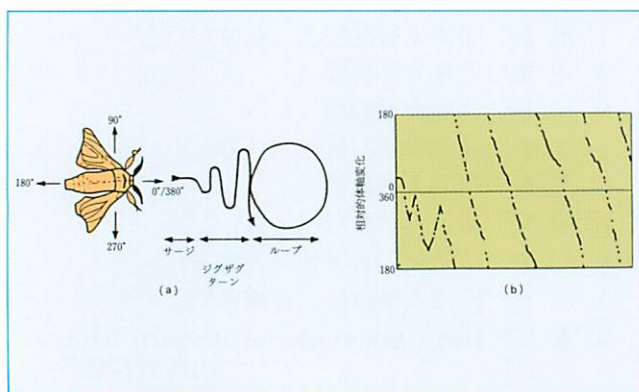


図1. フェロモン刺激によって定位行動するカイコガ (筑波大学 神崎亮平氏による)

を右左の順に変えながらジグザグに進み、さらに右回りに回転運動を始めることが知られている。このジグザグおよび回転運動の方向は左右どちらの触角を刺激したかで決まり、刺激した側が右か左かという情報は、

フェロモンによって次に触角が刺激されるまで記憶されることもわかっている。フェロモンが流れ状に複雑な濃度分布をもつ実際の環境下では、触角にフェロモンがあたるとにカイコガはこのプログラムに従って行動し、センサ入力に対応した行動が次々に発現していくと考えられている。

神崎の生理学的実験によると、触角から脳に入ったフェロモンの情報は、左右の脳を結ぶ相互抑制性の神経を通して観測できる。フェロモンの情報は、ここから胸部におりて運動系に至り、定位行動を引き起こしている。人工ニューラルネットの見方からすると、この相互抑制性の結合がフリップフロップとして働き、フェロモンが触角にあたったという情報を次に触角にフェロモンがあたるまで記憶していると解釈できる。したがって、雌に向かって進む雄のカイコガの行動は、脳・神経系内にあるフリップフロップ的な記憶と、フェロモン刺激によってリセットを受けて走り始める基本行動プログラムであるとモデル化できる。複雑なフェロモン分布をもつ環境下ではこのメカニズムが刺激ごとに繰り返されてフェロモン源への定位行動が発現するという仮説をたてた。

カイコガの歩行や羽ばたきのような運動は、脳が直接制御しているのではない。脳の情報が胸部神経節におりにようにしたカイコガでも、羽ばたきや歩行運動が現れるので、胸部にある運動神経系が運動を引き起こしていることがわかる。脳は、このような運動系に移動方向のようなマクロな制御情報を与えているわけである。

3. 定位行動する移動ロボット

カイコガの触角から作ったフェロモンセンサを図2

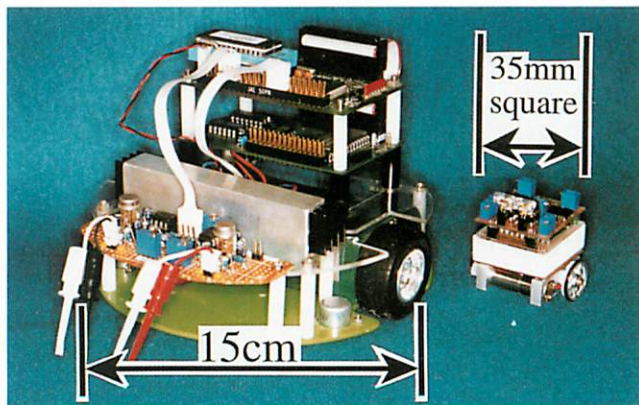


図2. フェロモンセンサを取り付けた移動ロボット

の移動ロボットの先頭部分につけて、前記の行動発現プログラムを確かめた。このフェロモンセンサは空気による刺激には反応せず、雌のカイコガの出すフェロモンにのみ反応する。フェロモンの単発刺激に対するカイコガの行動が、ジグザグ歩行を繰り返し、その後回転歩行するものなので、これを満足するようにロボットの行動をニューラルネットで図3のようにプログラ

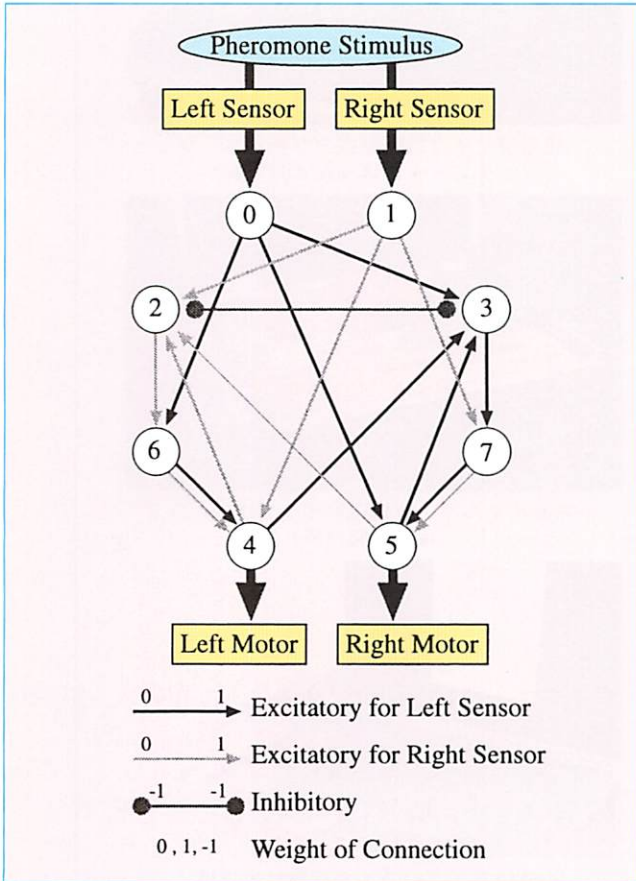


図3. 移動ロボットを制御するニューラルネット

ムした。左と右の触覚からの信号がセンサニューロン0、1にそれぞれ入り、モータニューロン4、5の出力がロボットのモータを動かす。ニューロン2、3を結ぶ抑制性の結合が、左右どちらの触覚が刺激されたかを内部に記憶するRSフリップフロップを形成する。ニューロン2、6、4あるいは3、7、5は順序回路を形成しており、1周期の回転歩行に対応する。次に、このロボットを実際のフェロモン分布のある環境下に置いたときの行動を調べて図4の結果を得た。この結果からフェロモンが断続的に触覚にあたる状態でロボットはジグザグ歩行を繰り返し、フェロモン流からそれてフェロモンが触覚に当たらなくなると回転歩行してフェロモン流をさがす。実際のカイコガにみられる行動がロボットにも発現した。

ところで、雄のカイコガが雌に向かう定位行動では、

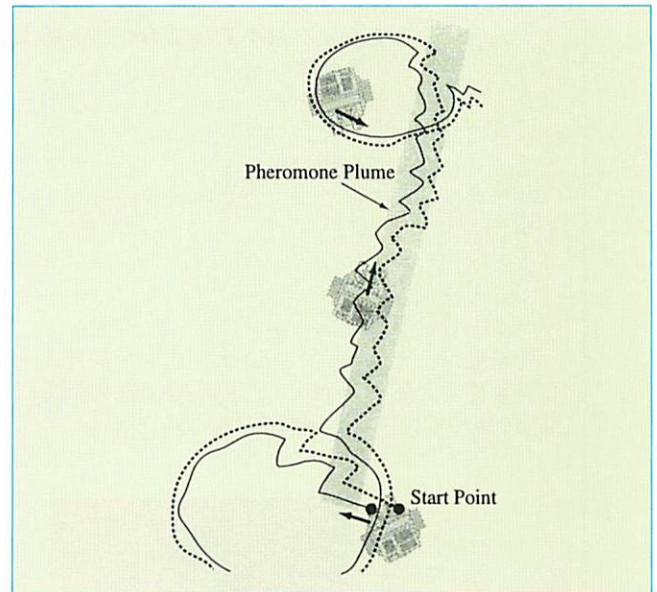


図4. フェロモン環境下で移動するロボット

雄が雌から離れているときにはフェロモンの情報を使っているが、近づくと触覚以外の感覚器も使って交尾にまで至っている様子が観察できる。このような、複数のセンサに刺激が入るときに、センサからの情報をどのように使い分けるかの原理は未だ定かではない。また、ニューラルネットの計算は通常、各ニューロンに与える同期信号で同期をとりながら計算を進めていくが、実際のカイコガではこのような同期信号はないようなので、生物の神経が伝達する信号の中に時間の情報が含まれていると考えられている。このように、生物の神経系にはまだまだ手本とすべきものがある。

4. おわりに

ここでは、カイコガを中心に神経系とマイクロマシンの関連性について述べた。カイコガ以外にもマイクロマシンの参考になるものは多いと思う。前回にも述べたことだが、生物の一般的な性質同様に、種に固有の性質をマイクロマシンに役立てることも考えられる。

ところで、マイクロマシンのために昆虫の機能や構造を勉強しているうちに、マイクロマシンが、昆虫の脳研究の道具になる可能性のあることがわかってきた。これまでの脳研究では、脳と行動の関係が解析的に研究されてきた。しかし、いくら微細に神経や脳を解析しても、刺激に対する行動発現メカニズムを統一的に説明できていない。そこで、解析結果をマイクロマシンの形で統合し、昆虫の実際の行動と比較することによって、行動発現メカニズムを研究することができる。また、マイクロマシン技術で作った微小電極のようなセンサを使えば、これまで得られなかったデータが得られる可能性があるため、期待されている。

マイクロマシン ポータブル展示品

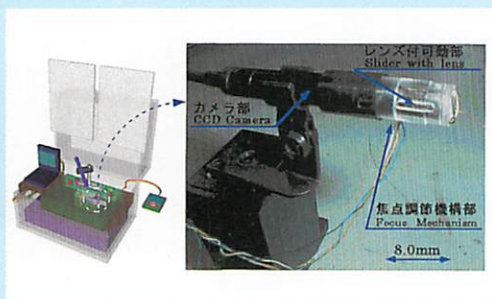
財団法人マイクロマシンセンターでは、産業技術研究開発制度のプロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」の成果を出来るだけ具体的な形にして多くの方々に理解して頂くため、「マイクロマシンポータブル展示品」を賛助会員企業の協力を得て制作を進めています。この展示品は、当センターが開催するセミナーやイベントの際、会場で展示することにしており、(1)持ち運びが簡単 (2)設置・操作が簡単 (3)メンテナンスが容易 という基本仕様を満足するように作られるもので、多くはアタッシュケース大のキャリングケースに収まるものになります。

昨年度は、(株)アイシン・コスモス研究所の「レーザ光を用いたマイクロポンプ」、オリンパス光学工業(株)の「1mmφSMAマイクロマニピュレータ」、三洋電機(株)の「てんとう虫型アクチュエータ」、(株)デンソーの「配管内マイクロ検査マシン」が完成し、利用されています。

今年度は、セイコーインスツルメンツ(株)、(株)東芝、(株)日立製作所、三菱電機(株)、三菱電線工業(株)の協力を得て制作を進めており、その概観の図、写真をここに示します。



圧電型マイクロ回転式アクチュエータ
(セイコーインスツルメンツ(株))



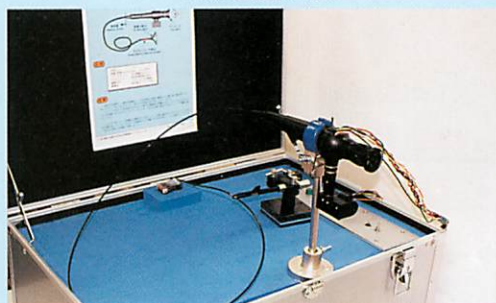
高性能マイクロカメラ
(株)東芝



低表面エネルギー化処理マイクロ送液ポンプ
(株)日立製作所



マイクロ発電機
(三菱電機(株))



SMAマイクロコイル首振り内視鏡
(三菱電線工業(株))

編集後記

○明けておめでとうございます。

本号は、昨年10月末に開催されました第3回国際マイクロマシンシンポジウム及び第8回マイクロマシン展の報告を中心にお届けいたします。

○当財団も本年1月で満6年を迎え、本広報誌「マイクロマシン」も平成4年9月に第1号を創刊して以来、本号で第22号となります。この間殆どの企画・編集に携わってきた藤原紀六業務企画部次長が、昨年10月に急逝されました。

藤原さんは、本財団設立間もない平成4年10月に株式会社日立製作所から当財団に出向されて以来、広報誌・抄録の編集、セミナー、マイクロマシン展、絵画コンテストの企画等マイクロマシンに関する普及業務を中心に活動してきました。マイクロマシンセンターの諸事業は、藤原さんのご活躍に負うところが大きいものと感謝しています。ここから、ご冥福をお祈り申し上げます。

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。