

MMAC

マイクロマシン

1995・10 No. 13

- 産業基盤の技術としてのマイクロマシンへの期待
- マイクロマシンの研究紹介
- MMCの事業活動
 - ・マイクロマシンシンポジウムの歩み
 - ・マイクロマシン展について
 - ・平成7年度イブニングセミナー
 - ・第1回研究助成による研究成果の報告会開催
- 技術の系譜（賛助会員の紹介）
 - ・三菱電機株式会社
 - ・株式会社 村田製作所（横浜開発センタ）
- 海外事情
- トピックス
- 入門講座 マイクロ理工学
- イベントのお知らせ
 - ・福岡マイクロマシンセミナー
 - ・ハイテクシンポジウム山口 '95

財団法人 マイクロマシンセンター

産業基盤技術としての マイクロマシンへの期待

中央大学理工学部 精密機械工学科
教授 佐藤 壽 芳



工作機械の剛性と精度の関連に関心を抱き、研究に従事してきた筆者にとって、マイクロな世界との具体的な接点は表面粗さによってであった。生産工学の世界に触れた時、切削に伴う自励振動の安定限界判別と構造の振動特性同定が学会の主要な課題であった。一方、筆者が触れてきた振動、制御の分野では、入出力の関係から系の動特性を同定することが話題であった。考慮の末、振動と表面粗さの関係が指摘されながらも具体的ではないことに注目し、これを一つの課題とした。

1967年、米国マサチューセッツ工大に滞留中に、研究室で使える機材を動員して、旋盤構造の振動と表面粗さの関連を求める測定を試みたが結果は失敗であった。振動が高速現象であるのに、表面粗さの測定は低速、丹念に表面をなぞる手法が基礎であり、振動と同時に表面粗さを測定する手法の開発自体に課題のあることが明確となった。

その後の研究の展開は、現慶応義塾大学三井公之教授との共同による高速表面粗さ測定法の開発をすすめ、表面粗さに影響を与える構造振動の特性、工具・被削材間の相対変位と表面粗さの伝達特性等が明確にされた。これらは従来の常識を明確にする一方、論議されてきた課題に定量的な見通しを与えたものであった。

高速で表面粗さを測定する方法は、光学顕微鏡の系に電荷結合素子 (CCD) を逸早く巧みに利用していたが、測定分解能は $1\mu\text{m}$ を切るところが限界であった。時恰も、コンパクトディスク (CD) の表面形状評価、磁気ディスク鏡面の超精密切削加工法等が関心事であり、これらの微細表面形状をnm台で評価することが新たな課題であった。

ビーニッヒ等の開発によるトンネル顕微鏡 (STM) は、一気に原子レベルの形状を可視化する画期的な手法であった。一方、筆者等は光学顕微鏡に比して高い分解能が期待される電子顕微鏡による解決策を探った。その結果、走査電子顕微鏡の反射電子画像の画像信号を積分する簡潔な処理で、表面微細形状が求められることを示した。STMの画期性には及ぶべくもないが、画像と対応して形状が求められること、倍率に対応して、 $0.01\mu\text{m}$ 台から、 $100\mu\text{m}$ 台に互って形状の評価が可能なこと等、いわゆるミリマシンの微細表面形状評価にはそれなりの特徴があることを指摘した。

これらの流れの中で、半導体微細加工を利用して、機械動作を実現するマイクロマシンの可能性が提示された。機械に対する動作力として電磁力よりも静電気力が主要な役割を果たすことに見るように、機械の構成法とその動作環境についてマシンに新たな概念を与えた点で画期的であった。

STMと言ひ、マイクロマシンと言ひ、画期的な概念の提示の多くが、残念ながら欧米諸国から生まれている。一方、数値制御 (NC) 工作機械の概念は米国で生まれたが、漸進的な努力を要する育ての親はわが国と称されている。

第二次大戦後のわが国産業復興と成長の軌跡は、高品質の製品を廉価に大量に生産、供給可能としたものであり、これは、製品に工夫を加え、生産技術を磨く、精緻化を図る、漸進的な努力の成果であった。先進国からも称揚されたトータル品質管理 (TQC)、ジャストインタイム (JIT)、コンカレントエンジニアリング等はその一端であろう。

今後の努力は、わが国が得意とする方向性に加えて、マイクロマシンの当初の概念のような、画期的な成果を生み出すことに意を払うことが望まれる。しかし、これは手をこまねいてなるものではなく、漸進的な努力を続ける中で醸成されることに留意すべきである。

このような状況と背景を考えると、マイクロマシンの研究開発は、個々に革新性を意図しつつも、漸進的、多様な展開を図るべき時期であり、半導体技術から生まれた当初の概念に留まることなく、時計技術、超精密加工等に基礎を置く展開、在来機械の中へのセンサー技術の融合、医療技術への応用等、論議、探索が重ねられている。既に実績も挙げられつつあるが、将来の産業技術の基盤として整えられることが期待される。

筆者自身はマシンに到達せず、形状評価技術の一点でマイクロ世界につながっている状況である。思いがけなく身を置いている位置であるが、転換期を迎えている時期にあつて、新しい産業の基盤を創る研究開発の努力は必須であり、(財)マイクロマシンセンターのご努力、ご尽力と共に、大いなる成果が生まれることを切に期待する。

工業技術院・計量研究所における

「マイクロマシン技術の研究」

工業技術院・計量研究所

谷村 吉久、梅田 章

1. はじめに

計量研究所は、マイクロマシン技術に関連して、産業科学技術研究開発プロジェクト「発電施設高機能メンテナンス技術開発評価」の中で、「微小機械要素」のテーマを担当しています。

当所がマイクロマシン技術に関わる理由は、その応用として“機械やプラントを分解せずに、それらの内部に微小機械を入り込ませてメンテナンスをする”という提案をしたことにあります。メンテナンスは計測を基礎としていますから、微小機械には計測機械としての側面があります。“非分解”は、医学では“非手術、非切開”に相当するわけです。つまり微小機械には計測機械としての側面があります。勿論、数mmから $1\mu\text{m}$ という小さなものを加工したり、組み立てる技術を開発すれば従来とは違った計測・評価技術が必要になってくることは明らかです。これは、もとより計測・評価技術と標準設定を柱とする当所の所掌と一致しているところです。

従来より計測・評価は、機械技術体系の中の加工技術、制御技術などと共に、独立した重要な技術と考えられてきました。しかし、運動メカニズムの構成と制御を中心とするロボット技術やその基礎となる加工・組立技術の後始末として計測・評価技術を認識するのではなく、計測・評価を開発当初から他の技術と同等に考慮し、システムティックに取り組むとき、本当の意味のマイクロマシン技術が進展するのではないのでしょうか。つまり計測・評価技術と他の技術が車の両輪となって進んでこそ体系的な技術になる、と考えられます。

したがって、マイクロマシン技術の中であって、従来なかった新しい計測技術や評価技術が要求される場合においても、加工・組立・制御技術と計測・評価技術は同じ比重で意識的に接近させながら技術開発することが求められます。

当所では上に述べた考え方から「微小機械要素の評価」という研究テーマで幅広く、基礎から掘り起こす姿勢で、

- (1) 各種の微小センサの特性の計測技術
- (2) 振動利用センサや機能性薄膜応用アクチュエータ及び必要な計測・評価技術の開発に取り組んでいます。

2. センサ・微小構造体の計測・評価技術

ここでは、衝撃を利用した微小構造体に対する運動発生技術と、その計測・評価技術への応用の成果を紹介します。

機械の動的計測においては、どんな構造体に対しても運動の発生が基本の技術となります。例えば、振動台に機械要素を設置したり、大型振動台に耐震構造物をセットして地震の応答を調べる、などがそれに相当します。

微小機械要素と言える各種の微小センサでは、

- (1) 広周波数帯域での加振
- (2) 定量性のある高加速度での加振

などの条件を満足する運動の発生がまず求められ、その目的にあった最適な方法として衝撃の利用が考えられます。

そこで、図1のような原理の衝撃発生方法を考え、研究を進めています。図1において、圧縮空気で加速された飛翔体を棒の端面に衝突させると、圧縮の弾性波パルスが発生し、棒の軸に沿って他方の端面に伝ばして行き、反射します。その際に、動的な高速の微小変位運動が発生します。この棒は、弾性波伝ばの理論解析を検証するために電極板で棒端面の動的変位を測定した研究者の名前をとって、「デービス棒」と呼んでいます。

こうして我々のところで、飛翔体の衝突によりデービス棒内部に発生する弾性波パルスの棒端面での反射を利用したセンサや計測機器の特性評価手法が開発されました。

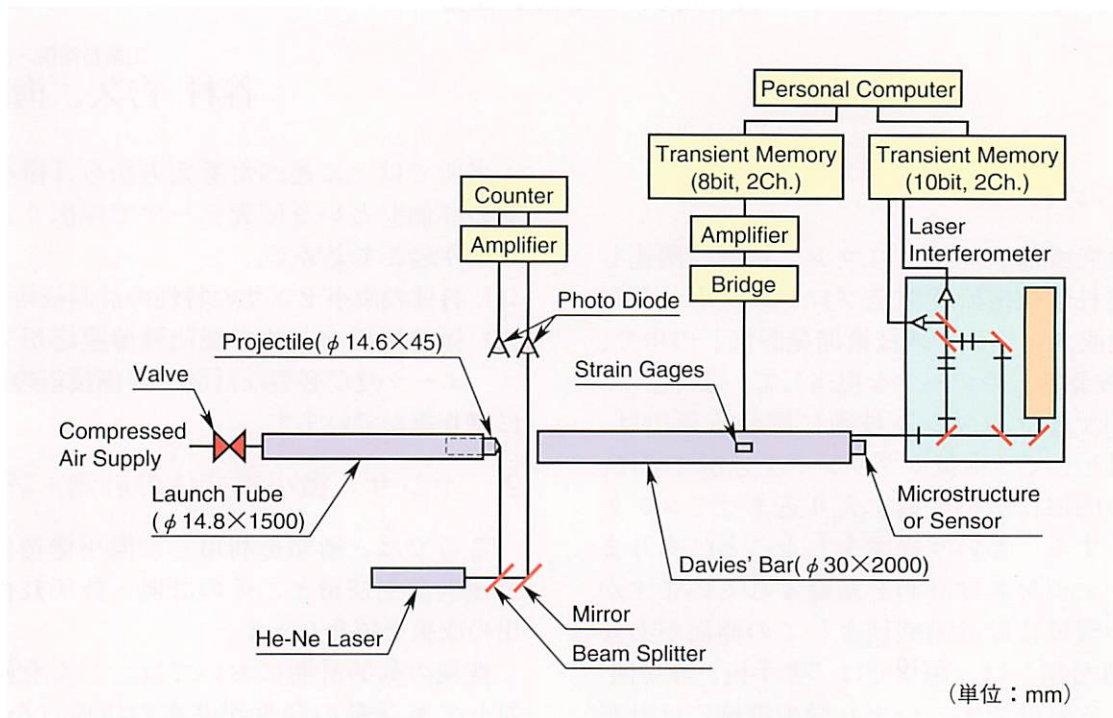


図1 衝撃によるセンサ・微小構造体の動的応答評価装置

ー加速度センサの特性評価への応用ー

その一つの応用として加速度センサの特性評価があります。現在、市販の加速度センサを購入しますと、明確な周波数特性のデータが添付されていません。その理由として、

- (1) 現在、国際的に認めている加速度の標準が数十Gまでの振動加速度に関するものであって、衝撃加速度の標準がないこと
- (2) にもかかわらず高い加速度の測定に利用可能としていること

が挙げられます。

我々が開発した手法では、デービス棒の端面に評価対象である加速度センサを固定し、棒端面の微小運動をレーザ干渉計で高速・高精度に測定できますので、干渉計により測定された端面の運動加速度と加速度センサの出力を、時間領域で比較するとピーク感度が得られ、周波数領域で比較する位相特性をも含めた周波数特性が求められます。運動測定の基準となるレーザ干渉計の基本はドップラーシフトを検出するマイケルソン形干渉計で、高速の微小変位のレー

ザ干渉信号をすべて高速サンプリング（100MHz）して取り込み、記録装置に記憶させ、実験終了後に解析を行って特性評価します。

この手法で発生できる加速度の最大値は 10^6m/s^2 、最小値は 200m/s^2 です。図2はその一例で、与えたピーク加速度値は 10^4m/s^2 オーダです。さらに市販のリファレンス加速度センサの周波数帯域を調べたところ、20kHzまでであると言われていた周波数帯域が実際には5kHzしかなかった、という事実も明らかになっています。なお、この計測・評価手法をISO/TC108/SC3（振動衝撃計測用ピックアップの校正法）へ提案したところ、昨年より規格化のための検討作業が開始されました。

ーレーザ振動計・変位計の周波数特性評価への応用ー

次に、レーザ振動計、レーザ変位計の周波数特性評価への応用が考えられます。

マイクロマシン技術では微小構造体を扱うことが多いため、運動を伴うものでは通常の機械に比べて一般に周波数が高くなります。そこで

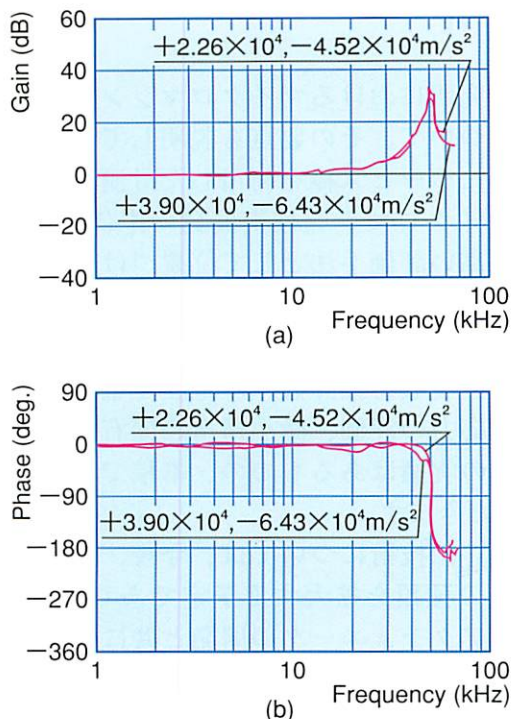


図2 加速度センサの周波数特性の評価例

運動測定のためにレーザ振動計や変位計が好んで用いられます。実際、帯域が1.5MHzというレーザ振動計が市販され、プローブ型顕微鏡、圧電物質、加工関連の振動モニタリングなど、多くの分野で利用されています。しかし、これらの計測機器がどれくらいの周波数帯域の特性を持っているかを調べ、評価する技術は何もないのが実状です。

そこで市販の干渉縞計数式変位計について、我々が開発したレーザ干渉計でデビス棒端面の高速微小変位を測定したところ、100kHzまであるはずの周波数帯域の特性が、実際には20kHzまでしかないことがわかってまいりました。

—ひずみゲージの周波数応答特性評価への応用—

さらに第三の応用として、ひずみゲージの周波数応答特性の評価が考えられます。

図1に示したように、棒の側面に評価したいひずみゲージを貼ります。弾性波パルスによる高速の微小変位を測定しますと、端面へ

の入射弾性波パルスのひずみが検出されます。波動伝ばの逆算によってゲージを通過する弾性波パルスのひずみが求まります。つまりゲージへの入力に対して出力がわかりますから、ひずみゲージの周波数応答を求めることが可能になります。図3はその測定記録の一例です。ひずみゲージの周波数応答特性を実際に求めた例としてはこの結果が世界で最初のデータと言えます。古くからひずみ計測の分野でポピュラーに使われているひずみゲージですが、周波数特性の把握という古典的課題が「マイクロマシン技術」という新しい枠組みの中で解決できた好例となるものです。

見方を変えると、レーザ干渉計で校正されたひずみゲージ付きデビス棒は、それ自体が微小構造体のための一般的な運動発生装置であり、同時に微小な加速度センサ、超音波センサなど、変位に関する各種のセンサの二次的な計測標準器として利用できるもの、と言えます。

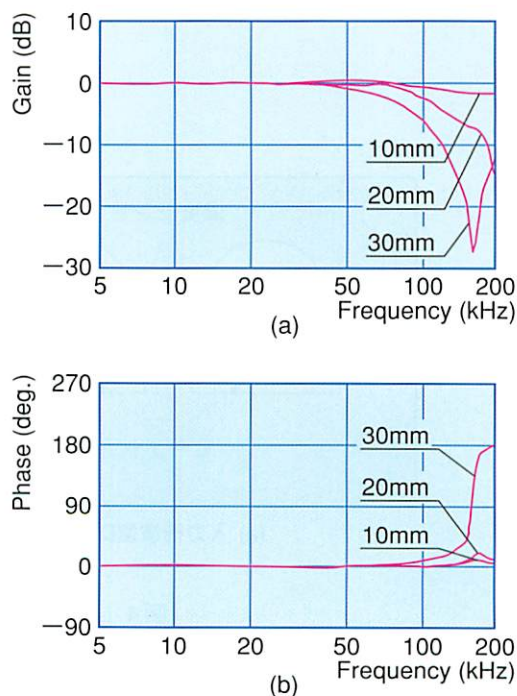


図3 ゲージ長をパラメータとしたときのひずみゲージの周波数応答特性

3. センサ及びアクチュエータの開発

センサの開発では、2自由度のねじり共振振動子の開発を行っています。2自由度とすることで、電極間距離を短くし、同時に大振幅が可能になりました。

アクチュエータの開発では、形状記憶合金薄膜の作製から掘り起こして研究を進めています。現在、最適な作製条件を可能な範囲で検索し、パラメータの設定範囲を絞り込む方向に進んでいます。

相変態温度を測定するための示差走査型熱量計 (DSC) について、図4 (a) と (b) に示す二種類の測定原理があります。試料の質量が大きく影響すること、試料が微小な場合に測定結果にばらつきがでること、などが明らかになりつつあります。

4. むすび

計量研究所におけるマイクロマシン技術の研究成果について、その要点を説明してまいりました。特にデータベースを利用した計測・評価技術は、マイクロマシン技術開発の中であって、一般性の高い評価手法として位置づけられ、その応用研究は今後も続けられます。すでに超音波センサ、圧電型力センサ、インパクトハンマなどの周波数特性評価、圧電膜圧電定数の測定、残留応力の評価、微小構造の固有振動数測定、などの実績はあるものの、本稿では割愛させていただきます。

計測・評価技術については、今後、対象とする物理量の種類を拡大する予定ですが、センサ、アクチュエータの開発と共に、関係機関、関係諸氏の一層の御鞭撻と御支援をお願いする次第です。

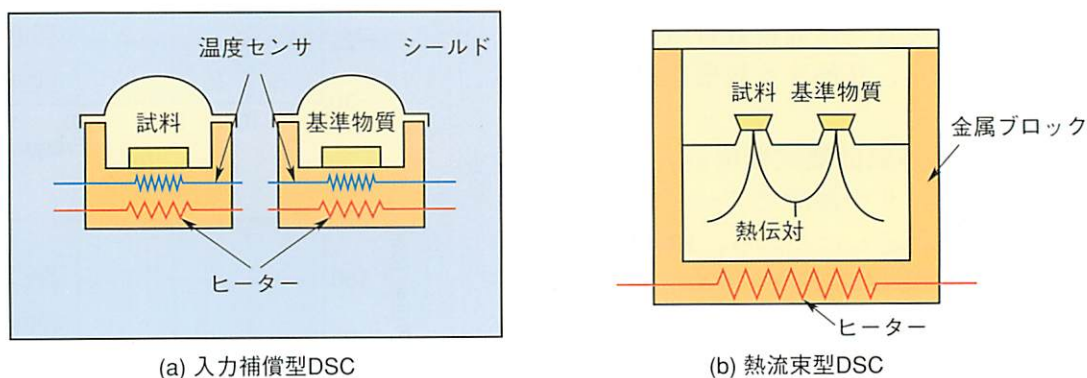


図4 二種類の示差走査型熱量計 (DSC) の原理

マイクロマシンシンポジウムの歩み

この広報誌が発行されるのは、丁度、第1回国際マイクロマシンシンポジウムが開催されているときです。

このシンポジウムは、これまでのマイクロマシンシンポジウムとマイクロマシン技術成果発表会を併せ、更に国際的な視野から内外のマイクロマシン技術の研究開発に関心を持つ方々に参加を呼びかけ、「マイクロマシン技術一次代の産業技術の基盤」のサブタイトルの下に、マイクロマシン技術の振興と普及啓発のために開催されるものです。

第1日目には、生命誌研究館の中村桂子先生による基調講演を始め、マイクロマシン技術関連の内外の研究者等による「マイクロマシン産業への途」、「海外の活動」および「革新的研究紹介」をテーマとした招待講演10件が行われます。第2日目には、通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発制度（産技プロジェクト）における10年計画（1991年からスタート）の「マイクロマシン技術の研究開発プロジェクト」の第I期の成果等21件の発表が行われ、内容の充実したものになります。

これまでのシンポジウムを振り返って見ると、1987年に米国で開催された第1回のMEMSのワークショップ“Small Machines, Large Opportunities”が端緒となり、日本でもシリコンプロセスを中心とした微小なアクチュエータが注目され始め、将来の機械システムの新しい分野を拓くという期待が高まり、このような状況の下で、マイクロマシン技術について学際的な領域を主体として応用を指向した研究者の集まりとしてマイクロマシン研究会が設立されました。

第1回のマイクロマシンシンポジウムは、1988年12月17日に東京・大手町の農協ホールでマイクロマシン研究会の主催で開催され、講演とパネル討論が行われました。講演題目と講演者は、次の通りでした。

- ・マイクロマシンは医学をどのように変えうるか
藤正 巖（東京大学先端科学技術研究センター）

- ・マイクロエレクトロニクス研究の現状
藤田博之（東京大学生産技術研究所）
- ・マイクロセンサとマイクロアクチュエータ
軽部征夫（東京大学先端科学技術研究センター）
- ・マイクロエンジンとその周辺
中島尚正（東京大学工学部）

第2回マイクロマシンシンポジウムは、1990年3月14日にマイクロマシン研究会が主催で、機械振興会館において開催され、同時に第1回産業マイクロマシン展が併設して開催されました。

第3回マイクロマシンシンポジウムは、1991年3月20日に機械振興会館で開催されました。第2回産業用マイクロマシン展がMEMS'91に合わせて奈良で1月に開催されたため、この年は、シンポジウム単独で開催され、このときから一般演題を公募するようになりました。

第4回目のマイクロマシンシンポジウムは、東京・北青山のTEPIAホールにおいて1992年3月11日・12日の2日間に渡り、マイクロマシン展と併催して実施されました。産技プロジェクトの「マイクロマシン技術」が1991年にスタートして最初のシンポジウムとなり、当センターが主催者の一員となったのもこのときからでした。

第5回目からは、通商産業省の後援、および日本機械学会を始めとする多数の学会・団体からの協賛を得ることが出来るようになり、1993年4月20日・21日の2日間、東京・北の丸公園の科学技術館で開催され、マイクロ医療技術・光造形加工法・微小部品・アクチュエータ等に関して海外からのものを含めた20テーマについて最新の研究成果が発表され、さらに招待講演3件、国際会議の報告2件などが行われました。

第6回目は、1994年5月11日・12日の両日、東京・北の丸公園の科学技術館において開催され、特別講演、内外招待講演合わせて4件とマニピュレーション・細胞機械とマイクロマシン・医療への応用・新しいアクチュエータ・情報通信への応用等、19テーマの研究成果が発表されました。

マイクロマシン展について

マイクロマシン展は、先端科学技術としてのマイクロマシン技術の高度化を促進し、マイクロマシンが経済社会において広範な分野に普及、発展することを目的として企画されて来ているもので、本年で6回目の開催となります。

第1回目は、当センター設立前の1990年に開催され、当時の(社)日本産業用ロボット工業会のマイクロロボット開発調査専門委員会とマイクロマシン研究会が主催をし、会期も1日でした。

第2回目は、(社)日本産業用ロボット工業会が主催し、MEMS'91の微小電気機械ワークショップに合わせて開催されました。

当センターが主催者の一員となったのは、1992年の第3回目からです。新たな技術体系の構築または技術的ブレークスルーにより経済・社会の新たな発展に貢献する基礎的独創的研究開発を支援することが目的の一つである通商産業省工業技術院産業科学技術研究開発制度の下で、マイクロマシンの基盤技術の確立を目的として発足したプロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」が1991年度から始まり、研究開発の方向付けと1年目の成果を初めて世に問うたものでした。このときの出展者数は31、来場者数は、約1,700でした。

第4回目からは、通商産業省の後援を受けることができ、第4回目の出展者数は、63、来場者数は、約3,500となりました。

第5回目(去年)の出展者数は、63、来場者数は、約3,700になりました。

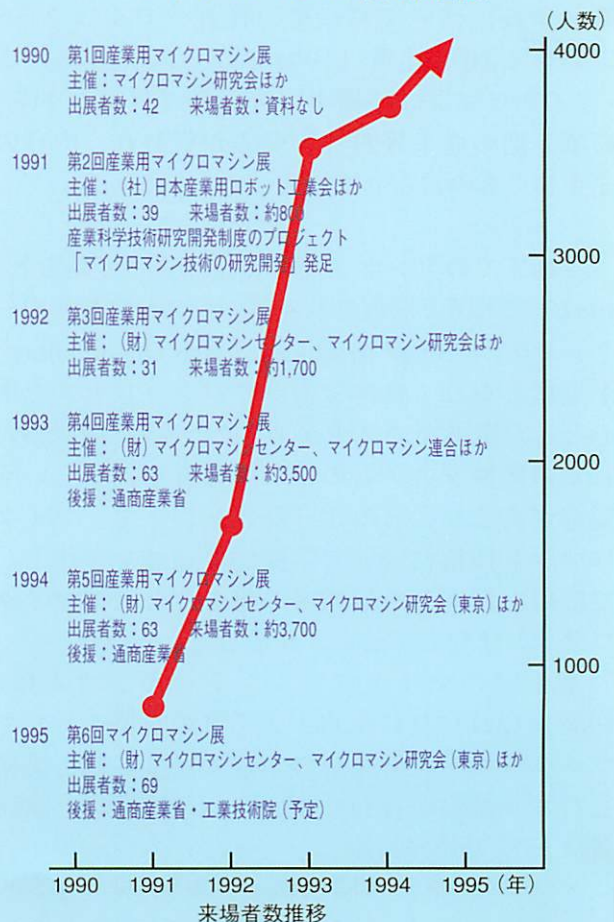
今回は、「夢をはぐくむ技術・マイクロマシン」をテーマに、当センターとマイクロマシン研究会(東京)と共同で開催するもので、本年が、通商産業省工業技術院産業科学技術研究開発制度のプロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」の第I期の終了年度であり、過去5年間の研究開発成果の集大成が展示されるため、内容の一層の充実が図られています。また、産業用、医療用などの応用分野において、多くの期待を担っているマイクロマシン技術の研究開発の現状とマイクロマシンの将来性について広く理解を深めるものとなっており、当センターの

賛助会員を中心にマイクロマシン関連企業をはじめとし、国立研究所、大学等、内外から69の企業と団体が出展し、過去最大規模での開催となり、展示会場の広さも、去年の約1.5倍となっています。

過去5回の展示会では、「産業用」を冠していましたが、より広い分野への適用を目指して今回から「マイクロマシン展」としました。

会期：平成7年10月31日(火)～11月2日(木)
会場：科学技術館
 東京都千代田区北の丸公園2-1
 TEL：03-3212-8485

マイクロマシン展略年表



平成7年度イブニングセミナー

毎月恒例のイブニングセミナーは、回を重ね9月度で20回目となりました。マイクロマシン技術に関する官学産の相互理解と親睦を図ることを目的に毎月第3水曜日に開催しているもので、当センターで実施している「マイクロマシンの基礎技術の研究」を担当している部会長の方々を中心に講師をお願いしています。第1回目は、平成5年9月に始まり、これまでにマイクロ理工学、医療応用、設計手法、制御手法、微小機能要素技術、計測評価技術等の講演を行い、幅の広い内容のセミナーとなっており、講演の際の質疑応答や親睦会での講師の方々との交流では、マイクロマシンに関する生の情報について活発なやり取りが行われています。

今年度開催されたイブニングセミナーの概要は次の通りです。

4月度（第16回）

- 講師：** 諸貫信行助教授 東京都立大学工学部
演題： マイクロ機構の動的計測手法
概要： 測定対象に作用する力を測定するためには、対象となる力学的連鎖に力測定器を挿入しなければならないが、被測定系に対する影響を最小にするために挿入には十分な配慮が必要である。更に動的計測という観点からは、固有振動数を高くしたいという要求があり、測定器に対する要求はかなり厳しいものがあるが、市販品には、要求仕様を満足させるものは、少ない。

5月度（第17回）

- 講師：** 江刺正喜教授 東北大学工学部
演題： 集積化機能デバイス構築法
概要： 集積回路の微細加工技術を中心にレーザーを用いた立体的な微細加工技術を組み合わせることでセンサ・回路およびアクチュエータなどの異種要素を多数集積化し

たマイクロシステムを実現出来る。これは従来技術では難しい“柔らかく優しく動く機械”などを可能にし、今後益々複雑高度化するシステムの保守に不可欠な狭所作業用の道具に大いに期待できる。この研究では、特に、幅広い知識に効率的にアクセスできること、自由度が大きく、できるだけスリムで維持が容易な研究設備を整備し、リスクの大きな研究もできるようにすることなど、工夫しながら進める必要があろう。



第17回イブニングセミナー講演風景

6月度（第18回）

- 講師：** 西尾茂文教授 東京大学生産技術研究所
演題： マイクロ伝熱・流れ特性
概要： ミリオーダー以下の空間スケールを持つ熱流動場をマイクロスケール場と定義し、通常スケール場における知見からの外挿によるマイクロスケールの場の特長、マイクロスケール場における熱流動に対する場の拘束効果、マイクロ熱機器などについて概略をまとめた。マイクロ伝熱・流れ特性に関する知見がマイクロマシン技術の進展にも役立つように展開されることが期待される。

7 月度（第19回）

講師：井川直哉教授 大阪大学工学部

演題：マイクロ部品の寸法計測手法

概要：部品の形状精度はそれを利用する機械的構造物の機能に対して重要な意味をもつ。その例は、歯車・ねじにおける各部の真円度、真直度、歯形精度やねじ山形状精度で、運動の伝達精度を左右する。マイクロマシンでも同様である。

寸法測定・形状測定の必要条件について分析した結果、数ミリメートル～数マイクロメートルの測定範囲と被測定物寸法の千分の1～1万分の1の測定精度を持ち、非接触で三次元立体形状の測定が可能な測定器の開発が緊急の課題であると提議し、一方、実例を基に、分解能、適用限界を示すとともに光学的方法に特有の問題点を抽出した。

9 月度（第20回）

講師：鎮西恒雄助手 東京大学医学部

演題：医療におけるマイクロ計測手法

概要：生体の微小循環を覚醒状態で長期的に観察できる原理を提案し、これに基づいたプローブの設計試作を行い性能試験を行った。その結果、新しい方法は原理通り作動することが明らかになり、

1. 装置が非常に簡単、小型化出来る。
2. 低侵襲の手術で体内に埋め込み可能である。
3. 微小な循環を行動を束縛することなく連続的に観察できる。
4. 光源として微弱なものが使用可能。
5. 大型の動物にも使用可能。

などの利点を持ち、将来が期待される。解決すべき問題は、

1. 電氣的絶縁方法の強化
2. より小型化すること

3. 解像度の向上

があるが、解決のための検討を進めている。



第20回イブニングセミナー講演風景

10 月度（第21回）

講師：根岸直樹助教授 東京女子医科大学形成外科教室

演題：医療用マイクロマシンの機能材料

なお、11月度、12月度の予定は次のとおりです。

11 月度（第22回）

講師：奥山雅則教授 大阪大学基礎工学部

演題：センサ材料の特性

12 月度（第23回）

講師：金子 真教授 広島大学工学部

演題：マイクロ運動機構の制御方法

第1回研究助成による研究成果の報告会開催

当センターでは、自主事業の一環として平成5年度より、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い、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「マイクロマシン技術に関する研究助成」を行っております。

この度、平成5年度公募の研究助成対象課題の内、単年研究課題の5テーマについて研究が終了し、報告書が完成しました。これを機に、去る9月22日(金)当センター会議室にて、「第1回マイクロマシン技術に関する研究助成による研究成果報告会」が開催されました。報告会では先生方の最新情報を含めた研究成果報告（下表参照）がOHPとビデオを使いなされました。特にビデオでは、マイクロマシンが実際に動作している状況を臨場感溢れる状態で再現されるなど、大変分かりやすく報告されました。形状計測、医療用素材、ハンドリング、アクチエータ、センサと幅広い分野にまたがり、活発な質疑応答がなされ、成功裏に終了しました。

成果の概要は広報誌No.12に掲載しましたが、来年も更に充実した報告会が期待されます。



写真1 研究助成報告会風景



写真2 研究助成報告会風景

研究成果報告

報告課題	報告者
マイクロ部品の寸法・形状精度評価法に関する基礎研究	慶応義塾大学 理工学部機械工学科 三井 公之 教授
血液適合性と体内分解性を兼備した医療用マイクロマシン素材に関する基礎的研究	北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科 由井 伸彦 助教授
レーザーマニピュレーション法による超精密ハンドリング技術の開発	徳島大学 工学部機械工学科 三澤 弘明 助教授
機能性流体を用いたマイクロ制御弁の開発	東京工業大学 精密システム専攻 吉田 和弘 助手
PVDFフィルムを利用した3軸力覚/滑り覚センサの開発	豊田工業大学 制御情報工学科 山田 陽滋 助教授

三菱電機株式会社

1. はじめに

今回は1921年（大正10年）に設立され、以来、宇宙、コンピュータ・通信、半導体、映像、ホームエレクトロニクス、エネルギー、産業、公共、ビル、交通などの広い分野にわたる製品を生み出してきた総合電機・電子機器メーカーの三菱電機株式会社を訪問しました。

同社は、これらの各分野で、社会と人、人と地球の理想的な関係をめざして、「ソシオテック (Technology for Society)」を提案しています。それは、社会と人々の暮らしを調和させる技術と創造力です。

さらに、前進のための変化のシナリオや変化への挑戦として「ビジョン21」と称するプロジェクトを進め、世界を一つのマーケットとみて、国内外一体で事業を推進する「トランスナショナル企業」をめざしています。

2. 技術開発の内容

新製品、新技術の開発を行う開発本部は、国内に先端技術総合研究所、情報技術総合研究所、デザイン研究所、産業システム研究所の四つの研究所を擁しています。

二つの総合研究所のうち先端技術総合研究所では、基礎・基盤技術の研究開発ならびに新事業創成に向けた独創的研究を推進しています。そのなかでマルチメディア社会に向けたキー技術、電磁気、機械、絶縁などの基幹技術、宇宙から映像情報にいたる先端デバイス技術、環境問題に主眼をおいたエネルギー技術、次世代TFT液晶技術、ニューロ技術、太陽電池技術などの分野の研究開発を進めています。

また情報技術総合研究所では、情報・通信・映像技術を中心に、人間生活全般への浸透の時代をリードする情報処理技術、高速大容量、ネットワーク、デジタルメディア時代をリードする通信技術、人とマシンのつながりを高度化するインターフェース技術、光・電波先進技術、情報セキュリティシステム構築のための暗号技術、双方向映像情報システムや携帯情報システムの実用化技術などの研究開発を進めています。

マイクロマシンの研究開発は、基礎研究の一つとして先端技術総合研究所で行われています。



3. マイクロマシン技術への取り組み

近年、半導体製造技術によって培われた微細加工技術や分子・原子操作技術などの進展により、マイクロメートルのオーダーを扱った機械技術によって構築された微小な機械が実現しつつあります。三菱電機ではこのようなマイクロマシン技術を、21世紀のイノベーション技術と位置づけて、積極的な研究開発を行っています。

そのなかでマイクロマシンセンターの委託業務としては、マイクロ発電機の研究開発を行っています。これは、発電施設などの配管内を水の流れに乗って移動しながら、管内面のクラックなどの検査を行うマイクロカプセルに搭載することを想定したもので、水力などの外部環境のエネルギーを電気エネルギーに変換して、カプセルに必要な電力を自給しようというものです。

寸法を小さくしていくと、発電機の出力はその3乗に比例して低下するので、カプセルに必要な電力を確保するためには、小さな体積でできるだけ効率よく発電する必要があるため、そのための技術開発が重要な課題とのことです。具体的には、薄くても非常に強力な永久磁石の膜を作る技術、限られた空間に銅線を無駄なく密に巻いて立体的な部品に仕上げる技術、速い速度で安定して軸を回転させる技術などを開発しています。

またマイクロ発電機以外にも、各種のマイクロセンサやマイクロデバイスの研究を独自に行っているとのことで、新しい三次元微細加工技術を含んだ研究開発を進めるなかでマイクロ理工学の高度化を図るとともに、組立や通信・制御といったシステム化技術の研究にも注力していくとのことです。

情熱豊かな研究者が日夜研究に励んでおり、マイクロマシンの実現は、決して遠い将来のことではないと実感させられました。

株式会社 村田製作所 横浜開発センタ

1. はじめに

今日は、横浜市緑区の白山ハイテクパークの一角にある(株)村田製作所の横浜開発センタを訪問しました。白山ハイテクパークは、横浜市が最先端技術志向の企業を募集して作ったもので、その第1号として、1988年にこの開発センタが誘致されたとのこと。すぐ近くを鶴見川が流れ、緑の自然に囲まれた静かな所にあります。

村田製作所は、セラミックス電子機能材料を素材にして、コンデンサ、フィルタ、センサ、機能モジュールなどの優れた製品を世に送り出している総合電子部品メーカです。同社の研究開発体制は、本社開発グループ、野洲事業所、横浜開発センタと、各事業部の開発部門で構成されています。材料・電子部品の基礎研究を行っている本社開発グループ、国内外の生産技術センタとしての機能を果たしている野洲事業所に対して、横浜開発センタは顧客の商品ニーズに近い川下型の応用開発を分担しています。ここでは、衛星放送、HA、OAや移動体通信など次世代の高度情報通信を見据えた通信モジュールやセンサモジュールの開発が行われています。

2. 研究開発の特徴

同社は、「新しい電子機器は新しい部品から、新しい部品は新しい材料から」の考えのもとに、材料から製品まで一貫して研究開発に取り組み、独創的な成果を上げています。

研究開発のベースに、“VERTICAL INTEGRATION”（技術の垂直統合）があります。電子機器がますます高機能・多機能化し、これに使われる電子部品もまた、高周波化・低損失化・小型化などさまざまな対応が求められています。これらの課題に対応するために、同社では蓄積された多くの要素技術を開発テーマに応じて統合し、シナジー効果を発揮させながら、新しいコンセプトをもつ独自製品の開発をめざしています。そ



のために、各組織の枠を超えた「戦略的技術プログラム（STEP）」や、広く関連部門の判断も同時並行的に加えていく「戦略的開発プロセス管理（SMPD）」など、特色ある活動が展開されています。

また、顧客の「こうした新製品を作りたい」という要望に応じて、構想段階から営業マンや技術者が一緒になって同社の電子部品やモジュールを提案し、客先のプロジェクト実現をめざすという「ESI (Early Stage Involvement)活動」も特色の一つです。

3. マイクロマシニング技術への取り組み

最近、注目を集めた同社の新製品に、圧電セラミックスを応用した振動型ジャイロがあります。特徴的な三角形の振動子と独自の回路方式の採用によって、小型で安価なジャイロが実現され、自動車のナビゲーションシステム、ロボット、ビデオカメラなどに広く実用化されています。今後マイクロロボットの姿勢制御や位置検知をはじめ、電子機器の振動検知などに、ジャイロのマイクロ化が必要になります。同社はNEDOの産業科学技術研究開発プロジェクトで、Siマイクロマシニング技術を応用したマイクロジャイロの開発に取り組んでいます。現在、振動子のサイズが $0.4 \times 0.8 \times 0.005\text{mm}$ という世界最小のジャイロが試作されています。マイクロマシニング技術と信号処理技術により、今後各種センサの小型化・高機能化・インテリジェント化が進んで行くことと、期待されます。

同社は、他社に先駆けて裁量労働制を導入し、個人能力を十分に発揮しやすい最適な環境を整えているとのこと。創造性を実現しやすい企業風土の一端を知ることができました。



Transducers'

(固体センサ・アクチュエータ国際会議)

東北大学工学部
江刺 正喜

第8回固体センサ・アクチュエータ国際会議（今回は第9回欧州センサ会議との合同会議）、The 8th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'95) / Eurosensors IX が、1995年6月25日から29日にかけてスウェーデンのストックホルムで開催されました。この会は一年おきに北米、アジア、ヨーロッパで回り持ちで開催されるもので、固体センサやマイクロマシニングの分野で最大規模の会議です。この会について御理解いただくため、会の歴史や運営などに関して説明したいと思います。

第1回 (The 1st Int. Conf. on Solid-State Transducers) は、1981年11月に米国のボストンにてThe Material Research Societyの年次大会中のシンポジウム (Symposium on Solid-State Transducers) として行われました。参加者は約150人でした。

第2回 (The 2nd Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators (Solid-State Transducers'83)) は、1983年5月末から6月初めにかけて、オランダのデルフトで開催されました。参加者は約350人でした。この会からSolid-State Sensors and Actuatorsと呼ばれています。以前は主に入力装置にTransducerという言葉を用いていたようですが、実行委員長のMiddelhoek教授は著書 (Silicon Sensors) で、入力装置 (Sensor) と出力装置 (Actuator) の両者の変換器をTransducerと呼んでおります。今回の第8回のもは2分冊で (1,030ページ+934ページ) ですが、第2回目のアブストラクト集は181ページと薄いものでした。図1はその表紙ですが、センサを定義するこの図はその後大会旗となっており、

オリンピックのように会期中にメインホールに飾られ、次の実行委員長に引き継がれる仕組みになっています。

第3回 (The 3rd Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'85)) は、1985年6月に米国のフィラデルフィアで開催されました。この時から会の副題がTransducers'と呼ばれています。

その後、第4回は東京、第5回はスイスのモントルー、第6回は米国のサンフランシスコ、第7回は横浜でそれぞれ開催されてきました。

今回は第8回になり、組織委員長はLinköping Univ., SwedenのLundström教授で、46カ国から約1,200名が参加し、555件 (招待講演19、口頭発表240、ポスター296 (含レートニュース40)) の発表が行われました。投稿論文数は1,251で前回の460を大幅に上回り、この分野の重要性が認識され急速に成長していることが分かります。欧州からの論文や韓国からの論文の数が増加し、米国からは質の高い研究の発表が行われたという印象を受けました。また27日の晩にはIndustrialization of Sensorsと題する全体セッションが行われ、5人のパネラー (アジアからは豊田理化学研究所の五十嵐氏) がセンサビジネスを成功に導く秘訣について話題を提供し、大いに盛り上がりを見せました。ノーベル賞の受賞晩餐会が行われる市庁舎やバーサ号博物館での晩餐会など、楽しい意見交換の場も用意され、充実した楽しい会議でした。

この会議は国際運営委員会の方針決定がされます。日本からは高橋教授 (西東京科学大学)、佐々木教授 (京大)、新田氏 (松下)、藤田教授 (東大)、安藤助教授 (東大)、江刺 (東北大) の7名が参加しており、現在まで御尽力いただいた五十嵐氏 (豊田理化学研究所)、片岡氏 (シャープ)、山崎氏 (横河総研) が今回から退任されました。

なお次回 (第9回) は1997年6月16日から19日にかけて米国のシカゴで開催される予定で、ミシガン大学のWise教授が実行委員長となります。

またその次の会 (第10回) は1999年6月7日から10日にかけて電気学会主催で仙台で開催する予定です。皆様の御協力をお願い申し上げます。

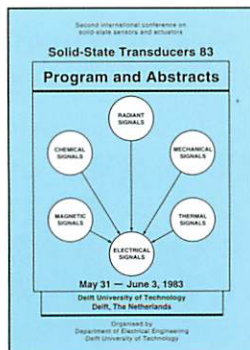


図1 第2回目アブストラクト集表紙

豪州報告

マイクロマシン技術の動向調査の一環として、当センターの平野専務理事と研究部武田課長並びに三菱重工業(株)の吉岡主管が7月下旬に豪州で開催されたマイクロエレクトロニクス関連の会議(MICRO'95)に出席するとともに、関連研究機関(南オーストラリア大学、アデレード大学、オーストラリア国立大学、グリフィス大学、王立メルボルン工科大学、オーストラリア国立研究所(CSIRO)、モナッシュ大学、ニューサウスウェールズ大学)を訪問し、豪州におけるマイクロマシン関連の研究状況について調査を行いました。2、3の内容に関して以下にご紹介致します。

1. MICRO'95 (アデレード、7月17日~19日)

MICRO'95はオーストラリアのマイクロエレクトロニクスに関する会議で、今回は13回目を迎え、招待講演7件、口頭発表40件、ポスターセッション10件がありました。技術講演はテクノロジーとアーキテクチャの2つのセッションに分かれ、主にセンサやマイクロエレクトロニクスの加工、構造に関する発表が行われました。また、豪州の国立研究所、企業によるミニ展示(10団体、写真1)も併設されました。参加者は約80名でした。この会議では、当センターの平野専務がキーノートスピーチを行い、マイクロマシンの産技プロジェクトの研究内容並びにMMCの事業紹介がなされました(写真2)。また、この内容は7月19日に地元新聞である「Advertiser」に紹介されました。さらに、南オーストラリア大学のHaskard教授よりMicro Engineering(豪州では英国流にマイクロマシンをこう呼ぶ)に関するオーストラリアのネットワークを作ることが提唱され、基本的に了承されました。今後オーストラリアでもマイクロマシン関連の活発な研究がなされることが期待されます。



写真1 ミニ展示におけるCSIROブース



写真2 講演中の平野専務

2. CSIRO (メルボルン)

CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) は1926年に設立された国立研究所で、約3,000人の科学者を含む7,000人以上のスタッフで構成されています。32のDivisionに分かれ、オーストラリア全土に事務所や研究所があります。今回はDivision of Materials Science and Technologyの電子ビームリソグラフィの研究室を訪問しました。連続運転が可能のように補助電源等が完備されたクラス100のクリーンルーム内のクラス16のクリーンブースにおかれた電子ビームリソグラフィ装置を使って、独自に開発したEXELGRAMと呼ばれる技術により、ホログラムのようなOptically Variableな像を作製していました。硝子基板の原板を作れば、それをシールに転写することが可能となり、お札、小切手、切手等の偽造防止の用途に利用しようとしていました。コストも1枚1セント以下で出来るとのことでした。

3. 南オーストラリア大学 (アデレード)

南オーストラリア大学では、Haskard教授がDirectorをするMicroelectronics Centreが2年前に設立され、マイクロ加速度計、超低速流速計等のセンサ、シリコンダイアフラムのマイクロポンプ、冷陰極用の金属被膜をつけたマイクロチップ等の基礎研究が行われています。本年7月12日に新しいクリーンルームの建設を開始したところでした。超低速流速計はサーミスタのまわりの熱分布の変化により流速を計測するもので、植物の茎の中にセンサをさして(試作品は直径2~3mm、長さ50mmと未だ大きい)、植物内の水の流れ(1mm/h程度)を計測し、その結果をもとに植物への水の供給制御をしようとするものです。砂漠のような水の少ないところの農業用マイクロマシンの応用としておもしろいと考えられます。

マイクロマシン技術のアプリケーションに関するワークショップをオランダで開催

マイクロマシンセンターでは、マイクロマシン技術の新しいアプリケーションについての調査研究を行っています。この活動の一環として、10月2日、3日、オランダにおいて、ワークショップを開催しました。従来あまり考慮されていなかった農業分野に焦点をあてて、この分野のマイクロシステムテクノロジー(MST)の可能性を探っているオランダのトゥエンテ大学を初めとする専門家グループとの討論を行い、マイクロマシンの新しいアプリケーションを探ることが目的です。開催にあたり、トゥエンテ大学のフライトマン教授には、大変なお骨折りをいただきました。

参加者は、日本から、アプリケーション調査研究委員会ワーキンググループ委員7名(東大:桐山、オリンパス:宮島、三洋電機:蔵本、セイコー電子:笠間、テルモ:田中、日本電装:三林、松下技研:芝池の各氏)及び当センターからの9名で、欧州からは、オランダ、ドイツ、スイス、ベルギー、イギリスからの14名でした。互いに、これまでに開発してきた技術と今後のニーズについての発表を行い、マイクロマシン技術と農業分野へのアプリケーション等に関した活発な論議を行いました。

欧州では、農業、園芸、牧畜などの分野における、

特にマイクロセンサの利用とその適用によるシステムコントロールの研究に興味が集まっていました。しかし、現在考えられている範囲は、ここ数年先の実用化を目指したセンサ中心の活動であり、日本のように長期的な視点からの新しいアプリケーションを探索するという動きは見られませんでした。

この分野に於いても、将来的には、センサだけでなく、色々なアクチュエータやコントローラ、エネルギー供給手段を備えた、マイクロマシンの適用の場がありそうです。

ワークショップに引続き、ドイツのチュービンゲン大学の物理、化学センサの研究部門、フランフォア・バイオメディカル研究所を訪問し、研究施設、研究内容の視察を行いました。両研究所とも、生体、環境、バイオ等を対象としたセンサの研究を中心に活動が行われています。また、スイスやイタリアの研究機関と設備、人、賃金をうまく補完し合って研究を進めているようでした。

今回のワークショップでは、具体的なアプリケーションの抽出及びその深い議論までには到りませんでしたが、マイクロマシンの農業、園芸、牧畜等における潜在的なニーズについて多くの知見が得られました。

山形マイクロマシンセミナー

マイクロマシン技術の研究開発に関心を持つ方々を対象として毎月1回当センターにて基礎技術を研究されている学識経験者を講師に迎え、イブニングセミナーを開催していますが、参加者が東京を中心としたものとなっており、一層の普及啓発を図るため、今年度から年間2~3回、全国各地でセミナーを開催することとしました。

プログラムは、次の4部から構成され、

- (1) 国の技術開発政策に関する講演
- (2) 当センターの事業活動に関する講演
- (3) 技術講座
- (4) 産技プロジェクトの成果紹介

を行うものです。

第一回目は、山形県、山形県ライフサポートテクノロジー研究開発機構の協力を得て、去る9月12日に山形市の山形県高度技術研究開発センターの多目的ホールで開催されました。

今回の山形マイクロマシンセミナーでは、(1)、(2)および(3)についてそれぞれ、通商産業省工業技術院の根岸寿実研究開発専門職、当センター平野隆之専務理事および工業技術院機械技術研究所北原時雄主任研究官による講演を行いました。(4)について



山形マイクロマシンセミナー会場風景

は、賛助会員企業の協力を得て、次のテーマと講演者による成果紹介を行いました。

- (a) 「超精密マイクロ加工」
(株)ファナック 基礎技術研究所 室長 沢田 潔氏
- (b) 「マイクロジャイロ」
(株)村田製作所 横浜開発センタ 次長 田中克彦氏
- (c) 「CCDマイクロカメラ」
(株)東芝 マルチメディア研究所 課長 大井一成氏

参加者は、地元山形県のマイクロマシン技術に関心を寄せている企業の研究・開発・生産技術に携わる方々を中心に、大学関係者等約80名が参加しました。

1. マイクロ理工学とは何か

本入門講座でこれまでに説明してきた通り、マイクロマシンを構成する部品や機構を加工したりアッセンブルしたりするための様々な技術が研究開発され、これらの技術によってかなり微細な部品や機構を加工し組み立てることができるようになってきました。ところで、このような加工・組立技術を使って、従来からある一般的な構造をもつ機械を単に相似的に縮小したものを製作したとしても、実際には正常に作動しないことが危惧されます。なぜかといいますと、微小なマイクロマシンが作動する状態や環境は、通常の大サイズの機械が作動するそれとは大きく異なっているためです。例えば、機械の寸法を微小化していくと、重量や慣性力といった体積力は寸法の3乗に比例して小さくなるのに対して、粘性力や吸着力といった面積力は寸法の2乗に比例して小さくなるため、面積力の方が相対的に大きくなります。従って、通常の大サイズの機械では無視してもよかった面積力による影響が、マイクロマシンでは顕著に現れるようになってきます。このことは、軽く湿った紙片が指先やピンセットの先から離れにくく、振り払わなければ落ちにくいという現象で手近に体験することができますが、これと同じことがマイクロマシンの作動環境では起こっていることとなります。このように、通常の大サイズではほとんど問題にならなかったのに、微小化をしていったときに顕著に現れてくる物理現象、すなわちマイクロマシンの作動環境における特殊性を基礎的、学問的に解明しようとするのが「マイクロ理工学」であるということができます。

この「マイクロ理工学」は、未だ一般には耳なれないものとも思われますが、主に以下の3つの理由で、極めて重要なものであるということが出来ます。

1) マイクロマシンは、マイクロ環境とも呼ぶべき通常的环境とは異なる特殊な環境の中で作動するため、この環境における特異な物理現象をマイクロ理工学によって基礎的、学問的に解明し、この環境に適応させるための様々

な技術を開発することが、微小な世界の中で正常に作動する信頼性の高いマイクロマシンを実現する上で欠かすことができないということができます。言い換えれば、マイクロ理工学は、マイクロマシンという従来にない新たな概念の機械を最適に設計し製作するための学問的な基礎、基盤を与えるものということができるでしょう。

- 2) マイクロ理工学によって解明したマイクロ環境の特殊性を、上記1)項のマイクロ環境への適応という姿勢とは逆に、むしろ積極的に利用することによって、従来にはない全く新しい原理に基づく構造の機械や機構が開発できる可能性が秘められています。このことは、微小化という視点に立つことによって、従来の機械技術に新たな展開を促すことを意味し、機械技術の研究者にとっては大変魅力的な視点であるといえるでしょう。
- 3) 従来の機械工学は、主としてマクロな現象を扱ってきましたが、マイクロ理工学というミクロな現象を対象とする分野が進展することによって、機械工学はマクロからミクロな世界までをも包含した、より精緻で広範な内容と体系が与えられることになるでしょう。

2. マイクロ理工学の内容

マイクロ理工学は、微小化に伴って顕著に現れてくる全ての物理現象が対象となりますが、現在特に指摘されている内容を従来の技術分野に即して整理すれば、以下のようなものと思われます。

1) マイクロ機械力学

たとえマイクロマシンといえども地球上で作動する以上、従来の古典力学によるニュートンの運動方程式が成り立つはずですが、ただし、通常の大サイズの機械に対して、慣性力の項は無視できるほど小さく、摩擦力や粘性力などの項が卓越してくることなどが大きく異なる点です。また、設計寸法に対する製作誤差や表面あらさの相対的な比率が通常の大サイズの機械に比べて極端に悪く、これがマイクロマシンの運動特性に大きく影響することが考

えられます。これらのマイクロマシンの運動の特殊性を解明するのがマイクロ機械力学です。以後の分野に関しては、ごく簡単に紹介することにします。

2) トライボロジー

微小化に伴って重力よりも表面間力の影響が大きくなる領域での微小な接触面、微小な荷重下におけるトライボロジー（摩擦・摩耗）現象の解明。

3) マイクロ材料力学

マイクロマシンの構成部材となる微小寸法材料、すなわち薄板や薄膜の機械的特性の解明、従来の連続体としての取り扱いが困難な領域での材料力学。

4) マイクロ流体力学

微小な流路（管内やすきま）における流体の流れ挙動の解明、流路表面から受ける影響や流体の分子運動が支配的になる、従来の連続体としての取り扱いが困難な領域での流体力学。

5) マイクロ伝熱工学

微小構造体における熱伝導や微小すきまにおける熱放射現象等の解明。

まだ他にも取り上げるべき分野があるとは思いますが、いずれにせよマイクロ理工学においては、その内容をそれぞれ独立した分野に分けてアプローチするだけでは不十分であり、相互に連成させた解析が非常に重要になるものと思われます。

次に現在最もその重要性が指摘され、解明が望まれているマイクロマシンのトライボロジーに関して、より詳しく紹介してみたいと思います。

3. マイクロマシンのトライボロジー

3.1 マイクロマシンの表面間に作用する力

みなさんが中学生や高校生だった頃、グラウンドの片隅にグラウンドをならすローラーがあったと思います。ローラーを引くときのことを考えてください。最初に動かそうとするときはかなりの力が必要ですが、動かし始めるとそれほど力は必要としません。マイクロマシンはとても軽いので、慣

性が小さく動かし始めるときには特に力を必要としません。しかし、その代わりに固体表面間に働く引力の影響が顕著になってきます。

その引力として代表的なものを挙げると、静電気力、表面に凝縮した液体の表面張力、ファンデルワールス力、原子どうしの結合力などがあります。これらの力は部品の寸法がミリメートルよりも大きいときはほとんど無視できますが、マイクロマシンのサイズでは部品の重さよりもこの力の方がはるかに大きくなります（図1）。

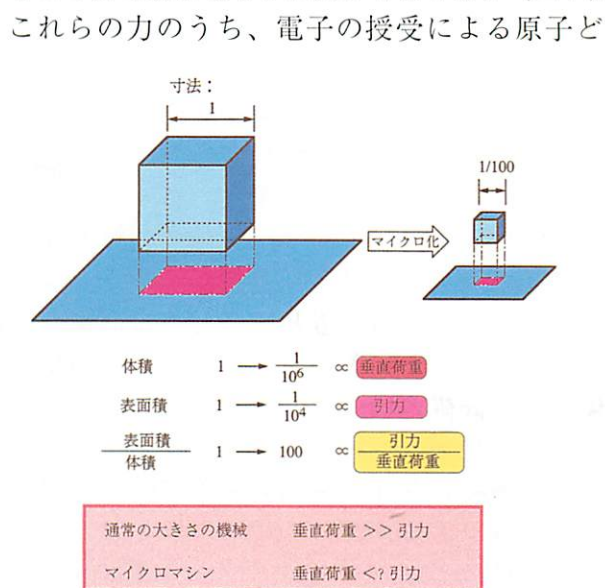


図1 表面間に作用する引力と垂直荷重の比較

うしの結合は、超高真空中のフレッシュサーフェスどうしといった特殊な条件以外では起こりません。静電気力はこれらの力の中では力の働く距離が極端に長くその力も大きいのですが、それが生じる条件は限られており、取り除くことも比較的容易です。

マイクロマシンで特に問題になるのは、表面に凝縮した液体（大気中では通常は水）の表面張力やファンデルワールス力に起因する引力であると考えられます。

3.2 引力と摩擦力

クーロンの摩擦法則によると、摩擦力は垂直荷重に比例し、そのときの比例定数（摩擦係数）は垂直荷重によらず一定です。ところが、マイクロマシンのように自重や外から加えられる荷

重による垂直荷重が極端に小さいと、表面間に働く引力が支配的になり、クーロンの摩擦法則が見かけ上は成り立たなくなります。

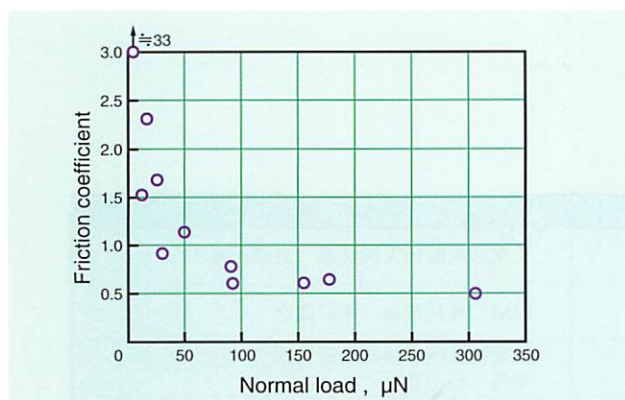


図2 表面間引力を考慮しない垂直荷重と摩擦力の関係

図2に示すのは、水の表面張力とファンデルワールス力に起因すると思われる引力が表面間に作用しているときの垂直荷重と摩擦係数の関係です。低荷重になるほど摩擦係数が上昇していることがわかります。この場合の摩擦係数は、単純に摩擦力を外から加えられている垂直荷重で除算して求めたものです。

この接触面の表面間に働いている引力は、表面を引き離すのに必要な力を測定することによって求めることができます。そこで、その測定された引力（引き離し力）が摩擦力に対して垂直荷重と同様に作用していると仮定して、引き離し力を垂直荷重に加算し、その和を用いて摩擦力を除算すると、その場合の「摩擦係数」は

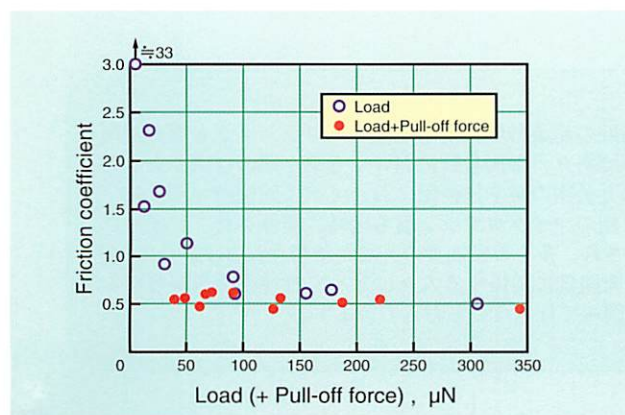


図3 表面間引力を考慮した垂直荷重と摩擦力の関係

図3に示すようになります。この方法で算出した摩擦係数は、引き離し力を考慮しない摩擦係数に比べると、ほぼすべての荷重範囲で一定になっています。このようにマイクロマシンの摩擦面には、そのサイズに比較してかなり大きな摩擦力が働くことがわかります。

そこで、マイクロマシンに作用する摩擦力を低減させるために、この表面間の引力を減少させることが考えられます。そのための方法の一つとして、接触面積を小さくすることがあげられます。このことは、通常の機械部品の潤滑では、流体潤滑になるように接触面積を大きくするのは全く対照的です。また、表面エネルギーを小さくするようなコーティングを施すことなども考えられます。

このような試みは、除々に行われるようになってきました（図4）。しかしながら、マイクロマシンの実用化を考えたときに、もう一つ浮上してくるのが摩耗の問題です。マイクロマシンは、その部品一つ一つの大きさが小さいので、極微量の摩耗がマイクロマシンの機能に致命的なダメージを与える可能性があるからです。原子レベルからnmレベルの極微量の摩耗を調べる研究もAFM（原子間力顕微鏡）等を用いて精力的に行われています。原子1個の摩耗がどのようにして生じるかを調べることもマイクロ理工学における重要な問題です。このようにマイクロマシンの実用化が近づくにつれて、マイクロマシンのトライボロジーに関する研究はますます重要になってきています。

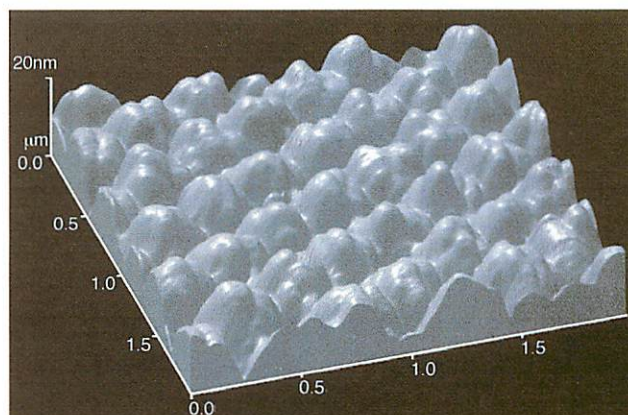


図4 表面間引力を小さくするためにFIBにより周期的な凹凸をつけたシリコン表面

イベントのお知らせ

福岡マイクロマシンセミナー

マイクロマシン技術の研究開発に関心をもつ方々を対象にしたセミナーを東京以外でも実施することとし、去る9月には山形市で開催しましたが、今回は次により福岡県内で開催致します。

- 1) 開催日時：平成8年1月11日（木） 13：00～17：45
- 2) 開催場所：未定
- 3) 協力機関：福岡県工業技術センター
- 4) セミナープログラム

区分	時間	講演内容	講演者
講演Ⅰ (MITI)	13：00～13：30	産業科学技術政策に関する講演	工業技術院研究開発官 近藤正幸
講演Ⅱ (MMC)	13：30～14：00	(財)マイクロマシンセンターの事業と技術振興	MMC専務理事 平野隆之
講演Ⅲ (国研)	14：00～15：30	技術講座	工業技術院機械技術研究所 室長 石川雄一
	15：30～15：45	コーヒーブレイク	
講演Ⅳ	15：45～16：15	産技プロジェクトの成果紹介 (1) 「マイクロ光電変換デバイス」	三洋電機(株) ニューマテリアル研究所 主任研究員 伊豆博昭
講演Ⅴ	16：15～16：45	産技プロジェクトの成果紹介 (2) 「マイクロ発電機」	三菱電機(株) 先端技術総合研究所 グループマネージャー 成宮 宏
講演Ⅵ	16：45～17：15	産技プロジェクトの成果紹介 (3) 「管状マニピュレータ」	オリンパス光学工業(株) 技術開発本部 次長 柳沢一向
講演Ⅶ	17：15～17：45	産技プロジェクトの成果紹介 (4) 「マイクロ検査マシン」	日本電装(株) 基礎研究所 主任研究員 井戸垣孝治

ハイテクシンポジウム山口 '95

このセミナーは、山口大学工学部等が主催するハイテクシンポジウム山口'95に協賛し、そのプログラムの一部として次により実施致します。

- 1) 開催日時：平成8年1月12日（金） 13：10～17：00
- 2) 開催場所：ときわ湖水ホール
山口県宇部市沖宇部254 TEL：0836-51-7057
- 3) セミナープログラム

当セミナーは福岡セミナーと同じ6人の講演者により、同一内容のプログラムで実施されます。

編集後記

マイクロマシンの研究開発は順調に進展しており、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も調査期間を含め5年目に入っています。本年はプロジェクト第1期の中間評価の年であり、参画各社においても第1期の目標である要素技術の確立に向けて研究開発が続けられています。11月の初めには北の丸公園の科学技術館において第1回国際マイクロマシンシンポジウムが開催され、最新の研究成果が報告されます。また第6回のマイクロマシン展も同時に開催され、マイクロマシン研究を推進している国立研究所、大学、企業の研究成果が多数展示され、多くの参加者の入場が予想されます。

このような状況の中、“マイクロマシン”広報誌がマイクロマシンの研究開発に関係する人々にとって有益な情報源となるよう、また国際技術交流への貢献の一助となるよう、更なる活動の展開を図って行き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