

AMMC

マイクロマシン

1994・10 No. 9

- 宇宙におけるマイクロマシンの夢
- 医用マイクロマシンをめざして
- ヨーロッパにおけるセミナー実施報告
- 技術の系譜(賛助会員の紹介)
 - ・ファナック株式会社
 - ・株式会社フジクラ
- マイクロマシン開発の現状と将来(スイス)
- 入門講座 マイクロマシン技術
- イベントのお知らせ

財団法人 マイクロマシンセンター

宇宙におけるマイクロマシンの夢

航空宇宙技術研究所
松本 甲太郎

宇宙のダウンサイジング

国産初の大型ロケット H-2 や宇宙ステーション実験モジュール JEM などの超大型宇宙開発が着々と進められているが、それと並行して最近のマイクロエレクトロニクスの進展を背景に、宇宙開発の小型化の研究が進められている。

宇宙開発の小型化の検討は米国において盛んであり、2000年頃を目標に総重量 5 kg 程度の衛星を開発する構想がある。今までに重量 16 kg 程度の試験機が作られ、重量 110 kg 級の冥王星探査計画が始められている、など宇宙開発のあらゆる計画において小型化が追求されている。

ここでは、月惑星協会の“宇宙におけるマイクロマシンの利用”検討分科会において、そのような小型化宇宙開発の極限の理想像として語られた、マイクロマシンによる宇宙開発への期待とその効果や課題あるいは可能性について、月/火星探査マイクロマシン・ローバー（以下 MM ローバー）を例に紹介してみたい。

マイクロマシンの特徴

マイクロマシンに集約される最近のメカトロニクス、ロボティクスの大きな特徴は、小型化、マルチ/群化、自律化、及び人との協調の4つと考えられる。マイクロマシンでは、特に、機器の小型化を始め、小さなものを数多く投入するマルチ/群化、小型の頭脳を持徴とする自律化などが強調されてくる点が大きな特徴であろうか？

月/火星探査マイクロマシン・ローバー “軽さ”こそ最大のメリット

マイクロマシンにより構成される MM ローバーの最大の特徴/インパクトは“軽い”と言う点である。地球から月・火星へ飛んでいくためには大量のエネルギー（燃料）が不可欠である。この点

で“軽い”と言うことにより MM ローバーは絶対的な優位にたてる可能性がある。一般に宇宙システムでは観測機器等のミッション機器の重量比は静止軌道のミッションの場合でも高々 1/300 程度に過ぎない。打上時に 260 トンある H-2 を用いても月周回軌道には高々 1 トン弱しか運べず、その内ミッションに直接関連する機器重量は 3 割程度に過ぎない。従ってミッション機器を“軽く”することにより、周辺の通信の通信/制御/電源/支持構造など衛星全体を超軽量化出来れば、全く新しい概念の宇宙システムが産み出される。

“たくさんのマイクロマシン”

MM ローバー概念の次の特徴は、マルチ化/群化の可能性である。従来の宇宙の概念では重量の点から 1~2 台のローバーに全てのミッションを託す概念しか考えられなかった。このため、ローバー機能は 2 重、3 重の冗長構成を取り、どこか 1 ケ所が故障してもローバーとしての機能を維持し続けるような 1 フェイル・オペラティブ設計が最低限必要と考えられてきた。しかし、マイクロマシン化により多数のローバーの投入が可能になるならば、1 システム・フェイル・オペラティブ、即ちどれか 1 台のローバーが故障しても残りのローバーでミッションが達成できるという概念が可能になる。さらにローバーの数が数十、数百にもなると、ミッション達成の考え方もオール・オア・ナッシングでなく、故障の発生と共に徐々にミッション機能が失われていくような graceful degradation の概念を取入れた MM ローバー・システムが可能になろう。

“頭脳の小型化”

頭脳のマイクロ化による MM ローバーのメリットは何であろうか？頭脳を構成する素子（計算機？）自体のマイクロ化と頭脳の知的マイクロ化に分け

て考える必要がある。素子自体のマイクロ化はローバー全体をマイクロ化する中で必然的に出てくるものであるから新たなインパクトは生じない。しかし、知的マイクロ化、すなわち制御や自律機能などのソフトウェアのマイクロ化、がローバー概念に与える影響は大きい。例えば、頭脳のマイクロ化に伴い地球との直接交信機能が削除され/あるいは縮小された場合、地球からの頻繁な支援無しで探査ミッションを達成するような高度な自律機能が必須となる。ブルックスが提唱しているリアクティブ・コントロール理論が有効性を示したので MM ローバーの成立性は高まっているが、ローバーに必要なその他の試料採取/分析機能などのマイクロ化は今後の検討に待つ必要がある。

宇宙用マイクロマシンの大きさ

マイクロマシンの定義では、cm 級のマシンからミリ、マイクロ級あたりがマイクロマシン本来のターゲットと考えられているようであるが、宇宙開発の小型化あるいはマイクロマシン化によりどこまで小さくできるのであろうか。

火星探査では、MM ローバーは着陸船の周囲を少なくとも 100 m、出来れば数 km 以上移動し、岩石標本を採取し、探査基地である着陸船まで運んでくる必要がある。このためには、MM ローバーには長距離の走行性と岩石を砕く堅牢性、及び重たい標本を運ぶための運搬性が求められ、それらの要求から自ずと大きさが決まってきた、最低でも 10 cm 程度は必要となるのではないだろうか？

NASA の小型化への努力

ここでは、NASA-JPL が進めている火星探査小型ローバーを紹介する。JPL ではブルックスの“単機能な小型昆虫型惑星ローバーを多数用いて故障に強い探査ローバーシステムを軽量に作る”という提案を受けて、それまでの大型火星探査ローバー路線から超小型ローバーへと研究を移している。96 年 12 月に打上を計画している MESUR

(火星環境探査ミッション) では、それまでのロッキー 3/4 を元に重量 7~9 kg 程度、全長 65 cm の小型ローバーと着陸船のペアを作り、着陸地点周囲 10~100 m の範囲を探査する予定である。

ブルックスの提案している「多数の単機能超小型ローバーによる故障に強いシステム」の概念は、従来の全ての機能を高信頼に作成し全体を 1 つの大型探査システムに組み上げると言う、NASA の伝統的宇宙開発手法からは大きく外れる新しい開発手法として注目される。

マザー・マイクロマシン

マイクロマシンによる超小型宇宙開発の先に、さらに進んだ構想としてマイクロマシンによる自己増殖システムが考えられている。

月・惑星の開発では、最終的には地球に依存せず、現地での資源、エネルギーなどの自給自足による自立が極めて重要である。そのひとつの形として自己増殖するマイクロマシンの構想が月面開発に向けて提案されている。

複雑な超大型宇宙システムを自己増殖させることは困難であるが、単機能で頭脳も簡単なマイクロマシンであれば自己増殖システムあるいは現地再生産システムも十分に期待できるのではないかと特に IC 技術によるマイクロマシン製造が可能になると、このシステムの実現性は一気に高まる。この場合にはマイクロマシン化作業機は、前述の MM ローバーよりはるかに小型で、殆んど蟻/昆虫程度の大きさになり、必要な作業量を数でこなすことになろう。

さらに、自己増殖システムの究極の形態としては火星/金星などの惑星改造を目指す「マザーマシン」構想がある。現在考えられている「マザーマシン」構想はかなり大規模な自己完結型の増殖マシンであるが、マイクロマシン化マザーマシンの働くイメージは、火星や金星の表面で蟻のような作業マシンがせっせと土壌を改良し、岩石から酸素や水を生産し空中に放出するとともに、残滓を女王マシン（マザー・マイクロマシン）に食べ

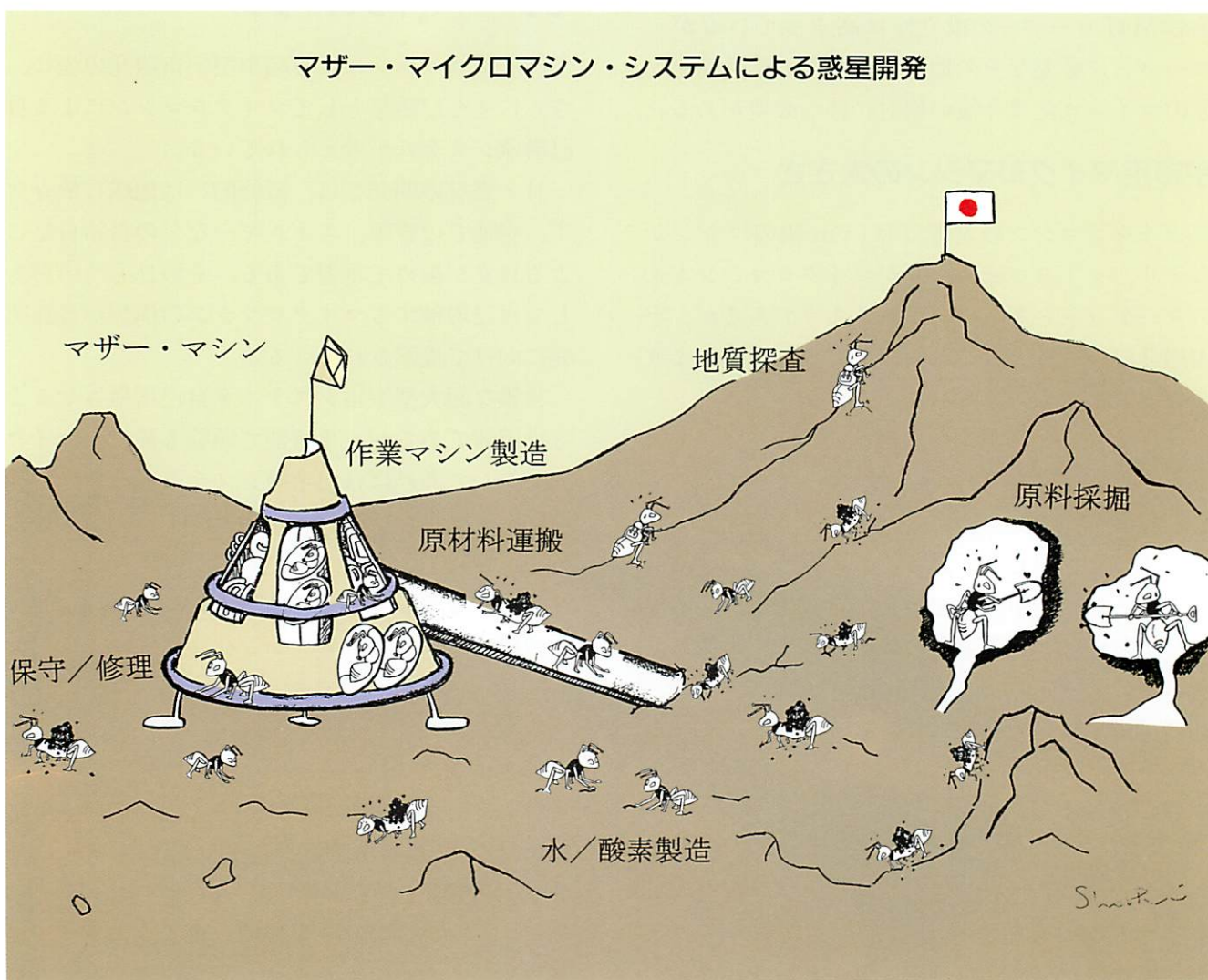
させ、仲間の作業マシンを増やしていく。初期には地球から多数送りこまれた女王マシンも中期以降には現地再生産が行われるようになり、100年～200年後にはマイクロマシンにより気候改良された火星と金星が人類を待っている。

マイクロマシンの課題

MM ロバーなどの超小型宇宙システムを現実のものにするためには、マイクロマシン実現への努力の中でも特に次の3点が重要な課題であろう。

- (1) 小さくても馬力があるマシン。
- (2) 集って統一体として何かタスクを実行できるマシン。
- (3) 再生産性のあるマシン。

マイクロマシンへの努力として、超小型機械の可能性を追及するとともに、その実用化、特に宇宙開発での実用化を考え、超小型化とは若干異なる側面の課題の解決も期待したい。



『医用マイクロマシンをめざして』

名古屋大学工学部マイクロシステム工学生体医用マイクロ工学講座
教授 生田 幸士

1. 新しい組織

「マイクロシステム工学専攻」とは、マイクロ・ナノスケールにおける新しい理工学を総合的に研究・教育することを目的に、平成6年4月わが国で初めて名古屋大学に新設された大学院専攻である。6講座から構成され、毎年30人の博士前期（修士）と12名の後期課程（博士）の大学院生を受け入れている。また大学院重点化構想に沿い、社会人博士課程の受け入れにも積極的である。

当然、本専攻においてマイクロマシンは必須研究分野であり、講座によってテーマやアプローチの仕方に相違はあるが、材料から医療まで幅広い研究が精力的に展開され始めている。

2. 新講座の紹介

生田研究室では「生体医用マイクロ工学講座」という名前のおとりに、従来の工業用技術の流用では実現困難な先進医用マイクロマシン、さらにバイオテクノロジー用マイクロメカトロニクスを主要研究テーマとしている。今年初年度であるため修士1年が5名、卒業研究生が4名、筆者の前任地である九工大情報工学部に田原秀樹技官と修士2年3名が研究に励んでいる。

研究については、どのテーマも材料までさかのぼった基礎研究を行った上で、マイクロマシンの設計試作と駆動制御、さらにシステム化を行う方法論をとっていることが大きな特徴である。具体的には無侵襲低侵襲治療のための医用マイクロロボット、体内埋め込み人工臓器、高度バイオテクノロジーをめざす生体マイクロ・メカトロニクスに関する基礎研究など独創性を大切にした研究を推進している。さらに医用マイクロマシンの活躍の場である生体自体を理解するため、マイクロ・バイオメカニクスに関する研究も始めている。

3. 研究テーマ

具体的には以下に示すように、これまでの生田研究室の新原理アクチュエータ、能動内視鏡、3次元マイクロファブ리케이션など主要研究テーマを発展させたものを行っている。

(1) 形状記憶合金（SMA）、圧電素子などの新素材を用いた新原理マイクロアクチュエータの開発と医用・福祉応用

最近、レーザアブレーションによって初めてSMA薄膜の作製が行われた、SMAの応用を容易にするための専用CAD「SMA-CAD」も開発された、SMAサーボアクチュエータの新しい制御方式の研究も進められている。

(2) 能動多関節内視鏡（ハイパー・エンドスコープ）、能動カテーテル、遠隔マイクロサージェリ（微細手術）システムの研究

約10年前に世界に先駆けて東工大の広瀬茂男教授と筆者らが提案・試作したSMAアクチュエータ駆動型の能動内視鏡に代わり、圧電駆動型のサイバネティックアクチュエータを用いて自由度を増加させた腹腔内手術用の超冗長（超多自由度）能動内視鏡（ハイパーエンドスコープ）を試作し

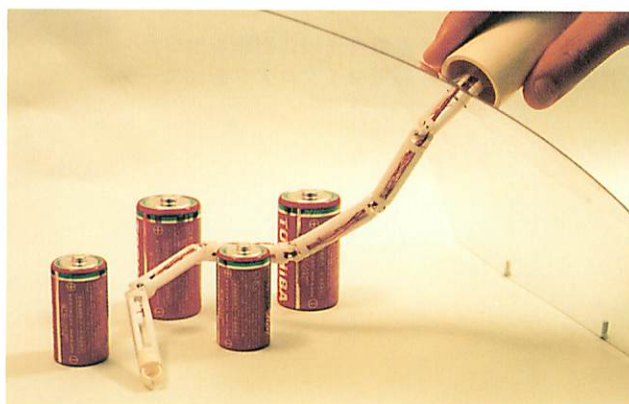


写真1

た。(写真1) さらに近未来の遠隔手術に必要な超小型の力感覚付きの操縦システムを研究している。

(3) IHプロセスの研究

光造形法を大幅に改良し100 μm 以下のサイズのコイルやパイプなどが1時間以内に作製できる3次元マイクロ光造形法(IHプロセス)の開発と、造形過程の実験的理論的解析を行っている。また導電性を持つ紫外線硬化樹脂を新たに開発し、これを用いた静電マイクロアクチュエータの試作駆動に成功した。(写真2) その結果、微細な立体的構造物だけでなくマイクロアクチュエータを同時に造り込むことが可能になり、化学分析装置や医療バイオ機器のマイクロ化に大きな期待が持たれている。

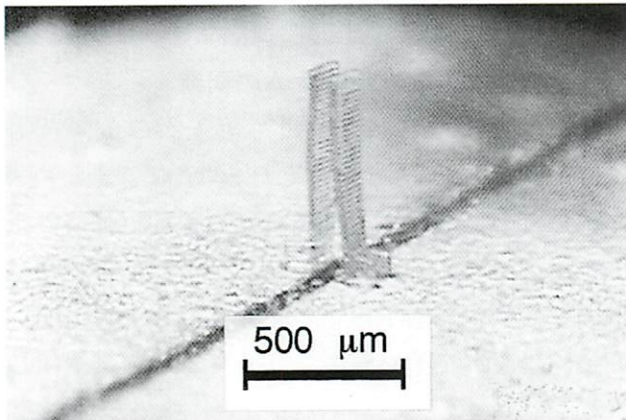


写真2 家電性光硬化樹脂を用いた
静電マイクロアクチュエータ

4. お 願 い

マイクロマシンと医用メカトロニクスに関する研究は、世界でもスタートしたばかりでまだ多くの課題を抱えている。機械、電気、計測制御、材料、化学、医学にまたがる学際的研究分野に飛び込んでくる若人を一人でも増やすため皆様のご支援ご協力をお願いいたします。

生田 幸士
名古屋大学 工学部 マイクロシステム工学専攻
生体医用マイクロ工学講座
(Biomedical Micro Mechatronics and Systems Lab.)
(機械工学専攻 生体機械工学講座兼任)
〒464-01 名古屋市千種区不老町
TEL.052-789-3927 FAX.052-789-3909

ヨーロッパにおけるセミナー実施報告

マイクロマシンセンターでは、海外との交流を推進するため、平成5年度に国際委員会において、その基本方向をまとめた。内容は、国際交流の促進により研究開発を触発し、マイクロマシン技術の発展・普及に貢献することを基本として、4つの柱に基づいた事業を進めるものである。第1の柱は、技術や人の交流の拠点を目指す、第2は技術討論の場の提供、第3は、大学等の基礎的研究交流の支援、第4は、研究者や技術者以外を含めた幅広い層に対する啓蒙・普及である。そして、具体的にはそれぞれの事業実施の中で考慮していくこととして、早期に着手する事業としてサミットの開催、海外セミナーの開催、定期的な技術交流をあげた。

これを受けてセンターでは平成5年度の事業として、このほどヨーロッパでの海外セミナーを実

施した。このセミナーはJETRO（日本貿易振興会）の協力を得て、イギリス（ロンドン）、ベルギー（ブラッセル）、スイス（クランモンタナ）で行った。3カ国におけるセミナーを通して日本からの講師として、平野隆之マイクロマシンセンター専務理事が「マイクロマシン技術の将来展望」、服部正日本電装(株)基礎研究所副所長が「日本におけるマイクロマシン技術の研究開発動向」をテーマに講演し、またスイスではこれに加えて、矢田恒二（オムロン(株)）、柳沢一向（オリンパス(株)）、安宅龍明（セイコー電子工業(株)）、田辺進（テルモ(株)）、佐藤健夫（松下技研(株)）、吉岡剛（三菱重工(株)）、御厨美和（(株)安川電機）の7名が研究のトピックスを講演した。

各地でのセミナーの概要は以下のとおりである。

イギリス



開催日時
場所
相手国協力機関

1994年6月21日 9:30~12:30
ロンドン
イギリス通産省
インペリアル・カレッジ

相手国講師

Dr. Ian Eddison イギリス通産省「イギリスの取り組み概要」
Dr. Steve Prosser, Lucas Advanced Engineering Center
「Microengineering Common Interest Groupについて」

参加者数
概要

約40名（大学、企業）
英国における現在の研究の分野は半導体製造技術をベースにしたものでメカニズムオリエンテッドな研究はこれからとの印象であった。
質疑では、技術の内容とアプリケーション、将来の産業予測などが話題となった。

ベルギー



開催日時
場所
相手国協力機関
参加者数
概要

1994年6月23日 10:00~12:00
ブラッセル
ベルギー経団連

約20名（企業、EU）
セミナーはベルギーの産業界を相手にしたものであったが、EUからも参加があった。
質疑では産業界の人が多かったこともあって、マイクロマシンセンターの活動や研究開発動向の他に、マイクロマシンの経済的な側面、具体的には、将来の市場規模、新産業の新規投資とリターン、中小企業の参入の可能性などがとりあげられた。

スイス



開催日時 1994年6月28日～29日
場所 クランモンタナ
相手国協力機関 ニューシャテル大学マイクロ技術研究所
スイスマイクロ技術研究財団
相手国講師 Prof. N. de Rooij ニューシャテル大学「マイクロマシンの将来展望」
Dr. H. Ruegg マイクロプログラム・マイクロダグ AG「スイスの技術動向」
他技術テーマについて5人の講師
参加者数 約45名(大学、企業)

概要 スイスは元々時計産業を基盤にした精密工業が発達し技術基盤があり、マイクロエレクトロニクス化によってMEMSの研究に入った。政府の支援は、ニューシャテル大学を中心としたM2S2プログラムとETHを中心としたLETISプログラムがある。この両プログラムとも1995年末で終了するため、1996年から一本化したMINASTプログラムが提案されている。

セミナーの全般的な討論としては、将来の産業規模と中小企業の参入の困難性などの質疑があった。技術的なセッションでは、それぞれの技術開発の状況について、日本側はメカニズムに基づく研究開発を中心に発表し、スイス側は半導体製造技術をベースにした研究の披露があり、突っ込んだ質疑が交わされた。

セミナーのコンクルージョンで、スイス側から引き続きこのような交流を継続したいとの提案があり、1年半後に日本で行うこととなった。

「日本におけるマイクロマシン技術研究開発動向」(抜粋)

日本電装株式会社 服部 正

日本に於けるマイクロマシン技術の研究開発の現状と将来展望について、実際の研究開発例を中心にご紹介したいと思います。

現在、日本におけるマイクロマシン技術は、3次元微細構造物を如何に作るかという加工技術の研究開発が中心です。加工技術の中で最近の成果が著しいものとして、まず、マイクロ放電加工があります。この方法で直径30 μm の微細穴加工や、先端部分の直径が4.3 μm の微細軸の製作等が報告されています。機械的除去加工でも直径20 μm のドリリングや厚さ1 μm のスライスなどが可能になっています。又、エキシマレーザによるPZTへの100 μm の深穴加工や、光造形法による50 μm 径のマイクロコイルスプリングなどの加工も実現しています。産技プロジェクト「マイクロマシン技術」で得られている加工技術の主な成果としては、化学溶液中でのSPM技術応用による直径6 μm のピット穴加工やLIGAで作製した30 μm 角のPZT柱加工などがあります。PZTとシリコン等の異種材料を直接接合する技

術も開発されています。又、素線径30 μm の形状記憶合金による外径106 μm のマイクロコイルスプリングや、外径1mmの管状構造体を3関節分形成した例、直径1mmのワブルモータ作製プロセス、200Vの光発電を可能にしたマイクロ光発電デバイスなども開発されています。

現在、マイクロマシン技術はマイクロ加工技術と従来技術との組み合わせによって様々な分野で応用され始めています。次のステップではマイクロ組立技術等による複合化・集積化がなされたマイクロマシンサブシステムが医療用や計測分析用で実用化されていくでしょう。

日本におけるマイクロマシン技術の研究開発はメカニクスのマイクロ化を図り、エレクトロニクスと複合化を行っていくというところにその特徴があります。今後は、単なるマシンの小型化ではなく、機能のマイクロ環境への適合という考えが重要となってくるでしょう。つまり、小さな空間に多くの部品を詰め込むだけでなく、目的に即した構成が必要であるということです。

「マイクロマシン技術の将来展望」(要旨)

財マイクロマシンセンター 平野 隆之

技術のトレンド (マイクロ化)

今日、世界的にバイオ、材料、エレクトロニクスの分野などでマイクロ化の研究が盛んである。しかし、機械はこれまで大型化の歴史であったため他の分野に比べマイクロ化が遅れている。

機械のマイクロ化

実世界(我々が生活している空間)では、粘性力、摩擦力が無視できニュートン力学の慣性力のみを考えればよいが、マイクロの世界では、逆に粘性力や摩擦の影響が大きい。

将来のマイクロマシンはインターディスプリナリーな技術知識の統合が必要であるが、重要な機械分野が他に比べはるかに遅れていることから、日本では、欧米と違い機械のマイクロ化の研究開発に力点を置いている。

マイクロマシンへの期待

機械部品の小型化・高集積化による機械システムの高機能化、生活、社会、産業の幅広い分野への応用、21世紀の新しい産業の形成など、マイクロマシン技術は測り知れない程の可能性を秘めその実現の期待は大きい。

マイクロマシン技術の振興とマイクロマシンセンター(略)

通産省工業技術院産業科学技術研究開発制度の概要(略)

産技プロ「マイクロマシン・プロジェクト」(略)

日本におけるマイクロマシン産業の展望

マイクロマシンは概して言えば新技術の研究開発活動のフェーズにあると言える。そして、マーケットに商品として供給されるには時間がかかり、「21世紀」の産業とも呼ばれている。マイクロマシンのような全く新しい技術の市場予測は極めて難しいが、センターではその将来のイメージをつかむために大胆な方法を用いて展望してみた。

現在のマイクロマシンの市場は、1,340億円であるが、既存製品の代替と新製品を合わせた2005年および2010年における市場はそれぞれ5,300-15,000億円および、で13,000-19,000億円。

マイクロマシンのNew Paradigm

マイクロマシンのNew Paradigmは仏教の曼陀羅とアナロジーできる。

仏教の世界の思想を沢山の仏を借りて「体系」として表現したものに曼陀羅がある。中心に仏教の教えで至高の境地を表現した大日如来を置き、その周辺に仏教のいろいろな教えを表現した如来を配している。外側にいく程現実の世界に近くなる。人間は外側にあって仏教の教えを外側から理解し始め徐々に中心の至高の境地にいたるというものである。その助けとして、至高の境地と現実の世界の橋渡しを担う役として現世に存在した釈尊を配している。

マイクロマシン技術の目指すところは「Small Worldの知恵」である。

New Paradigmは未踏の技術であり、現実の世界の人間活動のあらゆる側面に関わり、1人の超人によって実現されるものではなく、多くの賢者の努力の集大成によって達成される技術体系である。

マイクロマシン技術における内外の努力は、曼陀羅のある部分に位置付けられよう。

日本はメカニズムからスタート、欧米は半導体製造技術からスタートした。大きな曼陀羅の中の違った場所からマイクロマシン技術のNew paradigmの中心「Small Worldの知恵」に向かっているはずである。

New Paradigmの確立を目指して

マイクロマシン技術の中心目標「Small Worldの知恵」とは何か？

今、我々が取り組んでいるアプローチとはどの位置に置けばよいのか？

未だ取り組まれていないアプローチがあるのではないか？

こうした課題に取り組むために内外の幅広い連携が必要である。

マイクロマシンセンターはこの連携の触媒、あるいは接着剤として貢献することとしている。

むすび

18世紀にイギリスから興った産業革命を支えた機械技術が、今再び21世紀の新しい産業をマイクロマシン技術の進歩で支えようとしている。この意味で現在のマイクロマシンのR&D活動は「機械のルネッサンス」の胎動である。

ファナック株式会社

はじめに

今回は、富士山麓山中湖畔にあるファナックの本社を訪問しました。広大な森に囲まれた素晴らしい自然環境の中に、同社の本館、研究所、工場などの建物が広々と展開されています。

説明によると、ファナックは昭和31年以来、工作機械の自動化のためにCNCを開発したのをはじめ、昭和47年には最初の産業用ロボットを開発しました。同社は、工場の自動化を促進して世界的な製造革命に貢献して来た会社として知られています。

ファナックでは主要商品として、工作機械の自動化を進めるCNCシステムおよびコントロールモータ、種々の産業用ロボット、知能化された機械としてロボマシンと総称するプラスチック射出成形機やワイヤカット放電加工機などを作っております。

これらの商品を生産する本社工場では、清潔に保たれたフロアに多数のロボットが配置され、徹底した自動化が実現されていて、夜も休むことなく高品質な商品を生産している様子に強い印象を受けました。

研究開発の取り組み

ファナックは研究開発を経営の基盤に据えており、社員の3分の1を占める約600人の研究者が研究開発に打ち込んでいます。

同社の研究開発部門は6つの研究所に分かれ、全てこの本社地区に集結しています。CNC研究所、サーボ研究所、レーザ研究所、ロボット研究所、ロボマシン研究所は、それぞれ担当する商品の開発を行っています。いずれも、高品質・高性能と高品質・低価格という基本方針の下に、抜群の競争力をもつ商品を開発しています。

この他に基礎技術研究所があり、ここでは国家のプロジェクトであるマイクロマシン・プロジェクト、およびIMSプロジェクトに参加して研究開発を進めており、はるか21世紀へ向けて新しい商品を生み出す事が期待されています。



本社地区の全景

このように、長期的な研究への取り組みと商品開発を通じて、お客様の工場の自動化に協力したいと言う、同社の姿勢がうかがえます。

マイクロマシン技術への取り組み

マイクロマシンを構成する部品は、寸法が小さくなるとともに相対的な精度を確保するために、非常に高精度な加工技術を要求します。同社では3次元形状の超精密加工の研究に早くから取り組んでおり、これを使ってマイクロマシンの部品加工の研究を進めています。写真の能面はダイヤモンドエンドミルと呼ぶ特殊な工具で削りだしたもので、銅を素材として、鏡よりも滑らかな表面を実現しておりました。

また、マイクロマシンに使うリニアアクチュエータの試作品を見せていただきました。これは圧電素子を使った新方式のアクチュエータで、現在はまだ大きいモデルの試作ですが、動作確認を済ませてマイクロ化へのチャレンジを進めています。

ファナックの本社地区の広大な森の中には、セントラルヒーティングを完備した社宅をはじめ、充実した厚生施設が整っています。この恵まれた環境の中で働く若い研究者の力により、新しい技術が着々と育っていることを実感しました。



大きさが3mmのマイクロ能面

株式会社フジクラ

今日は東京都江東区木場にある株式会社フジクラの1993年9月に竣工した東京R&Dセンター内の先端技術研究所を訪問しました。フジクラは1885年(明治18年)に創業以来、100年を越える歴史を持つ電線製造メーカーの老舗とのことです。国内に4つの工場(千葉県佐倉工場、宮津工場、静岡県沼津工場、三重県鈴鹿工場)を持ち、社内で開発した技術をベースに、最新の設備を駆使して独自の生産体制を作り上げているとのこと。また、フジクラには5つの研究所(基盤材料研究所、先端技術研究所、光エレクトロニクス研究所、エネルギーシステム研究所、アメリカ研究所)と11の部門からなる開発部があり、製品および製造技術の開発と技術開発のための基礎研究が、フジクラの将来を見据えて展開されているとのこと。この本社のある木場深川地区には、基盤材料研究所、先端技術研究所、エネルギーシステム研究所の3つの研究所があります。基盤材料研究所では、金属系及び酸化物系超電導材料、金属材料、高分子材料、複合材料の開発とそれら種々の材料の分析評価が行われています。エネルギーシステム研究所では、社会と産業の大動脈である信頼性の高い超高压、大容量ケーブルの開発と、電線路の建設や保守および配電の自動化・省力化に関する技術開発を進める一方、これら電力ケーブル関連技術を背景に、先端技術を取り込み新しい時代のエネルギーシステムの開発が強力に推し進められています。

光エレクトロニクス研究所は、千葉県佐倉市にあり伝送路である光ファイバ、カプラ、コネクタ等のコンポーネント、光ファイバ融着接続システム、光測定器、LAN等の機器および光システムの開発が進められています。光ファイバの低損失化に果たしたフジクラの業績は大きく、国内外で高い評価を受けているとのこと。アメリカ研究所は、カリフォルニアに位置し、フジクラの国際化の情報基地となっているとのこと。

さて、以上のように研究開発に積極的なフジクラですが、1992年3月には、業界で初めて「フジクラ地球環境憲章」を制定しました。フジクラでは、事業活動が地球環境と密接な環境を持つことを深く認識し、環境保護、省エネ関連製品の開発を積極的に行ってきました。その例としては、

廃熱を利用したヒートパイプや遠赤外線放射材料などがあるそうです。

1992年10月1日に社名を「藤倉電線株式会社」から「株式会社フジクラ」と改め、多角化、効率化、国際化を柱として、人と環境の調和をめざして、未来を志向する企業活動を展開するとの決意を新たにしました。

訪問した先端技術研究所では、要素技術の拡大・深化と次世代への飛躍に備え、結晶育成技術、高純度化技術、半導体プロセス技術、光関連技術、セラミック技術等は必須との考えから、BaTiO₃、光学単結晶、高純度銅、半導体レーザ、光スイッチ、半導体圧力センサ、セラミック酸素センサの開発が積極的に進められています。

分布帰還型の半導体レーザでは、素子の一部にサブミクロンの回折格子をつくり込む技術を確立し、さらに半導体圧力センサ、半導体加速度センサ等ではシリコンウエハ自体をエッチングして各種の微小構造体をつくるいわゆるマイクロマシニング技術を確立しているとのこと。さらに結晶成長に関しては、バルクおよび薄膜の成長を、金属、誘電体等に関しては、蒸着、スパッタリング、CVD等による成膜も行われています。また、各種のセンサでは、異種の材料を貼り合わせる種々の接合技術がすでに活用されているのを目の当たりにすることができました。

マイクロマシニングをさらに発展させ、接合により導入される歪みを軽減し、低温での接合を開発することによりマイクロマシンにふさわしい接合技術が見えてくるのではないかと印象を持ちました。また、それらの技術は、将来必ずや各種センサに使用されるようになることでしょう。

訪問を終えて、フジクラは、電線関連事業を出発点として、光ファイバとその周辺商品、高度エネルギー分野、エレクトロニクス分野において積極的に事業分野を拡大し、21世紀に羽ばたく企業であることに意を強くしました。マイクロマシンの開発においても、積極的な貢献を期待できると確信し、木場を後にしました。



東京R&Dセンター

マイクロマシン開発の現状と将来〈スイス〉

Q. 「今年6月に開かれたスイスー日本セミナーのスイス側の評価は如何でしたか？」

A. スイスでもこのセミナーは高く評価されました。スイス側の参加者からは多くの前向きなコメントをいただきました。我々にとって日本のマイクロマシン研究の詳細を知る良い機会だったと思います。

Q. 「このセミナーの次の予定はありますか？」

A. 次回は一年半後、1996年の2月頃日本で開くことになっています。

Q. 「マイクロマシン研究の進め方について日本とスイスの違いはどこにあるでしょうか？」

A. 研究計画の内容が大きく違うと思います。スイスでは多くの計画が短期であるいは中期、長くても3~4年の計画です。また計画の作成はいわゆるボトムアップで研究者と企業あるいは大学間の討議から作られます。また計画のなかには企業と大学の共同研究が多く含まれています。

これに対して日本の研究は中長期、5~10年で計画されている様です。また特徴は我々とは逆にトップダウン的で計画の決定はかなり高いレベルで行われ、決定事項が企業や大学に展開されるように思えます。

Q. 「現在スイスで進められているマイクロマシンのプロジェクトについて教えてください。」

A. 4, 5件のプロジェクトが進められていますがいずれも小規模のもので、マイクロセンサ、マイクロアクチュエータや電子回路とのインターフェイスの開発が主な内容です。これらのプロジェクトの多くは1996年までに終了し新しいプロジェクト(MINASTプロジェクト)が始まります。MINASTとはMicro and Nano System Technologiesの略でこれまでのプロジェクトが統合された大きなプロジェクトです。計画は1996年初めから1999年末までの4年間で予算総額は2.5億スイスフラン(約190億円)であり、13の大学、研究所と100社以上の協力企業が参加する予定です。これらのプロジェクトではマイクロシステムに必要な部品や組み立ての技術およびマイクロシステム技術の種々の応用、民生品や工業製品、医療分野の製品への応用について研究していきます。

Q. 「ヌシャテル大学でいま最も力を入れている研究テーマは何でしょう？」

A. 今、非常に興味のあるテーマは例えばジャイロのようなマイクロセンサやミラー、光スイッチといった光学部品です。またピエゾ効果や静電力で作動する直線運動や回転型のアクチュエータにも興味を持っています。システムについては小型の化学分析システムや医療分野で使われるやはり小型の薬液注入システムを作ろうとしています。それから宇宙での研

スイスのマイクロマシン学の権威であり、ニューシャテル大学教授のDr. N. F. de Rooijが、このほど来日され、9月14日午後、当センターへも来訪されました。超過密の日程ではありましたが、インタビューをお願いし、スイスにおけるマイクロマシンの現状と将来につき、貴重なご所見を伺いました。



Prof. N. F. de Rooij

究のための試験装置、ナノメートルサイズの構造解析のためのAFMプローブ微小チップ、バイオエレクトロニクスなどのテーマもあります。

Q. 「先生が提案された薬液注入システムはどんな背景から生まれてきたものですか？」

A. 最初のアイデアは日本のマイクロマシン計画からヒントを得ました。その意味ではこれは日本のマイクロマシン計画で作られたコンセプトと言えます。しかしこのシステムを開発することはヌシャテル大学にとって液体の制御機構、化学分析機構、移動機構、位置決め機構などの技術に大きな発展が期待できます。また個々のデバイスの開発成果が融合されて出来るものなので将来のマイクロマシン技術やマイクロシステムの良い見本となるはずです。

Q. 「マイクロアクチュエータの実用化はマイクロセンサに比べて遅れているように思えます。マイクロアクチュエータの有望な応用は何だとお考えでしょうか？」

A. 確かにマイクロアクチュエータの応用は遅れています。私は多くの新しい応用が可能と考えています。アクチュエータの原理と機能にどれ位の種類があるか考えてください。まず電磁力を応用したアクチュエータは非常に種類が多いたえばプリンタの中で高密度で印字できるアクチュエータとして使われています。熱膨脹を応用したアクチュエータは流体の抑制、たとえば先頃米国のメーカーで商品化されたバルブなどに応用できます。静電力応用については私たちはマイクロレンズを駆動できる微小変位アクチュエータを作りました。これは光スイッチなど他の光学部品にも応用できます。電歪効果も小さなモータやスイッチに使うことができます。逆にポンプのような応用製品を考えると電歪効果や静電力や熱膨脹などいろいろな原理のアクチュエータを使うことができます。またナノメートル領域の微小粒子の取り扱いにもマイクロアクチュエータのニーズがあるように思えます。このように将来は多くの新しい応用が広がると考えています。

1. LIGA プロセス

前回述べましたようにシリコンプロセスは、微細加工が可能で、簡単なアセンブリが行えること、半導体回路との複合化が可能で、利点を持ち、まさにマイクロマシン加工技術の主角ともいえましょう。ところが図1に示すように、これにも欠点がないわけではありません。それは軽薄、非力、ひも付きということです。よく目にするシリコンプロセスでできたモータは直径が髪の毛ほどですが、厚さはそのまた100分の1程度です。これでは比較的大きな力を得ることや、そこから力を取り出すことは容易ではありません。またひも付きというのは、そのようなモータの回転している部分は小さくても、その電源や制御回路は何百倍、何千倍も大きく、かつ一人立ちできていないということです。

そこで、まず軽薄、非力を解決する手段として有力と考えられるものとしてLIGAプロセス、微細放電加工、光造形法、機械加工法などがあげられます。今回は前二者について紹介したいと思います。

LIGA (Lithographie Galvanoformung Abformung) プロセスはドイツのカールスルーエ原子力研究所 (KfK) で開発された技術です。もともとは、微

細な構造体を製作しようと思った訳でなく、放射線同位元素の分離用ノズル製作のために開発されました。この方法はシンクロトン放射光 (SR 光) のような大げさな設備を必要とするので難しい、高級な先端技術と見られがちですが、原理は前回のシリコンプロセスと同様に単純で、基本的には印刷技術と同じです。

軽薄でない分厚い構造体を作るためにはまず、感光性樹脂 (PMMAがよく用いられる) をとにかく数百ミクロン程度以上に分厚く塗り、それをやたら明るい光で焼くのです。やたら明るい光としては、輝度と指向性を求められるので、電子を高速に近い速度で円運動をさせるときに出る放射光 (X線) を用います。それを現像すると微小であるが、厚いレジストの構造体が出来ます。横方向のサイズと高さの比を、アスペクト比といいますが、これによりハイアスペクト比の大きい微小構造体が出来るわけです。

次にこの構造体のレプリカを作ります。粘土や石膏ではなく、電気メッキ (電鍍 Galvanoformung) でニッケル等の反転レプリカを作ります。必要とあれば、これを型として樹脂の射出成形等の加工 (Abformung) を行います。図2にこの方法で得られた蟻用のひげそり (?) を示します。

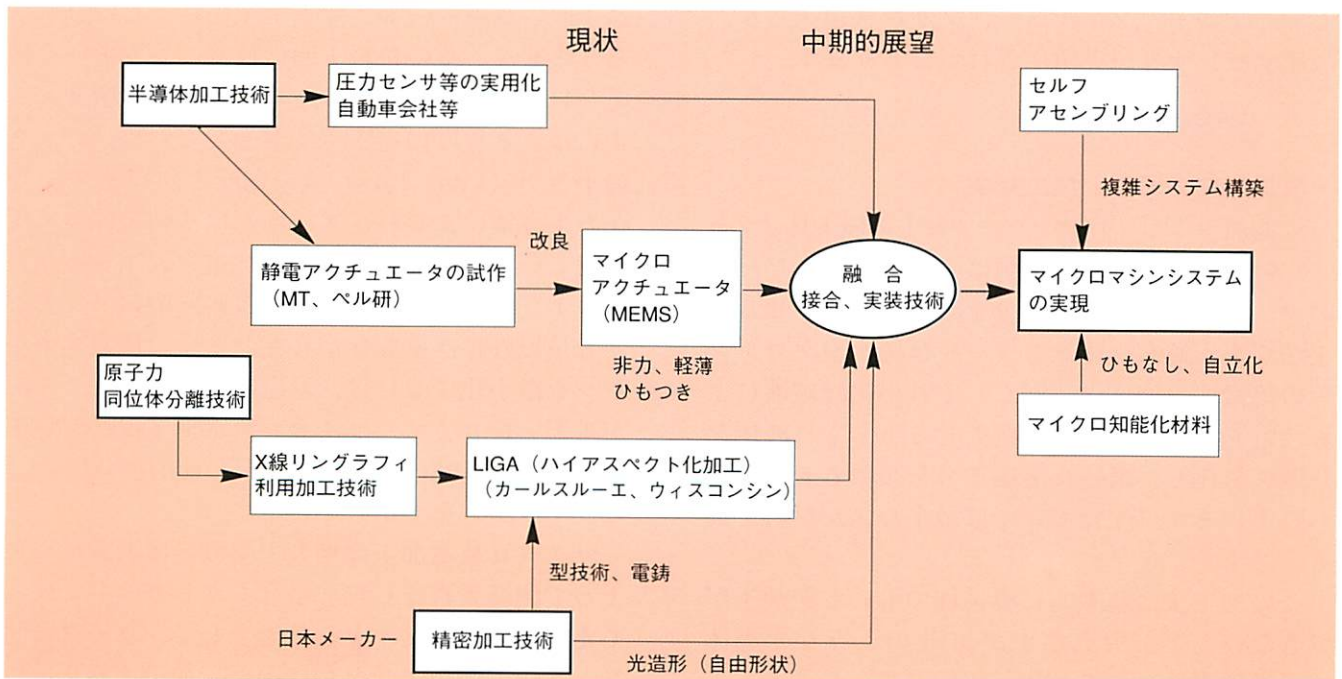


図1 各加工技術の現状と将来

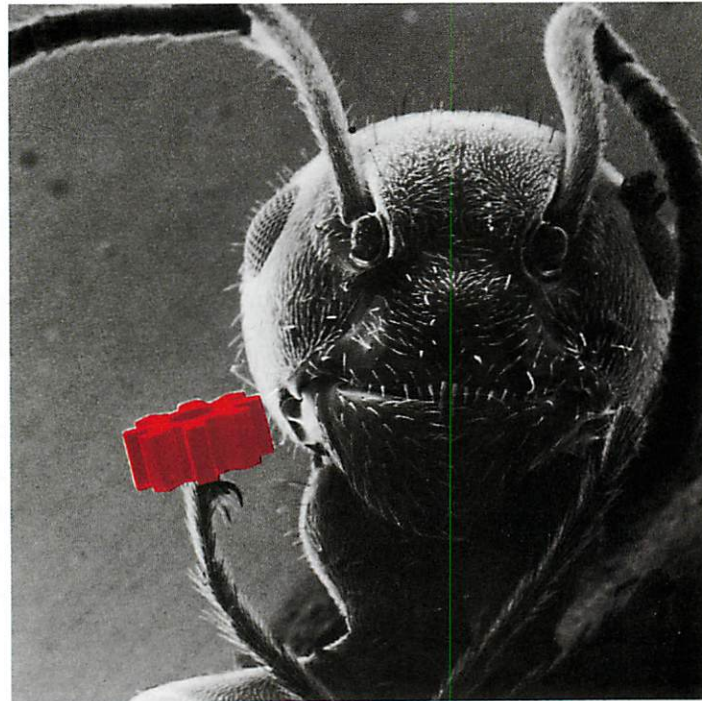


図2 蟻用のひげそり (KfK 提供)

LIGA 法には、上記のハイアスペクト比構造体が製造できる点とともに、シリコン以外の材料も加工できる利点があります。欠点としては電気メッキや成形技術はともかくとして、SR 光は大げさで高価だということです。また完全に自由な3次元形状は得られないということです。利点を生かして光学素子、フィルター、プリンタ用ノズル、加速度センサ等が実用化されつつあります。

2. 微細放電加工法

・放電加工の原理と加工対象

放電加工とは工作物（ワーク）と電極工具（ツール）の間に、放電火花を飛ばすことによりワークのツールに向き合った部分を溶融、飛散させる加工法です。通常ワークとツールは純水やケロシン等の絶縁性の液体中に浸し、その絶縁破壊による放電火花がワークを溶融させるとともに液体を急激に気化し、瞬時に溶融部分を飛散させるといわれています。平たくいえば微小な雷が材料を削るのです。

この加工法は基本的に導電性のものしか加工ができないことが欠点ですが、Si のような半導体でも導電率によっては加工可能です。長所としては、非接触加工でありワークとツールの間に大き

な力が加わることがないため、ワークやツールとして細かいものや、薄いものでも利用可能であることがあげられます。

・マイクロ放電加工

通常の放電加工と比べ、マイクロ加工においては1回の放電での加工除去量を小さくしなければなりません。そのため1回の放電エネルギーを抑えなければなりません。ところが絶縁破壊を起こすにはある程度の電圧程度が必要なため、パルスの小さい（1 ns～1 μs）放電電流を用います。現在の半導体によるパルス技術ではこの条件の実現が難しいためコンデンサの充放電を利用します。このような回路においては充電回路中のコンデンサ容量以外に浮遊容量が存在します。放電エネルギーを微小化するには、浮遊容量を低減することが重要となります。マイクロ放電加工機においては浮遊容量低減のため金属部品の使用を少なくし、セラミックスを多用しています。

マイクロ放電加工は東大生産研の増沢教授らによって開発されました。ゆっくりとガイドに反って走行する金属ワイヤを電極として、ワークに回転とz軸方向の送りをかけながら加工することにより形状を創製します。走行ワイヤを用いるため

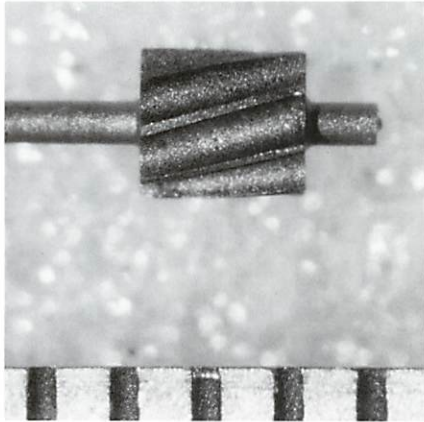


図3 マイクロタービン加工例（松下技研提供）

に電極消耗の影響を受けにくく、NC制御により複雑形状の加工ができます。

上記のWEDG加工により製作した微細軸をツールとして用い微細穴が加工できます。松下技研の開発した微細穴放電加工機では直径5～300 μm で、直径の3～5倍の深さの穴を真円度0.5 μm 、表面粗さ0.1 μm の精度で加工できます。微細穴の応用例としてはインクジェットプリンタ用ノズル、流量制御用オリフィス、X線測定用ピンホール加工などが知られています。

微細穴加工を重畳する事でスリット加工やくり貫き加工もできます。微細電極をフライス盤のエンドミルのように使って、3次元形状も加工できます。図3に示すようなマイクロエアタービンのローターはLIGA法によっては作成が困難な形状です。またこの方法によりポンチとダイを製作し、マイクロ打ち抜き加工も試みられています。

・LIGA との比較

放電加工法は、導電性のあるものを、ある程度微細に加工でき、アスペクト比5、表面粗さ0.1 μm 程度です。加工能率はシリコンプロセスに比べると一括加工ができないために概して悪いが、本来金型加工に用いられるため、塑性加工や射出成形を用いれば経済性は向上するものと思われます。LIGAのようなハイアスペクト比構造体やハニカム構造の製作には不向ですが、OA機器に用いられるような微小部品の一品物の金型製作等には適しているようです。また前述のように本来2.5次元加工であるLIGAと比べると、より加工の自由度が高いといえます。

編集後記

マイクロマシンの夢は膨らみ、宇宙開発への貢献も期待されています。実用的には超小型化だけではなく、マルチ化/群化といった側面の期待もある様ですが、現段階では単純に“極小は極太に通ず”と思うことに致します。

本号では、ヨーロッパにおけるセミナー実施報告に頁数をさいていますが、平野専務理事の講演「マイクロマシン技術の将来展望」の中に出てくる“マイクロマシンと仏教の曼陀羅”というアナロジーに注目して頂きたい。ただ、専務ご自身が以前に指摘された様に、曼陀羅には時間のファクターが示されていません。極めていよいよ速しという謙虚な姿勢で努力する時、思ったよりも早くこの「Small World の知恵」に到達するのかも知れません。名古屋大学に、わが国で初めての「マイクロシステム工学専攻」が新設されたとの紹介もあります。今後の益々の発展を願っています。

一般賛助会員への入会のおすすめ

平成4年1月24日通商産業大臣の許可を得て財団法人マイクロマシンセンターは設立されました。当財団の事業目的や事業にご賛同、ご理解をいただき、ご入会をご案内申し上げます。なお、入会会員は次の諸事業へ参加し、また利用いただけます。

- ① 財団が自主的に行う調査・研究への参加、成果の利用
- ② 受託等調査・研究開発の成果の利用（守秘義務を課せられているものを除く）
- ③ 研究会その他事業活動への参加
- ④ データバンクの利用
- ⑤ 刊行物の配布

お申し込み手続き：所定の申込書に必要事項記入のうえ事務局にお申込み下さい。

会費等：入会金（入会時）400万円、
年会費200万円

お問合せ先：財団法人マイクロマシンセンター事務局
総務部

イベントのお知らせ

平成6年度マイクロマシン技術開発成果発表会開催のご案内

マイクロマシンは、各種産業設備やプラント等の高度で精緻なメンテナンス技術を必要とする広範な産業分野や、患者の肉体的苦痛の少ない医療技術を必要とする医療福祉分野等、きわめて広い分野において利用されることが期待されております。

このような背景のもとに、当センターは通商産業省工業技術院産業科学技術研究開発制度による

研究開発プロジェクト「マイクロマシン技術」を新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託により平成3年度から研究開発を実施してまいりました。本成果発表会は昨年に引続き開催されるもので、これまでの研究開発成果を広く公表しマイクロマシン技術の普及を図るもので、以下のような内容で行われます。

開催概要

- 開催日時**：平成6年11月16日(水)
9：20～17：00
- 会場**：科学技術館サイエンスホール
東京都千代田区北の丸公園2-1
- 主催**：(財)マイクロマシンセンター
(財)日本産業技術振興協会
- 後援(予定)**：通商産業省工業技術院
新エネルギー・産業技術総合開発機構
- 協賛(予定)**：マイクロマシン連合
(社)日本ロボット工業会 他
(社)日本機械工業連合会
(財)発電設備技術検査協会
- 参加費**：3,000円(予稿集代)
- 参加定員**：350人
- 参加要領**：所定の参加申込書に必要事項をご記入の上、当センターにお申し込み下さい。定員になり次第締め切らせていただきます。

講演発表内容

- 基調講演「機械の歴史とマイクロマシン」
三浦弘文(東京大学工学部教授)
- マイクロマシンプロジェクトについて
笠井 浩(通商産業省工業技術院研究開発官)
- 国立研究所における技術研究成果発表
マイクロ研削による微細部品の加工技術
岡野啓作 工業技術院機械技術研究所
極微小電子銃を用いた3次元加工技術
伊藤順司 工業技術院電子技術総合研究所
微小機械要素の評価に関する研究
梅田 章 工業技術院計量研究所
- マイクロマシンセンターにおける研究概要
マイクロマシンセンターの研究開発の概要について
田中英晴 三菱電機(株)
- マイクロマシンセンターにおける研究成果
マイクロファクトリーの研究開発について
安宅龍明 セイコー電子工業(株)
- マイクロマシンセンターにおける研究成果
<アクチュエータ技術>
SMAマイクロコイルアクチュエータ
山本啓介 三菱電線工業(株)
振動整流型静電リニアアクチュエータ
杉浦 賢 (株)富士電機総合研究所
- <センサ技術>
マイクロジャイロ
田中克彦 (株)村田製作所
光学式医療用圧覚センサー
山本英二 オリパス光学工業(株)
- <エネルギー供給技術>
マイクロ発電機
森主 憲 三菱電機(株)
マイクロ光電交換デバイス
木山精一 三洋電機(株)
- <システム・制御技術>
マイクロマシンの行動制御
ラジブ.S. デサイ ISロボティクス(株)
マイクロ検査マシン
井戸垣孝治 日本電装(株)

発表内容

- 講演発表**：13件
パネル展示発表：約30件

参加申込等に関する問い合わせ先

(財)マイクロマシンセンター 業務企画部
東京都港区三田3-2-6 山光ビル3F
TEL：03-5443-2971 FAX：03-5443-2975

発行 財団法人マイクロマシンセンター

発行人 平野 隆之
〒108 東京都港区三田3-12-16 山光ビル3階
TEL. 03-5443-2971 FAX. 03-5443-2975