

マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究

御法川, 学 / 岩月, 正見 / 田中, 豊

(出版者 / Publisher)

法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター年報

(巻 / Volume)

2003

(開始ページ / Start Page)

36

(終了ページ / End Page)

44

(発行年 / Year)

2004-12-24

研究成果報告概要

マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究

1．研究背景および目的

本プロジェクトは、マイクロ・ナノテクノロジーセンターに設けられた4つのプロジェクトのうち、ターゲットとするサイズが最も大きなものである。すなわち、機械製品のサイズであるマクロ的なオーダーと、バイオ、電子デバイスのサイズであるミクロ的なオーダーの中間的なサイズを対象としており、これまでのモノづくりにおいてはちょうど境目で空洞となっていた分野であり、大きな関心とニーズが集まっている。例えば、半導体などのいわゆる集積回路や電子デバイスの高密度化は顕著な発展をしている一方で、いわゆる機械要素、具体的にはアクチュエータやセンサを組み込んだメカトロシステムの集積化、高密度化は、まだまだ遅れていると考えられる。本プロジェクトは、ミクロ製造技術の代表である半導体プロセスではなく、機械加工の分野での微細加工、製造、組立、評価技術を用いて、小型で高性能なマイクロ・メカトロシステムの研究開発を行うことを目的にしている。

具体的な研究テーマは、積層した3次元のマイクロ流路構造およびその機能要素として働くポンプ、バルブといったマイクロ流体要素の研究開発、燃料電池よりもパワー密度の高いパワーMEMS用の超小型高密度エネルギーシステムの要素開発、マイクロサブシステムの統合化およびそのデザイン手法の確立、微細加工のための材料評価技術の確立、などである。

メカトロシステムにおいては、最終的にアクチュエータが外部に対してマクロな機械仕事を行うことになる。例えば、図1に示すような流体アクチュエータを想定すると、仕事の断続や仕事量の切替えを行うバルブ素子、そのパワー源となるポンプ素子、信号の切替えを行うセンサ素子から構成される。ここでは、これらの素子をモジュール化することで集積させる。また、これらの素子は1つではなく、アレイ状にたくさん配置することで、パワーの確保、インテリジェント化を図ることを目指す。実際の製造法については図2に示すような構想を考える。センサーモジュール層、バルブモジュール層、ポンプモジュール層、アクチュエータモジュール層といった各機能要素を微細加工技術により別々に製造し、最後にこれらを積層化することにより、マイクロメカトロデバイスを構成する。全体のサイズはミリメートルのオーダーとなる可能性があるが、従来のメカトロシステムと比較すれば遥かに小型である。

2．研究用装置の概要と特徴

上記の目標を実現すべく、本プロジェクトでは以下のような微細加工装置を導入した。大別すると、マイクロブラスト加工装置、マイクロ放電加工装置、マイクロ光造形装置、マイクロシステム組立・評価装置、である。次に各装置の概要について述べる。

マイクロブラスト加工装置

マイクロブラスト加工は、半導体製造では一般的なシリコンエッチング法と、機械加工における表面改質の手法であるサンドブラスト法を融合したような加工法である。被加工物（ワーク）は、主にシリコン、ガラス、高硬度な金属といった脆性材料であり、ワーク上に厚さ50ミクロン程度のレジストフィルムをコーティングする（ラミネート）。このレジストフィルムは紫外線で硬化する性質があるので、この上に半導体製造と同様にマスクパターンを載せて紫外線を当てると、紫外線

が当たった部分のレジストフィルムが硬化する。その後硬化していないレジストフィルムを洗い流す（露光・現像）。次にワークに対して粒子径 50 ミクロン以下の非常に微細な粉体を高圧でぶつける（ブラスト）。その結果、レジストフィルムの残っていないところが削られ、切削加工では実現困難な複雑な溝加工が実現できるものである。

マイクロ放電加工装置

これは機械の金型加工に利用されている放電加工と原理は全く同じである。電極とワークの間に電圧をかけ、アーク放電させてワークを溶かしていく。本装置の電極には非常に細いワイヤを用いるが、そのワイヤの直径や形状を加工機自身で任意に作製できることに大きな特徴がある。ワイヤの直径は最小で 5 ミクロン程度にまで対応でき、微細な孔加工やフライス加工を行うことができる。また、電極とワークの極性を反転させることで、ワーク形状を電極に転写することも可能である。これにより、多数のピン形状からなる電極成形や、複雑形状の深彫り加工が実現できるものである。

マイクロ光造形装置

前者の 2 つの加工法は、溝や穴といった 2 次元的な形状加工であり、積層形のマイクロシステム製造には適すると考えられる。しかし、システムの形状最適化や効率向上のためには、3 次元形状の適用、評価が不可欠である。近年、任意の 3 次元形状を高速に実現できるラピッド・プロトタイプング技術が急速に広まりつつあるが、その中でも特に高い形状精度を有する光造形システムに注目し、本プロジェクトでは 2 機種の光造形機を導入した。光造形とは、まず 3 次元の形状データを CAD によって製作し、それを高さ方向に輪切りにして 2 次元形状のデータの集まりに直す。その 1 層のデータに対応するレーザー光を、光硬化樹脂の表面に照射すると、レーザー光の当たった部分のみが硬化し、1 層分の形状が生成される。次いで樹脂を沈下させ、同様に次の層を生成していくと、最終的には任意の 3 次元形状が生成できる。この方法の特徴は、切削加工では不可能な非常に複雑な 3 次元形状を 1 回で製造できる点にある。導入した 2 機種は、1 機種が汎用の光造形機で、200×200×200 ミリメートル程度の大きな形状を積層ピッチ 50 ミクロンで造形が可能である。もう 1 機種は、マイクロ光造形に特化した機種で、さらに小さな積層ピッチによる試作が可能となっている。

マイクロシステム組立・評価装置

上記の各微細加工機によって製作されたサブシステムの検査および評価を行うための装置として、3 次元の形状観察が可能な半導体レーザー顕微鏡およびカラー CCD 顕微鏡を導入した。また、サブシステムの搬送および組立を行うために、サブミクロンオーダーでの位置決めが可能な 2 次元マイクロステージを導入した。

3. 具体的な研究例

図 3 は 3 次元マイクロ流路の試作例を示す。まず、マイクロブラスト加工を用い、幅 80 ミクロン、深さ 80 ミクロンの流路成形をした。マイクロブラスト加工の特徴は従来の 2 次元微細加工に比べ、幅方向に対する深さ方向のアスペクト比が大きく取れるのが長所である一方、削り落とす加工により端部が丸まってしまう問題も生じる。これらの特徴を踏まえ、最適な形状や加工パラメータを見出してゆくことが課題である。また、同様にフルイディスクと呼ばれる複雑な構造を持つバルブ要素も製作中である。

図 4 は微細光造形を用いて試作した流体アクチュエータの形状モデルである。このようなシリンダー要素は従来のアクチュエータとしては一般的であるが、マイクロ化するとその摺動部における

摩擦損失の影響が無視できない。今後は摺動部のないベローズ構造やブルドン管構造を用いたマイクロアクチュエータを開発することが必要であろう。

デジカメやプリンタといった最近の IT 機器には、MEMS (Micro Electro Mechanical System) 技術を利用した機械要素が組み込まれているが、従来の MEMS は発生パワーが小さく、外部への機械仕事を行うといった機能は苦手であった。そこで、より大きな仕事を行うパワーMEMS の開発が注目されている。本プロジェクトでは、マイクロポンプやマイクロファンを用いたマイクロ流体機械アレイの開発、パワーMEMS 用歯車、軸受の開発などを研究テーマとし、3次元光造形機を用いたラージモデル(拡大模型)を試作して、ダウンサイジングによる相似則の検討や形状最適化などを行っている。図5はパワーMEMSの適用例である超小型ガスタービン用羽根車の3次元形状モデル(ターゲットサイズの2.5倍および5倍サイズ)を光造形機で試作したものである。

その他、パワーMEMSの具体的なターゲットとしては、翼面や車両などの流体抵抗を図るためのマイクロ境界層制御デバイス、騒音低減のためのマイクロ音響制御デバイスなどの開発を計画している。

さて、マイクロシステムを実現するための微細加工においては、既知のマクロ的な材料強度特性や加工特性が適用できない可能性が高く、それらを実験的に明らかにすることが不可欠である。図6は、本プロジェクトで計画しているマイクロシステム材料試験機の概要である。

最後に、マイクロシステムを1つのメカトロシステムとして考えた場合、モジュール化したサブシステムの統合化、集積化が最終目標である。サブシステムのハンドリング、インプラントの手法についても、検討を行っていく予定である。

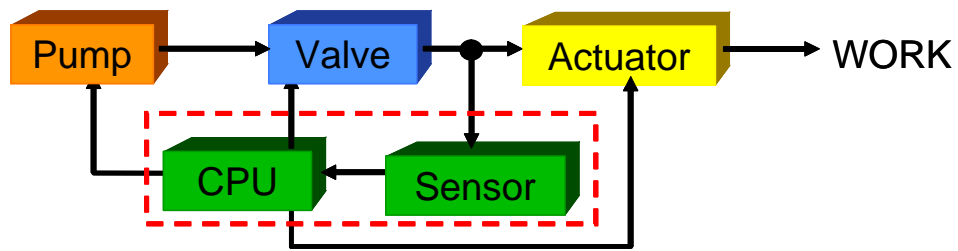


図1 マイクロ・ナノメカトロデバイスの構成

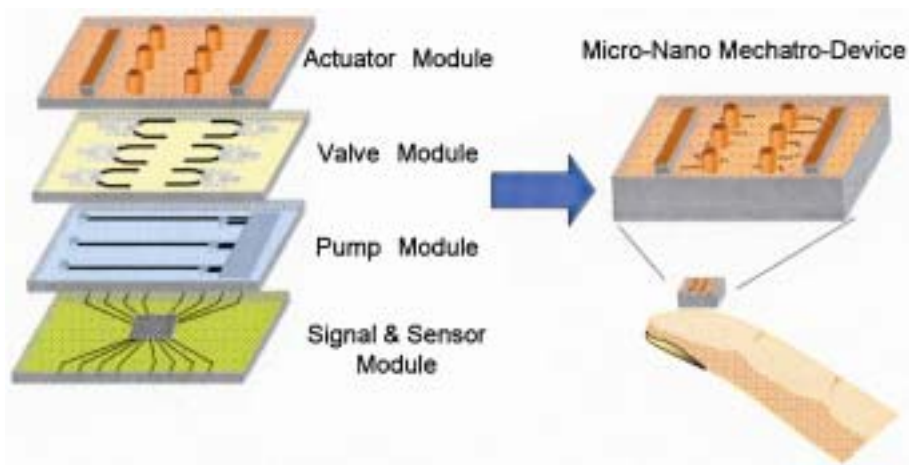
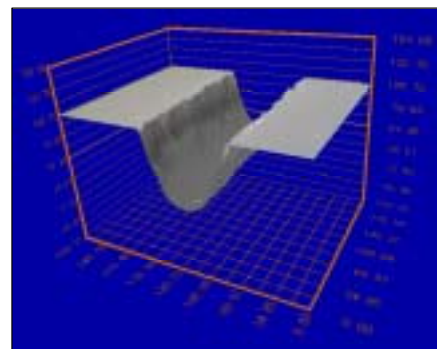


図2 マイクロ・ナノメカトロデバイスのモジュール構造



a) 流路形状



b) 流路の断面形状

図3 マイクロプラスト加工によるマイクロ流路

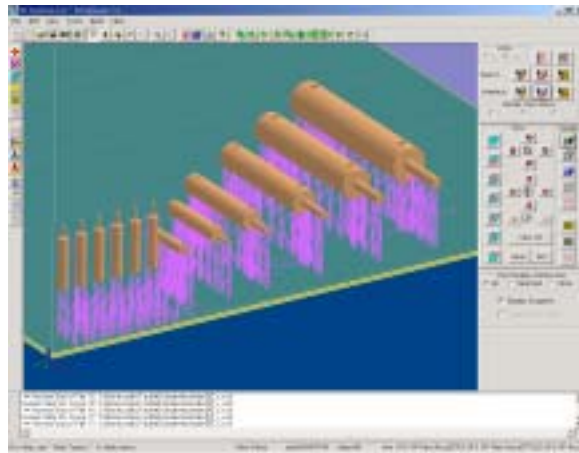
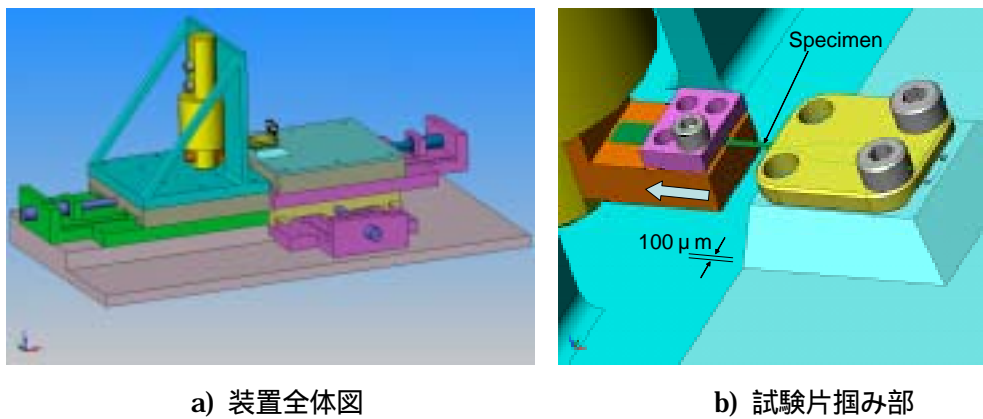


図4 マイクロ光造形で加工する流体アクチュエータのモデリング



図5 マイクロ光造形による超小型3次元羽根車の形状加工



a) 装置全体図

b) 試験片掴み部

図6 マイクロ材料試験装置

2003年度業績リスト(マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究)

田中 豊

論文

- 1) R. Suzuki, Yutaka Tanaka, " Solution of Air Entrainment for Fluid Power Systems ", SAE 2002 Transactions, Journal of Commercial Vehicles, Section 2, Vol.111, 2002, pp.194-199.

液圧システムの作動流体に含まれる微小気泡を除去することによりシステムの特性を向上できることを明らかにした。

- 2) Yutaka Tanaka, R. Suzuki, Air entrainment in hydraulic systems, SAE Off-Highway Engineering, Vol.11, No.1, February 2003, pp.35-38.
- 3) Tanaka, Y., Nakajima, T., Sawada, T., Desktop Type of Force Display Using Pneumatic Parallel Mechanism, Proceedings of the Fourth International Symposium on Fluid Power Transmission and Control (ISFP ' 2003, Paper for Plenary Session), April 2003, pp.267-271.

マイクロマシンの組立工程にも応用できるパラレルメカニズムを用いたデスクトップ型の力覚提示つき3次元入力装置の試作について述べている。

- 4) Yutaka TANAKA, Jumpei ISHIBASHI, Tomoyuki SAWADA, Tomihide ITO, Motion Control of Animatronic System Using Water Hydraulic Drive, Proc. 7th International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization, CD-ROM PROCEEDINGS, ISBN 0-9533991-4-1. 2003.
- 5) Yutaka TANAKA, Ryushi SUZUKI, Toshiyuki YOSHIDA, Kazuo KOIKE, Experimental and Numerical Investigation of Active Heat Exchange for Fluid Power Systems, Proc. 7th International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization, CD-ROM PROCEEDINGS, ISBN 0-9533991-4-1. 2003.

液中の微小気泡の攪拌と除去により作動流体の温度上昇を抑制できることを明らかにしている。

- 6) 田中豊, 空気圧を用いた装着型力接触感覚提示装置, フルードパワーシステム(日本フルードパワーシステム学会誌), 34巻, 5号, pp.134-139, 2003.

著書

- 1) 田中豊(分担執筆), 空気圧抵抗容量系の特性, 空気圧システム入門(日本フルードパワーシステム学会創立30周年記念出版), 全64頁中10頁, 2003年4月

解説・その他

- 1) 田中豊, 空気圧ベローズを用いた力感覚提示システム, 油空圧技術, Vol.42, No.3, pp.35-39, 2003.
- 2) 田中豊, 吉田, 間, 鈴木, 小池, 気泡による液圧システム用冷却装置の流れ解析, 法

政大学計算科学研究センター研究報告，第16巻，2003，pp.1-4.

- 3) 田中，ISFP ' 03 参加報告，FPIC Quarterly，Vol.11，Vo.2，pp.16-20，2003.
- 4) 田中，巻頭言・高付加価値な情報発信学会をめざして，FPIC Quarterly，Vol.11，Vo.3，p.1，2003.
- 5) 田中，FLUCOME 03参加報告，FPIC Quarterly，Vol.11，Vo.3，p.4-11，2003.
- 6) 田中，平成15年度秋季フルードパワーシステム講演会報告（油圧・水圧編），FPIC Quarterly，Vol.11，Vo.4，p.4-11，2003.
- 7) 田中，基調講演「ウェアラブルフルードパワー」の報告，FPIC Quarterly，Vol.11，Vo.4，p.3，2003.

口頭発表

- 1) 田中豊，石橋，伊藤，メータアウト方式による空気圧駆動と水圧駆動の比較（第2報 実機への適用），春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，pp.35-37，2003.
- 2) 田中豊，萩原，別府，水野，加藤，没入型仮想環境による建設機械システムの遠隔操作，日本機械学会 2003 年度年次大会講演論文集，Vol.7，pp.223-224，2003.
- 3) 田中豊，別府，萩原，没入型仮想環境を用いた建設機械システムの遠隔操作（遠隔作業の評価実験），日本機械学会山梨講演会講演論文集，pp.219-220，2003
- 4) 田中，石倉，石田，鈴木，気泡除去装置による油圧タンクの小型化（第1報 振動環境下における気泡の混入とその除去）秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，pp.21-23，2003.
- 5) 田中，空気圧を利用した力接触感覚の提示，精密工学会生産自動化専門委員会・研究例会講演前刷集，No.2003-7，pp.1-10，2003.

御法川 学

著書

- 1) 鈴木，御法川他，機械音響工学，コロナ社（2004年3月）

論文

- 1) HIRANO T., MINORIKAWA G. et al., Study on Noise Reduction in Turbofan (Effects in Performance and Noise by Improving Outlet Angle of Impeller), International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo, No.TS-047 (2003年11月)
- 2) MIZUKI S., MINORIKAWA G. et al., Design and Prototyping of Micro Centrifugal Compressor, Journal of thermal science (International congress of thermal and flow sciences), p.33-37 (2003年4月)

展望・解説

- 1) 御法川, 遠心送風機の低騒音化の現状, 騒音制御, Vol.27 No.5, pp.324-330 (2003年10月)

口頭発表

- 1) 御法川, 野原他, 空力特性と騒音を考慮した2次元翼型の試作, 日本機械学会関西支部講演会講演予稿集, p.75-76 (2004年3月)
- 2) 御法川, 吉田他, 細孔管型消音器の減音特性に関する研究, 日本機械学会関西支部講演会講演予稿集, p.23-24 (2004年3月)
- 3) 桐山, 御法川他, 機能モデルによる自動車サスペンションのモデル化, 日本機械学会D&D2003講演論文集(CD-ROM) (2003年9月)
- 4) 熊倉, 御法川他, 機能モデルによる2リンクアームの運動制御, 日本機械学会D&D2003講演論文集(CD-ROM) (2003年9月)
- 5) 御法川, 水木他, 超小型遠心圧縮機の要素試作に関する研究, 日本機械学会2003年度年次大会講演論文集, p.323-324 (2003年8月)
- 6) 辻, 御法川他, 打楽器シンバルの音質向上, 日本機械学会2003年度年次大会講演論文集, p.175-176 (2003年8月)
- 7) MINORIKAWA G., Noise Reduction and Performance Enhancement in Centrifugal Fan by Improving Outlet Angle of Impeller, INCE/USA Proceedings of NOISE-CON2003 (CD-ROM) (2003年6月)

岩月 正見

論文

- 1) 岩月正見, 片瀬有一, 谷夏樹,
"色領域分割に基づくスキャンラインステレオマッチングを用いた面の3次元構造復元," システム制御情報学会誌,
Vol.16, No.5, pp.226-233 (2003-5)
- 2) 岩月正見, 加藤偉之, 米川輝,
"WWWを用いた工学教育用遠隔実験・実習システムの試作,"
電気学会論文誌D, 産業応用部門誌, Vol.123, No.8, pp.903-910 (2003-8)
- 3) 岩月正見, 米川輝, 平野秀樹, 吉澤大輔,
"WWWに基づく工学教育用移動ロボット車遠隔実験システム,"
情報技術レターズ, Vo.2, pp.297-298,
FIT(情報科学技術フォーラム)2003,LK-014 (2003-8)
- 4) 岩月正見, 竹内則雄, 小林尚登, 八名和夫, 武田洋, 柳沼寿, 清原孟,
"リアルタイム遠隔講義におけるデジタルコンテンツ自動生成システムの開発と実践," 論文誌情報教育研究方法, Vo.6, No.1, pp.41-45 (2003-11)

国際会議

- 1) M. Iwatsuki and N. Okiyama:
"Preferential Direction Control for Visual Servoing based on Orthogonal Curvilinear Coordinate Systems,"
Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.761-766 (2002-11)

口頭発表

- 1) 加藤偉之, 米川輝, 岩月正見,
"WWW を用いた移動ロボット車の遠隔実験システム,"
第 35 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集,
A-10, pp.27-28 (2003-1)
- 2) 谷夏樹, 岩月正見, 小林豊,
"一様色領域とテクスチャ領域の分離に基づくステレオビジョン,"
第 35 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集,
B-3, pp.133-134 (2003-1)
- 3) 若生裕司, 岩月正見,
"任意視点からのステレオ画像を用いた 3D モデリングツールの自動化,"
第 35 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集,
B-4, pp.135-136 (2003-1)
- 4) 沖山紀光, 岩月正見,
"直交曲線座標系に基づくビジュアルサーボイング,"
第 35 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集,
B-8, pp.143-144 (2003-1)
- 5) 岩月正見, 竹内則雄, 小林尚登, 八名和夫, 武田洋, 柳沼寿, 清原孟,
"リアルタイム遠隔講義における自動コンテンツ化システムの開発と実践,"
第 11 回全国大学情報教育方法研究発表会予稿集, D-13, pp.136-137 (2003-7)
- 6) 岩月正見, 加藤清人, 山本司,
"直交曲線座標系に基づくビジュアルサーボの優先方向制御,"
第 8 回知能メカトロニクスワークショップ講演論文集, pp.97-100 (2003-8)