

## 解説



## IC 技術で作るまめシステム†

藤田 博之††

## 1. はじめに

最近、IC 製造用のプロセスを使って  $\mu\text{m}$  オーダの機械部品や静電モータを作ったという報告が米国を中心に行われた<sup>1)~5)</sup>。これらの成果に触発されて、小さな機械を作ろうという研究機運が盛り上がり、1991 年度からは通産省の大型プロジェクト「マイクロマシン」が開始される。このような小さな機械は、次のような応用があると期待されている。

① 全体の寸法が小さいことを生かして、血管内のようなマイクロの世界に分け入る。

② 細胞や、DNA のような生体高分子など、マイクロの対象を扱う。

③ 蚊が刺した程度の量で血液の分析を行うような、極微量の流体を扱う。

④ ディスク装置のようにある定められた位置に、印があるかどうかを検出する。

⑤ 人間の皮膚の表面に感覚器が分布するように、表面にセンサやアクチュエータが分布したデバイスにより、生体の情報を密にとったり、それを面的に刺激したりする。

⑥ 流出した原油のように、広い範囲にわたって分散した対象を大量のマイクロマシンを使って扱う。

情報処理の分野では、これらのうち、④の大容量記憶装置や⑤のヒューマンコミュニケーションデバイス（たとえばディスプレイ、触覚刺激器）などが最もなじみのある応用であろう。

しかし、この分野に関する報道などを見ると、いくつかの誤解を招きやすいイメージが先行しがちなようである。一つは、マイクロマシンという言葉が文字通り受け取って、現在私たちの身の回

りにあるマクロな機械の単なる小型版をマイクロマシンと思ひ込む傾向である。またもう一つは、マイクロマシンの大きさは昆虫や微生物と近い、それゆえ(?)マイクロマシンはこれらの生物の機能(柔軟性、自己増殖性、など)を備えることができる、という飛躍した発想である。技術の裏付けなしにこのような主張をするのは、混乱をまねく原因となるばかりである。小さな生物はマイクロマシンの存在証明であり、多くの発想の源泉となることは事実だが、それと工学的な実現可能性を混同してはならない。本稿ではそのような誤解を避けるため、小さな機械を「まめシステム」(マイクロメカトロニクスシステムの略)と呼び、メカだけでなくエレクトロニクスも同様に大切であり、両者が融合して初めて実用的なマイクロの機械が完成するという気持ちを表わす。

## 2. 常識の通じないマイクロの世界

さてここで、マイクロマシンがはたしてマクロな機械の単なる小型版であるかどうかについて、より詳しく考えてみよう。これまでも小さな機械を作ろうとする試みがあり、いくつかの試作例もあった。しかし、これが決してポピュラにならなかった理由は、次のような難点があるからだ。

① スケーリングの壁

② 情報交換の壁

③ 単品生産の壁

これら三つの壁について、やや詳しく説明しよう。

## 2.1 スケーリング則

スケーリング則とは、物体の寸法を変えていったときに、種々の物理量が寸法の何乗に比例して変わるかを示す法則である。マイクロの世界では、寸法の3乗に比例する体積の効果(例、重さ、慣性)が相対的に弱くなり、寸法の2乗に比例する面積の効果(例、放熱、表面摩擦)が卓越する。このため「空中で物体を手から離せば落下する」

† IC-based Micromechatronic Systems by Hiroyuki FUJITA  
(Institute of Industrial Science, The University of Tokyo).

†† 東京大学生産技術研究所

というマクロの世界の常識は、目に見えないくらい小さなほこりについては成立しない。ほこりはきわめて軽く、表面に動く空気の摩擦により、いつまでも空中に浮遊する。このため、マクロの世界でうまく動く機械も、そのまま小さくしたのではまったく動かないか、きわめて効率が悪くなって実用化できない。

図-1 に、微小化された潜水艇がスクリュを使って進もうとするのだが、なかなかうまく進めないのに対し、鞭毛を回して進むバクテリアがスイスイと泳ぐさまを示した。マイクロの世界になると、水の粘性が慣性に比べて支配的になるために、スクリュで水を押し出す反動で進むやり方はうまくいかず、ワインのコルクに栓抜きの螺旋を押し込むように鞭毛をネバネバの水にねじ込んで進むバクテリアは、マイクロの世界の法則にあった推進方法を用いている。

さらに図-2 には、微小化した象と巨大化した蟻の絵を示す。大きさと足の太さが不釣り合いであるのが分かる。体重は、寸法の3乗で大きくなるのに対し、足の強さは寸法の2乗で決まる断面積に比例するから、もともとからだの大きい象は足



図-1 マイクロ潜航艇とバクテリア

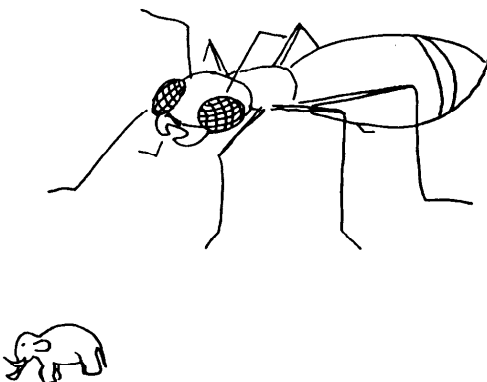


図-2 微小化象と巨大化蟻

が太く、蟻は細いのである。このため、巨大化した蟻は歩こうとするとときに足を骨折してしまうだろう。このように、寸法の何乗に比例して、力やそのほかの物理量が変化するかを示すのが、いわゆるスケーリング則であり、機械のマイクロ化にあたって必ず考慮しなければならない。たとえば、筆者らのセラミック系高温超電導体のマイスナ効果による反発力により、永久磁石の可動部を浮上して摩擦を避ける超電導リニアモータ（マイスナック）<sup>6)</sup> や、樋口らの圧電素子や電歪素子の急速変形にともなう慣性力を利用して、微小移動を起こす機構<sup>7)</sup> は、スケーリングをうまく利用した微小化に適した手法と言える。

## 2.2 情報処理機能の集積化と分散化

次に情報交換の壁とは、機械を制御する情報の検出と処理のため、センサやコンピュータを接続しなければならないが、その配線が機械そのものと同程度に大きくなってしまいう問題である。特に、多数の小型機械を狭いところに集中して使おうとするとき（たとえば、針の先のような非常に狭い表面に、多くの機械要素を高密度に実装するとき）には、これは大きな問題となる。この問題は、制御したいマイクロな対象の情報をすべて中央のコンピュータに運ぼうとするために生ずる。情報処理系を階層化して、局所的なマイナーフィードバックループを、マイクロな世界の中に実現できれば、通信線と通信量を大幅に減らすことができる。この局所的な情報処理の能力を上げていけば、まめシステムによっていわゆる自律分散システムを構成することができるであろう。また、マイクロセンサをマイクロストラクチャに組み込んで、構造を簡単にすると同時に、検出精度をよくすることができる。

## 2.3 小さな機械の作り方

さらに、機械部が小型になればそれを取り扱い、組み立てることは難しくなる。一つ一つの部品を組み上げて、1個の小型機械を作る単品生産では、完成品のコストはきわめて高くなり、コストを問題としないような特殊な用途以外は利用できない。これが単品生産の壁である。有名な物理学者のファインマン先生は、図-3 のように、マクロな大きさの工作機械が、次々に自分自身の縮小版を作っていけば、微小な機械が自動的に得られると講演された<sup>8)</sup>。ファインマン先生はたいそ

う冗談好きの方であるので、これを真剣に取り上げるのは申し訳ないが、この構想にはいくつかの無理がある。まず第1は上に述べたスケージング則の問題であり、機械の相対的な形や駆動のやり方を大きさに合わせて変更していかなくてはならない。またいくら全体の寸法を縮小しても、機械の絶対精度は変化しないことに気がつける必要がある。たとえば  $1\mu\text{m}$  の工作精度をもつ機械で、自分の半分の大きさの複製を作ったとき、その複製の工作精度はやはり  $1\mu\text{m}$  である。複製を繰り返すうちに、精度は悪くなりこそすれ良くなるはず、やがては全体の寸法の何割かになってしまうであろう。機械のことに詳しい読者は、「現在の工作精度は  $1\text{nm}$  以下のものもある」とおっしゃるかも知れないが、このような精度は面や真円度についてであって、決して微小に入り組んだ部品を作るときのものでないことに注意していただきたい。

このような行き詰まりを打開する画期的な技術になると期待されているのが、半導体製造プロセスを拡張して  $\mu\text{m}$  オーダの機械システムを作る技術である。図-4 は、複写機でコピーを取るようにして機械部品を縮小するところを示している。この場合には、全ての寸法が相似的に小さくなるため、絶対精度でなく相対精度が一定であり、原理的にはいつまでも縮小できる。限界は、縮小に使う光の波長で決まるが、現在研究されているシンクロトロンからのX線を用いれば  $0.1\text{nm}$  といった短い波長を利用できる。このようなフォトリソグラフィと呼ばれる手法は IC 製造用に広く用

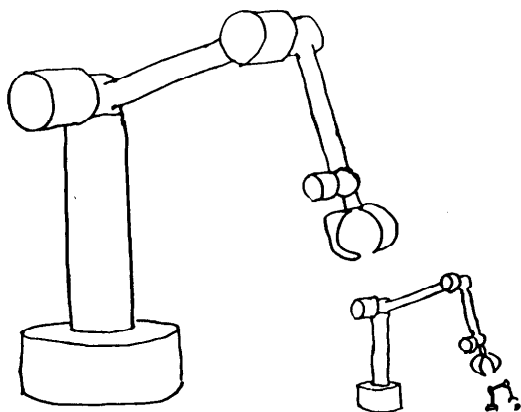


図-3 順に小さな機械を作ってマイクロマシンにいたる方法

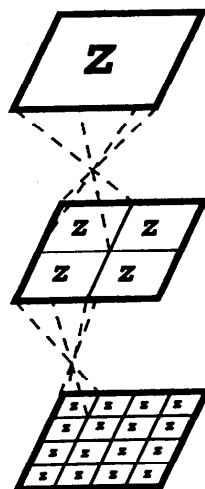


図-4 フォトリソグラフィによるまめシステムの製作法

いられているが、この方法で微小な機械を作る場合は、次のような特徴がある。

- ① 組立のいらぬプリアセンブル加工,
- ② 複雑なシステムの一括製作,
- ③ センサやマイクロプロセッサを含めた集積化と知能化,
- ④ 多数のモジュールを用いた自律分散形の運動システムの実現,

などである。一言で言えば、小さく賢い運動システムを、組立てなしに大量に作れる、という可能性があり、最近大きな注目を浴びている。先に述べたマイクロ化を阻む壁を打破しようと種々の研究が行われている<sup>1)5)</sup>。まずスケージングについては、マイクロ領域で有利になる静電力を用いたアクチュエータや、ピエゾ素子・形状記憶合金など新材料を用いたアクチュエータが試作され、マイクロ化に適したデバイスの開発が行われている。ピエゾ素子では、電圧を加えると歪みが生じる逆圧電効果を、また形状記憶合金では、低温相での大きな永久変形が高温相でもとに戻る形状記憶効果を、アクチュエータとして用いる。情報交換の壁は、③の特徴を生かし個々のアクチュエータに、下位の閉ループ制御系や情報処理系を集積化することで解決する。また、①と②の特徴を生かし、バッチプロセスによる大量生産を可能にすることで単品生産の壁を突破する。

図-5 に筆者らが半導体マイクロマシーニングで作った、静電アクチュエータの例を示す<sup>9)</sup>。  $4\mu\text{m}$  厚の多結晶シリコン薄膜をエッチングして

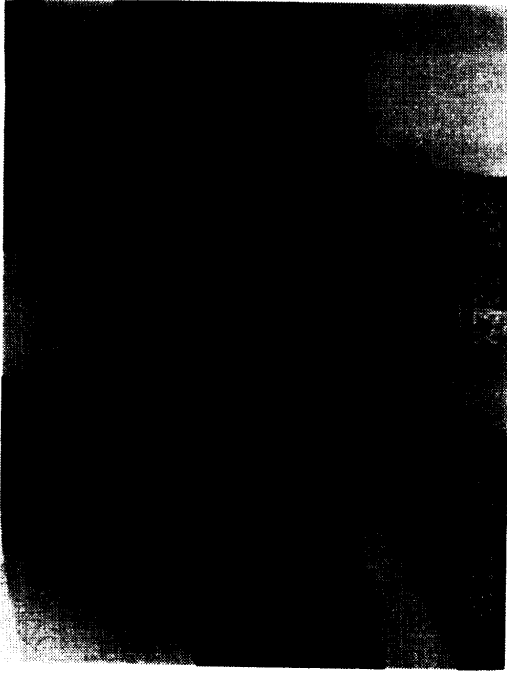


図-5 0.5  $\mu\text{m}$  のギャップの多結晶シリコン静電アクチュエータ<sup>9)</sup>

作ってある。中央にある可動部は2重に折れ曲がった梁で両側から支えられており、駆動力の発生部分は櫛の歯を二つ、互い違いにかみ合わせたような構造になっている。プロセスの工夫により、たった1枚のマスクでこの形を作れる。二つの歯の間に電圧を加えると、歯と歯がより重なるように方向に力が働く。電圧の周波数を機械的な共振周波数(10~100 kHz)に一致させて振動させたり、10 V 程度の直流電圧を加えて、7  $\mu\text{m}$  程度の変位を得たりできる。

無論、この方法にも限界がある。平面的な IC プロセスでは、本当に複雑な三次元構造を作るとは難しいし、外部へ直接力や動きを取り出すことも現状では困難である。そこで、従来の3次元的機械とは違った姿の動くシステムを考察する必要がある。このため単なる小型化した機械と区別して、この新しい運動システムを「マイクロメカトロニクスシステム(まめシステム)」と呼んでいる。

### 3. 並列協調型マイクロ運動システム

#### 3.1 まめシステム指向のアーキテクチャ

はじめに述べたように、まめシステムは今までのシステムにはない特徴をもっている。

そのため、従来の機械の小型化を行うのではなく、まめシステムの特徴を生かす、新たな機構とシステムアーキテクチャの研究が必要となっている。このためわれわれは、まめシステムを実現するための一方法として並列協調型マイクロ運動システムを提案し、このシステムのためのアクチュエータを半導体マイクロマシーニングで試作してきた<sup>10)</sup>。本章では、この並列協調型マイクロ運動システムを簡単に紹介し、搬送機能をもつ繊維運動システム用の片持ち梁形アクチュエータとそのアレイ構造の製作と動作について述べる。

ここで提案する並列協調型マイクロ運動システムとはセンサ、アクチュエータ、ロジック回路を同一のプロセスで一体化したモジュールを作り、その同一モジュールを多数、直並列に結合したシステムである(図-6)。各モジュールは互いに協調動作をして、全体として一つの仕事をやる。

現在マイクロマシーニング技術を用いて作製されるマイクロアクチュエータでは、摩擦が大きな問題となっている。そのためギアやリンク機構を組み合わせた形で外部に仕事をするると損失が大きく、効率が悪くなる。しかし多数の同じマイクロアクチュエータを直並列に組み合わせてシステムを構築すれば、個々のアクチュエータの動作が単純であっても、それらのアクチュエータが協調的に動くことによって全体としては複雑な動作を実現できる。たとえば、単純に伸縮するだけのアクチュエータを直列に並べて順に伸び縮み、固定を繰り返すことで、尺取り虫のようにどこまでも進んでいく機構が作れる。

また、このシステムはモジュール内部にローカルな情報処理系と制御系をもつため、それを集積

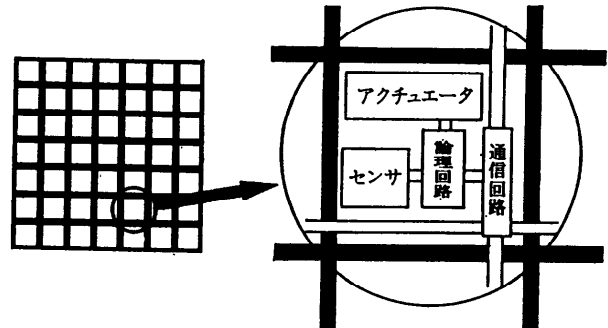


図-6 センサ・アクチュエータ・電子回路を含むスマートモジュールから構成される並列協調型まめシステム

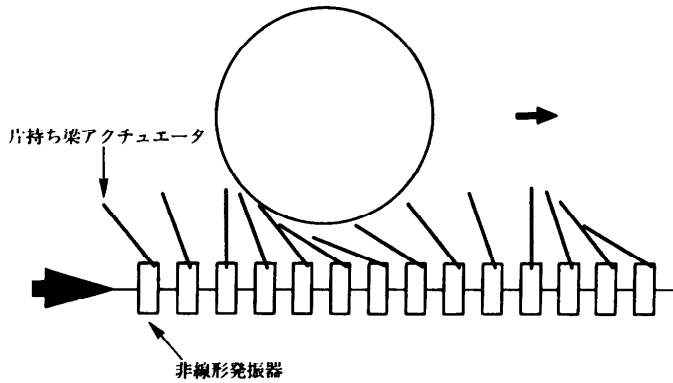
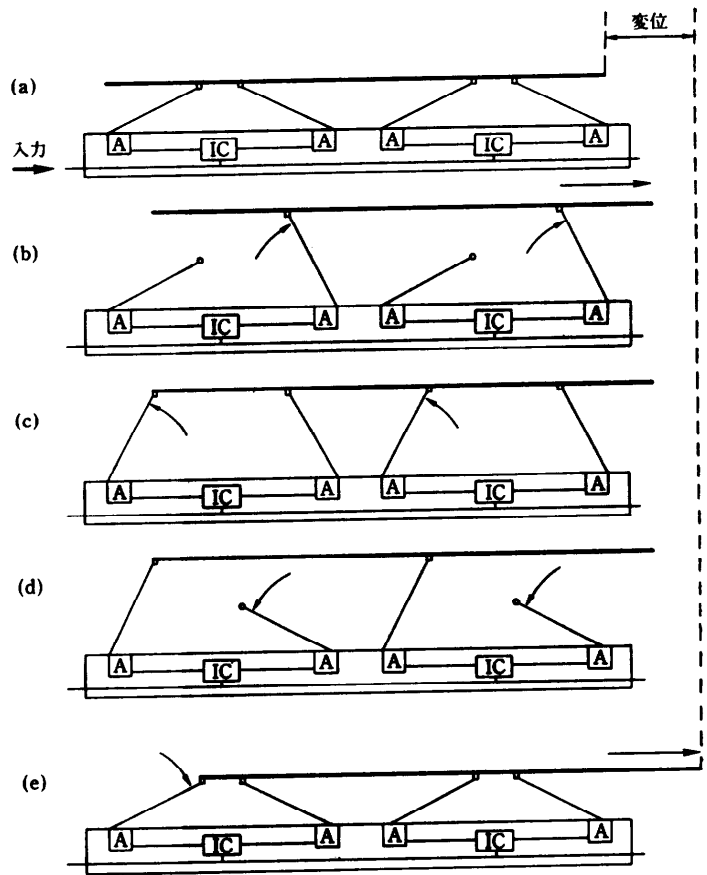


図-7 繊毛運動の概念図

化したシステムは、外部から個々のモジュールを制御する必要はなく、制御に要する通信量を大幅に減らすことが可能となる。

3.2 繊毛運動システム

並列協調型マイクロ運動システムの具体的な例として、生物の運動からヒントを得た、繊毛運動システムについて説明する。繊毛運動とは文字どおり多数の繊毛が作り出す運動である。ある種の生物の表皮には毛のような突起物（繊毛）が一様に生えている。その繊毛は自律的に振動していて、その振動の周期は全て等しく、隣り合った振動は一定の位相差を保っている。そしてこの協調動作により繊毛は全体として進行波を作り出し、液体や気体の流れを作り出したり、自ら移動したりしている。そこで、この運動を模倣することで運搬機能を実現したシステムが考えられる。図-7はそのシステムをモデル化したものである。このシステムは多数の同一モジュールから構成され、各モジュールは、片持ち梁型のアクチュエータと発振回路から成り立っている。適当な信号入力により各モジュールの振動周期を一致させ、隣接する振動に一定の位相差を生じさせるようにすれば、図-7のように動作ができ、物をおぶこと



- A : アクチュエータ
- IC : 2ビットシフトレジスタ

図-8 まめシステムによる人工繊毛運動システムの実現

ができる。このようなシステムを織毛運動システムと呼ぶ。

もう少し単純な、板を運ぶような動作は、図-8に示すような二つの片持ち梁型アクチュエータと論理回路をもつモジュールを用いて行うことができる。図-8から分かるようにこの運動の制御は簡単なシフトレジスタで実現できる\*。このICの作製はアクチュエータとの集積化を除けば容易であるから、このシステムにおいて最大の問題となるのはアクチュエータの作製である。

### 3.3 熱膨張片持ち梁アクチュエータ

熱膨張を利用したバイメタル形の片持ち梁アクチュエータはすでにドイツの Fraunhofer 研究所の Benecke らによって作製されているが、そのプロセスはかなり複雑である<sup>11)</sup>。そこで本研究では片持ち梁の材料としてポリイミドを用いることにした。図-9は作製した長さ 500  $\mu\text{m}$  の熱膨張片持ち梁アクチュエータの走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真である。このアクチュエータは上で説明したように、2種類の熱膨張率の異なるポリイミドか

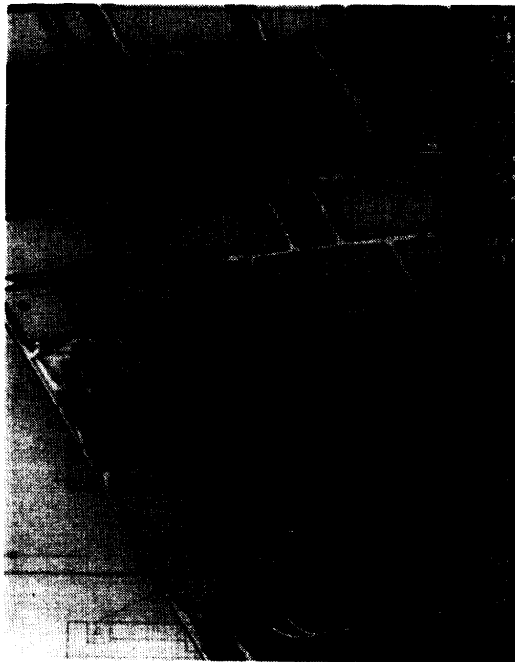


図-9 織毛運動システム用バイメタル型  
アクチュエータアレイ

\* 図-8中のICと記してあるのが、2ビットのシフトレジスタで、右側のアクチュエータが下位ビットに、左側が上位ビットに対応し、ビットが1のときアクチュエータが上に上がっているとする。(a)ではレジスタの内容は00であり順に、(b)01, (c)11, (d)10, (e)00と変化する。

らなる片持ち梁と、金属抵抗線のヒータから構成されている。ヒータは二つのポリイミドに挟まれている。片持ち梁は、長さ 500  $\mu\text{m}$ 、幅 100  $\mu\text{m}$ 、厚さ 6  $\mu\text{m}$  で、4本でひとつのモジュールを形成している。この図は縦 4 列、横 2 列に並んだモジュールの一部を示している。

片持ち梁は、図-9のように初期状態で、残留応力のため基板上方に約 250  $\mu\text{m}$  反り上がっている。抵抗線に電流を流すと、片持ち梁はジュール熱により加熱される。加熱された片持ち梁は、バイメタルのように、2種類のポリイミドの熱膨張の違いにより基板下方に撓む。30mW の消費電力で水平方向に 70  $\mu\text{m}$ 、垂直方向に 120  $\mu\text{m}$  の変位を得た。0~0.6 [V] の矩形波電圧を印加したときの、周波数特性を測定した。実験は室温で自然冷却の状態で行い、光学顕微鏡を用いて、ビデオで撮影しながら、水平方向の変位を画面上で測った。矩形波電圧印加の場合、14 Hz で約 3 dB 振幅が落ちた。この片持ち梁アクチュエータを図-8に示すように順番に動かすことで、材料表面に運搬機能をもたせることが可能となる。手動で電流を切り替えて、二つのモジュールのアクチュエータが順番に動作することを確認した。

## 4. まめシステムのディスプレイへの 応用可能性

図-6を見ると、これは TFT 液晶ディスプレイと本質的には同じ構造であることが分かる。電界をかけて、液晶の方向を変える部分がアクチュエータであり、それを駆動する薄膜トランジスタが通信回路と論理回路となっている。アクチュエータの部分、機械的なシャッターや偏向ミラー、もしくは小さな干渉計に取り替えれば、これはまめシステムそのものである。光プリンタ用に、数千個のミラーを動かして一度に書いてしまう素子が、開発されたとの話もあったが、まだ製品化はされていないようである。ここでは、単体のデバイスではあるが、シリコンで作られた小さなファブリ・ペロー形干渉計を製作した例を紹介する<sup>12)</sup>。

ファブリ・ペロー形干渉計とは、2枚のハーフミラーを平行に対向させた構造で、一方から入射した光が2枚のミラー間で多重反射する際に干渉を生じ他方から射出する仕組みになっている。ミ

ラーの間隔が光の波長の半分の整数倍になっているとき、伝達特性に鋭いピークが生ずる。これを簡単な装置に実装できれば、光フィルタやギャップの変位を検出する高感度変位計として広い応用が期待できる。図-10 に示したのが、シリコンのマイクロメカニズムで実装した干渉器である。上部の基板は、下面にハーフミラーを付けた反射鏡（やや厚い部分）とそれを弾性的に支持する薄膜（口の字に掘られた溝の部分）と周囲のワクからなる。薄膜部分があるのは、ミラー間隔を可変にするためであり、反射鏡部分は変位してもミラーの平面度を保つため厚くしてある。下部の基板には、中央に上面をハーフミラーとした光導入用の部分と、その回りを囲むように4つの駆動用電極とミラー間隔測定用の容量変位形用の電極が作られ、さらにその外側に間隔を保持するためのスペーサ層が盛り上がっている。駆動用と測定用の電極が4方にあるのは、単にミラー間隔を変えるだけでなく、両方のミラーの平行度を微調整して干渉の効率を上げるためである。試作例では18Vの印加でミラー間隔を $3.5\mu\text{m}$ から $2\mu\text{m}$ の間で可変とし、 $10^{-2}$ 度の程度の平行度の狂いを $3 \times 10^{-4}$ 度にまで減らせたという。ミラー間隔を一定とし光の波長を変えて伝達特性を測定した結果、 $1.43\mu\text{m}$ の波長に半振幅 $3.1\text{nm}$ の鋭いピークがみられた。さらに改良型として、弾性支持部を平らな薄膜でなく同心円上の凹凸のある膜に替え、支持部の大きさを、旧型の13%にまで減らせる構造を作った。

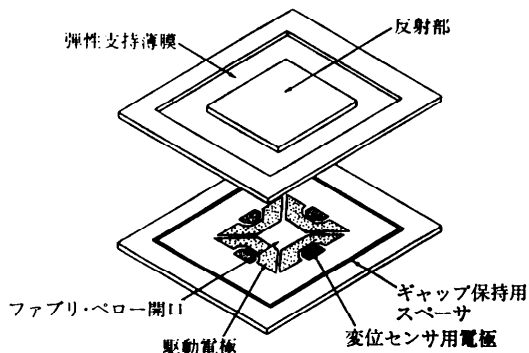


図-10 シリコン集積型ファブリ・ペロー干渉器<sup>14)</sup>

## 5. さまざまな分野への応用を探る

将来プロセス技術が発展すればまめシステムを真に3次元的に作ることも可能になるであろうから、まめシステムと1.で述べた小型化した機械（ミニチュア機械）の区別はやがて消滅すると考えてよいだろう。また、両者をミックスしたシステム（ミニチュア機械の一部にまめシステムが組み込まれているとか、ミニチュア機械によって動かされるプローブ先端にまめシステムがつけられているとかいった形態）も考えられる。磁気ディスクのスライダにマイクロアクチュエータを組み込んだ複合形超小形スライダ<sup>13)</sup>などが、この形態の例である。

さて、まめシステムを広く捉えると、光学や流体工学との融合が広範囲の応用の可能性を開いてくれる。図-11 に示す光マイクロエンコーダは、半導体レーザー・レンズ・光検出器を集積化して超小型・高性能のエンコーダを実現しており、光学との融合の可能性を示すよい例である<sup>14)</sup>。今後は、マイクロアクチュエータや論理回路との集積化が期待される。またマイクロポンプなどの流体関係もこれまで多くの発表がされている<sup>3)</sup>。

医学、バイオ関係の応用も期待されている。Normann らは、微細な針を多数並べたものを脳や神経に差し込んで、信号を検出したり刺激を与えたりする研究を発表した<sup>15)</sup>。猫を用いて、視野のある部分が刺激されると、脳の特定の部分が興奮するのを検出した。将来は、逆にそこを選択的に刺激して（盲人に）像を見せられる可能性があ

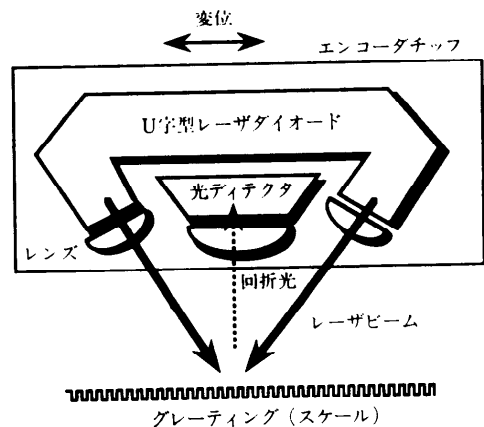


図-11 集積型光マイクロエンコーダ<sup>14)</sup>

る。このように、さまざまな分野の専門家との協力により、まめシステムの応用が広がりつつある。これらの詳細については文献 16)を参照していただきたい。

## 6. おわりに

以上、IC 技術を利用したまめシステムについて概説した。以下の二つが要点である。

(1) ミクロの世界の特殊性のため、半導体マイクロマシニングで作るまめシステムは、従来の機械の単なる小型版とまったく違った形態とシステムアーキテクチャをもつだろう。

(2) 並列協調形のみめシステムは、この技術に適合した、魅力的なアーキテクチャと考えられる。

基礎的なデバイスの製作技術は実証されたので、今後は良い応用分野を見つけて、実際的な目標に向かっての開発が必要となってくる。本文が、読者の皆さんに、このような応用を見つけれられる一助になることを祈っている。

## 参考文献

- 1) 特集「マイクロマシニングとマイクロメカニクス」, 電気学会論文誌 D, Vol. 108, No. 3, p. 205 (昭和 63 年 3 月).
- 2) 特集「マイクロメカニズム」, 精密工学会誌, Vol. 54, No. 9, p. 1625 (1988).
- 3) ミニ特集「マイクロメカニズム」, 計測と制御, Vol. 28, No. 6, p. 479 (1989).
- 4) 特集「マイクロエンジニアリング」, 日本機械学会誌, Vol. 92, No. 853, p. 1024 (1989).
- 5) 特集「活発化するマイクロマシン—MEMS からのアプローチ」, 機械設計, Vol. 35, No. 6, pp. 26-63 (1991).
- 6) 金, 桂井, 藤田: Y-Ba-Cu-O 超電導体を利用した浮上型リニアアクチュエータの基礎研究, 低温工学, Vol. 26, No. 1, pp. 37-45 (1991).
- 7) 樋口他: 圧電素子の急速変形を利用した超精密位置決め機構, 精密工学会誌, Vol. 54, No. 11, pp. 2107-2112 (1988).
- 8) Feynman, R. P.: "There's Plenty of Room at the Bottom", in *Miniaturization*, ed. Gilbert, H., inhold, New York (1960).
- 9) Hirano, T., Furuhashi, T., Gabriel, K.J. and Fujita, H.: Operation of Sub-Micron Gap Elec-

trostatic Comb-drive Actuators, Tech. Digest 6th Internatl. Conf. Solid-state Sensors and Actuators, June 23-27, San Francisco, pp. 873-876 (1991).

- 10) Takeshima, N. and Fujita, H.: Design and Control of Systems with Microactuator Array, in *Recent Advances in Motion Control* (ed. Ohnishi, K. et al.) Nikkankogyo Publ. pp. 125-130 (1990).
- 11) Riethmüller, W. and Benecke, W.: Thermally Excited Silicon Microactuators, IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-35, pp. 758-763 (June 1988).
- 12) Jerman, J. H. et al.: A Miniature Fabry-Perot Interferometer Fabricated Using Silicon Micromachining Techniques, Tech. Digest IEEE Solid-state Sensor and Actuator Workshop, June (1988), Hilton Head Island, SC, USA, pp. 16-18.
- 13) 木暮: ファイル記憶とマイクロエンジニアリング, 日本機械学会誌, Vol. 92, No. 853, pp. 1056-1060 (1989).
- 14) Sawada, R. et al.: Fabrication of Active Integrated Optical Micro-Encoder, Proc. 4th IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, Jan. 30-Feb. 2, Nara, Japan, pp. 233-238 (1991).
- 15) Normann, R. A. et al.: Micromachined, Silicon Based Electrode Arrays for Electrical Stimulation of or Recording from Cerebral Cortex. *ibid.*, pp. 247-252.
- 16) 藤田: マイクロメカトロニクスとは何か, どのように発展するか, 電気学会誌, Vol. 110, No. 4, pp. 289-296 (1990).

(平成 3 年 7 月 29 日受付)



藤田 博之

昭和 27 年生。昭和 50 年東京大学工学部電気工学科卒業。52 年 3 月同大学院電気工学専門課程にて工学修士。55 年工学博士の学位を受ける。

同年より東京大学生産技術研究所講師, 56 年同助教授となり, 現在に至る。この間 58 年 7 月から 60 年 6 月まで MIT 国立マグネット研究所客員研究員, 主としてマイクロメカニズム, マイクロアクチュエータ, アコースティックエミッション, 劣化診断による防災システム, 極低温・超電導技術の研究に従事。IEEE, 電気学会, 低温工学協会各会員。