

## 自律分散型マイクロ搬送システムの一構成法

A Principle of a Conveyance Systems with Autonomous Decentralized Micro Modules

小 西 聡\*・藤 田 博 之\*  
Satoshi KONISHI and Hiroyuki FUJITA

### 1. はじめに

ロボットのような機械は、生物の動きやその機能を参考にしてつくられてきたものが多い。生物の滑らかな動きは、細胞のような小さな部品が無数に集まって、お互いに調和し、柔軟な多自由度システム（個体）として機能していることによって生み出されている。本研究ではこのような柔軟なシステムとして、多数の微小なモジュールを協調動作させて、全体として一つの動きを実現するシステムの構築を考えている。システムの実現には微小な動く構造を多数つくり、集積化することが必要となる。しかし単に動く構造を小型化しただけでは不十分である。なぜなら多数のモジュールが高密度に集積化されたシステムの制御を考えた場合、従来の中央集権的手法を用いたのでは通信配線が膨大なものになってしまうからである。通信のネックを解決するには、個々の要素が自律機能を備え、互いに並列に協調しあって全体としてまとまって機能する自律分散型システムを構成することが必要である。ミクロンオーダの微小な構造をつくる技術としては、半導体製造技術を利用したマイクロマシーニング法が近年注目されている。この技術の特徴として、組み立て不要なプリアセンブリ加工で、多数の微小デバイスを一括製作することが可能であることが挙げられる<sup>1)</sup>。またマイクロマシーニング法を用いると、アクチュエータ、センサ、電子回路等を集積・一体化した“マイクロ知能化モジュール”を一括大量生産することが可能である。ちょうど生物が無数の細胞によって構成されるのと同じように、多数の微小な“マイクロ知能化モジュール”から構成されたシステムを実現することができるわけである。(図1参照) こうすれば、各モジュールの内部にローカルな情報処理制御系を備え、自律機能を持たせることで通信量の削減が可能である<sup>2)</sup>。本研究では、研究の手始めとして多数の搬送マイクロモジュールを敷き詰めた搬送システムを取り上げ、周辺か

\*東京大学生産技術研究所 第3部

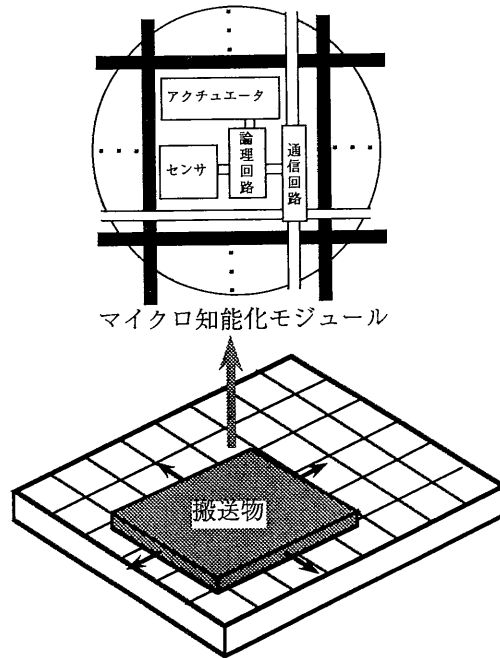


図1：多数のモジュールから成る搬送システム

ら信号を与えるだけで面上の物体を面内の目的の位置に搬送することを考える。ここでは、セルオートマトンのような論理で搬送システムを制御できること、搬送のためのマイクロアクチュエータの構造等について述べる。

### 2. 自律分散型搬送システムの制御方法

自律機能を備えた多数の搬送マイクロモジュールにより構成された搬送システムの制御方法案について、各モジュールの動作論理（自律機能）とシステムへの制御入力との二点を中心に説明する<sup>2)</sup>。

具体的には図2に示したような基盤目状の搬送システムを考え、周囲の4辺にあるモジュールにだけ制御入力を与えて図2の一点に集中するようなパターンを得るこ

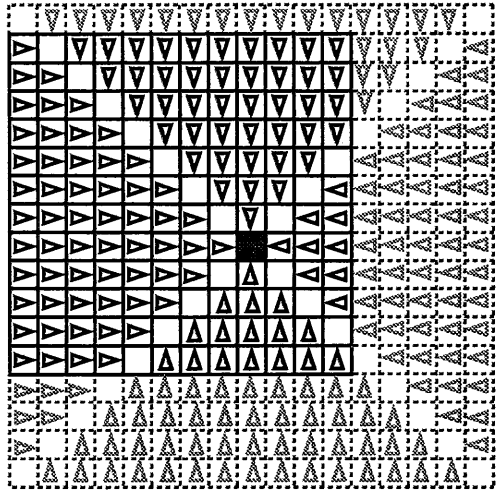


図2：一点に集中するようなパターン

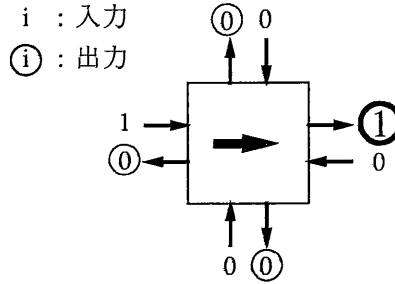
とを考える。(ただし、実際に存在するシステムは実線の正方形の部分である。)ここで提案するシステムは次のような動作をする。まず全体が静止した状態から始める。次に周囲の4辺上にあるモジュールのうち、適当な場所にあるものに、適当な時点で制御入力を与える。モジュールは入力を受けると、それに応じて自分の状態を決め、アクチュエータをある方向に動かすと同時に、隣接のモジュールに信号を送る。この信号で次のモジュールが活動を開始する。基盤の内側にあるモジュールは、一つ外側のモジュールから信号を受けとり、それをさらに内側のモジュールに伝達する。これを繰り返すと、一定の時間の後に図2にあるパターンが形成される。

2.1 各モジュールの動作論理

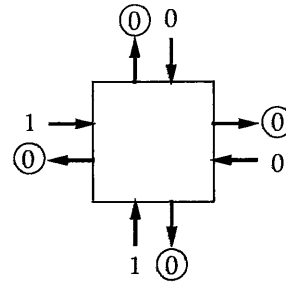
まず、構成要素である各モジュールには近傍のモジュールからの情報により自らの行動を決定し、自分の状態を周囲のモジュールに知らせるという機能が必要である。最も単純な論理を考えると、各モジュールは次の論理で動作するようにつくればよい。(図3参照)

- 入力信号を受けた辺の対辺に出力信号を出す
- この信号の流れの方向にアクチュエータを動かす
- 2方向以上からの信号を受けた場合は動作しない

さらにモジュールが故障した場合を考えると、上の論理だけでは故障したモジュールの下流のモジュールには信号が伝わらなくなる。この場合、各モジュールが左右のモジュールの状態をも参考にする論理を加えることにより、故障が線上に波及することを避けることができる。



(a) 一方向から入力が入った場合



(b) 二方向から入力が入った場合

図3：各モジュールの動作論理

2.2 システムへの制御入力

次に、外部から周囲4辺のモジュールに与える制御入力について考える。たとえば図2のように、目的のモジュールを中心とするような仮想の正方形(点線の正方形)が目的のモジュールをめざして同期しながら縮んでいく状況を考える。仮想の正方形上のパターンが実際の搬送システム(実線の正方形)と出会う場所と時刻が、私たちが制御入力を与えるべきモジュールの場所と時刻を示す。図の例では、まず時刻  $t_0$  に左辺上のすべてのモジュールに入力を与え、次に上の辺の左から3番目のモジュールから右端のモジュールに  $t_0 + \Delta t$  ( $\Delta t$  はクロック同期)の時点で入力を与える等々とすれば良い。こうして図2のような一点に集中するパターンを実現することができる。

3. 搬送マイクロアクチュエータ

自律分散型搬送システムを構成する各モジュールには4方向に物体を駆動搬送できるアクチュエータが必要となる。微小な領域では摩擦の影響も無視できない。そこで本研究では、制御された気流を利用して物体を浮かして搬送するアクチュエータを考える<sup>3)</sup>。

3.1 搬送アクチュエータ

図4のような斜めの流路を二つもつ構造を考える。下

研 究 速 報

から圧力をかけると、この二つの流路を通して開口部から斜め上方に気流が吹き出す。流路の開閉でこの気流を制御する。このアクチュエータを直角に組み合わせて4

方向への搬送を可能にし、複数のアクチュエータによって制御された気流の力を利用して面上の物体を搬送する。ミクロンオーダーの領域では、表面力である静電気力はマクロの場合より有効である。そこで、流路の開閉には静電気力を用いることにした。流路には柔らかい有機物材料であるポリイミドを用い、流路自身の静電引力による変形を弁として利用し、流路の開閉を行う。(図5参照)

3.2 アクチュエータの製作プロセス

以下に搬送用アクチュエータの製作プロセスを説明する。(図6参照)<sup>4)</sup>まず熱酸化したSOIウエハの上面のSi層(厚さ20 $\mu\text{m}$ )にKOHを用いた異方性エッチングにより四方を111面で囲まれたテーパー状の穴を開ける。(a), (b)エッチングは下のSiO<sub>2</sub>層(厚さ2 $\mu\text{m}$ )で止まる。次に犠牲層のAlを蒸着、パターンニングする。(c)犠牲層の上にはポリイミド(誘電体)を成膜して、流路の壁を形成する。(d)この上に、上部電極を蒸着、

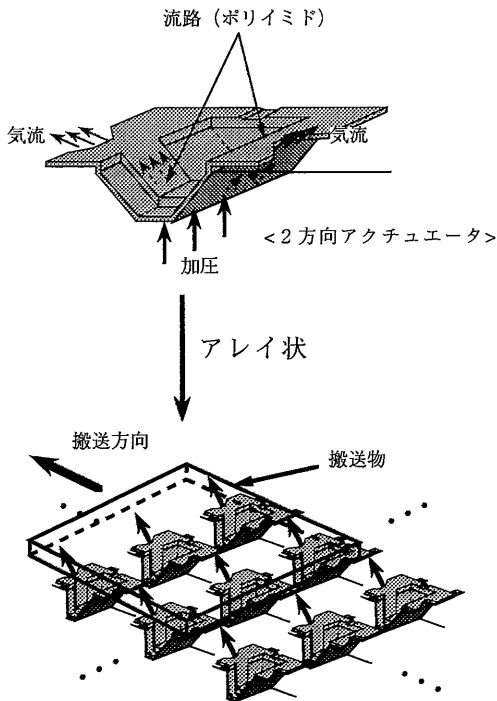


図4: アクチュエータの概念図(2方向の場合)

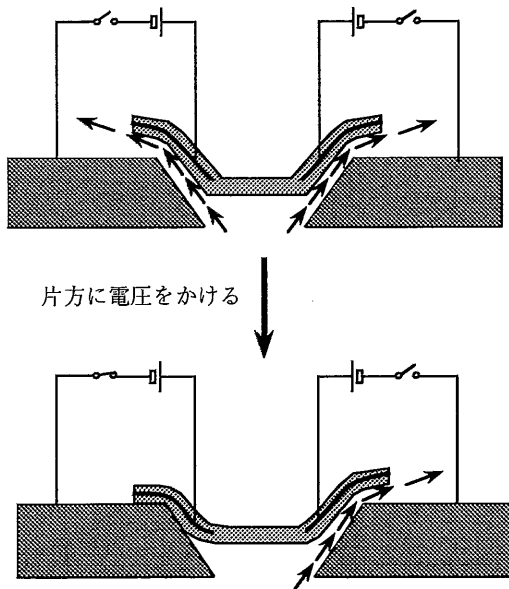


図5: アクチュエータの動作原理

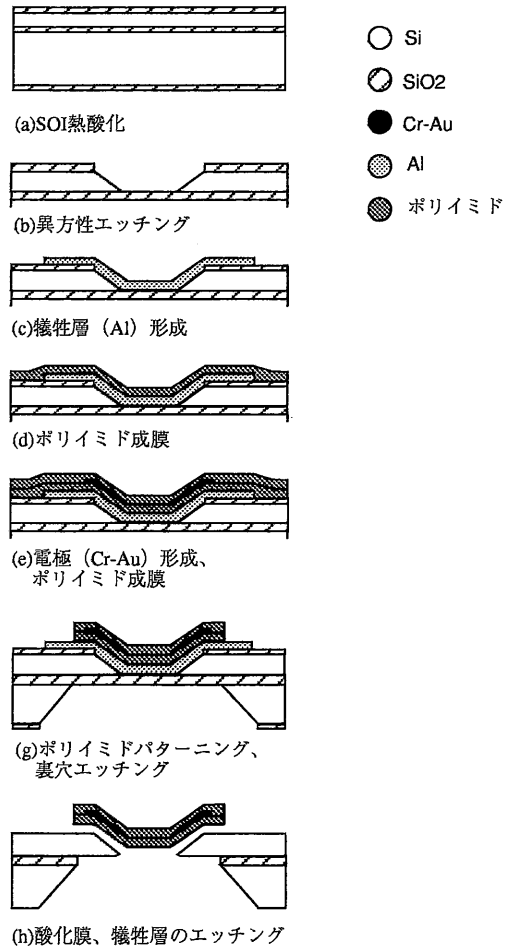


図6: プロセスの概要(断面図)

パターニングし、残留応力の影響をなくすために上からポリイミドで覆う。(c)次に、さきに作った真中に電極を狭んだ形のポリイミド膜をドライエッチングによりパターニングする。この後、裏側から厚さ $500\mu\text{m}$ のSi層にKOHによる異方性エッチングで $\text{SiO}_2$ 層の手前まで穴を開ける。(f)最後に間の $\text{SiO}_2$ 層と犠牲層のAlをエッチングして、高さ約 $2\mu\text{m}$ 、幅約 $100\mu\text{m}$ 、斜度 $54.7^\circ$ の流路が完成する。(g)図7、図8、図9に実

際に製作したアクチュエータの電子顕微鏡写真を示した。

### 3.3 アクチュエータの動作実験

まず流路部分だけを作製し、流路の動作実験を行ったところ、流路の高さ $1, 2\mu\text{m}$ について流路幅 $60\mu\text{m}$ 以上のものが動作した。一例として、流路の高さ $1\mu\text{m}$ 、幅 $60\mu\text{m}$ の流路については約 $80\text{V}$ の電圧で動いた。一方、アクチュエータの裏側から加圧することによって気流を吹き出す実験の結果、 $0.5\text{mm} \times 2.0\text{mm}$ 、厚さ $20\mu\text{m}$ のSiの板が気流によって動くことも確認している。現在は、アクチュエータの弁の開閉により気流の方向を制御し、加圧装置の電磁弁によりパルス的に加圧を行って搬送物を動かす実験を進めている。

## 4. おわりに

以上、多数のマイクロ搬送モジュールによる自律分散型搬送システムの一構成法を示した。提案した制御方法を用いると、外部からの制御入力システムを周囲4辺のモジュールに与えさえすれば、あとは各モジュールが隣接するものどうして信号をやりとりしてシステム全体のパターンを決定してしまうので、外部から簡単にシステムを制御することが可能である。さらに各搬送モジュールの構成要素であるアクチュエータについては、制御された気流で搬送物を浮かして運ぶものを提案した。現在アレイ状のアクチュエータを使って実際に搬送システムを構築した場合の問題点について実験・考察を進めている。今後は、実際に制御論理を実現する回路を製作して、その動作を確認し、多数のアクチュエータによって構成された搬送システムへの適用を検討していく。

(1992年9月10日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 原島文雄, 江刺正喜, 藤田博之編: "マイクロ知能化運動システム", 日刊工業新聞社。
- 2) 藤田博之: "自律分散マイクロ搬送システムの提案", 第3回自律分散システムシンポジウム, H4.1.13-14
- 3) Krister S.J.Pister, Ronald S.Fearing, and Roger T.Howe: "A Planer Air Levitated Electrostatic Actuator System", IEEE Micro Electro Mechanical Systems, Napa Valley, California, Feb. 1990
- 4) 竹島尚弘: "分散型マイクロ運動システム", 修士論文(東京大学), H3.2.15

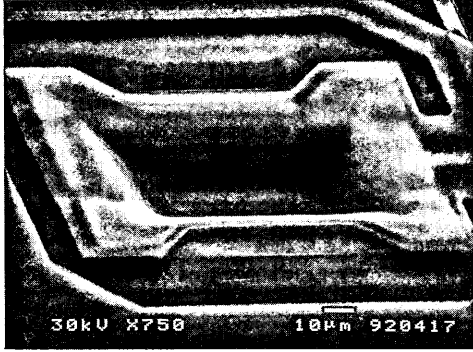


図7: アクチュエータの拡大写真

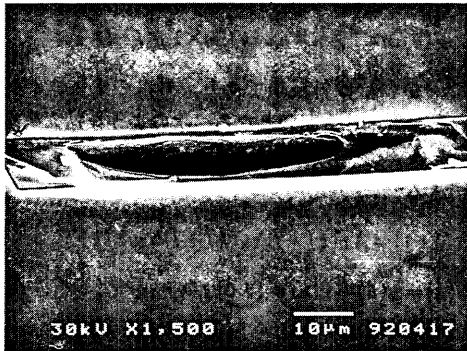


図8: アクチュエータの裏側

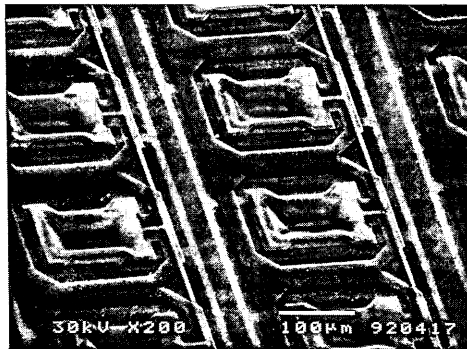


図9: アレイ状に並んだアクチュエータ