

マイクロマシンへの期待

(株)豊田中央研究所
顧問 (元取締役副社長)
五十嵐伊勢美

小は大を凌駕する

「大は小を兼ねる」という諺があります。マイクロマシンでは半導体と同じく「小は大を凌駕する」の方が適当だと思います。このプロジェクトの究極の目標は生命体に限りなく近い機能を持ち、人間が自在に制御できる擬似微小昆虫の実現にあると思います。しかしながら、云うには易いが行うに難い。卓上計画では仮定、仮想を取り込んで十分可能な領域に入りつつあることは確かであります。実現の手段および価値観は各専門分野によって大きく異なっております。機械、精密工学からのアプローチ、半導体加工技術の応用、医療バイオ分野への適用など実用に向けて異種専門分野の共同研究が活発に実施されています。

ここではそれぞれの分野のアプローチの手段、問題点および今後の課題について述べます。

シリコン素材の天性

マイクロエレクトロメカニカルシステムの牽引力となったのはシリコン素材とその微細加工技術の進展であります。シリコンは地球上の約1/4を占める豊富な資源と人畜無害であり、人工的に量産できる唯一に近い元素であります。高純度の結晶はIC、LSI、VLSIなど電子産業に不可欠の素材になっており、全産業の頭脳の役割を果たしております。実用に近いメモリのDRAM256メガビットでは百円硬貨の大きさの中に約一カ月分の新聞情報を記憶できる容量を持っています。この技術の進歩は3年間で約4倍のスピードであります。

表1 半導体デバイスの変移

	真空管	Geトランジスタ	VLSI (DRAM) 16M
概略寸法	$1130\text{mm} \times \phi 45\text{mm}$	$7\text{mm} \times \phi 17\text{mm}$	$8.2\text{mm} \times 15.5\text{mm} \times 0.7\text{mm}$
素子数	1 ⁷	1 ⁷	17,000,000 ⁷
素子当りの占有体積	150 ^{cm³}	0.5 ^{cm³}	5.3×10^{-9} ^{cm³}
素子当りの体積比	2.83×10^{10} ^倍	9.4×10^{16} ^倍	1
全消費電力	10 ^W	0.2 ^W	0.4 ^W

表1は真空管 (1945年頃)、ゲルマニウムトランジ

スタ (1957~1960年)、VLSI (16Mbit、DRAM)の性能の変移が示されています。

半導体分野の50年間の進歩は驚くべきものがあります。容積では約10億分の1、消費電力では数億分の1になっています。シリコン素材の天性を引き出した科学、技術の勝利であります。マイクロマシンへの適用はこれからであります。

マイクロセンサ、アクチュエータの知能化

センサ、アクチュエータのマイクロ化の達成見通しはほぼつきかけています。前述のように半導体の微細加工技術の進歩が大きく貢献しているからであります。しかしながら、情報制御を受け持っているコンピュータ部分は巨大装置を必要としています。テレビや文献に出てくる画像や写真は個々のセンサ部、アクチュエータ部の拡大されたものが殆どであります。これらを操作しているコンピュータ部分は画面に出てきません。そのため、センサやアクチュエータ部の寸法がそのままマイクロマシン全体の大きさと誤解され易いようです。

図1に示されているように、マイクロマシン (アリ) は自分自身の体重の数100万倍のコンピュータとリード線につながれています。当然ながら自由度の制限は受け、同時に自分の重さの数10倍のリード線も引きずって歩かねばなりません。このコンピュータをマイクロマシンに匹敵する程度に小さくすることは不可能に近いと思います。そこで、検知、評価、制御、動作の一連の仕事を一体でなし遂げるデバイスが必要となります。微小昆虫は日常茶飯事として動作しています。単純なものではバイメタルがあり、チタン酸バリウムを主成分とするPTC (Positive Temperature Coefficient thermister) があります。温度を検出して自ら発熱して温度を制御するものです。このような知能化デバイスには材料の開発が決め手となります。コンピュータ的機能内蔵の機能材料が必要であり、センサ+アクチュエータの一体化が重要課題となります。

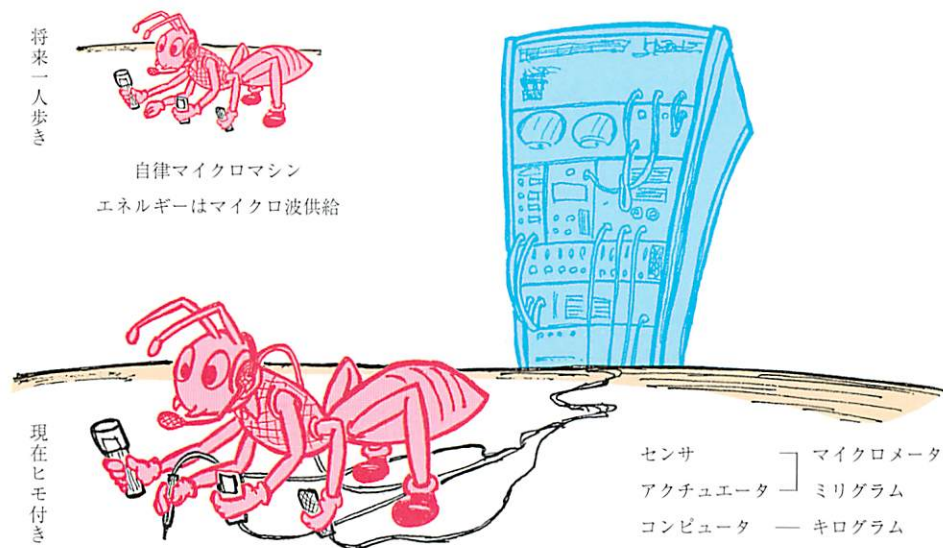


図1 システムの現状と将来

能動自律センサの実現

従来のセンサは受動的であり、センシング部分の変化はそのままセンサ機能の変化として出力されます。したがって、血液中の情報を得るには、受感部の蛋白成分の数100Åの薄膜の影響を除く工夫が必要であります。また、生体防衛反応対策が長期間生体埋込みセンサの信頼性確保の鍵となっております。以前から医療分野で強く望まれており、いまだに実現していないのがこの種のセンサであります。そこで、マイクロアクチュエータを使って被測定体に能動的に、振動、加圧、加熱、投薬などによって働きかけ、変化要因を除くか、または、変化分を検知して補正することによって長期的に高精度に動作する機能を有する能動自律センサが必要であります。レーザー光を利用する光の吸収、透過、反射なども有力な手段です。現在の関係分野の最先端技術を結集すれば十分実現可能な範囲にあると思います。

マイクロアクチュエータは力持ちになれるか

直径100ミクロン以下のタービンが回って5～6年になります。1993年6月に日本で開かれたTransducer '93の国際会議の参加者は外国勢が日本勢を上廻る勢いでありました。論文の1/4以上はマイクロマシン関連で占められ、ナイトセッションでは参加者の約2/3が集まって討論が行なわれました。しかしながら、一步一步の前進傾向は見られましたが、課題の障壁を越えた論文は殆どみられませんでした。センサの集積化やシリコ

ン主体の力学量センサでは3次元の微細加工が見事に表現されておりました。化学センサも数多く発表され、基礎的なデータが多かったように思います。

気掛かりなことはマイクロアクチュエータであります。回転や変位をどのように利用できるかがまだ不透明であります。仕事をするには力が必要です。当初医療分野から微小血管の縫合ができないかとの要望がありました。しかしながら、縫合に必要な糸の張力は予想以上に大きく、これを従来方法と同様に行なうには、現状のマイクロアクチュエータでは不可能に近いようです。したがって、血管を接合するための新手法の研究が必要であります。マイクロバルブとポンプ作用による微小流量制御も信頼性と精度を高めれば極めて有望であると思います。

これからの活躍

マイクロマシン関連の要素技術の追究は理、工、医、電子、生物などの分野でばらばらに開始されています。ニーズも目標も多種多様であります。効率よく進めるには異種研究分野の相互協力が重要な鍵となります。単なる学術発表会での情報交換だけでなく、研究者同志の失敗談も含めた裸の交流が必要であり、若手研究者の自由な発想が貴重であります。これらの機会の場を提供する義務は、公的機関と先輩研究者にあると思います。マイクロマシンセンターへの期待は今後ますます大きくなると思います。