

知能ロボットと昆虫ロボット

工学院大学 三浦 宏文
miura@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

長年、知能ロボットの開発に取り組んできた。オートメーションに用いられる自動機械がロボットと呼ばれることがよくあるが、これには納得しない人が多い。単なる自動機械を作るのではアカデミックなロボット研究とはなり得ないと考えた。人間が何気なく行っている作業を機械に行わせることが意外に難しいことがよくある。その際、人間は、無意識に、かなりの知能を使っているのである。下図に示したものは、開発してきたロボットの例であるが、動作の中の知能を探り出し、ロボットの中にプログラムとして機能させるという試みは楽しいものであった。



2. 機械は意識を持ち得るか (人工知能の限界) ?

しばらくして、この種のロボットを作るのに疑問を感じ始めた。賢いロボットが出来上がったと思っていたのだが、賢いのはプログラムを開発した人間であって、ロボットは、「どうすれば、うまくいくのか?」を考えているわけではないし、「うまくなろう」と思って学習しているわけでもない。人間が作ったプログラム通り動けば成功率が上がっていくだけの話である。では、「うまくなりたい」というような意識あるいは意志をロボットに持たせることができるのか?

現在のコンピュータや AI (人工知能) の技術では当分は無理であろうと考えた。途方に暮れていたときゴキブリを見た。昆虫は、ほ

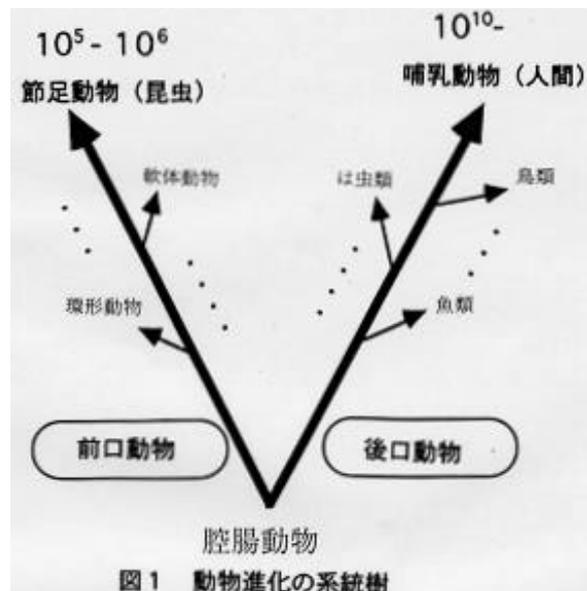


図 1 動物進化の系統樹

とんど反射と本能で行動は決まっているという。にもかかわらず、ゴキブリは、オドオドしながら出て来るように見えるし、もの音を聞くと、大急ぎで冷蔵庫の下に潜り込んで、人がいなくなったらまた出て行ってやろうという顔をして、触角をピクピク動かしてこちらを見ている。複雑なプログラムで制御されるロボットには決して感じられなかった生き物らしさ、生命感というものを感ぜさせてくれた。そこで、昆虫を規範としてロボットを作ってみれば、意識とか生命感を人工的に作り出すための方法を見つけるための一つのきっかけになるのではないかと考えた。また、図1は、動物の進化を簡単に示したものであるが、これまでは、知能ロボット研究といえば、右側の最先端である人間を目標に進めて来た。しかし、図で見ると、昆虫も進化の最先端である。これを目指すロボティクスがあってもよいわけで、それを昆虫規範型ロボティクスと名付けたのである。最上段の数値は、昆虫と人間の脳細胞の数であるが、100億個は無理としても、10万個なら人工的に作成できる可能性は無くはないと考えたのも、これを始める動機となった。

3. 昆虫マイクロロボット（マイクロマシン技術の可能性）

昆虫のサイズは、従来のロボットにくらべるとはるかに小さい。半導体技術を利用してマイクロ機械部品を作るマイクロマシニングプロセスを研究室に導入して昆虫ロボットを作り始めた。昆虫の構造と機能をよく調べることによって、微小サイズの機械の設計と制御のための基本的な原理と考え方を得ることができた。すなわち、昆虫は、マイクロロボットのこの上なく良い規範なのである。また、昆虫の行動原理のロボットへの適用は、ロボティクスとAIの融合のひとつのキッカケとなってくれるかもしれないと考えた。

丁度その頃(1988), "Small Machines, Large Opportunities" という報告書が NSF から出された。シリコンプロセスによって、サブミリ寸法の機械部品が製作できる可能性が生まれたのである。この技術を昆虫ロボット作成に用いることにした。

4. 外骨格構造とマイクロ技術

昆虫ロボットは、昆虫の構造を模倣するべきだと考えた。昆虫には、サイズが小さいからこそ有利になる構造上の仕組みが随所に見られる。表1に、従来作られて来た人間型ロボットとの相違点のいくつかを示した。

昆虫は、骨と骨との結合が、ヒンジ状に膜でつながっているが、これは、摩擦力を小さくするのに役立っている。すなわち、人間の関節には必ず相対的にすべる部分があり、摩擦が無視できない。また、ヒンジ構造は、シリコンプロセスで作成するのに非常に都合がよいのである。

	昆虫規範型ロボティクス	人間規範型ロボティクス
構造	外骨格	内骨格
	ヒンジ、ピボット軸受	回転関節
駆動	弛緩、収縮（弾性変形）	回転駆動
	オンオフ制御	フィードバック制御
	共振	

たとえば、図3のような構造を容易に作ることができ、ポリイミドは熱硬化性樹脂なので、適当な角度に曲げて、加熱して、任意の形状を比較的自由に加工できるのである。折り曲げて硬化

させるのである。シリコンプロセスで作成できるのは、基本的には薄板であって、ブロック材料を作り、これ削ったりして3次元構造を作ることはいできない。したがって、2次元材料から、3次元構造を作り出す過程が必要なのである。そこで、「折り紙構造」というものを筆者らは提案した。すなわち、展開図をシリコンプロセスで作成し、折り線のところを図3のような構造にし、これを折り曲げて硬化させるのである。

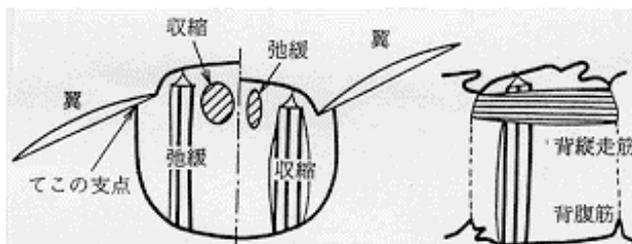


図2 昆虫（蝶）の外骨格構造

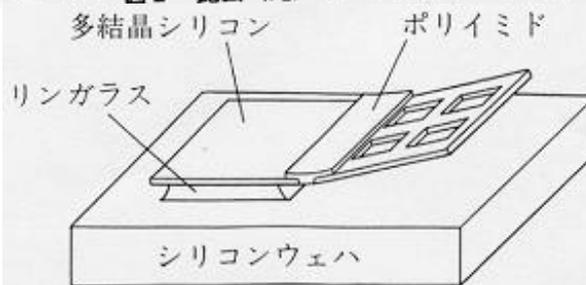


図3 マイクロヒンジ

5. 反射による歩容形成

昆虫の行動は、反射によるものであることは先に述べた。昆虫型歩行ロボットの製作例について説明しよう。図4には、典型的な6脚歩行の歩容を示すが、哺乳動物においては、脳からの指令によって歩行するので、歩行ロボットでは、コンピュータを搭載してプログラムによって、歩容を与えることになるが、昆虫ロボットは、図4に示したような、神経網をセンサとアクチュエータで作成し、自律的に歩容が形成されるようにすることになる。図5に、作成した6脚歩行ロボットを示す。このロボットは、水平床を歩かせると、自動的に、昆虫の行う（交互）3脚歩容で歩くようになる。坂道を登らせると、1脚のみを浮かせる波状歩容(wave gait)によって歩行を行うようになる。

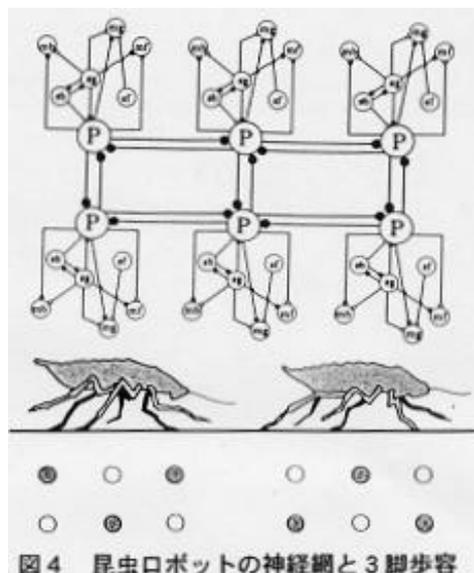


図4 昆虫ロボットの神経網と3脚歩容

6. マイクロ蟻ロボット

図6は、マイクロ蟻ロボットである。マイクロロボットでは、駆動に工夫しなければならない。この場合は、中足を振動させ、床を蹴らせて前進させる。左右の足を独立して駆動できるので、直進、左右の旋回ができる。中足を振動させるには、常時床に接触するように作られている前足、後足を通して床から、極微小な振動（たとえば、振幅1 μm）を伝える。共振を利用することによって、中足を大きく動かすことができ、前進力が得



図5 6脚歩行ロボット

る。共振を利用することによって、中足を大きく動かすことができ、前進力が得

られる。左右の中足の固有振動数を異なるように設計してあるので、伝える振動波をコントロールすることによって、上記の直進、左右旋回などができるのである。

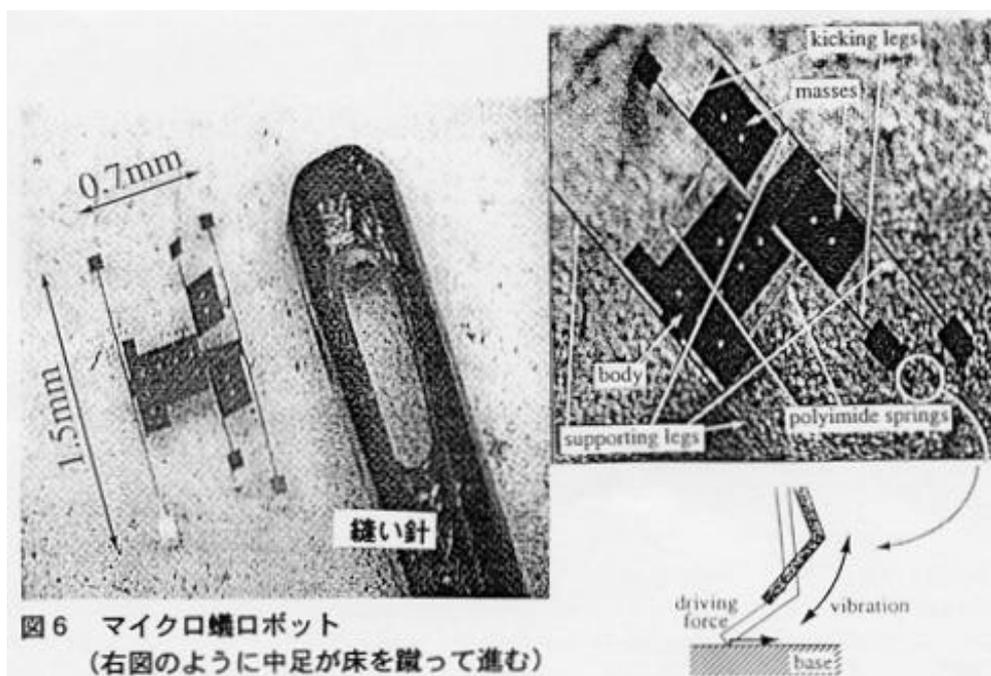


図6 マイクロ縫い針ロボット
(右図のように中足が床を蹴って進む)

7. マイクロ飛翔ロボット

マイクロロボットを飛翔させることも試みている。翼を羽ばたかせるには、図7のような、静電アクチュエータを備えた翼を交流電源によって羽ばたかせることができる。この場合も、共振を利用して、大きな振幅を得ることができる。また、図8のように、ニッケル板を2枚のポリイミドの板で挟んだ構造の翼を作り、外部から交流磁界を与えて羽ばたかせ、浮上させることにも成功している。マイクロ回転翼によって飛行させる試みも、研究室で成功している。

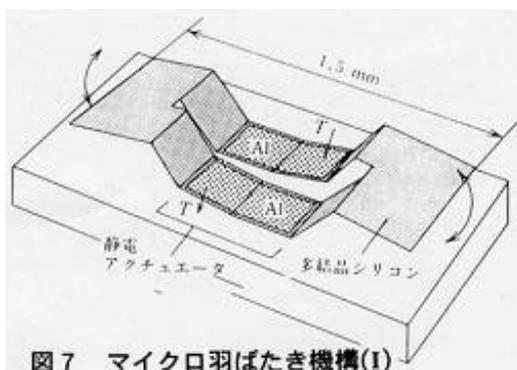


図7 マイクロ羽ばたき機構(I)

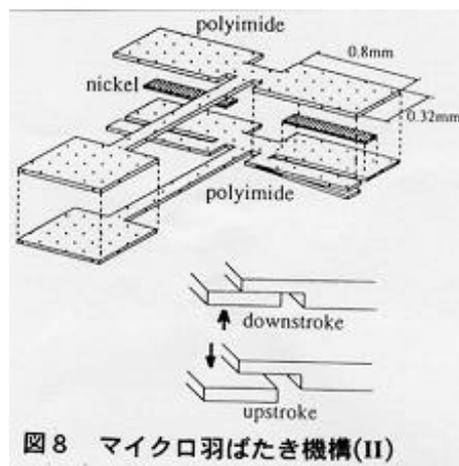


図8 マイクロ羽ばたき機構(II)

8. ハイブリッド昆虫ロボット

昆虫の一部を人工物に取り付けて、全体としてロボットに仕上げるといった試みもしている。これをハイブリッド昆虫ロボットと呼んでいる。たとえば、昆虫の感覚器は、人工的に作ることができるセンサに比べると、遥かに感度が良い。これを利用しようというわけである。これまでに作成したものの例として、ハイブリッド蚕蛾ロボットがある。これは、車輪付きの移動ロボットに、蚕蛾から切り取った触覚を取り付け、これから得られる電気信号で移動ロボットのステアリングを行わせるものである。雄の蚕蛾の触覚を用いたので、雌の蚕蛾のフェロモンを追跡させることができた。これをガス漏れセンサシステムとして応用する試みもされている。また、昆虫の脚などの筋肉は、人工的には到底作ることのできない素晴らしいアクチュエータと言えるので、これをマイクロロボットに利用する試みも行われている。

9. おわりに

昆虫を規範とするロボットの開発について述べた。まだ、この種の研究は、始まったばかりで、ロボット研究として、有意義なものかどうかの評価も定まっていないが、これまでは、人間の頭脳のような知能をもたせるロボット開発ばかりであったが、本稿で述べたような新しい試みが、停滞している感のある人工知能とロボットの融合研究に対して、ブレイクスルーのキッカケになることを望んでいる。

また、節足動物としての仲間である蜘蛛やザリガニについても、歩容解析などを行っているところで、その成果を多足（8脚、10脚）歩行ロボットの開発に役立てようとしている。8脚ロボットは、海底や火星などの探索に利用されようとしているが、どのような歩き方が最適なのかは、蜘蛛の歩容からヒントを得られようし、前進ばかりでなく、後進するときの歩容はどうすべきかに関しては、ザリガニが参考になると考えている。また、水生昆虫（アメンボ）の移動についても詳細な観測を行っておりロボット開発へ進めようとしている。節足動物の移動行為には、何らかの意味で、彼等の移動に関する最適化の原理が現れていると思われるので、ロボティクスにおいて興味ある問題が隠れているような気がする。生物に学ぶというのは、ロボット開発の基本なので、今後もここで述べたような方針を進めてゆきたい。

[REFERENCES]

- [1] H. Miura, "Microrobotics", Robotics Research 6 (The International Foundation for Robotics Research), pp.489-495(1994)
- [2] 三浦、昆虫をモデルにしたマイクロロボット, 遺伝 48, 6(裳華房), pp.30-34, (1994)
- [3] 三浦、マイクロマシン : 昆虫規範型マイクロロボット, Journal of Musculoskeletal Systems (骨・関節・靭帯), 10, 4 (国際医書出版), pp.391-396(1997)
- [4] 三木、交流磁場による微小浮上機構の駆動と姿勢拘束, 東京大学博士論文, 平成13年