

未来ロボットの知能をさぐる

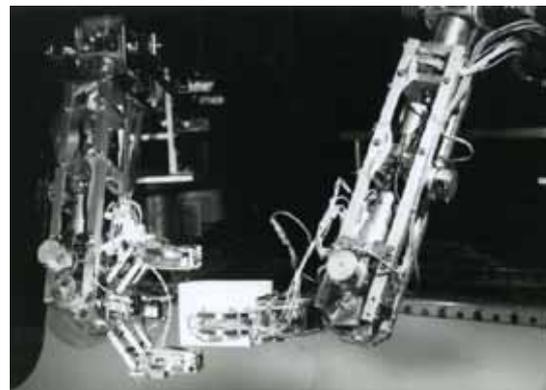
安田元一

人間に似た機能を持ち、命令によって自分自身で働く機械を作りたいという、人類が昔から抱き続けてきた夢をかなえようというのがロボット研究の目的です。生命科学が生命を遺伝子レベルで明らかにしていこうという試みであるのに対し、ロボットはもう一つの生命を創り出す試みといえます。IT革命といわれるコンピュータと通信の飛躍的進歩を土台に、生命科学とともにロボット技術(RT)が21世紀の産業社会を創出する基盤技術として注目されています。「知能ロボティクス」は、ロボットの脳を創ることを目標とし、人間とロボットが共存し協力していく未来社会の姿を考えるものです。

現在、自動車工場などで活躍している産業用ロボットの多くは、ロボットを動かすためのデータを記憶しておき、必要なときにそれを取り出して同じ動作を繰り返すというタイプのものです。これに対して、感覚器を備え、それによって得られた情報にもとづいて周囲の状況を認識し、自分自身でつぎの行動を決定できるのが知能ロボットです。人間は過去の経験から得られた知識を感覚機能や認識機能と組み合わせて、類似の作業を柔軟に再現することができます。産業用ロボットに人間の器用な手作業を代行させるには、運動機能だけでなく、手先や手首の感覚機能と脳の機能に代わる知能をロボットに持たせることが必要です。

自動車工場のようにロボットにとって作業しやすい整備された環境から、建築・土木作業、清掃作業用ロボットのように整えられていない環境へとロボットの適用分野が広がるとともに、ロボットが取り扱うべき作業の種類が多くなり、その内容も複雑となります。ロボットが備えるべき知能のレベルも高くなりますが、ロボット単体ではその能力に限界があることは、人間社会での作業の例を見るまでもなく明らかです。そこで、これまでロボットの適用が困難であった分野で多数ロボットによる共同作業が考えられます。しかし、ロボットが集まって効率良く作業を進めるためには、互いに協力することが必要です。

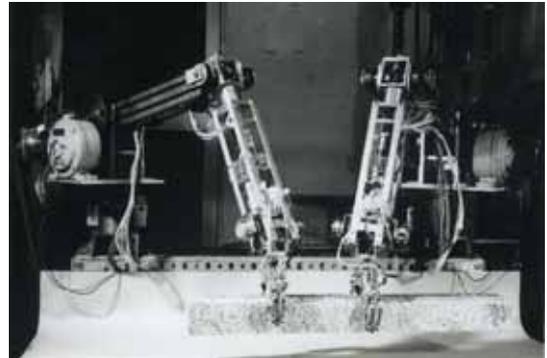
一つの物体を二台のマニピュレータで操作する双腕ロボットで二台がうまく協調して動くしくみには、マスタスレーブ型、集中管理型、分散協調型の三通りが考えられます。マスタスレーブ型では、マスタマニピュレータの動きにスレーブマニピュレータが力制御で従って作業します。集中管理型では、一台のコントローラの支配のもとで各



双腕ロボット

マニピュレータが位置と力の制御を行いながら一つの作業を遂行します。分散協調型ではそれぞれのマニピュレータは独立のコントローラをもち、相互の通信やセンサ情報を利用して独自の判断にもとづいて行動します。

多くの場合に集中管理型が用いられ、受け渡し、持ち上げ、持ち運びなどの単純な作業に限らず、空中での二つの部品のはめ合わせなど、複雑な作業も可能になっています。重量物を複数のロボットで持ち上げたり、運んだりする作業では、各ロボットがつかむ位置と、力の大きさ、方向での緊密な協調が必要です。さらに、一つの製品を複数のロボットが組み立てたり、分解したりする作業のように、複数



重量物の持ち運び作業

のロボットが作業を分担する場合には、全体の作業の分割や、部分作業の各ロボットへの動的な割り当てなど、一般的な解法が困難な課題も残されており、人工知能の重要な研究分野の一つとなっています。集中管理型のシステムでは、個々のロボットの能力を最大限に高めることができますが、それぞれのロボット間の連携のしくみが複雑になり、全体をうまく管理制御することが大変難しくなります。また、部分的な事故や故障にもろく、信頼性や柔軟性を劣化させるという欠点をもってきます。

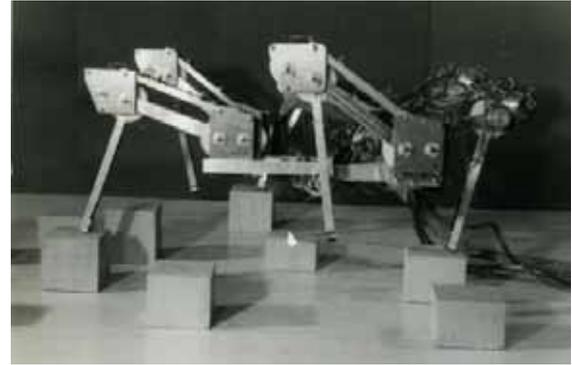
分散協調型は優れた特徴を備えた新しいロボットシステムとして注目されるようになりましたが、各ロボットは少なくとも近くのロボットの行動あるいは意図を知って、それとの協調を図ることを試みつつ、なおかつ全体の目的が達成できるように振舞わなければなりません。同一工場内で、半製品や部品を運ぶために複数台の移動ロボット（通信機能を持ち、コンピュータ制御された台車）が動き回るような場合、他のロボットとの衝突を避けながらそれぞれ異なった目的地に到達しなければなりません。また、ロボット一台では

できない作業を何台かが協力して行う場合、例えば移動範囲の限られたマニピュレータが、次々に手渡ししながら物を運ぶ場合には、各ロボットの動きが同期し、隣接するロボット間で適切な連絡がとれることが必要です。このような複数台移動ロボットの衝突回避や複数台マニピュレータによる手



2台のマニピュレータによる手渡し作業

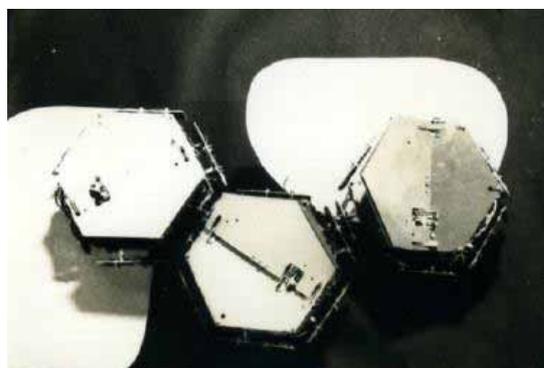
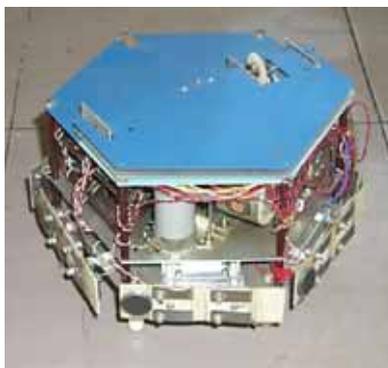
渡し作業は分散協調的なシステムが有効な例と考えられます。さらに、ロボットの視覚センシング処理や歩行の運動制御でも分散協調の考えが有効であることが示されています。



六足歩行ロボット

人間の身体は細胞を構成単位として、細胞が集まって組織になり、組織が集まって個体になり、さらに個体が集まって社会を構成しています。一つ一つの細胞には意志はないし、複雑な動きはできませんが、それらが集まることによって形態形成、成長、自己修復などの高度な機能を持つようになります。環境への適応や学習といった知能の発現もその延長上にあると考えることができます。植物は脳や神経系のような命令系統がない無中枢システムですが、環境条件に柔軟に対応して外形を変えることができます。

写真の細胞型ロボットの例では、細胞に相当する単体ロボットは六角形で、各辺に装着したセンサを用いて仲間を感知し、その方向に進むことによって集合します。さらに、床面の色に反応し、上面の羽根の色を仲間との通信により協調的に変えて保護色機能を発現します。



細胞型ロボットの単体（左）と集合行動

人間の社会においては、複数の個体が相互に関係をもつことが心や意識の発生に関係があると言われています。協調行動やコミュニケーションなど、他者の存在を考慮する社会性こそが真に知能が必要とされる側面です。このような社会性をもったロボットの設計にはハチやアリ、魚などの生態がヒントになります。筆者は世界で最初に群ロボットの研究を始めました。写真の群れつくりロボットでは、個々のロボットは同じように作られ、外から群全体を集中制御するコンピュータはなく、三つの目で仲間を感知して群れを形成することができます。狭い場所の清掃や災害救助、マイ

クロロボットなどへの応用を考えていますが、生物や人間社会を手本にした群ロボットの研究が進んでくると、集団の制御や統御といった知能の問題について、その研究成果が社会心理学、生態学や環境学にフィードバックされ、お互いに触発しあうことになるでしょう。

ロボットを用いた作業において画像情報、力情報をリアルにかつ実時間で処理しオペレータに提示することが可能となりつつあります。災害現場でのロボット群によ



群れつくりロボット

る救助や復旧作業は、人間とロボットの知能的役割の分担やインタフェースを考える重要なテーマです。群ロボットの遠隔操作では個々のロボットの細かな動きまで人間が指示するのではなく、大まかな目的を全体に与え、具体的な作業は各ロボット自身の行動とロボット間の協調に任せるのがよいでしょう。ロボット群の中で状況に応じて作業進行の主導権をあるロボットが取り、それぞれのロボットが行動を微調整するというのが現実的な共同作業の姿と考えられます。行動の協調においては、タイミングや互いの位置などの情報を群の中で共有することが必要になります。これは相互の通信か、センサ情報を用いて行うことになります。全体を見ている司令塔のない分散協調型のシステムでは、個々のロボットは限られた情報のもとで判断し行動するため、局所的に動きが取れない状態が発生する恐れがあります。これを解消するために人間社会のルールや常識、あるいは交渉に対応する特別の仕組みが必要になります。ロボット間の通信と協調制御についてはほとんどの問題が未解決のまま残されており、これからの進展が期待されています。