



自律分散機械と情報処理†

小鍛治 繁†† 村田 智††
黒河治 久†† 鈴木 章 夫††

1. はじめに

最近情報処理、制御工学など多くの分野で自律分散システムが注目されている^{1)~4)}が機械系の研究機関ではどのような機械が自律分散システムと関連づけられて研究されているのだろうか。現状では多くの研究者が興味をもっているが、まだ自律分散機械という概念がまとまる段階には至っていない。しかし機械工学の分野で利用できる要素技術の変革の方向を見通すと、他分野で研究されている自律一分散一並列といった概念と深いかわり合いをもつ新しい機械の萌芽をみるができる。ここでは機械工学に関連が深いいくつかの試みを紹介する。

1.1 自律分散機械の目指すもの

機械分野では何を求めて自律分散システムを構成しようとしているのだろうか。

(1) 丈夫な機械

集中システムは効率的だが冗長度が少なく、ひとたび故障や不具合が発生するとシステムの機能が失われてしまいやすい。これを改善するためには場当り的におまけの冗長度をつけるより、根本治療的に全体を分散システムとしてしまったほうが扱いやすい。

(2) 魅力的な機能

機械システムに多くの自由度を与えると制御その他の負担は大きくなるが、一方で少ない自由度では実現できなかった面白い機能が実現できる場合がある。

(3) 大きさ本質

機械システムは半導体などとは違って何でも小

さくすれば良いというものではない。ジェット機を小指のサイズにしてしまったのでは人間は乗れない。本質的に大きさが重要でしかもセンサ・アクチュエータなどを分散配置しなければならないときに、集中制御システムでは実装がかさばりすぎたり、細部に目が行き届かなくなる場合がある。

(4) 設計大変・製造大変

システムが複雑化してくると高性能な情報処理システムを利用しても設計を要する時間、費用は膨大なものになってくる。それにひきかえ、現存するどのような自立ロボットよりはるかに高度な機能をもった人間は、ロボットとはまったく異なったプロセスで誕生し成長をとげる。自分で育てくれるシステムを作れないものだろうか。

(5) 新しい方法論

協同現象⁵⁾や散逸構造⁶⁾などの研究で示された秩序の生成機構の可能性をもとにして、機械を設計する新しい方法論を確立できないだろうか。

1.2 「自律分散機械」とは

現在「自律分散機械」を明確に定義するのは難しいが本稿では次のように考える。機械(群)が比較的明瞭なサブシステムから構成され、おのおのサブシステムが物理的な実体と、ある程度の情報処理能力をもち、またサブシステム間の上位下位の関係があまり強くない場合に全体を自律分散機械と呼ぶ。

サブシステム(以下ユニットと呼ぶ)の大きさによって自律分散機械のイメージは大きく変化する。図-1の横軸にユニットのサイズをとり、いくつかの例を示してみる。ユニットのサイズを小さいほうにとれば横軸左翼は1ユニットが1原子・分子というイメージに至る。分子自身は情報処理というよりは周辺の分子と相互作用を行うので、われわれはユニットの機能をソフトウェアの記述などで規定することはできず、適当な分子を選択

† Decentralized Autonomous Mechanical System and Information Processing by Shigeru KOKAJI, Satoshi MURATA, Haruhisa KUROKAWA and Akio SUZUKI (Mechanical Engineering Laboratory).

†† 機械技術研究所

する程度の自由度しかもたない。この場合のシステムに含まれるユニット数はたとえば 10^{23} (アボガドロ数) のオーダーとなり通常の機械システムと比較して桁違いに大きい。われわれが現実的に製作できる機械的なユニットは横軸のだいぶ右側に寄ったところで、ユニット数は 10^2 以下という程度になろう。横軸右端には1台の工作機械、自立ロボットなどが位置する。

2. 自律分散機械

現実に存在するシステムはいくつかのグループに分かれる。以下にいくつかの代表例を掲げてみよう。

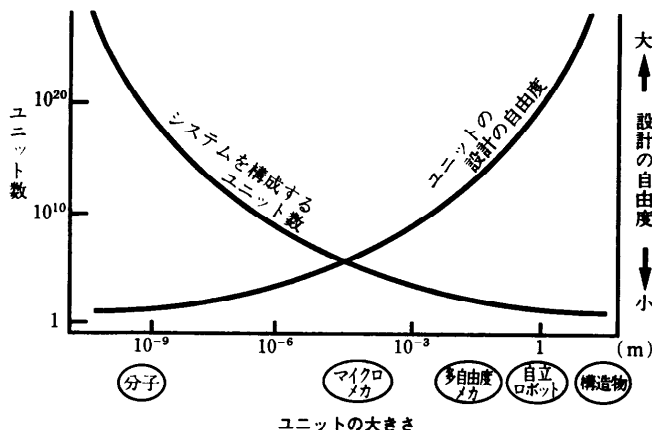


図-1 自律分散機械の概観

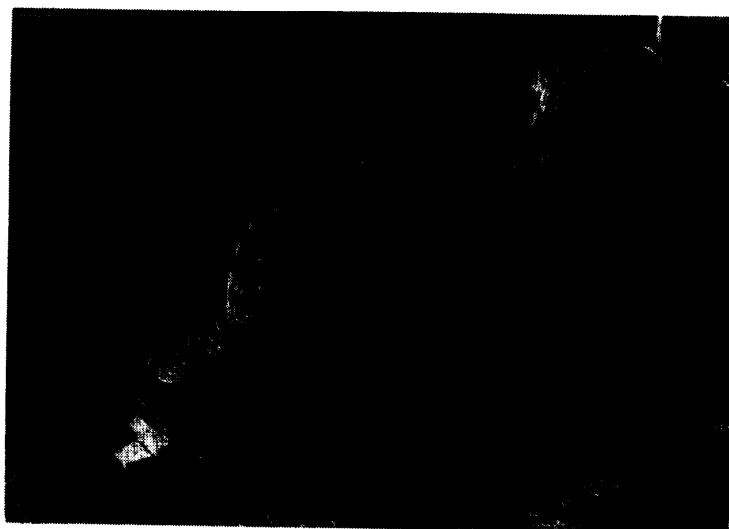


図-2 蛇型の移動体¹⁾

2.1 多自由度をもつメカニズム

ロボットの腕には手先の位置姿勢を自由にできるように6自由度をもたせることが多い。しかし障害物を避けて動作させたいとか特異点(いくつかの関節軸が一致して、動作の自由度が減少してしまう状態)の回避を行いたいなどの理由で冗長自由度をもたせて7自由度とする場合もある。たとえば蛇などは数百の自由度をもっているが、機械にもより多くの関節(自由度)をもたせて、面白い機能を引き出してみようという研究が行われている。計算機のネットワークであればケーブルにワークステーションをベタベタとつけていくことでユニット数を増設できるが、機械シ

ステムの場合は力学的な負担を考慮しなければならず、また全体の統合制御をどのように実現するかも大きな問題となる。

梅谷・広瀬²⁾は渋谷の漢方薬店で蛇を購入して動きを観察することから研究を始め、ユニット数20の蛇に似た移動体(図-2)を製作した。各ユニットは床に対して車輪で接触し、相互は1自由度の回転対偶(ジョイント)で直列に接続されている。移動時は車輪の回転駆動ではなく、ユニット間の角度を頭部から順に位相をシフトした正弦波になるように駆動制御する。このハードウェアに接触センサをつけて物体に絡みつく運動を作り出したり、腸の運動をモデル化して¹⁾中空パイプの軸方向にアクチュエータを配列し、この断面積を制御することで柔軟物体を移送するポンプ機構なども製作している。これら一連の研究では構成要素を単純なユニットにまとめた上で、全体として実現する機能を特定のタイプに絞り、各ユニットの制御を比較的小規模にまとめる点が共通している。制御手法は隣接ユニット間の情報交換をベースにしたもので分散機構に適合している。

多関節機構を構成しようとするときの現実的に大きな問題はハードウェアで、アクチュエータの出力重量比に余裕がない点である。とくに三次元運動を実現しようすると自重の問題が常に生じる。浅野ら⁸⁾は関節形状などを工夫し、従来型モータを用いて16自由度の検査用ロボット(図-3)を構成した。全体として象の鼻のような動作が可能で、鼻の先にTVカメラを載せて壁の穴などから内部の点検を行う。和田・久場ら⁹⁾はアクチュエータをアームとは別の場所に置き、蛇管と呼ばれるフレキシブルな力伝達機構を利用して多関節構造を開発している。また多関節機構による柔軟物体の抱きしめ動作を実現している。

2.2 広がりをもつシステム

広がりをもつ機械システム、たとえば生産工場などでは加工機械/搬送機械/組立機械/検査機械などの分散した構造が必要とされることが多い。効率を追求する方法論によれば集中化・階層化されたシステムにいきつくが、サブシステム(たとえば生産工場では加工機械とロボットをまとめて加工セルと呼んだりする)に情報処理機能、決定権を分与して自律性を高め、一部に故障



図-3 象の鼻型検査ロボット⁸⁾

が生じたときでも全体の機能を維持する方向を目指す考え方がある。

森・井原ら¹⁰⁾は、自律可制御性と自律可協調性という二つの特性を自律分散システムの特徴として提案している。自律可制御性とはいずれかのサブシステムが故障した場合でも残りのサブシステムの集合が、その集合が担当する状態空間を任意に制御できるという性質である。また自律可協調性は、いずれかのサブシステムが故障しても残ったサブシステムが各自の評価関数を最大にする活動を実行する上で協調行動をとれるという性質である。

広瀬¹¹⁾は集中構造と分散構造について一般的な評価の方法論を提案している。また大型構造物の油圧による姿勢の制御という例をあげ、集中制御方式と分散制御方式について、同一性能を実現するために必要な情報処理ハードウェアと通信ハードウェアの総コストを比較し、分散型の優位を定量的に結論づけている。

2.3 非線形ユニット群

やかに水を入れて底から熱を加えるとやがて対流が発生する。毎日のように見ている現象であるが、境界条件の適当な設定によってはマイクロな分子の 10^{10} 倍ものオーダーの秩序だった動きが形成されるのは驚くべきことである。これに類した現象はベナール対流、カルマン渦など多くのものが研究されている⁵⁾。物理学の世界では協同現象と呼ばれるこれらの現象は自律分散システムの設計的観点に多くの示唆を与えてくれる。たとえばこれらの現象ではユニットのもつ非線形特性が本質的に重要な役割を果たしていることが示されている。

この分野の理論的研究の成果が自律分散機械の設計に生かされれば、各ユニットの性質を巧妙に設計しておくことでユニットの集合の中に有用なマクロな形態や運動を発生させたり、状況に応じてそれらを変化させたりできるようになるだろう。たとえば非線形振動子をユニットとして多数台を結合し、引き込み現象などを利用してパターン認識や歩行パターンの発生を実現しようとする清水ら^{3), 12)}の試みがある。ニューロ回路及び関連した研究は非線形ユニットの集合システムという意味で代表的な例であるが、すでにいくつか解説^{14), 15)}もあるのでここでは触れない。

非線形振動子を接続してこの上にポテンシャル場を構成的に与えて有用なマクロ運動を実現するという方法論が湯浅・伊藤^{21,13)}によって提案されている。これは任意の初期条件から図-4のような進行波状の運動が生成できるなど、分散したコントローラのみで全体の運動を実現している。各ユニットの挙動は簡単な微分方程式で記述され、数個のアナログ素子でも容易に実現でき、重い情報処理系は必要とされない。

2.4 自立したロボット群

単位ユニットのもつ機能を拡張して、移動・環境認識・判断・マニピュレーションなどを可能にしていくと、単位ユニット自体が鉄腕アトムの自立ロボットに行き着き、ユニット間の接続は情報リンクのように物理的拘束の少ないものとなる。このようなトータルな自立ロボットは機械屋の目指す目標の一つではあるが、現在はまだ十万馬力には程遠く、二足歩行もいま一つのところである。移動・環境認識機能をもつ自立走行車はかなり広く研究されている¹⁶⁾。工場などでは実際に相当数の自立走行車 (AGV) が利用されており、このような状況では相互に衝突を回避する必要がある¹⁷⁾。移動体が集中制御されずに自律的に移動の判断をするときにどのような方策が適当かについて油田¹³⁾が提案を行っている。

複数の自立移動体/ロボットに視覚センサをもたせて操作対象の周辺に配置すれば、多次的な情報が得られるから、より高度な判断・作業が可能になる。佐藤ら¹³⁾は複数の知能ロボットの協調動作について研究している。浅間ら¹³⁾は1台のロボットでは実行できないような目標が認識されたときに、どのような手順で複数台のロボットを協調させるべきかについて研究を行っている。

2.5 機械情報構造

最近多くの複合材料が開発されてきている。たとえば FRP はプラスチック母材の中にファイバを配合して軽量で強靱な材料に仕立て上げられている。ではファイバの代わりにアクティブな構造を導入してさらに高性能な材料を実現できないだろうか。母材中にセンサ・アクチュエータを分散的に埋め込み、材料の変位を検出してこれを補正すれば見かけの剛性の高い構造が実現できよう。これはいわば情報処理によって強化された機械構造であって、機械情報構造とも呼ぶべきもので

ある。

この考え方は現在国立天文台がハワイに建設しようとしている次期大型天文望遠鏡 (JNLT)^{18),19)} で現実化されようとしている。現在活躍している地上大型望遠鏡では米国パロマ山の 5m 鏡が有名である。さらに大型の主鏡を製造し従来の方式で表面の形状精度を維持しようとする、鏡の厚さが数 m となり全体の重量を支持するのが困難になってしまうので、このクラスが地上望遠鏡の限界と考えられていた。しかし主鏡を軽量化して柔軟構造とし、これを多数のアクチュエータで支持して鏡面の形状を常に理想面 (回転双曲面) になるように制御すれば 8m を超える主鏡の望遠鏡が実現可能になる。現在考えられている制御方式はいくつかの局面に分かれるが、最終段階では多数 (280) 台のアクチュエータが自分の分担する支持力を一定にするように制御する (図-5)。全体の制御は現在集中方式が想定されている。

大型天文望遠鏡は現在このほかに二つの計画が進行している。米国ケック天文台はやはりハワイ・マウナケア山頂に建設中で 36 個の六角形のミラー (全体で直径 10m) を制御するセグメントミラー方式、ESO (欧州南天天文台) は薄いミラー方式で南米チリの山頂に 10m クラスの主鏡を 4 本並べる計画である。いずれもアクチュエータの分散配置という点では類似した手法をとっており、今世紀末に向けて日米欧のいずれが高性能を実現させるか興味深い。

2.6 自己組織する機械へ

Fault Tolerant な機械は魅力的であるが、現在の機能を維持するにとどまらず必要に応じて自らの構造を変化させられるような機械はできないだろうか。

福田・浅間ら^{13),20)}は宇宙用作業ロボットや保守点検用ロボットとして、可変構造型のロボット (図-6) を研究している。マニピュレータの各部を各種の単一自由度をもったユニットとして設計し、機械的な接合部を共通として作業目的に応じて自由に組み替えを可能とする。各ユニットの内部には電源供給とデータ転送用のバスが内蔵されており、結合時にはユニット間が電氣的にもバスで結合される。このようにして組み立てられたマニピュレータによって、他のマニピュレータの分解組立を実行することなども意図している。

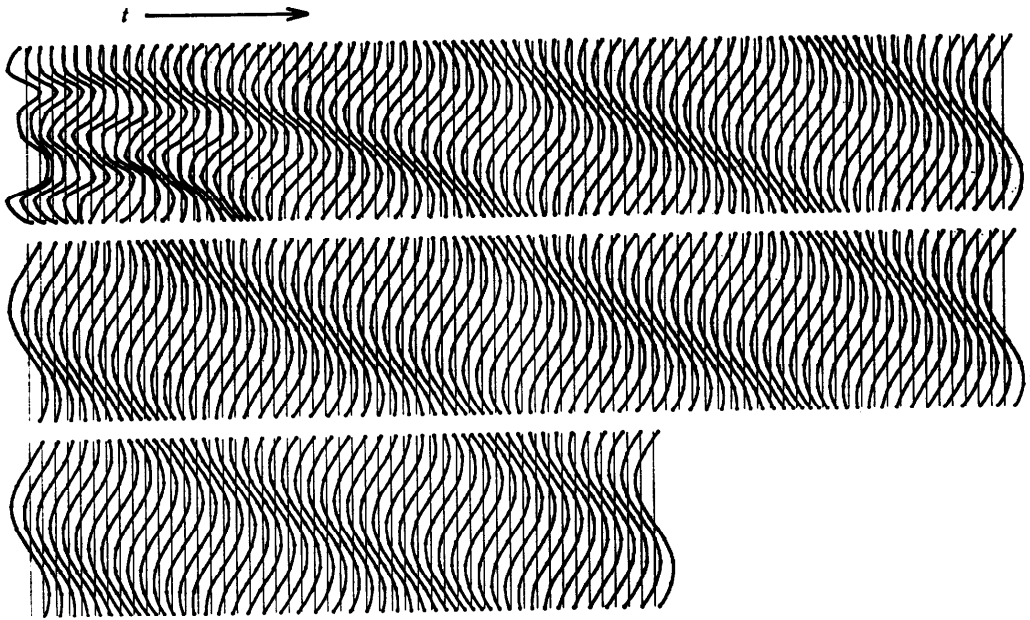


図-4 魚の泳ぎパターン²⁾

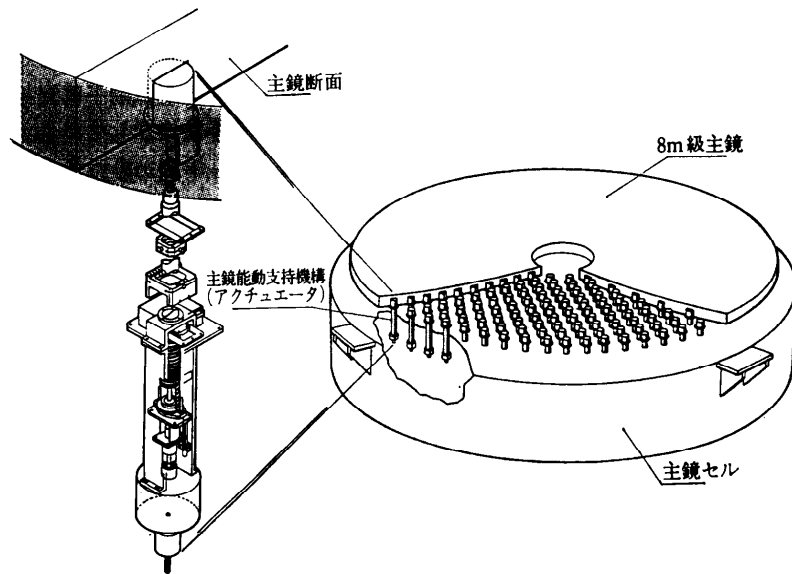
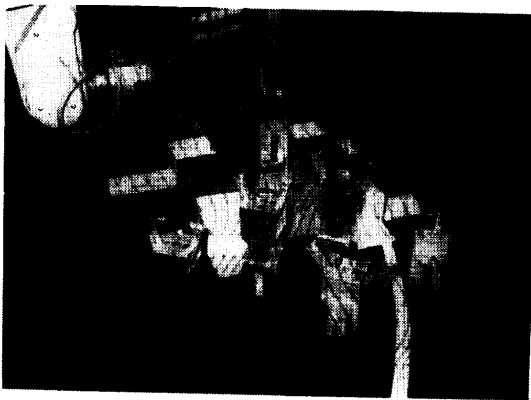


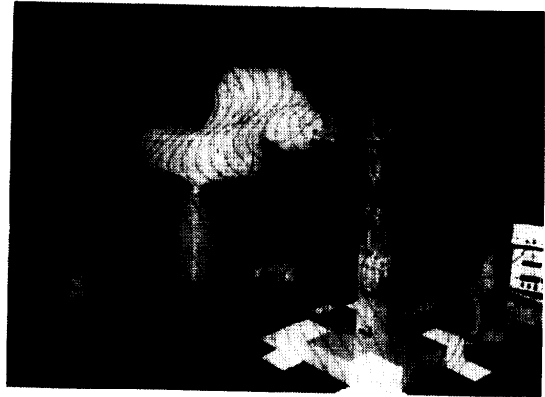
図-5 超大型天文望遠鏡の主鏡

小鍛治²⁰⁾は一つの機械ユニットにアクチュエータ・センサ・マイクロプロセッサをもたせ、この機械ユニットを結合してリンク型の移動機械を構成した(図-7)。全システムに含まれるユニット数には上限がなく、いくらでも多数のユニットを組み込んで良い。各ユニットはプログラムまで含めて完全に同質で、自由に置き換えが可能となっ

ている。各ユニットは初期化手順で、全体システムの規模、自己ユニットの位置を認識する。次に移動に必要な同期信号を生成し、ユニット間の位相差を解消した後に二次元平面上を任意方向に移動できる。全体システムには集中型の制御部は存在せず、すべて平等な位置づけにあるプロセッサ群が統合的な動作を生成している。



(a) モジュール化されたユニット群



(b) 組み立てられたマニピュレータ

図-6 可変構造型ロボット

図-7 リンク型移動機械(フラクタルマシン)²¹⁾

3. 自律分散機械と情報処理

分散構造をとる機械では集中構造の場合とは異なる情報処理形態が要求されることがある。以下にいくつかの例と問題点を述べる。

3.1 同期

分散した構造をとっている機械でも、いざというときにはまとめて動いてほしいときがある。心臓などの器官は構成要素の細胞が単独でも収縮を繰り返すが、集合体になると同期して収縮を行うようになる引き込み現象がみられるという。分散機械でも全体の協調動作を行う場合にはユニット間の同期をとるメカニズムが必要である。集中システムであればクロック波形を分配すれば良いが、分散システムでは各ユニットが発振器をもち近傍ユニット間での相互作用によってクロックの周期、位相が一致するように調整する方法が考えられる。ただ位相の場合は注意が必要で、ループがあるとき、たとえば円環状にユニットが配置されているようなときに等間隔の位相差ができるよ

うな安定状態に落ち込まないようにしなければならない。われわれは2.6で述べた移動機械を構成したときに多安定状態に収束するアルゴリズムをつくってしまい解決に手間取った。

3.2 運動の生成

生物の歩行、蛇の移動、魚の泳ぎなどのように一連のユニット群がある位相差をもって協調運動を形成する方法は魅力的である。2.3に述べたように湯浅らは非線形振動子群に一定の位相差を安定に実現する手法を示している。2.1の広瀬らの方法ではユニット間の設定角を順次後方にシフトしてより直接的に位相差を実現している。自律分散システムによって昆虫の歩行を模擬し、いずれかの情報伝送路に障害が起きても一時に全機能を失うことなく歩き続けられるようにした例もある²²⁾。

これらの運動は一定のパターンが繰り返される定常的な運動であるが、蛇がネズミに飛びかかるような運動は瞬発的なものである。このような短時間に多数のユニットが協調してある動作を実現するためには、あらかじめ動作プログラムをユニット内に準備しておいて、この発火タイミングを適切に行う方法が考えられる。論理的なアルゴリズムとしては一斉射撃の問題²³⁾などが利用できるかもしれない。

3.3 形態の発生

自然界にはさまざまな形態が出現する²⁴⁾。これらの多くは適当な境界条件のもとでの微分方程式の解として説明される。空間的に分布しているユニット群に論理的にこれを模擬させることによつてある形態を発生させたり、運動を発現させる方

法は魅力的である。適当な設定によっては、静的な形態だけでなく、BZ 反応⁵⁾ (図-8) のように動的な空間パターンを発生させることもできる。

加工機械が作り出す形態は外的な基準をさまざまな手段で(切削, 研削, 塑性加工...) 物質に転写するのが一般的だが, 内的な相互作用で微細なユニット群の上に形態を発現させる方法も可能になるかもしれない。現在無重力環境での真球の製作や, 重力環境で遠心力を利用した放物面の製作方法などが考えられているが, ユニット間の作用と形態の対応がより深く研究されれば新しい加工法として発展するかもしれない。

3.4 分化

生体に範をとった機械の一つの理想は, 初期状態でシステムを構成するユニットが等質であり, 各ユニットが与えられたプログラムに導かれて位置を認識し, それぞれの位置に応じた機能・形態の分化を実行して全体システムを有機的に構成することである。

生体では位置の認識に化学物質の濃度勾配などが利用されているようであるが²⁵⁾, 工学的システムでもこれを模倣したり, 改良した方法が利用できそうである。

等質なユニット群が非等質・非等方的に変化するためには意図的に不安定な状態や勾配を作り出す必要がある。これなどは情報処理的にみても興味深い。

3.5 非数理モデルの世界

われわれが機械の制御プログラムを書くとき普通は微分方程式で記述された世界を計算機の言語



図-8 ペロウソフ・ザポチンスキー (BZ) 反応
浅いシャーレの中での BZ 反応, 時間とともにパターンが生成され変化していく。
化学技術研究所山口智彦氏の撮影

に置き換えていく。したがって論理的な言語で記述していてもそれは数理モデルの世界であって, 予想外の結果がでることは少ない。ひとたびこの世界を離れると(仮に非数理モデルの世界と呼ぶ), そこはもう何が起きるかお楽しみの世界で, 個々の記述から全体を見渡すこと, あるいは統合的な意味を汲み取ることが大変に難しくなる。このような世界でユニットの集合が行う論理的な操作と全体の挙動の関係を見通すことは大きな課題である。

3.6 分散から統合へ

システムが分散構造をとるときに果たしてシステムの目的とユニットの自律性が矛盾をもたないように構成できるかという問題が生じてくる。囚人のジレンマ²⁶⁾のような状況を回避して協力システムを構成することが Fault Tolerance の実現と相反する結果をもたらすかもしれない。

そもそも分散した構造をもち, それぞれのユニットが自律性をもっているような機械はそれ自身の行動をどのようにして決定するのだろうか。外部からの情報が個々のユニットに与えられたときにどのようにしてそれらがシステム全体によって認識され, 統一性をもった反応をすることができのだろうか。

4. 自律分散機械の将来

情報処理の分散した構造を可能にした原動力はマイクロエレクトロニクスの発展といってもよいだろう。機械系の場合でも制御ハードウェアが物理的に小型化されるメリットは非常に大きい。今後の課題はアクチュエータ・動力源の高性能化がまずあげられる。

1991 年度からマイクロマシン²⁷⁾の研究が通商産業省工業技術院の大型プロジェクト²⁸⁾として開始される。同一構造をもつ機械ユニットの低価格での生産可能性や, メカニズムの中への情報処理システム・センサ・アクチュエータの埋め込み可能性など要素技術の革新が期待される。

情報処理と機械は長い歴史をもつコンビである。両者がより深く融合することで新しい技術分野が開拓されていくだろう。

自律分散機械というまだ姿かたちのよく見えないものを話題としたために各所で説明のイメージが混乱したように思う。またこの分野に関連する

研究のすべてを網羅することはできなかった。お許しをいただきたい。

最後になったが、分散構造をもったシステムについて多くの方々の快い協力を得て写真・図を引用することができた。とくにBZ反応については化学技術研究所山口智彦氏の研究資料を拝借した。また引用文献の一部はNTTソフトウェア研究所尾内理紀夫氏にご教示をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 特集：分散と協調，計測と制御，Vol. 26, No. 1 (1987).
- 2) 特集：自律分散システム，計測と制御，Vol. 29, No. 10 (1990).
- 3) 第1回自律分散システムシンポジウム資料，計測自動制御学会，p. 161 (1990).
- 4) 第2回自律分散システムシンポジウム資料，計測自動制御学会，p. 176 (1991).
- 5) ハーケン，H.: シナジティクスの基礎，p. 393，東海大学出版会 (1986).
- 6) プリゴジンス，I. 他：散逸構造，p. 450，岩波書店 (1980).
- 7) 梅谷陽二，広瀬茂男：ほふく(匍匐)の生物力学的研究，計測自動制御学会論文集，Vol. 11, No. 1, pp. 20-24 (1975).
- 8) 浅野都司：多関節メカニズムと制御，精密工学会誌，Vol. 54, No. 5, pp. 833-837 (1988).
- 9) 久場康良，和田充雄：人間腕型ロボットへのアプローチ，日本ロボット学会誌，Vol. 4, No. 6, pp. 675-678 (1986).
- 10) 森 欣司他：自律分散概念の提案，電気学会論文誌C，Vol. 104, No. 12, pp. 303-310 (1984).
- 11) 廣瀬通孝：分散形システムの最適構造化に関する研究，日本機械学会論文集 (C編)，Vol. 51, No. 464, pp. 883-892 (1985).
- 12) Shimizu, H. and Yamaguchi, Y.: Synergetic Computer and Holonics, Physica Scripta, Vol. 36, pp. 970-985 (1987).
- 13) 理研シンポジウム講演要旨集：自律分散ロボットシステム，p. 177，理化学研究所 (1991).
- 14) 小特集：ニューロコンピュータに向けて，情報処理，Vol. 29, No. 9 (1988).
- 15) 特集：ニューロおよびファジィのロボットへの応用，日本ロボット学会誌，Vol. 9, No. 2 (1991).
- 16) 特集：自律移動ロボット，日本ロボット学会誌，Vol. 5, No. 5 (1987).
- 17) 津川定之他：車両間通信による自律車両群の走行制御，計測自動制御学会論文集，Vol. 26, No. 9, pp. 1058-1065 (1990).
- 18) 山下泰正，小平桂一，家 正則：超大型天体望遠鏡 (JNLT) 計画，精密工学会誌，Vol. 53, No. 9, pp. 1385-1388 (1987).
- 19) 家 正則：能動光学と補償光学，光技術コンタクト，Vol. 29, No. 1, pp. 10-18 (1991).

- 20) 福田敏男他：動的再構成可能ロボットシステムに関する研究，日本機械学会論文集 (C編)，Vol. 55, No. 509, pp. 114-118 (1989).
- 21) 小鍛冶繁：多自由度機構と分散制御，精密工学会誌，Vol. 54, No. 10, pp. 1921-1926 (1988).
- 22) Beer, R. D.: Intelligence as Adaptive Behavior, p. 213, Academic Press (1990).
- 23) 丸岡 章：セル構造オートマトンとハードウェアアルゴリズム，情報処理，Vol. 26, No. 6, pp. 622-631 (1985).
- 24) 高木隆司：かたちの不思議，p. 223，講談社現代新書 (1984).
- 25) 土居洋文：生物のかたちづくり，p. 194，サイエンス社 (1988).
- 26) 佐伯 胖：「きめ方」の論理，東京大学出版会 (1980).
- 27) 特集：マイクロメカニズム，精密工学会誌，Vol. 54, No. 9 (1988).
- 28) 通商産業省工業技術院：マイクロマシン技術 (大型プロジェクト新規テーマ紹介)，工業技術院研究開発官室 (1991).

(平成3年7月30日受付)



小鍛冶 繁 (正会員)

1947年生。1972年東京大学大学院精密工学修士課程修了。同年通商産業省工業技術院機械技術研究所入所。工学博士。現在，物理情報部光工学課長および自律分散機械の研究グループリーダー。精密工学会会員。



村田 智

1962年生。1987年名古屋大学大学院航空工学修士課程修了。同年機械技術研究所入所。現在，物理情報部知識機械課にてマシンインテリジェンスの研究に従事。計測自動制御学会，日本ロボット学会会員。



黒河 治久

1955年生。1981年東京大学大学院精密工学修士課程修了。同年機械技術研究所入所。現在，物理情報部計測制御課にて宇宙での制御技術の研究に従事。航空宇宙学会，精密工学会各会員。



鈴木 章夫

1963年生。1988年北海道大学大学院情報工学修士課程修了。同年機械技術研究所入所。現在，物理情報部計測制御課にて宇宙での制御技術の研究に従事。計測自動制御学会会員。