

### [セッション3]

## 人工生命（AL）は工学の新しいパラダイムとなりうるか？

事務局 セッション3は「人工生命は工学の新しいパラダイムとなりうるか？」というテーマで、討議をお願いいたします。機械技術研究所の柴田さんに司会をお願いいたします。よろしくをお願いいたします。

司会（柴田） それでは前半のAI、AL、そして生物学とALということのけっこう科学的な議論に對しまして、今度はユーティリティ最大という意味で、役に立つ技術になるかどうかという意味では工学が今までとは多少違うかなと思います。それにつきまして金沢工業大学の三宅先生と、ソニーコンピュータサイエンス研究所の谷さんにお話しいただきます。最初に三宅先生に「人工生命は工学の新しいパラダイムになりうるか？」ということでお話しいただきます。

三宅 「人工生命は工学の新しいパラダイムになりうるか？」という非常に難しい題目をいただきまして、何のお話をすればよいのか、正直なところ私はかなり迷いました。私自身は人工生命の専門家というわけでもありませんし、工学の専門家というわけでもありません。これまで主としてやってきたことと言えば、生体における情報統合機構を細胞生物学的な実験を中心として研究してきたということになります。とは申しまして、そのような視点からでも何か言えることが一つくらいはあるだろうと気を取り直し、今日は参加させて頂きました。そこで、まず、私が持っている問題意識を簡単にまとめたあと、実際に取り組んでいる具体的研究を通して、それがどのように実現されるのかを説明していきたいと思えます。（図3-1）

私の目から見まして、人工生命というパラダイムの中で、一番興味を引かれるところはどこかと申しますと、「創発」の問題だと思えます。ただ、私は、創発という問題をジェネティックアルゴリズムで言うようなクローズな意味で限定したくないので、もっと一般的な問題として捉えていきたいと考えています。さらには、創発という問題を科学あるいは工学の中に取り込むことによって、おそらくこれまでとは根本的に異なった世界観がそこに出現してくるのではないかという感触を持っています。

それに関しましては、今日のワークショップの最初に上田先生が適切にまとめておられましたが、部分と全体の問題、そして人間と自然の関係の問題に非常に深く関わっていると思えます。部分が部分としてそれ自体で規定されるならば、さらに人間がそれ自身の中だけに存立の根拠を求めるとすれば、そのような世界には創発の可能性はないように思われます。その意味で、科学の基盤が自他を分離することにあるならば、いま取り組もうとしている問題は明らかに科学の範疇を越えています。しかし、そのような自他分離に基礎をおく実体論的世界から自他非分離に基礎をおく関係論的世界へのパラダイムシフト

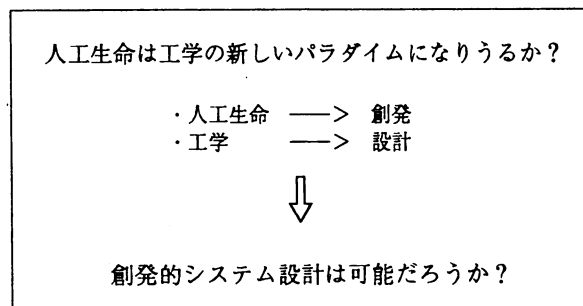


図3-1

トの上には、創発という視点は存在し得ないと思われま

す。人工生命の方では、ラングトンが「創発とは、部分間の局所的な相互作用の結果全体が現れ、その全体が部分への環境となり、それによって新たな秩序が形成される現象のこと」であると定義しているようです。たぶん彼は自己組織現象を念頭においており、科学を支えてきた実体論的立場から創発の問題にアプローチしようとしていると思われま

す。これは人間の自然認識の基本に関係性を据えて様々な問題を捉えなおそうとする、これから説明するアプローチとは対極に位置するものかもしれません。ただ、いまはこの違いに深入りすることは避け、さらに先へ進みたいと思います。一方、工学とは何かという問題を考えたときに、マイケル・ボラニーが暗黙知の次元という本の中で非常に面白いことを言っています。「生命をもたぬ単なる物質が機械へと形成されることによって、なぜ、それは成功したり故障したりする可能性をもつにいたるのだろうか。答はかたどりの言葉の中にある。機械の作動原理は、このような人為的なかたどりによって物質内に実現される。そのような作動原理は、非生命システムの境界条件を支配するということができるだろう。境界条件とは、自然の法則によって明白に不確定なままにされている諸条件の集合である。このような境界条件を決定するのが工学である。」と定義をしています。

そういう意味から考えますと、人工生命が工学の新しいパラダイムになるか？ という問いは、要するに、創発的なシステム設計、デザインが本当に可能だろうか？ という問題に置き換えることができるのではないかと思います。そして、このような問題に対して、どのようにアプローチするかということが重要なポイントになります。先ほども説明しましたように、創発を可能にする枠組みは自他の関係性をベースにした世界ということですから、その最も基本的特徴を調べるには、システムとその外部環境の関係性を考えることが有効です。ここでは、工学という切口から創発という問題を捉えますから、人工システムとその動作環境としての人間の関係性という視点からこの問題を捉えてみたいと思います。(図3-2)

一つの見方は、図3-2の上側の図に示した人間と人工システムの関係ですが、これがおそらくふつうの意味での工学的なものの見方だと思いま

す。もう一方が、図3-2の下側の図に示したもので、創発の問題を扱ううえで、どうしても避けて通ることができないもの見方だと思いま

す。何が根本的に違うのかというと、人工システムとそれを使う人間を分けて規定することができるのか、それとも分けることができないのか。まさにこの点だけに違いがあるのではないかと思います。先程の表現を借りれば、実体論的システムとして人工システムを捉えるのか、関係論的システムとして捉えるのかという違いに対応します。

従来 of 工学的なシステム設計では、人間と人工システムを別々に規定できることが前提されています。そのため、あらかじめシステムの目的を規定し、その動作環境を規定した上で、システムを設計するという特徴があります。その意味で、人工システムから見た人間という環境も、いったん規定されてしまえば、あとは人工システム側だけで独立にデザインすることが可能になります。つまり、機能が実体論的に存在するという形でのシステム設計だったと思うわけ

ることによって、また自分自身の内部モデルが変わってしまうわけです。つまり相手に働きかけることによって自分自身がかわってしまうという不確定な構造が原理的についてまわります。

ですからこの図3-2のなかで言えば、自分のなかに自分を一部として含むモデルがあるのですが、働きかけることによってさらにこのモデルのなかにもう一つ自分を含むモデルが生じてしまう。そういう循環的な論理を基本とするシステムにこれから取り組んでいかなければいけないと思います。このようなシステムのことを「自己言及システム」というのですが、一種のパラドックスであり、これを原動力としてどのように創発につなげるのか、そこに問題のエッセンスがあるように思います。したがって、いま取り組まなければならない創発の本質は、自他非分離な関係論的システムにおいて論理的な無限定性を生じさせる不良設定問題に対して、どのようにしてその拘束条件を自己生成させるのかということになります。必然的に、それはシステム内部だけの問題ではなく、システムと環境の相互関係から規定される問題になるはずで

この問題は、生物的インテリジェンスの問題であるともいえます。なぜなら、生物システムは有限の複雑さしか持たないにもかかわらず、それよりも遥かに複雑な外部環境の中で自律的に生きていかなければならないからです。生物はその有限性から、原理的に外部環境の完全なモデルを持つことはできません。しかし、そのような限界を前提としているために、生物は自他非分離な関係論的存在であるように運命づけられています。つまり、あらかじめ起こり得るすべての状況を規定するのではなく、状況に応じて自己規定のために必要な情報を自ら創り出すという戦略をとっています。ここに、自己言及性を能動的に創発につなげていく生物的インテリジェンスの本質が隠されています。私は、このような生き

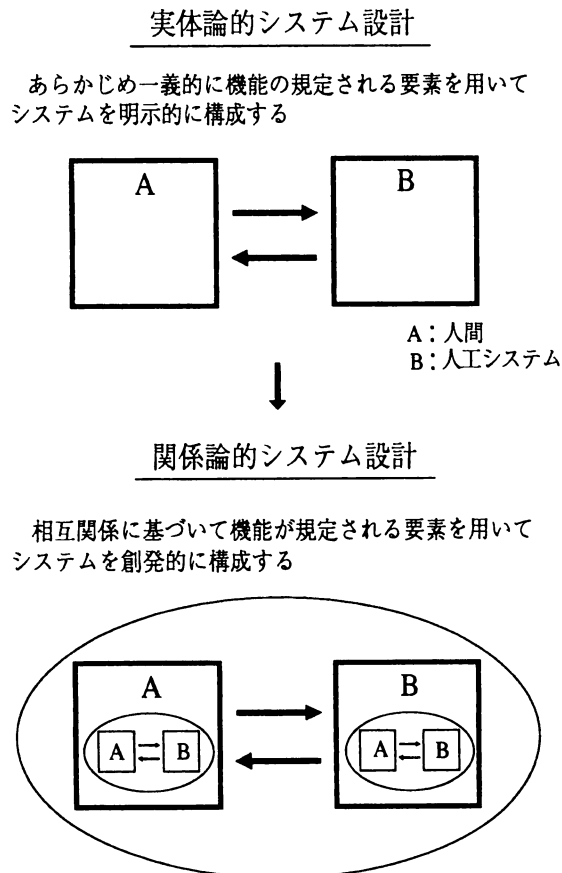


図3-2

物の持っている創発的システム設計原理を自己言及システムの視点から明らかにして、それを工学的に応用したいと考えています。

次に、私がなぜこのような問題意識をもつに至ったかについて説明します。(図3-3)少なくとも、私の目から見ると、現状での工学的設計論に立脚して人工システムを作った場合、大きく言って次の2つの問題が生じているのではないかと考えています。

まず第1に、あらかじめ規定できない、つまり予測できない状況に対応できないということです。人間の本質がその主体性や創造的性質にあるとすれば、これは致命的欠陥です。しかしこれは当然の帰結で、人間と人工システムを分離して人工システムを明示的に設計するものだから、それと裏腹の関係で、規定されない状況が必然的に生じてしまいます。そしてこのような原理的問題をはらんでいるものだから、対応範囲を拡大するためにどうしても例外処理が増えてきます。そのため、第2の問題として、システムがどんどん巨大化してしまいます。その結果、人間は非常に巨大な人工システムのある一部分しか認識できない。だから残された非常に大きな部分がブラックボックスとして隠蔽されてしまうわけです。しかもそのブラックボックスはあらかじめ決めたことしかできない脆弱なシステムでしかない。このような人間を取り巻く人工物環境が非常に大きな社会問題になっているのではないかと思います。

このような問題の具体例として、私たちが日常遭遇しているものとしてはコンピュータのソフトウェアが挙げられます。ふつうソフトウェアを買うと非常に分厚いマニュアルがついて来て、到底読むことができません。ソフトウェアを作った会社にうまく動かないんだけどと問い合わせると、マニュアルをちゃんと読みましたかと言う。(笑) 読めるはずのないようなマニュアルを作っておいて、読みましたかと言うのはひどいのではないかと思いますけれども、そういう形でシステムの設計が進んでいます。では、どうしてそんなに巨大なマニュアルが必要なのかというと、あらかじめ起こり得る状況を全てプログラムレベルで記述しないとイケないからです。例えば、自動翻訳のような人工知能システムの場合、例外処理が9割以上に及ぶとさえ言われています。

このように現状では、従来からの工学的設計原理に基づく矛盾がどんどん拡大しており、その一方で、その矛盾を何とか押さえ込むためにヒューマンインタフェースにいろいろな無理が集中してきています。そういうふうに私は考えています。簡単にいえば、人間側の論理と人工システム側の論理が乖離しかかっていると言えるのではないかと思います。だからこそ、いま重要なことは、人工システムの設計原理を人間側の設計原理に引き戻すことではないかということです。

その意味では、まず人間側の状態と無関係に人工システムの機能を定義することをやめないといけな

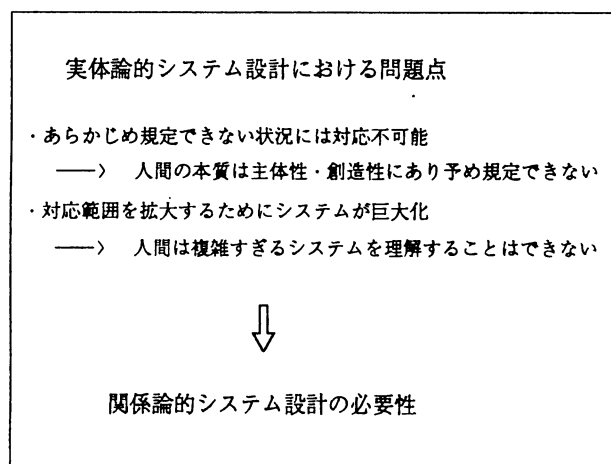


図3-3



い。人間の活動は、あらかじめ規定できない主体性や創造的性質にこそ人間の本質があることを踏まえてシステム設計する必要があります。そして、あらかじめ規定されていない状況に対しても柔軟に対応できるような人工システムを構築することが求められています。つまり人工システムの機能が、それと人間との相互関係に依存して創発的に規定されてくる、つまり実体論的に決めるのではなくて関係論的に決まるようなシステムができないかと考えています。

今から、このような創発的システム設計の実現を目指して私が取り組んできたことを、具体例を挙げながら説明していきたいと思います。(図3-4) これまでにやったことは大きく分けると三つあります。私は実はアメーバ状細胞の形態形成の研究を長くやっております、そこでわかってきた生物的インテリジェンス、つまり生命システムの創発的設計原理に関して最初に話をさせていただきます。次に、それを多体ロボット系における協調的グループパターン形成の問題に応用した場合を説明します。そして最後に、これが今日の主題でもあります、その多体ロボット系の中に人間を入れて、人間と人工システムが共存するシステムの実例を作ってみようと思います。

まず最初に、アメーバの話をしていただきます。(図3-5) 先ほどアメーバは非常に下等だという話がありましたが、これからの話がアメーバでもこれほどのインテリジェンスがあるという一つの反証にでもなればと思います。

私が特に興味を持っているのは、創発的システム設計との関係から、環境適応的な形態形成に関する問題です。生命システムの場合、形態は機能と密接な関係を有しており、その意味で形態形成は明らかに機能創発の問題でもあります。そして、あらかじめ構成要素の機能が規定されているのではなく、局所的な機能がシステム全体と整合性を持つように、そして環境との関係においても整合性を持つように生成される必要があります。当然、なぜそのような創発的なシステム設計が可能になるのかということが問題になりますが、これまでの私の研究の結果、細胞のなかの周期2、3分程度の自動的なオシレーションが個体としての統合性を生成するうえで非常に重要な役割を果たしていることがわかってきました。そこで、そのメカニズムをまず簡単に説明します。

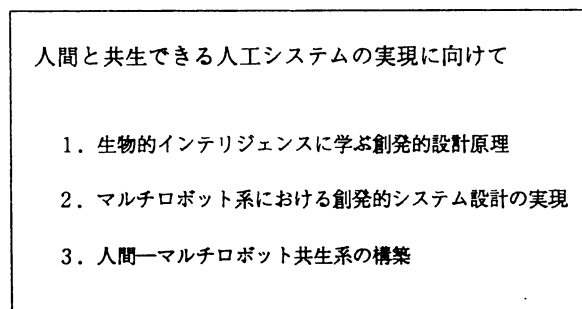


図3-4

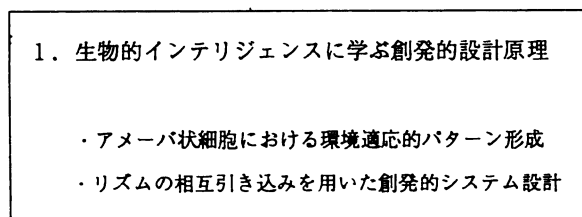


図3-5

後でビデオをお見せしますが、私が使っているアメーバ状生物はこういうものです。(図3-6) たぶんこれまでに見たことがある人はほとんどいないと思いますが、このメジャーの幅が5センチぐらいですから、直径10センチ程度におよぶ非常に大きなものです。これらは単細胞で非常に軟らかい裸の原形質からできています。たとえばこの矢印の部分にえさを与えると、このように個体全体として協調的に形態が再構築されます。これは一種の関係的な機能生成です。はじめから構成要素の役割が決まっているのではなく、それらの相互関係と環境との関係に応じて、どこが頭になるか、腹になるか、尾になるかという関係的な機能が状況依存的に自発生成します。そこで、このようなプロセスがどうなっているかを調べてみたわけです。

細かいことは省略しまして、大きな流れとしてまとめたサンプルだけお見せします。(図3-7) これは今のアメーバ状生物において、その形態が生成してくるプロセスでの細胞内リズムの時間的、空間的關係を示すものです。縦方向が進行方向の、つまり体の軸に沿って切った空間で、横方向が時間です。したがって、白黒のタイルがつながって帯のようになったものの、一つひとつが位相波に対応しています。つまりシステム全体として一定の時空間的なパターンを形成していることがわかります。また、離散的ではありますが、それぞれの時刻において生成されている形態も表示してあります。そこで、このような形態形成プロセスとこのようなリズムの時空間パターンを解析してみました。

その結果、時空間パターン形成において重要なはたらきをしているのが「相互引き込み」と呼ばれる現象でした。(図3-8) 具体的には、ここに示しましたように、周期の異なるリズムがあったときに相互作用すると、それらが自発的に同調し同じ周期に引き込まれる現象で、非線形振動では、ごく普通に見られるものです。

そして、ここでわかったことを簡単にまとめますと、このような生命システムは非常に多数の分散したオシレーター要素から構成される巨大な結合振動子システムであるということです。(図3-9) そして、構成要素の局所的な環境あるいは状態がリズムの固有振動数でコーディングされていました。部分的環境は均質ではありませんから、コーディングされた振動数はシステム全体で不均質になります。そして、それらが引き込みを通して同調し、ある一定の空間的位相パターンを自己組織します。ここが一番のミソなのですが、その生成された位相パターンの局所的な特徴、位相パターンの空間微係数としての位相勾配を取るのですが、そうするとそれがシステム全体のなかにおける自分の相対位置を表現していることがわかってきました。そうすると、その全体のなかにおける自分の位置に基づいて、局所的な要素としての自分のあり方を再規定することができるようになるわけです。つまり、あらかじめ1個1

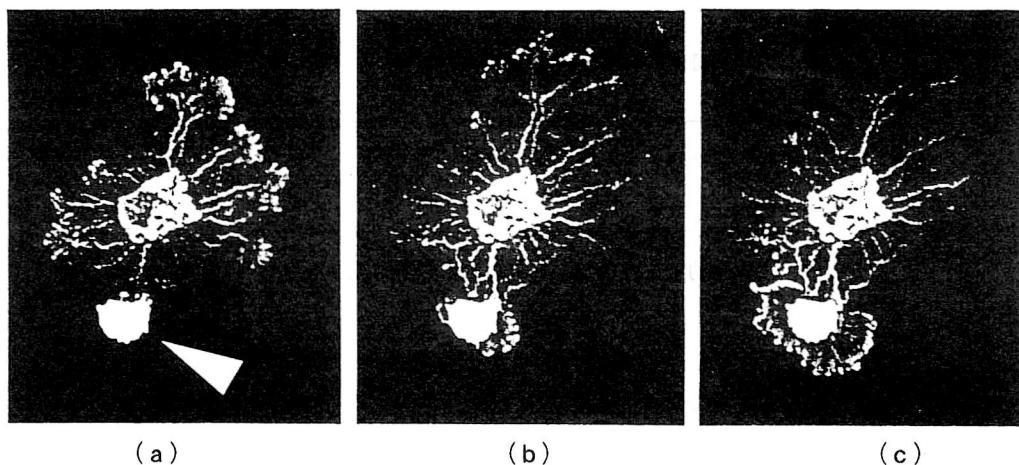
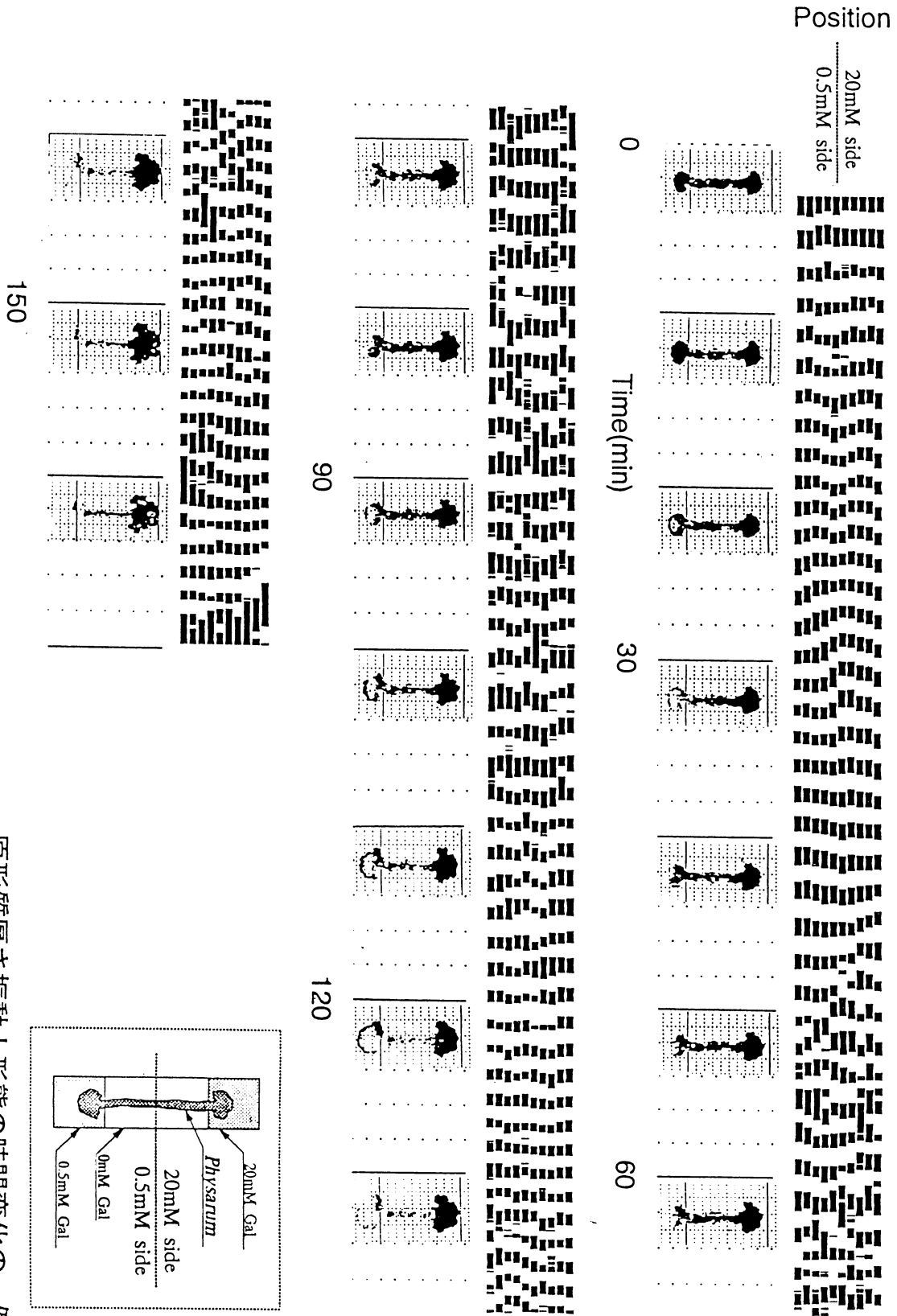


図3-6



原形質厚さ振動と形態の時間変化の一例

図3-7

個の要素の役割は決まっていなくても、それらが相互引き込みのプロセスを経て、全体のなかでの自分の位置が規定され、その情報がもう一度自分自身のあり方に戻ってきます。言い換えれば、位置関係という自他の関係に基づいて自己の在り方が規定されることになります。こういう情報の循環のなかで、関係的な秩序が、そして機能が創発されることがわかってきました。

ですからこのようなモデルは、先ほど人間と人工システムの関係のところで説明しましたが、自分自身のあり方が自分と他のものとの関係によって決められるという意味において、一種の自己言及システムになっているわけです。特に、ここが極めてエッセンシャルなところですが、自他の関係としての位置に関する情報が位相勾配という統合された形で生成されていることです。もともとの要素レベルでの情報に対してメタレベルの情報、つまり拘束条件を創出することによって、自己言及のパラドックスを

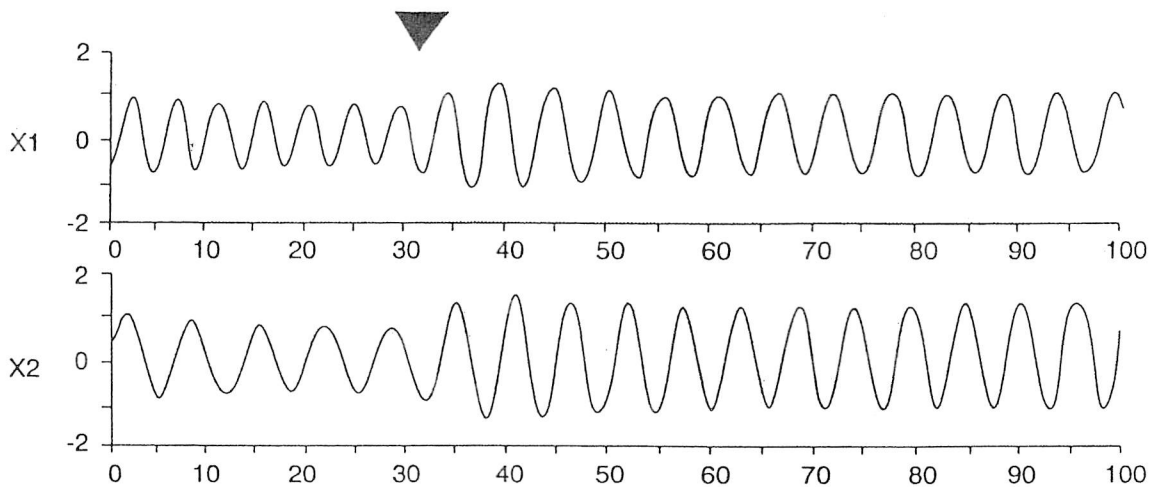


図3-8

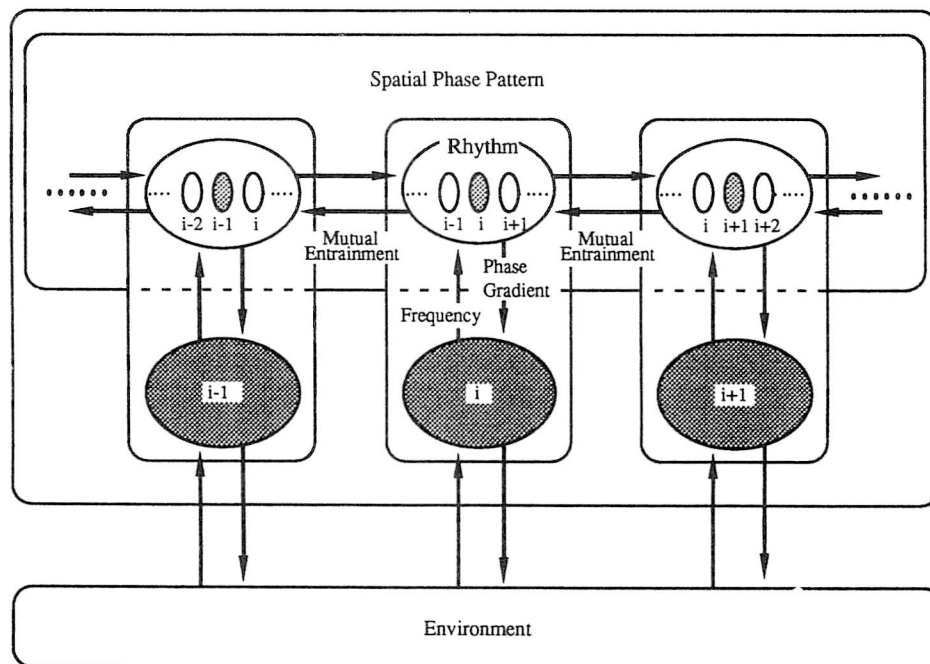


図3-9

発展的に解消させていると考えられます。だからこのメカニズムは、部分と全体という自己言及的關係をいかに統合するかという大問題に対する一つの解決方法を提案できているのではないかと思います。

では次の問題として、これをどのように工学的に実現するかという問題になるわけです。(図3-10) 先ほどまでの話はオシレーターの多体系における形態形成の問題でした。そこで今度はオシレーターの多体系に比較的近い工学的システムとして歩行ロボットの多体系を考え、そこでのグループフォーメーション生成を取り扱います。歩行運動というのは一種の歩行リズムですから、多体振動子系とのアナロジーが取りやすいわけです。そこで、ロボットシステム全体の中における自他の関係、特に個々のロボットの位置に関する関係を表現する情報はどのように生成されてくるのかということをも最初に調べました。そしてそれに基づいて関係的な機能が、つまり機能分散やその相互補償がどのように実現されるのかという問題にアプローチしてみました。(図3-11)

この場合の問題設定としては、先ほどのアメーバ状生物との関係から、それぞれのロボットのなかにあるオシレーター的な側面、この場合ですとロボットの歩行リズムを取り出しまして、それを相互引き込みという相互作用を使って一種のコミュニケーションフィールドを作ってやることになります。そして、そこで生成した個々のロボットの位置関係に関する情報をもう一度個々のロボットに戻してやる。これによって多体ロボットシステム全体として一定の協調的な作業ができる、つまり関係的機能が創発してくるという問題設定に置き換えます。

具体的に用いられたロボットは、このような神経振動子と筋骨格系からなる二足歩行ロボットです。

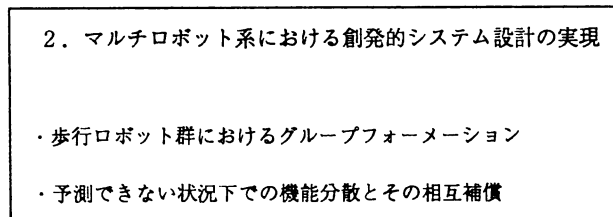


図3-10

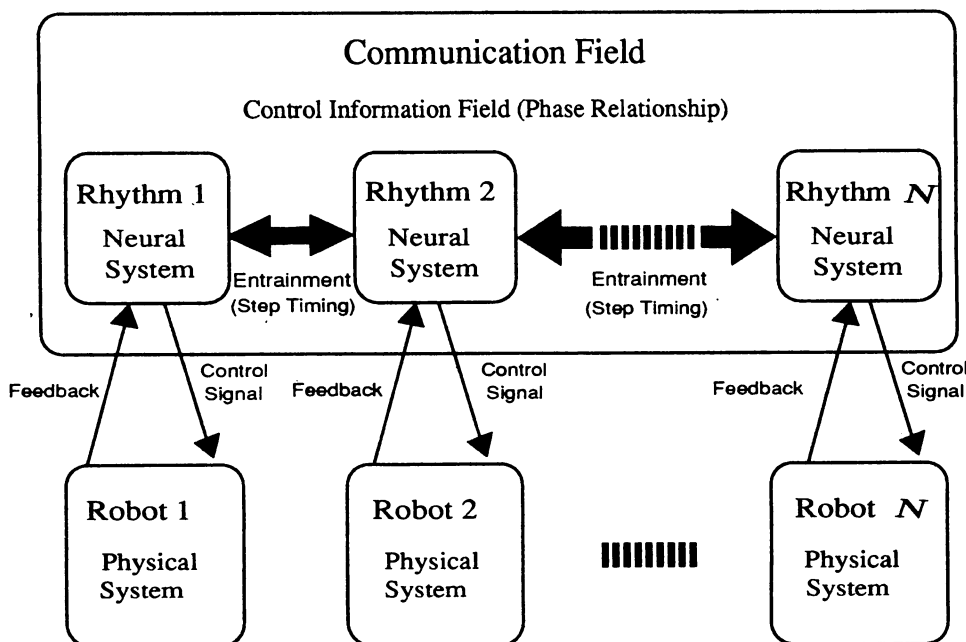


図3-11

(図3-12) しかし、それらが引き込み的コミュニケーションを行うのに非常に複雑な相互作用したのではまったく意味がありません。なぜなら引き込みという相互作用は、その構成要素の詳細な構造やダイナミクスに依存せず成立するものだからです。さらに、最終的にはこのようなシステムの中に人間を共存させることが一つの目標になっていることも考慮すると、できるだけ人間のコミュニケーション形態に近いシンプルなものを用いるのが良いと考えられます。そこで人間の歩行における足音に注目しました。人間が2人並んで歩いたりすると隣の人の足音に無意識に引き込まれて足がそろったりすることがありますが、あれと同じような現象をコミュニケーションのメディアとして使ってみました。つまり、あるロボットの足の接地タイミングを隣のロボットの神経系に入れる。このようにしてお互いに隣同士で接地リズムを聞かせ合います。

このような非常に単純な相互作用ですが、こういうものを使ってロボット同志をコミュニケーションさせてみますと、非常に面白いことが起こりました。図3-13の上側の図を見てください。これは9体のロボットでやってみたのですが、500秒のところを見てもらえばわかりますように、足の接地タイミングが微妙に違います。そこで、隣り合うロボットの間での接地タイミングの時間差を位相の一種の

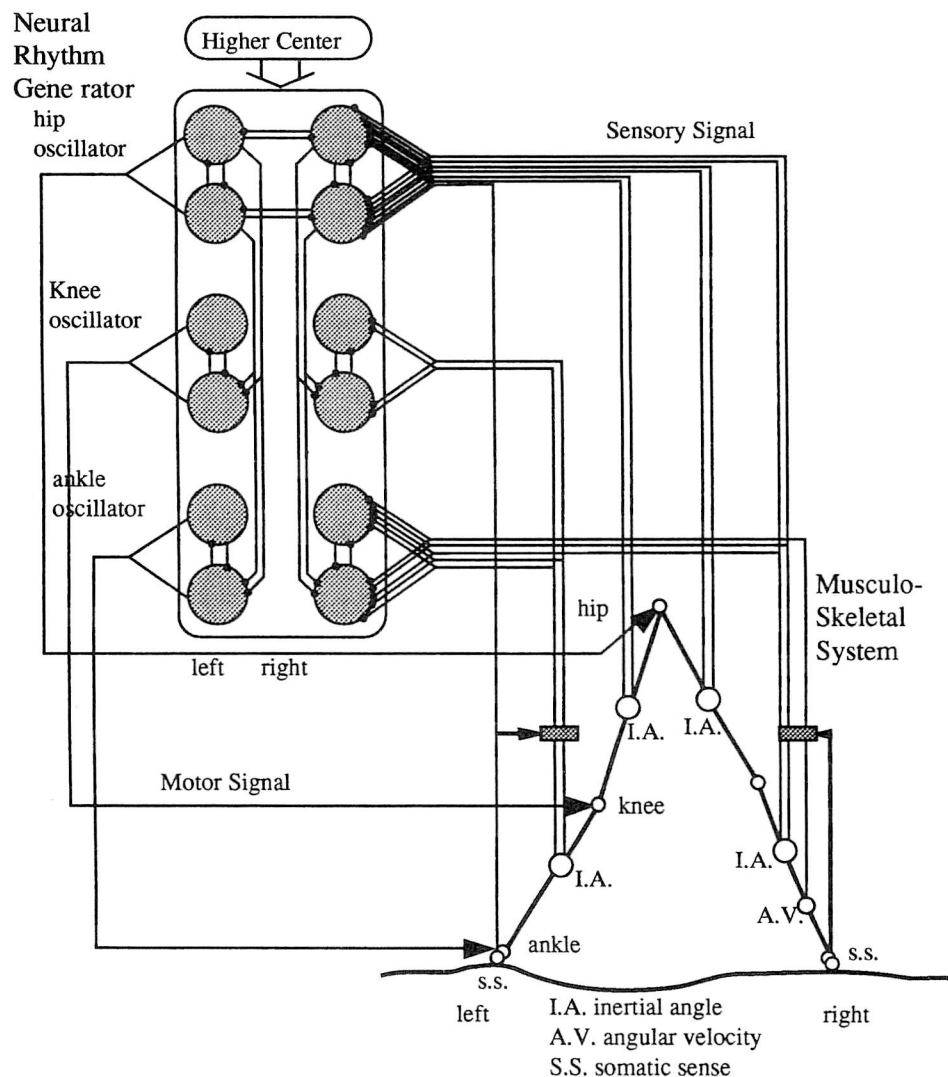


図3-12

空間微分、つまり位相勾配と考える調べてみると、図3-13の下側の図に示しましたようなリニアな、左側が先頭で右側が末尾ですが、位置に依存して一義的に位相勾配の値が決定されるこのような全体のパターンが観察されました。このパターンをよく見てみますと、たとえばある位相勾配に注目すれば、それに対してロボットシステム全体の中の位置が一義的に決まることになっています。つまり、このような位相勾配パターンは、システム全体の中での相対位置を示す一種の座標系のような役割を担うこととなります。そしてこの関係の情報が、個々のロボットの役割を規定する拘束条件になります。

もう一つ言っておきますが、いま説明した現象は、いま使っているロボットに限定されるものではありません。むしろ、もっと普遍的性質であって、振動的な性質を持つ構成要素の間でのコミュニケーションであれば、ほかのケースでも非常に広い領域で成立します。これは確認をとってあります。

そして次の問題が、このような情報を使ってどのように機能分散を行わせるかということです。(図

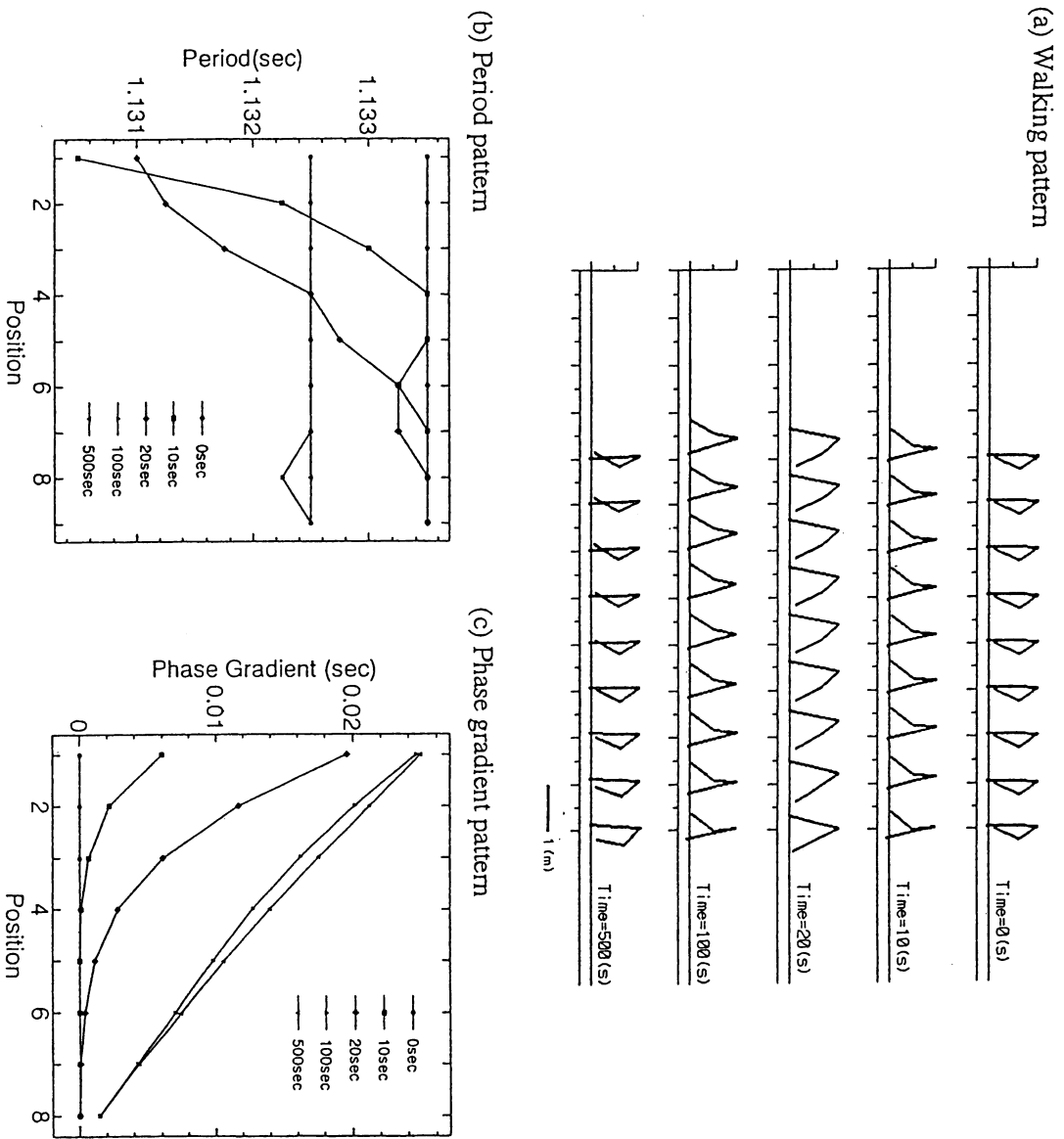


図3-13

3-14) つまり、グループ全体としての関係的機能をどう生成させるかという問題になるわけです。そこで、各ロボットに、局所的な位相の空間微分を解釈させて、自分のいる位置を判断させ、それに基づいてロボットにグルーピングを行わせることを試みてみました。ここには一例として、3つのグループを形成させた場合を示しています。グループを形成するということは、それ自体では機能と直接的には関係していませんが、各グループが位置に応じて異なる機能に対応すれば、全体としての関係的機能を生成させることが可能になります。その意味で、関係的機能の最も基本的な形態と見做すことができます。

このとき、個々のロボットに持たせる判断のルールはどれも同じもので、あらかじめどのグループに入れるとかはまったく決めてありません。だからこういうパターン生成の途中でロボットをシャッフル

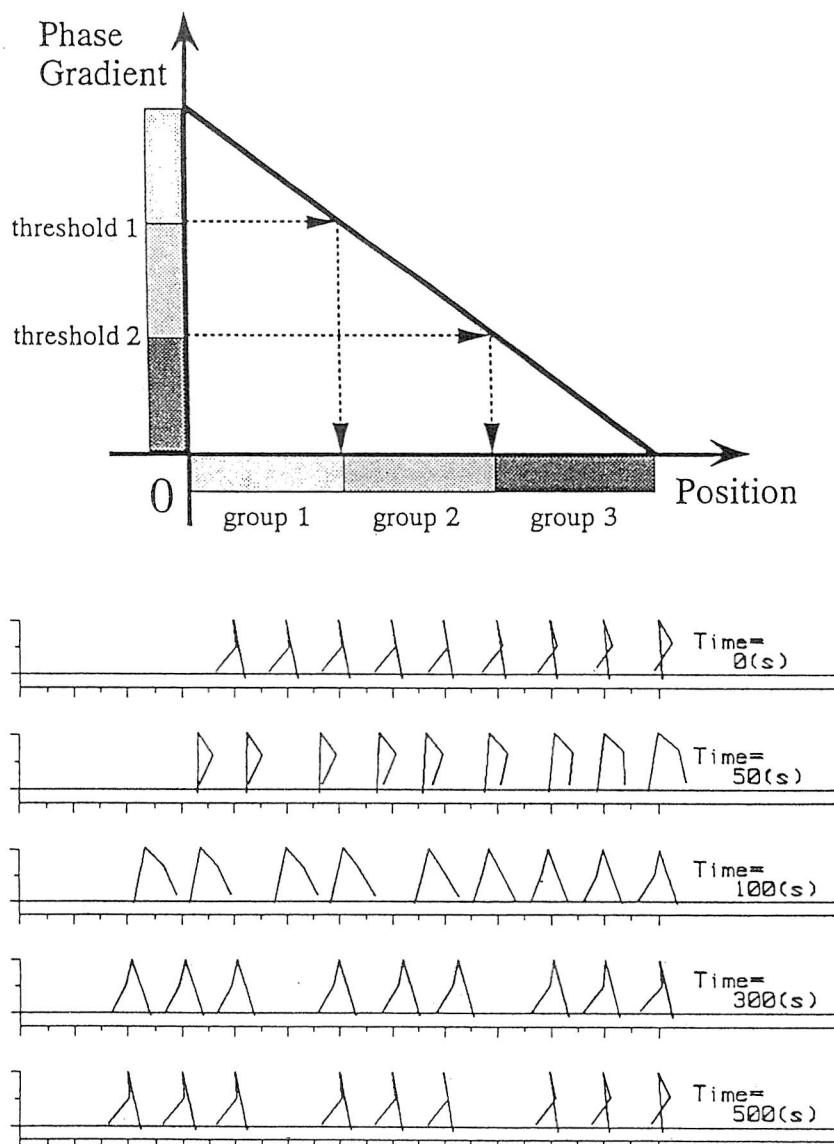


図3-14



しても結果的には同じ形ができます。ただし、このような位置に関する情報を解釈するルールがだけではあらかじめ外部から人間が設計しておく必要があります。つまり、より具体的に言えば、システム内部での位相勾配と位置の対応関係に関するルールと、位置と帰属グループの対応関係に関するルールです。その意味では、人間はシステムをいっさい明示的に設計しないのではなく、一種のメタレベルでの設計を行っていると言えるかも知れません。(図3-15)

このように多体ロボットシステムを構築することで、グループパターンを自律生成させることができました。しかし、このとき本当にこれが先ほど言ったような創発的システム設計を実現しているのかどうか、本当にこれが関係の機能として生成されているのかどうか、つまり1個1個のロボットがほかのロボットの相互関係を自ら判断し、自分の役割を自己規定していく、そのような自己言及的な制御ができていのかどうかを明らかにする必要があります。

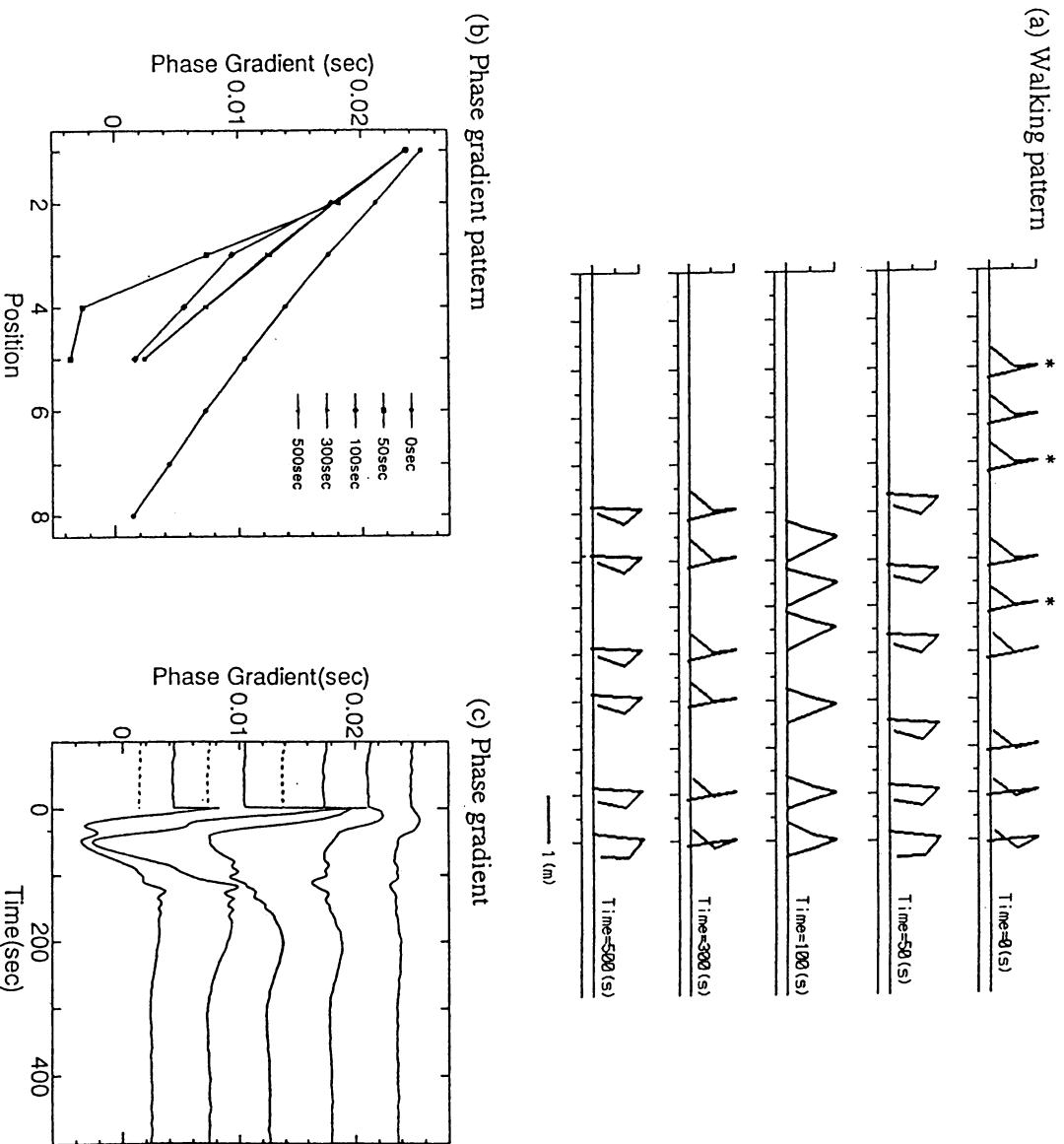


図3-15

そこで、このように9体のロボットが右に向かって3体ずつ3グループを編成して歩いているときに、このアスタリクスで示した3体を突然除いてみました。そうすると、図3-15の下側の図のように、これまでの全体的な位置関係を教えてくれていた位相勾配パターンが再構築されて、グループ編成がこのような2体ずつの3グループの形になりました。3グループを編成することがあらかじめ設定した目的ですから、このように予測できないシステムサイズの変化に柔軟に対応して目的を達成していることがわかります。

ここで注目してほしいことは何かというと、位相勾配パターンとシステムサイズの関係です。9体の時はこのように変化していたわけですが、6体になるとこのようになり、結果的に、両端の位相勾配の値が同じですから、ある位相勾配の値に注目すると、システム内部における相対位置を表現することになります。つまり、例えばこの0.012か0.013あたりの位相勾配に注目すれば、6個の場合にもシステムのほぼ真ん中ですし、最初の9個の場合もほぼ真ん中というふうに、相対位置を表現している可能性があるということがわかってきたわけです。つまり、単に位置を表しているだけではなくて、システム全体のなかでの自分の相対位置です。

そこでこれ以外にもいろいろな予測できない状況を作ってみようと思ひまして、いろいろな意地悪を試してみたわけです。(図3-16)たとえばこの場合ですと、こことこことここを除きましても時間がたちますとこういうふうに再構成されます。ここまで来てしまえばいくらでもできますので、ロボットを追加する場合もやってみました。ここには示していませんが、たとえば6体3グループからできていて、3体追加するとやはり3体ずつの3グループに再構成できます。このときも位相勾配で表現されている相対位置に関する情報が再構築されていました。

ここで取り扱っている問題は、どのロボットが除去されるか、追加されるか、さらに最初何体のロボットから構成され、それが何体に変化するのかなど、組み合わせ的に考え明示的に記述しはじめるとそれだけで発散してしまう問題です。ここに提案している方法は、そのような問題を、あらかじめ起こり得る全ての場合に対して明示的に記述するのではなく、拘束条件を自己創出することで解決しています。特に、相互引き込みを通して生成する位相勾配パターンが、システムサイズによらず常に同じ相対位置を表現するという性質に基づいています。そして、それが自己言及的にシステムを設計する上で、本質的な役割を担っています。

以上のように自己言及性に基づく創発的システム設計の可能性が示されました。(図3-17)つまり、個々のロボットの役割はあらかじめ明示的に規定してあるわけではないのですが、状況に応じて個々のロボットがどのような役割を取ればよいのかということを目発的に規定するための情報を自ら作りだす。それは自他の関係に基づいて自分のあり方を自己規定するということですが、こういう非常に開かれかつ統合された「場」と呼びうるような秩序を形成することを通して、自己の在り方を規定する拘束条件を自己創出していることとなります。

したがって、一番最初の問題設定のところで取り上げた問題ですが、人間と人工システムの関係として、こういうシステムの中であれば人間も共存できるのではないだろうかと考えました。つまり、人間が人工システムに制御を加えるという、制御する側と制御される側を分ける考え方ではなくて、人間と人工システムが共同して機能を生成していくということ。ちょっと表現がまずいかもかもしれませんが、私はそれを「参加」という言葉で呼んだらいいのではないかと思います。つまり人間が主体的に参加できる開かれた人工システムを作ったらどうだろうかと考えました。

先ほどまでの説明にでてきたロボットはすべてモデルシミュレーションです。一つのロボットだけで30変数以上あります。そして、その連立微分方程式を解くことで、仮想的ロボットシステムを構築したことになります。それらはあくまでもシミュレーション上のことでしたが、人間と相互作用をさせると

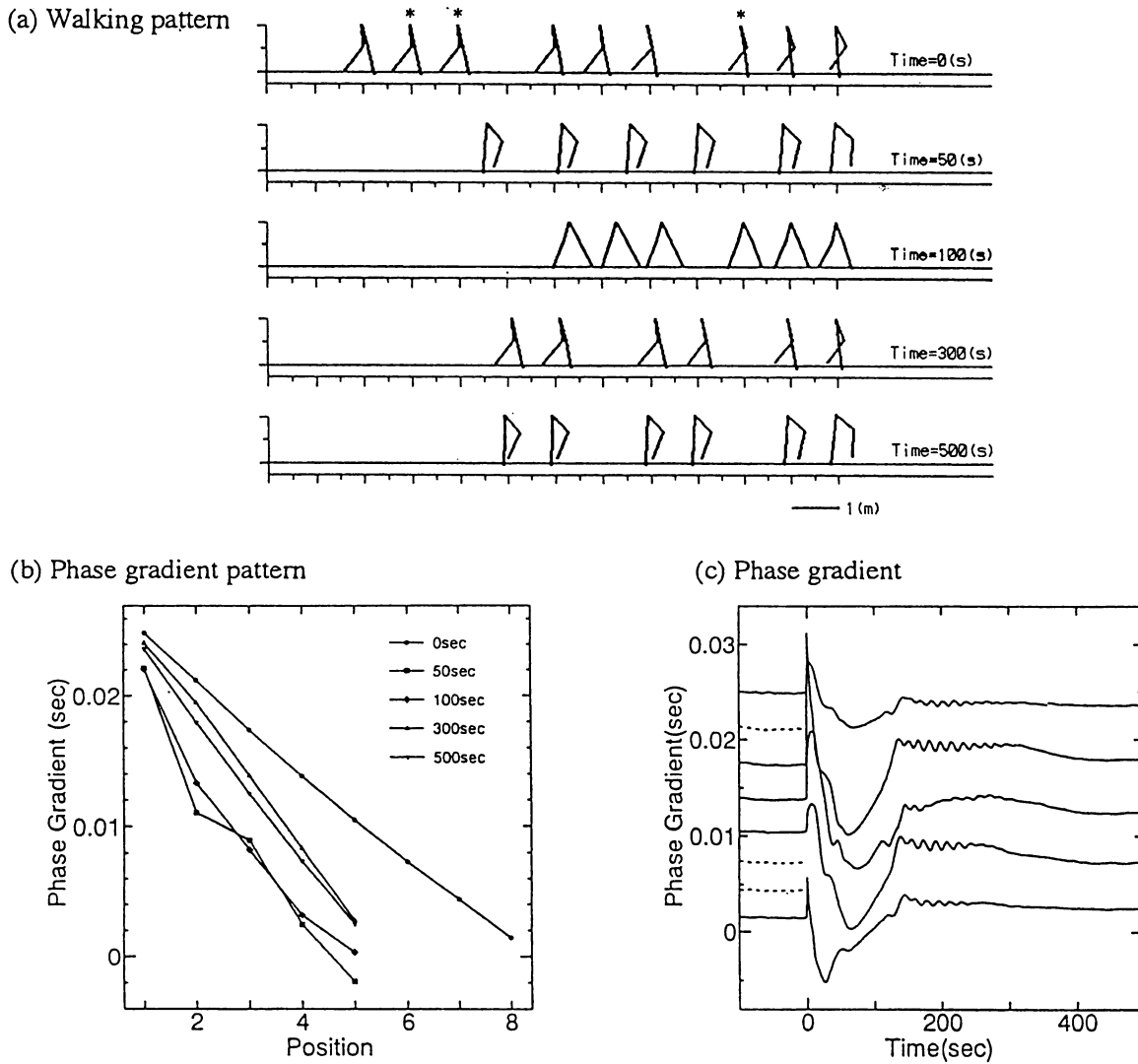


図3-16

3. 人間—マルチロボット共生系の構築

- ・人間が主体的に「参加」できる創発的ロボットシステム
- ・システム設計における解放性と統合性の両立

図3-17

なるとそうはいきません。そのため、一方でワークステーションのなかで先ほどのロボットモデルをリアルタイムでシミュレーションし、もう一方で実際に人間が実空間のなかでリアルタイムで歩行運動している状況を構成し、それらの間でコミュニケーションさせてみました。(図3-18)

具体的には、人間の足の裏に接地センサを付けて、これを電波で飛ばしてワークステーションのなかのロボットの神経系に入れてやる。逆にワークステーションの中のロボットの足の接地状態を調べて、それを音として合成して電波で飛ばし人間にヘッドホンから入れてやる。こうやると先ほど説明した人間とロボットシステムとの間での引き込み的コミュニケーションが可能になります。これは結局、人間とロボットが別々のものとして存在するのではなくて、それがお互いに協調して関係的な機能生成を可能にするシステム構成です。そこで、本当にこのようなことができるかどうか調べてみました。

図3-19は2年くらい前の写真で、この当時はまだパソコンでシミュレーションやっていましたが、こういうふうに背中に送受信機を積んで学生に歩かせるわけです。

こういうことをやってみまして何がわかってきたかということ、例えば図3-20の上側の図では、実線がロボット、点線が人間を示しています。人間はなかなか一定の周期で歩けませんからこういうふうになんか乱れていますが、この矢印のところから引き込み的コミュニケーションを開始します。そうすると、もともと異なっていたロボットと人間の歩行周期がほぼ両者の間でうまくそろってきまして、全体として一定のオーダーを生成していることがわかります。多体ロボットの場合に、引き込んだときの位相関係のうえに拘束条件が表現されるということでしたので、位相関係の生成は重要です。そこでこの場合でも位相関係調べてみると、図3-20の下側の図のようにわりあい安定に存在することがわかりました。

ここまで調べてみるともう少し調べたくなるのが人情で、じゃ、これはロボットとロボットの間とか人間とロボットの間だけに成り立つものなのか、もっと広くは無理なのかと思ひまして、今度は人間と人間で調べてみました。(図3-21) 先ほどお見せしたような装置を2台使えば、人間1と人間2で実験できます。人間ですから最初からかなり乱れていてそんなに周期が安定にならないのですが、2人の人間で同じ実験をやってみると図3-21のようにほぼ安定な結果が出ます。このように考えますと、いまここで提案している制御の方法では、ロボットという人工システムと人間をまったく区別せずに同じ制御ルールのもとで協調させることができる、そういうシステム設計方法になっています。これはインタ

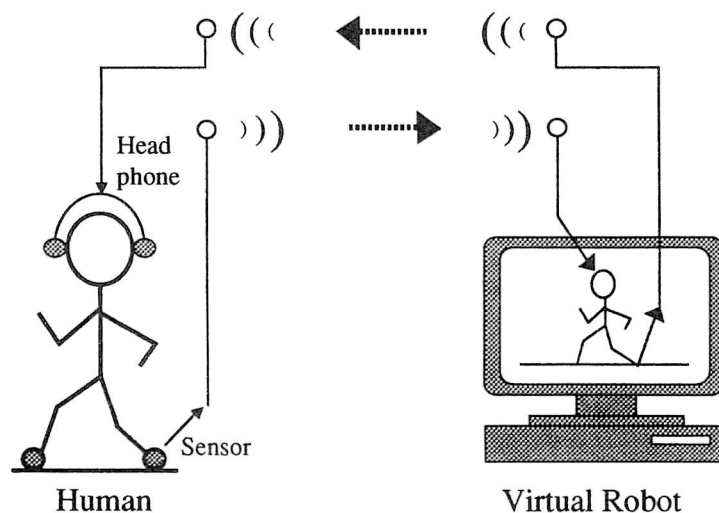


図3-18

ーフェースという概念をこえて、両者を区別しないシステム構築としての一つの提案になるのではないかと考えられます。

そこでこのようなシステムを実際にもう少し進めてみようと思って、これはたいへんな実験だったというか、まだやっているのですが、ワークステーションを4台並列につないで、1台1台で先ほどのロボットをリアルタイムで計算します。そしてこのなかで人間とマルチロボットシステムとの間のコミュニケーションを行わせてみました。(図3-22)

図3-23は最近の実験風景ですが、だいたいこの写真のような感じで行っています。ワークステーションが4台あって、人間側の通信装置は以前よりずっとコンパクトになっています。4つのワークステーション上で4体のロボットがそれぞれ1体ずつ実現されており、ここでは特に、4体のロボットとその先頭を歩く人間というフォーメーションで何ができるかを調べてみました。

図3-24はそのときできた位相勾配パターンです。一番奥のところが人間に対応し、1体目、2体目、3体目、4体目のロボットというふうに並んでいます。そうしますと人間とロボットを含めて、先ほどの多体ロボットのときに見られたように、全体のなかでの自分の位置を示してくれる位相勾配パターンが生成することがわかります。

まずグラフの盛り上がっているところまでを見てください。ちょっとリニアではないのではないかというご意見があるかもしれませんが、これでグループフォーメーションのコントロールができます。そしてその右側のところで急に位相勾配パターンが変わっていますが、これは何の理由もなく急に変わったわけではありません。実は人間が少し歩き方を変えてみたわけです。つまり人間がオーダーの生成に対して構成要素として参加しつつ、さらにそのプロセスにどのような主体的制御をかけることが可能か

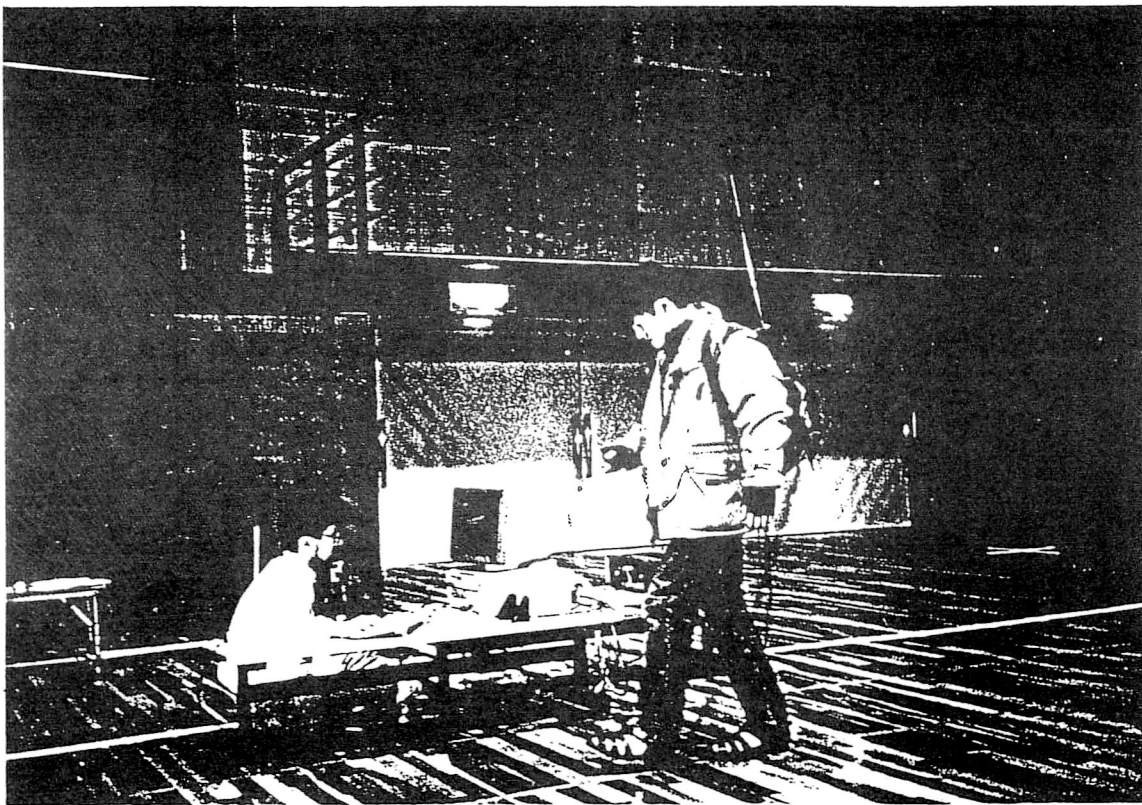


図3-19

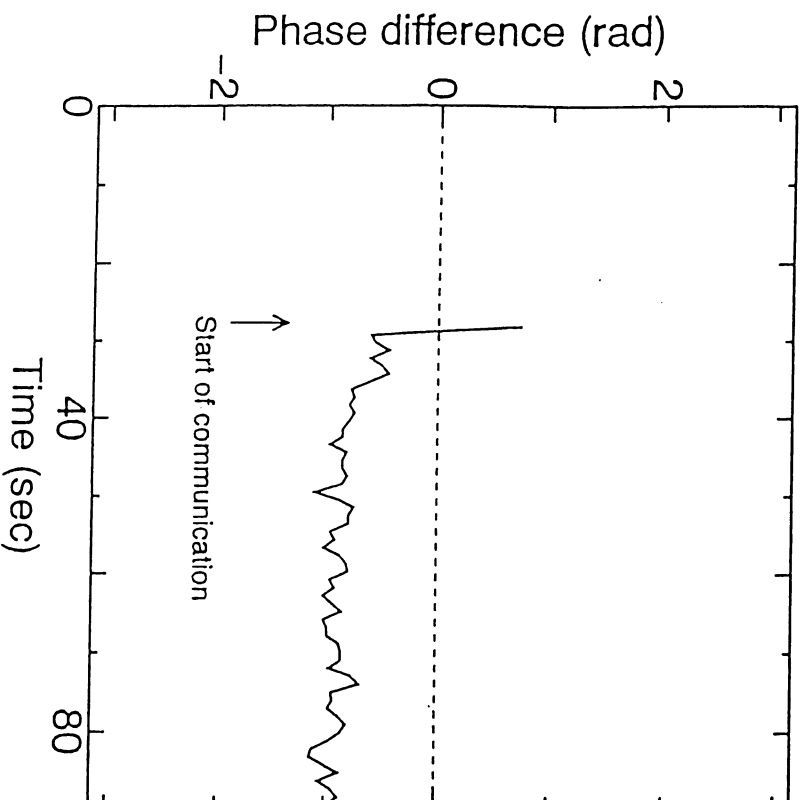
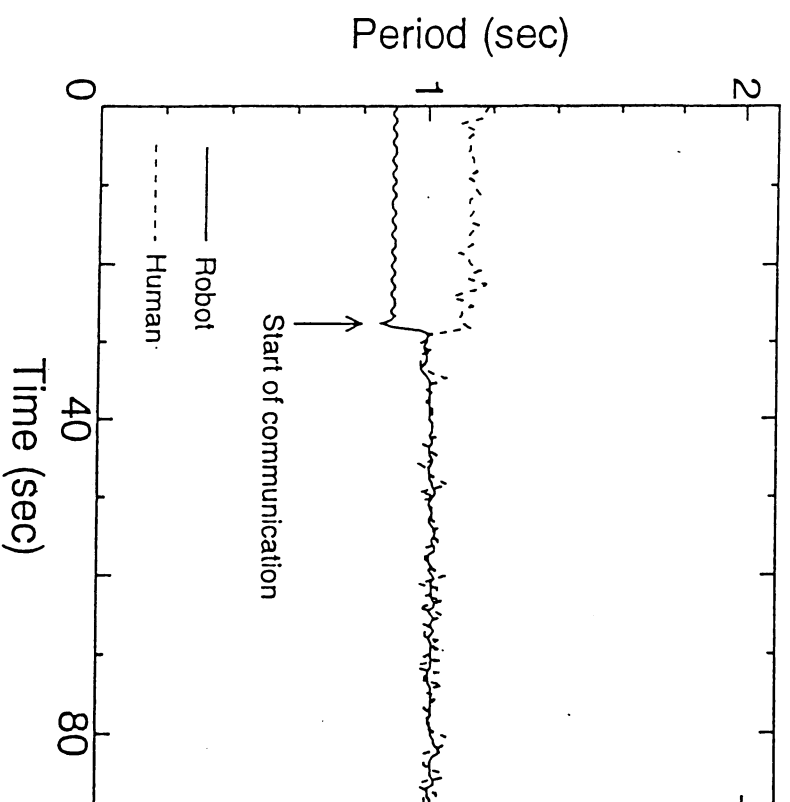


図3-20

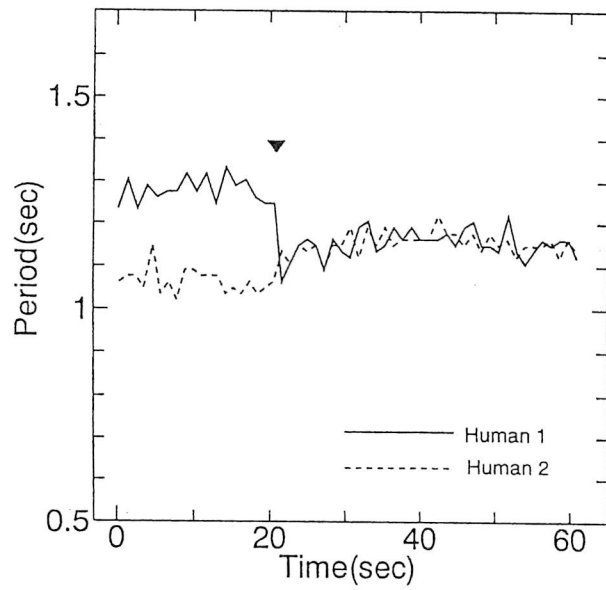


図3-21

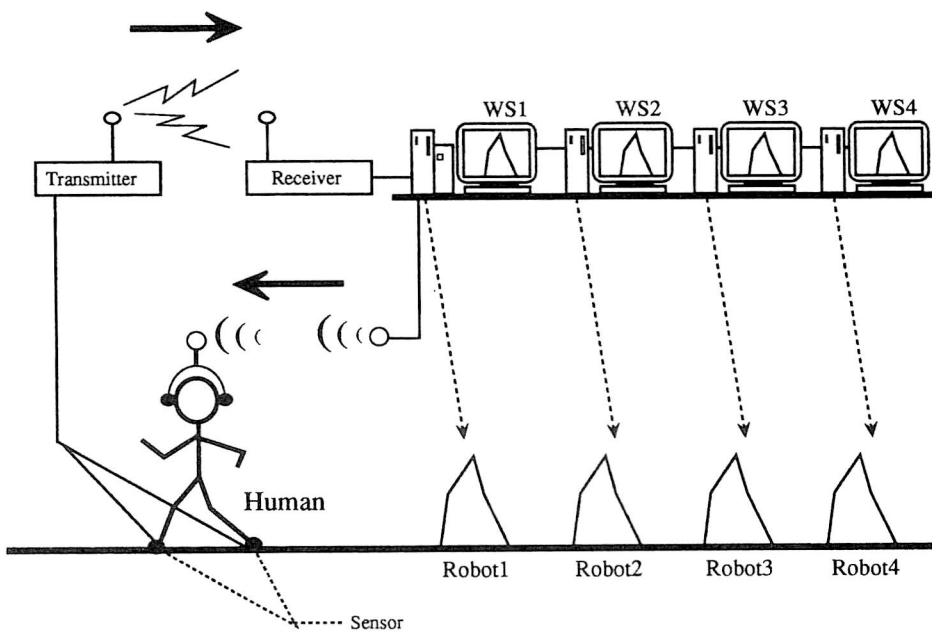


図3-22

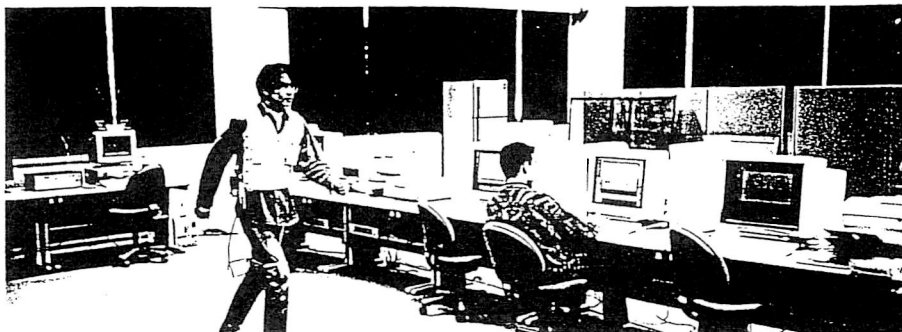


図3-23

という観点から、人間のほうからモジュレーションをかけてみたわけです。

どうやったかという、ちょっと人間が遅めに歩いたんです。言い換えると、これは人間の固有振動数に若干変調をかけるということに対応しています。最初に申しましたように、局所的な状況はフリーケンシーでコーディングされるわけですから、人間の部分的な状況として、いま言ったような振動数変調をかけることは意味があることだと思います。

そして図3-25はそのときのフォーメーションですが、ロボットが4体しかないので2グループに設定してあります。先頭の人間は表示してありません。ここまでが先頭の人間がフォーメーションを形成させるところです。この250秒付近から人間が振動数変調を通してこのようなオーダーの生成の仕方に入ってみますと、このようにまたフォーメーションがない形に戻すことができます。当然これはまたもとの状態のほうに戻すこともできます。このように拘束条件の生成に対して、このシステムは人間からの主体的介入を許しています。つまり人間は構成メンバーとして創発的システム設計に参加しています。

話としてはここまでであとはビデオしかないのですが、ここまですと次(図3-26)のようになると思います。私は最初からシステム設計という問題に注目してきたのですが、そのときの基本的な構造は何かというと、自他非分離、つまり人間と人工システムを分けることができない場合にどうしたらいいかということであったわけです。しかもそれを外から見るのではなくて、そのようなシステムのメンバーとして参加者の視点から、つまりそのなかに入って内側からシステムを見る場合にどうなるのか、分けることのできないシステムを内側から見るとシステムはどう見えるだろうかという問題設定で考えたら、先ほどのような制御の仕方に到達したわけです。

もう一度繰り返しますが、局所的な状況が振動数でコードされ、それが引き込まれたところである一定の空間的な位相パターンが形成されます。そのなかの局所的な特徴である位相勾配のなかに、全体のなかでの相対位置に関する情報がコードされ、それがまた個々構成要素のあり方に戻ってくるという自己言及的なループです。そしてこのようなダイナミクスの特徴としては、このような自分のあり方を規

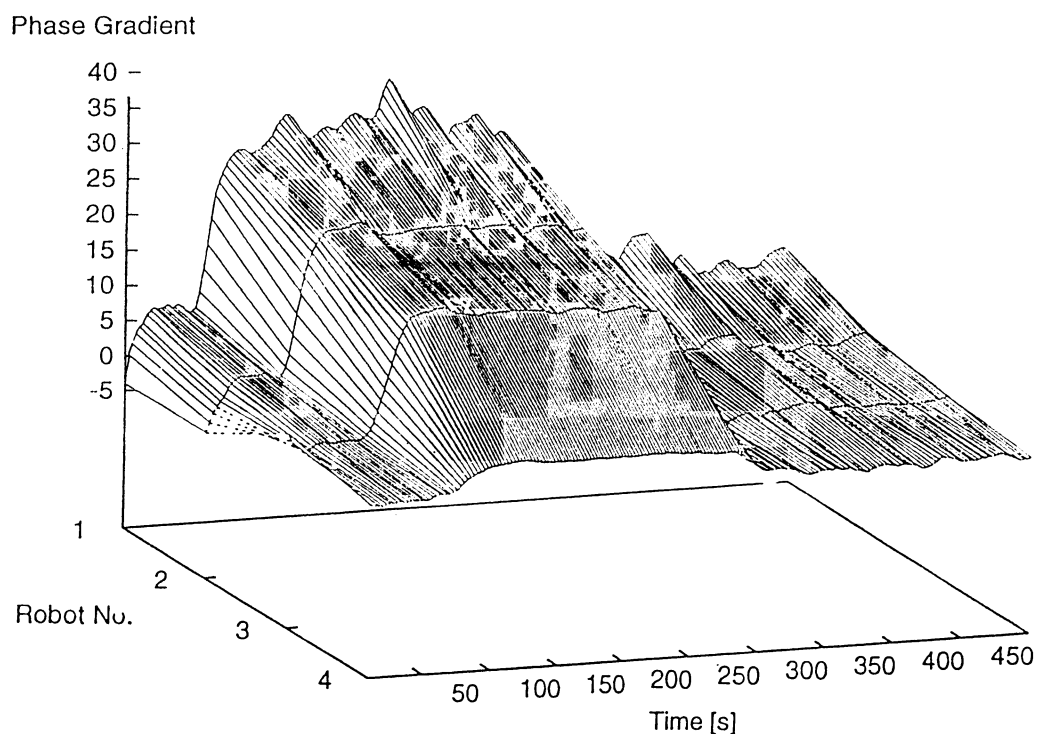


図3-24



セッション3：ALは工学の新しいパラダイムとなりうるか？

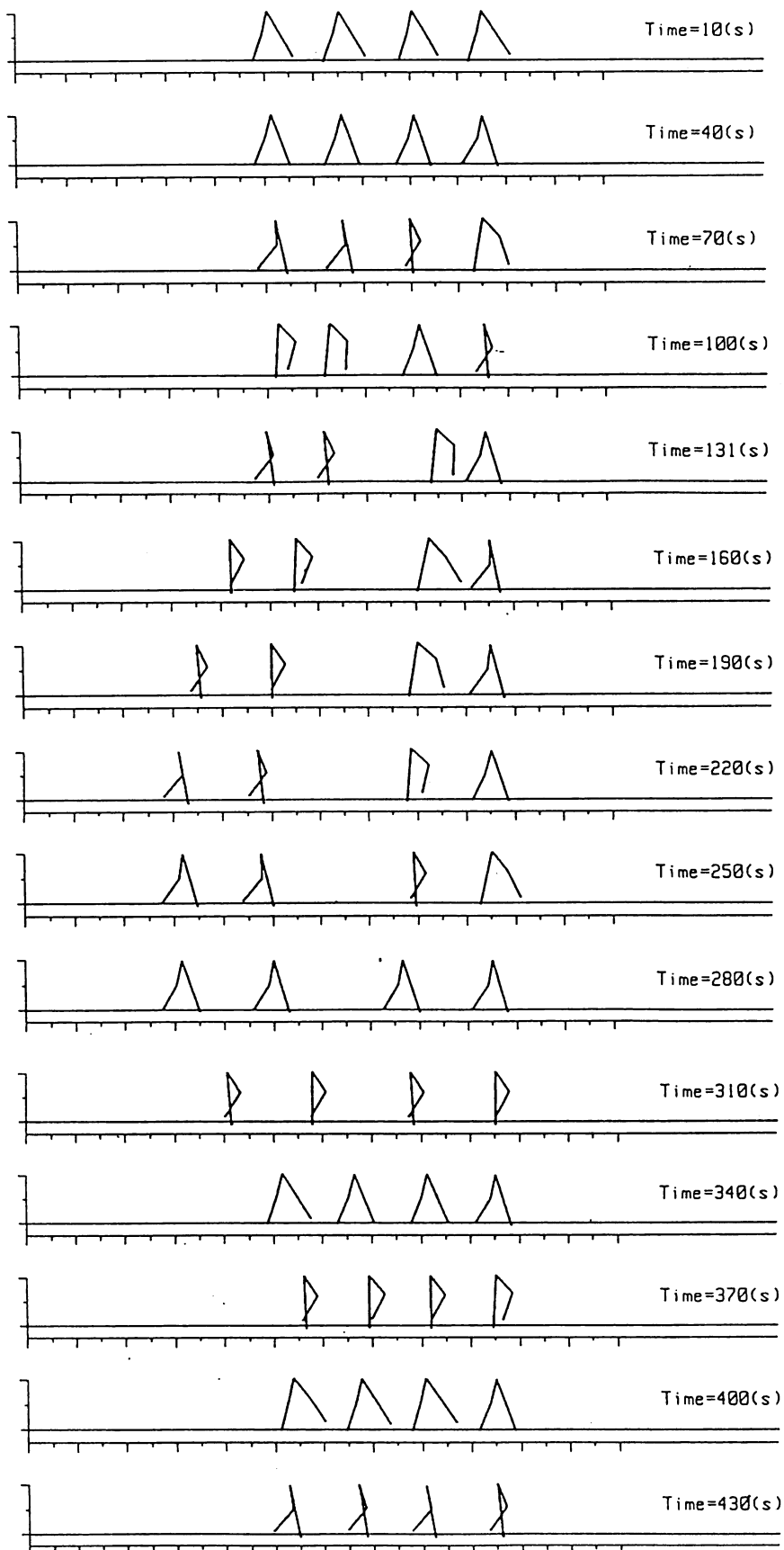


図3-25

定する拘束条件を自分で生成するという自己超越性が一つです。それとその結果としての拘束条件がもう1回自分のあり方に戻ってくるという自己言及性がもう一つです。これは人工生命の立場の人から言ったときの創発の問題のエッセンスとしての二つ、階層性の生成の問題とその階層間での情報の循環の問題に対応するのではないかと思います。

要するにあらかじめ機能は規定されていない。機能がないわけではないのですが、どの機能を取るかを規定できない無限定な要素の集団があって、そのなかで相互作用を通して全体のなかでの部分を表現する拘束条件を生成、それに基づいて要素が自発的に機能分化をする。こういう自己言及のループのなかで、初めて関係的機能の創発が可能になります。だからこのような「場」的システムの重要な特徴だと思いますが、このようなシステムで初めてシステム設計における「開放性と統合性」を両立させることが可能になります。一般的に言えば、システムがオープンであるという問題とシステムが統合されているという問題は相矛盾する問題だと思います。その相矛盾する問題を両立させることによって初めて、共生的、つまり人間に優しい人工システムができるのではないかと私は考えています。

もう少しリアリティを持っていただくために、この後はビデオで説明させていただきます。

私はもともと細胞生物学からスタートしており、アメーバ状の生物をかなり長く研究していました。(図3-27)

図3-27は粘菌で、私がずっと研究してきた生き物です。この長さが10~20センチあります。これは見えてわかりますように色が薄くなったり濃くなったり周期的に変化して、波が空間的に伝わっているのがわかります。

北野 何か染色しているんですか。

三宅 いえ、染色していません。これはそのままなんです。もともと黄色い色をしていまして、ふつうの可視光で見えるんです。

これが秒、これが分です。だから時間を圧縮して見えています。

とりあえず今わかってほしいのは、振動しながら行動しているということです。

この振動と行動がいかに関係しているかということが次のビデオでわかります。特に、そこではリズムが位相波として観察され、そのリズムの空間的な引き込みの結果、個体全体としての協調的行動が決定されているということがよく表されています。

これなんです、よく見ていてください。最初、動いていません。このときにどのように位相波が伝

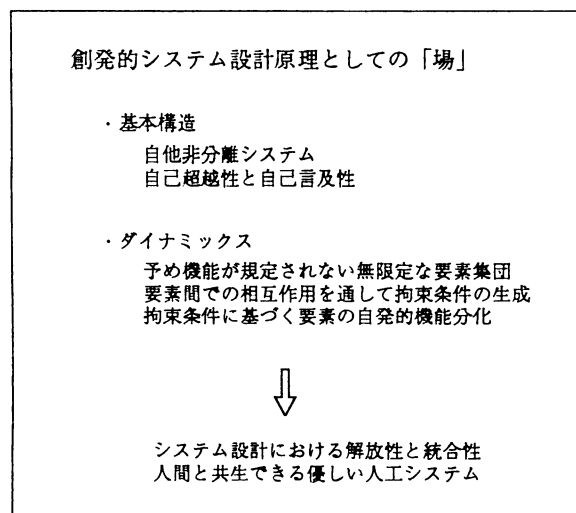


図3-26

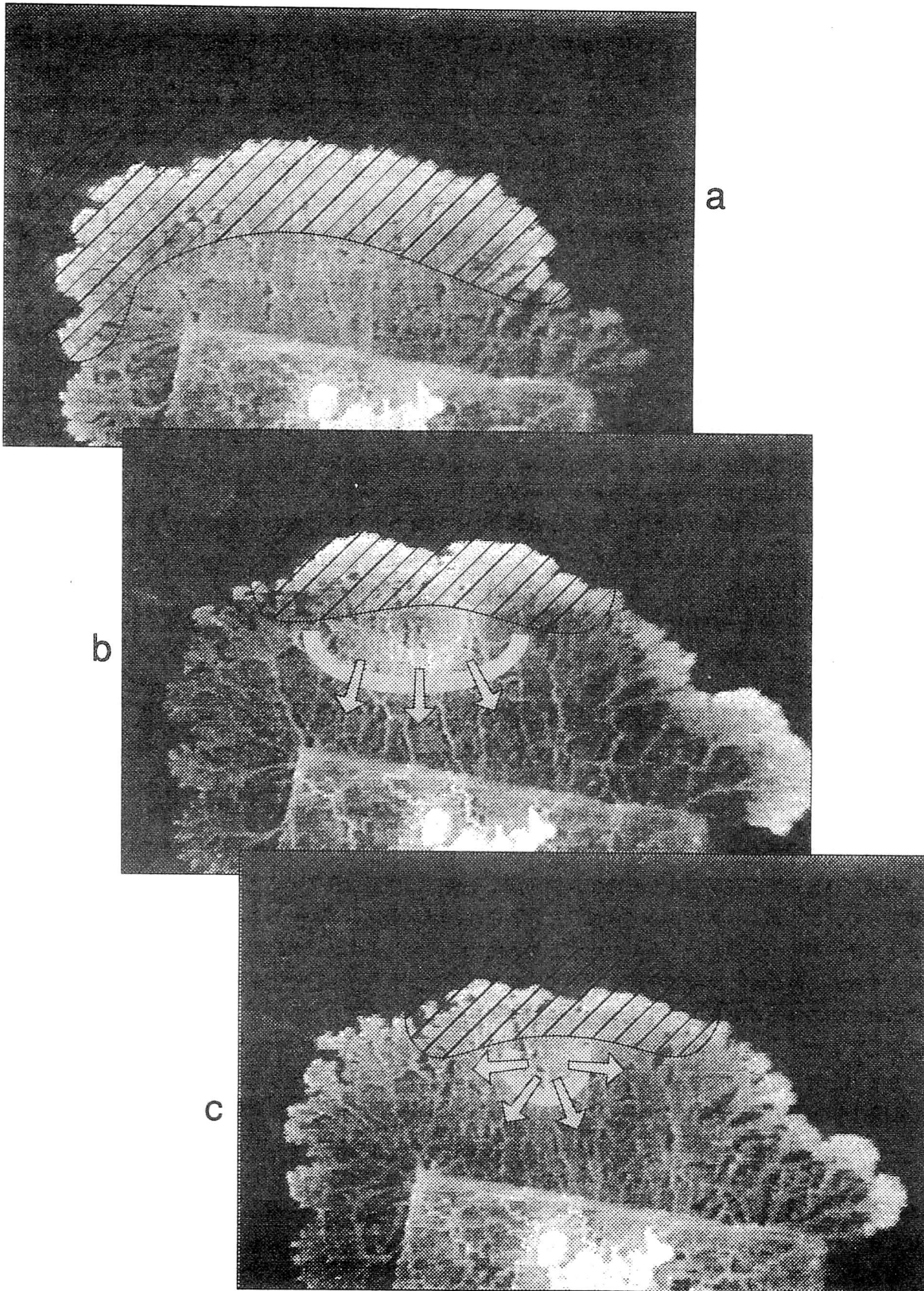


図3-27

わっているかを見ていただきますと、最初はかなりランダムな伝わり方をしているはずですが、今は右から左へ行っています。今は上から下のほうへ行っていて、いろいろなところが勝手に振動していることがわかります。

そのうちに左上にコアができてきて、ここら辺が支配的になってきます。そして、そこを中心として位相波が発生するようになります。そうするとその位置へ向かって個体全体が協調的に動いていきます。この端から端までで30センチぐらいありますが、脳とか神経とか一切ありません。体が非常に軟らかいので各部分がアクティブに動かないとこういうことはできないのです。ということはそれぞれの構成要素は、いま、どの方向のどの距離のところはどういう情報が入ったかということがわかっているということになります。

上田 分化をしていない？

三宅 分化してないんです。だから今から分化するわけです。要するに、ここへ行こうとなったら、ここを中心このように位相波が形成され、それに応じて形態が再分化するんです。

位相波というのは位相の時空間的なパターンですけれども、その位相勾配の空間パターンに全体のなかでの部分に関する情報が乗っている。だからこのように真ん中の上のほうが強くなってきて、ここへ向かって全体が協調的に集まってくるということが見られます。

北野 位相波の実体は何ですか。サイクリックAMPですか。

三宅 これはサイクリックAMPでも見られますし、サイクリックGMPでも見られますし、ATPでも見られるし、プロトンでも見られる、カルシウムイオンでも見られます。

北野 今のは何ですか。

三宅 それらが実は一定の位相関係を取りながら同期して振動しているんです。私は少なくともこれに関してはカルシウムでは測定しました。ただカルシウムではこんなに黄色く見えません。

いまお見せしました粘菌のビデオから、リズムが引き込んで同調することと、システム全体が自発的に機能分散をしていくことが密接に関係していることがわかったと思います。

図3-28は多体ロボットの例ですが、時刻がゼロになったところで、このうち3個のロボットが除去されます。いま3、3、3で3グループ形成されていますが、これが3体除去したときに何が起るかを見てください。

はい、ここで消えました。

先ほどOHPでご説明しましたので、何が起るかはご理解されていると思いますが、こことここは固まって、これがこっちに寄ってきて、これとこれとがだんだんグルーピングをしてきます。一過的にディスオーダーの状態ができるのですが、最終的には収束します。これは動いていますので位相関係は見えません。しかし、時々ビデオを止めて位相関係を見てもらうと、空間的な位相のグラジェントが形成されていることがわかるはずですが、その結果、それを使ってこのようにグループパターンがだんだん安定してきます。

ちょっと時間がかかるように思いますが、これは速くなるように設定することもできます。べつに遅いからといってだめなわけではありません。

だいたいこれでグループの再構築が出来上がったところだと思います。

もう一つ、人間とロボットのコミュニケーションのところのビデオもお見せします。もう一度テープ1に戻ってください。人間とロボットが引き込みのコミュニケーションをしているところの風景をお見せします。

もっと速送りしてください。なかなかビデオがうまく操作できていませんが、最近のAV機器はこういう意味でブラックボックス化しているわけです。もっと簡単にAV装置を使えると便利なのですが、

これが今のAV機器のよくない点だと思います。最近のビデオのリモコンを見ますとボタンが山のよう  
に付いていて、どれを押していいのかさっぱりわからない。「説明書をご覧ください」と書いてあ  
るけれども、説明書を見てもわからないぐらいたくさんある。ああいうのはまさに今日私が言った前者  
のほうの実体論的システム設計の立場に対応します。

またビデオの最初に戻ったので時間がありますからもう少し余談をしますと、こういう話に関連して  
ちょっと思いますのは、この間名古屋で飛行機が落ちたことです。ああいう事故の原因を考えますと、  
いまもめていますけれども、パイロットがよくマニュアルを読んでいなかったのではないかという話も  
あります。しかしあのようなシステムを設計した責任も大きいと思います。あのシステムの設計の基本

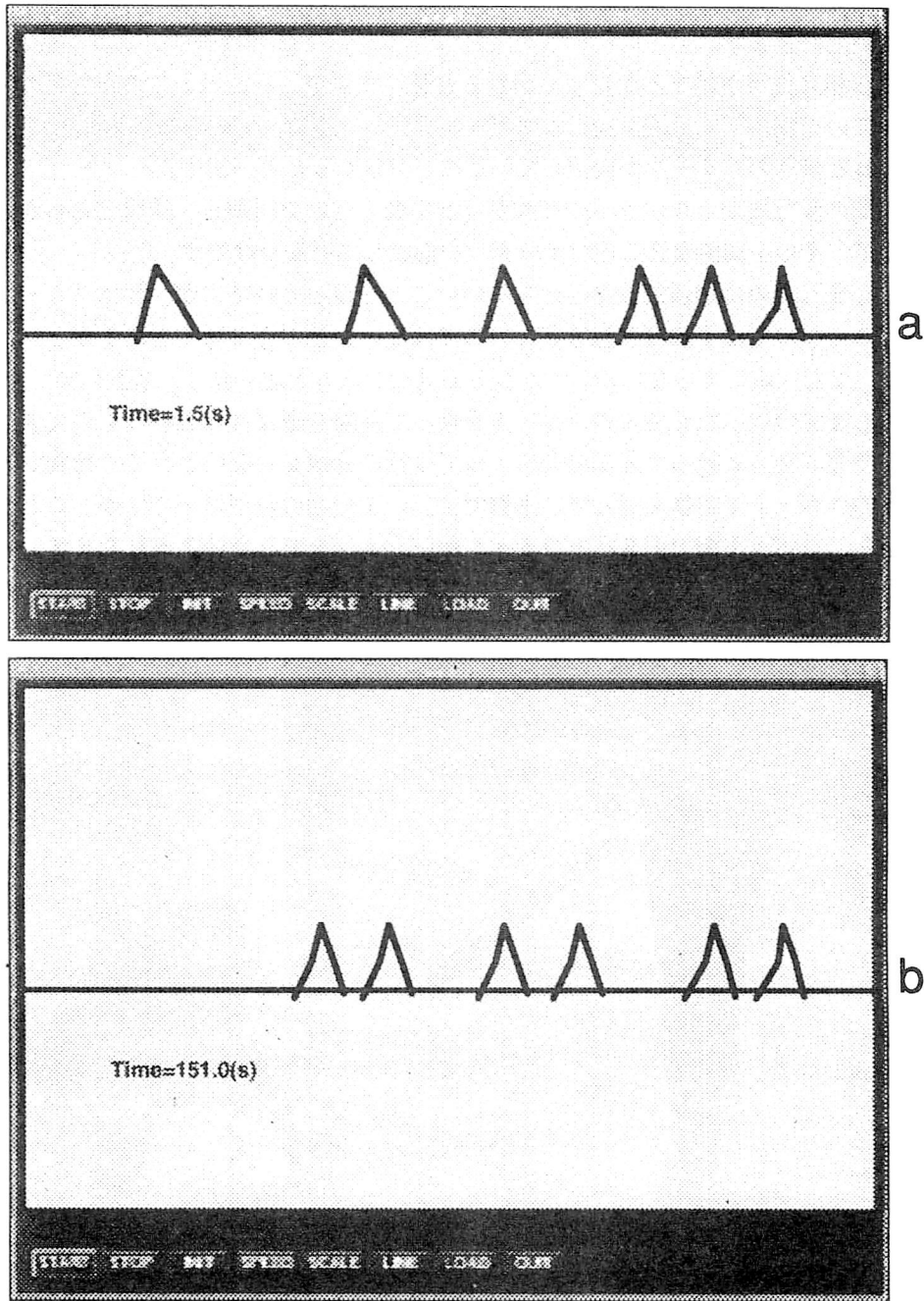


図3-28

は人間の主体性を排除する方向で自動化を行っているのではないかと思います。

はい、ここでいいです。

図3-29はオールドバージョンの実験で、うちの学生が歩いています。背中に背負っているのが通信機で、耳にこういうヘッドフォンを付けてまして、足の裏にセンサを埋め込んであります。これらが先ほど言ったようなものになっています。

今から同調するところをお見せします。

体育館で実験しており、最初は人間がフリーで歩いています。このあと途中から人間に音を聞かせるところになったところで、この画面の上に音をスーパーインポーズしてあります。そこから歩き方が一過的に乱れて同調してくるのがわかると思います。ここらへんです。

もう一度見ていただきます。

どのあたりから相互作用が始まるかはすぐわかると思いますが、そのところから足の動きが一過的に不自然になっています。それは引き込むまでのトランジェントで、そのあと安定化しているわけです。ここです。ちょっと歩きのパターンが変化していることが分かると思います。

ももとの人間の歩行周期とロボットのそれがほぼ中間ぐらいで同調し、結局どちらかに合わせているわけではなくて、その中間的なところでオーダーを形成しているわけです。

今までお話ししたのは関係的機能とかっこいいことを言っていますが、要はグループを作っただけではないか。こんなのではそれほど意味がないのではないかというお考えもあるかと思います。これはいま研究中で、まだ完成していないのですが少しお見せしようと思います。(図3-30)

今からお見せしますのは、たくさんのロボットを使って荷物を運ばせるというものです。そのような場合、前のほうで運ぶ場合と後ろで運ぶ場合によって役割の分担をしないとうまく荷物が運べないんです。これは6体のロボットで荷物を運んでいる例です。いま荷物の色が黒いですが、これが途中で赤くなったところから、ロボット間で引き込みコミュニケーションをできないようにします。いまはこれらのロボットがうまく相互作用していますから、お神輿のようにゆさゆさしながら運んでいます。しかし、



図3-29



途中でコミュニケーションできないように相互作用を切ってみます。そうすると何が起こるか見てください。荷物が赤い色になったところでコミュニケーションを切ります。今はまだ青ですが、赤になったところでコミュニケーションできないようにすると何が起こるか。

ここです。(笑) こういうことが起こるんです。

こういうふうに関能というものをただ単にグループを作るだけではなくて、位置ごとに積極的に違う役割をしなければいけないものとして捉えようとしています。こういう方向での関能の分担ということは、たぶん関係的関能の創発の本質を表していると思います。そして、たとえば人間が先頭について後ろから多体ロボットを連ねて荷物を運ぶというシステムができたらおもしろいなと考えています。

もう一回見てください。ここからです。(笑) こういうことです。

一応私の発表はここまでで終わります。

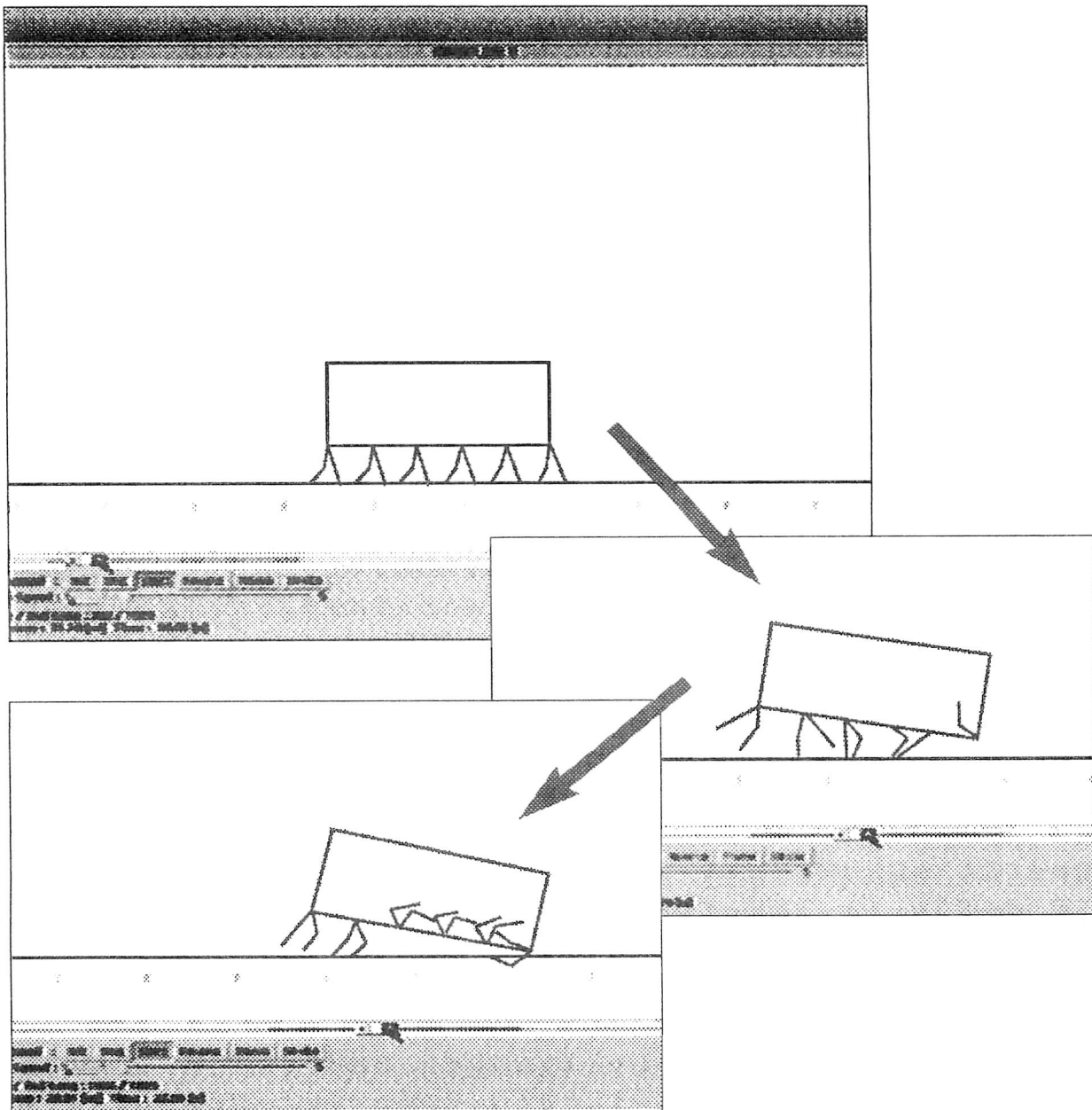


図3-30

### [セッション3] ディスカッションー1

司会 ご質問、コメントがございましたらお願いいたします。

中島 人間が系のなかに含まれているようなシステムが大事だというのはそのとおりだと思います。

三宅 はい、それをやりたいわけです。

中島 ただ、よくよく考えてみるとブラックボックスのビデオだって、結局、人間は系のなかに含まれているのではないかと思いますけれども、もっと端的な例として、車の運転を考えますと、あれは本当に物理的ななかにいます。たとえば初心者が車を運転すると蛇行して、先ほどのオシレーションと同じようなことが見られるわけです。車はおっしゃっているような人間がなかに含まれたシステムとして見ていいのか、それとも今の話とは本質的に違うものがあるとしたらそれは何なのかということをお願いいたします。

三宅 一つだけ言っておきますと、完全な意味で人間が含まれているとか、完全に人間が除外されているという考え方はしないほうがいいと思います。つまり、どの程度人間が主体的に関与しうる状況にあるかという問題と、現時点でのエンジニアリングの趨勢はどちらに向かっているかという観点から判断したほうがいいのではないかと思います。

金沢は坂道が多いものでオートマでないといけないので私はオートマ車に乗っていますが、私は基本的にはマニュアルのほうが好きなんです。しかもサスペンションがあまり効いていないほうが。(笑)人間から自動車へどのように働きかけるか、そして自動車から人間へどのように情報をいかにフィードバックするかという問題だと思います。それはべつにコンピュータならどうかという問題ではなくて、いろいろなシステムがそうだと思います。つまり、人間と人工システムの間での情報の循環性を、そしてそれに基づく統合性をどのような形で高めてやるか、という問題意識でシステム設計を心掛けることが重要ではないかというのが私の言いたいことです。

最近ナビゲータというものがあります。あれがそのうち進みますと、たとえば本郷三丁目と入力すると、勝手に車が走って行ったとします。これは便利かもしれないけれども、私はそんな車に乗りたくない。おもしろくないから。

私が目指しているものは、自動化という人間の主体的関与を排除する方向ではなくて、人間を積極的に取り込む設計をすることです。これまでは、どちらかという人間は気まぐれだし予測不可能なものに見做されていたわけです。そういうものは明示的な実体論的設計にはそぐわない。人間の動きをすべて予測して設計することはできないからです。だからこれまでは設計原理に依存して、人間の主体性はむしろ排除されてきた。つまり人間は決められた枠の中に閉じ込められてきたわけです。わたしが言いたいことは、人間をそういうふうに対処するのではなくて、人間の主体性や創造性を積極的に取り込んでいく創発的設計という考え方がおもしろいのではないかとことです。

寺野 先ほどの例ですとそれぞれ何をやりたいかというのはコンポーネントは知っているわけですか。合わせて動くとか自分は何番目のグループにいなさいとか。

三宅 基本的なルールセットは持っていると思ったほうがいいと思います。ただそれがどのルールを適用することはシチュエーションに応じて変わるわけです。

寺野 ですからやりたいことはとりあえず持っているわけですね。

三宅 そういう意味ではそうです。

寺野 それでいみじくも名古屋の例でおっしゃいましたけれども、あれはまさに飛行機のやりたいことと人間のやりたいことが違っていただけということですね。その種のマルチエージェントでもAIでもいいのですが、エンジニアリングシステムに適用しようと思うと、ゴールのコンフリクトをどうするか



とかゴールの設定をどうするかという問題が依然として残るとは思いますけれども、そのへんについてはどうお考えですか。

三宅 今のご指摘は非常に本質的なご指摘ですが、今日説明したシステムのなかには矛盾を含んでいません。そういう意味では同じ目的性を持ったものの中でどう協調するかという範囲です。それはまだ私のモデル化の不備なところですよ。実際にこの研究はまだまとまったものではなくていま進行中のものなのですが、その方向は取り入れていきたいと思っています。

先ほど名古屋の話がありました。人間の主体性を排除した形で自動化をしてしまうと、人間と自動操縦システムのコンフリクトが起こる場合があるわけですよ。私が今日の発表のなかで言いたかったことは、「場」的システムにおいては人間をあらかじめ規定することなく関係的機能の自己組織プロセスに介入させることができる。つまり開かれたシステム設計が可能になっているということです。コミュニケーションプロセスに人間が主体的に介入できますから、いわゆるブラックボックス的な自動制御システムとは違う。それでいて統合されている。そこが私の言いたいことです。

北野 これは言葉の問題になってしまうかもしれませんが、名古屋の場合はエアバスですけども、あれはいま排除したとおっしゃったのですが、エアバスの設計思想は人間をコントロールループの一部だとみなして、人間の間違いをコレクトする、補正するのが、エアバスcockピットの設計思想なんです。ボーイングcockピットは人間が外にいます。人間が最終判断を下すのがボーイングcockピットの設計思想なんです。

エアバスで事故が多発しているのは人間が制御のなかに入っているがために、補正を勝手にされて、要するに人間がやるというのがコンポーネントのマルチファンクションなんです。ツールズでの事故とかエアバスはいくつかあるのですが、あの事故の後でエアバス社の公式声明では何と言っているかという、エアバスcockピットはコンピュータエアプレーンだ。だから人間は変なことはしないでくれ、全自動で飛ばしてくれと言ったわけですよ。でもそうもならなくて、最近ボーイング型cockピットみたいにcockピットを全部改造しているらしい。

ですから排除というか、言葉の問題だと思いますけれども、考え方として最終判断をだれが取るのがかというのの一つ。ただし、飛行機をフル全自動から全部マニュアルにするといっても、全部マニュアルにしたら飛行機は飛ばないですから、どここのところまで人間のコントロールにすぐに戻せるか。あとそのプロシージャがどうなるかをエクスペクトしておくとか、そういうふうな考え方で見たほうがいいのではないかと思います。

三宅 おっしゃっていることはよくわかります。たとえば自動操縦が人間のエラーを補正するという背景には、何が適切か正解というものが仮定されていると思います。だからなぜ名古屋でああいうことが起こったかという、自動制御に任せるときにcockピットにいた人間が、これはまずいと思って修正しようとしたわけですよ。飛行機のようなまったく予測できない自然環境のなかで動作するシステムを考えた場合に、パイロットの対応も含めて、むしろわれわれは環境を完全に規定することはできないということをお前提にして設計しなければいけない。その点を忘れてしまっている。だからコントローラの制御が完全であるという前提に立てば、今のお話はわかるのですが、だからこそ、そこに人間というものがいかに参加していけるかという観点が重要になるとは思います。

北野 そうですね。だからcockピットの設計の分野だとそういう予測不能な状況に対処できるかどうか、脆弱性という言葉で呼んでいますけれども、関与できなくなっていたわけですよ。

三宅 そういうことなんです。結局、自動運転システムというのは明示的設計に基づいており、その半面、設計者は完全な環境予測が不可能なものであるということをお十分理解する必要があります。ですから今日の話もそうだし、最近言われているインテリジェンスでは環境が完全にモデル化できるというこ

とをあきらめなければいけないのではないかということが言われている。情報の部分性という問題が必ずつきまとうわけで、完全な環境理解ができないときに、じゃ、われわれはどうやって適切な戦略を取ることができるのか。この問題ではないかと思います。

長尾 エアバスの設計はそうじゃなかったんじゃないですか。環境を制御できないことを前提に作ったんじゃないですか。人間が予測できないということを前提にして作ったわけです、設計上。

北野 だからそこを自動化して……。飛行機事故を見ると7~8割はパイロットミステークなわけです。だから人の関与する部分を減らしたいというのが思想であって、ボーイングもエアバスも両方ともそれをやっていた。それで事故率が半分以下まで落ちた。けどまだ残っている。ボーイングはそこで人はあくまでもファイナルディシジョンで外に残して、そしてほかのところで自動化を全部させたわけです。エアバスは人が間違ふんだから、間違ったのはコンピュータが人の行動を直そうというところまで行ったわけです。究極まで自動化を推し進めたわけです。設計思想の最後のところで違いが出てきて明暗が分かれたわけです。

そのときの自動化のときに環境の変化に関する予測はたぶんできていたわけです。それがファクターであまり落ちていなかった。ただしその予測を人間のリアクションが間違ったらしい。

佐倉 二つお聞きしたいと思います。2番目のロボットの同調の話で、位相勾配があって、ずれてもまた秩序が出てくるという話で、全体と自分の関係を知っているという表現をなさったと思いますが、そのような表現をされていいものかどうか。ロボットは基本的に隣のニアレストネーバーに合わせるということです。あくまでも創発して全体の秩序が出てくるのであるとすれば、ロボットが知っているのは隣がどう動いているかで、それに合わせただけであって、全体と自分の関係を知っているという表現をしていいものかどうかということが一つです。

三宅 結果的に言えば位相的なオーダーのなかに全体のなかの自分の位置を表現する特徴が埋め込まれているという性質があるわけです。ただ一方では、ロボット間のインタラクションはどうしてもニアレストネーバーなんです。しかし、それだけじゃ何がまずいかというと、ロボット間のコミュニケーションを考えたときに、メッセージのような非常にローカルなインフォメーションしか使えなくなると思います。いま私がここで使ったのはローカルではなくて、一種のパターンです。パターンをローカルに読み解いたわけです。

佐倉 ロボットはそういうことをする能力を持っているわけですか。

三宅 ロボットがもともと持っているのではなくて、オーダーを解釈するシステムを付けてやることによって、先ほど言ったような能力が与えられているわけです。

佐倉 それをロボットが解釈しているかどうかは人間側の解釈の問題なのではないですか。

三宅 要はそういうふうには設計してあるわけです。ロボットにそういう解釈能力を与えてあるわけです。

佐倉 それはアプリアリに。

三宅 そうです。無から有が生まれるなんていう危険思想は私も持っておりません。(笑)

中島 クラシフィケーションの質問ですけれども、ロボットに入ってくる情報は全体の足音が入っているんですか。

三宅 すぐ隣だけです。

中島 ということはたとえインプリシットにせよ、位相のなかの自分の位置が何かに入っている、ロボットにはその情報は決して伝わっていないわけですね。そういう意味では知っていたとはいかなる意味でも言えない。要するにその情報がロボットにはない。隣との情報しかないわけですね。

三宅 隣との関係に関する情報しかない訳です。

中島 だから全体のことは知らないわけですね。

三宅 いや、そうじゃない。

中島 そうじゃないですか。

三宅 インタクションはすぐ隣としか相互作用しないから……。

司会 全体のスケールがあって、そのなかの自分の位置がわかるかわからないか。

三宅 それは隣との……。それはわかるんですよ。(笑) どう言えばいいのかな。

上田 最初はわからないけどわかるんですよ。

三宅 そうですね、最初は局所的にしかわからないけれども結果的に全体の中での位置に関する情報が生成するんですよ。

佐倉 いや、わからないんじゃないですかね。わからないでもうまくいく。

三宅 いや、どうかな。

徳永 それは前にやった円の問題とまったく同じわけですね。円を描くときに二つの描き方がある。中心から等距離のところを糸を引いてグッと回る回り方は、上から見て円は知っているというふうに見ます。それに対して1個のエージェントが角速度一定で回ると円を描きます。この場合は後者です。ただそれを設計するとき角速度一定というルールを人間が知っていれば、という意味で知っているとおっしゃっている。そういうたとえでいいと思います。

司会 ルールを埋め込んであるみたいな……。

三宅 そういう意味ではそうかもしれません。ただ、埋め込んだローカルルールを越えるものが生成している。

佐倉 それはロボットが知っていると言うんですか。たとえば巻き貝が形態形成のとき対数螺旋線ですけれども、あれはべつに巻き貝が対数螺旋線を知っているわけではないですよ。言葉の解釈の問題だけど、ふつうは知っているとは言わないのではないかと思うんです。

北野 知ってないんだよね。

司会 知ってないでしょう。

北野 どう考えても知ってないよ。

司会 知らないほうが価値があるというか……。

北野 知らないけど、だからおもしろいと言っているんです。

三宅 だから最初は知らないけれど、結果的にわかるようになるわけです。「全体」というものが「全部」の情報という意味なら、皆さんがおっしゃっているように、知っているとは言えないと思います。ただ、ここで言っている全体とはそのような意味での全部ではなく、全体と部分の関係を表現する統合された情報なんです。要素的情報のサメーションではなく、メタレベルでの情報の生成のことを言っているんです。

司会 ここで三宅先生のお話は終わりました、次の谷先生のお話に移りたいと思います。どうもありがとうございました。

谷 ずいぶん長い間、前の人がいいろいろしゃべってくださったので自分の言うことがほとんどなくなってしまいました。特に三宅先生がエンタテインメントの話もされたのでほとんど話すことがない感じですが、私は自律的な知能機械、ロボットみたいなものをどのように実世界に刷り込んでいくかという過程の研究を3年ぐらい前からやっています。(図3-31)

3年前はALifeという言葉もなかったので、べつにALifeを意識してやっていたわけではないのですが、最近、ALifeの研究を見ると、ダイナミカルシステムにかなり注目してやっているので、私もそういうほうの論文はよく読んでいます。