

正員 三宅 美博

東京工業大学

非会員 向山 弘樹

金沢工業大学

キーワード

場所, 自己言及, 2中心モデル

1. はじめに

生命（わたし）の内側からみた関係的、生成的、そして開かれた世界の在り方を「場所」と呼ぶ。本レポートではこのような視点から人間と人工システムの関係性を捉えなおし、さらに人工システムに対して人間が「設計する」という態度そのものを捉えなおしてみたいと思う。

2. 「場所」について

まず「場所」の基本的な論理形式についてまとめておこう。重要なことは、意識に現れてくる対象化された実在物として世界を捉えるのではないということである。むしろ、その意識という自他分離的な在り方を可能たらしめている、その生成プロセスにおける自他非分離的な在り方を含めた論理形式を模索しているのである。このような立場に立つと、対象を認識し対象を制御するという基本的フレームワークさえ捨象しなければならない。むしろわれわれにとって可能であるのは関係の生成だけである。そのこと自体が認識であり制御であり、さらには自己の生成なのである。ここに生命としてのわたしが開かれている基盤があり自己不完結であるということの根拠がある。

この問題は自己の在り方に関する問いでもある。これは清水の言葉を用いれば「場所的自己言及」というかたちで簡潔に表現することが可能である⁽¹⁾。そこで、ここでは清水の自己言及とその「2中心モデル」を参考にして、わたしの視点からこの問題の論理形式を整理しておきたい。その場合、生命（わたし）をその内側から捉えることがすべてのスタートである。ただし、内側からみているかのような外側からの視点とは明確な区別をしておかなければならない。いま直面している問題を、たとえば部分情報問題や不完全情報問題として捉えてしまえば、結果的に外側から見ていることと何ら差がなくなってしまう。

自己言及という自己の在り方は常識的にはパラドックスという問題につながる。形式論理学におけるクレタ人の嘘つきパラドックスは非常に有名である。そのためか自己言及には否定的な意味が付与され、解消されるべきものとし

て位置づけられてきた。これはヒルベルトの形式主義などにその典型を見ることができる。また、ゲーデルの不完全性定理のように、形式の中に徹底して内在することでそのパラドックスを暴き、逆にその積極的な意味に目をむけさせる取り組みもあった。しかし、内側からの視点に立てば、このような問題すら疑似問題であることが明らかになる。なぜならば、形式論理自体が対象化された外側からみた世界の問題だからである。言い方をかえれば、自己言及を対象化し実体化するから形式的パラドックスを引き起こすのである。だからこそ、ここでは「場所」における行為的な関係生成としての内側からみた自己言及の重要性を訴えているのである。

以下では生成の論理形式として、自己言及における2中心モデルを考えることにしよう。まず、すべてに先立つ前提は自己不完結性である。ただし、この自己不完結性とは確率的な意味での不確定性ではないことに注意する必要がある。確率とは、あらかじめ事象の集合が規定された後に成立する測度であり、対象化された世界をベースにしている。少なくとも完結した論理的閉包から生成の可能性がないことは明らかだろう。ここでいう自己不完結とは、意識化される世界における「自己」を生成するはたらきとしての自己中心的是たらきにおいて、その自己生成をそれ自身だけでは規定できないということの意味している。したがって、この自己不完結性を限定して自己を生成させるには何らかの拘束条件が必要になる。これを生成させるはたらきを場所中心的是たらきと呼ぶことにする。ここに2中心モデルの必然性がある。つまり、2中心モデルの本質は、自己中心的是たらきとして意識化される世界の内側だけでは自己は生成できないということである。そして、世界の内側における全ての知的体系は自他分離形式としての主語論理でしかないのであって、生成のためには世界を包摂する場所に対する論理形式としての述語論理が必要であるということである。そして、この場所中心的是たらきが可能になるためには、場所中心的是たらきが開かれる必要がある、それは「身体」とおして達成されることになる。その意味で場所中心的是たらきは「身体」のはたらきのことであり、世界における自己にとっての世界の外側としての他者との行為的な関わり合いを可能にする、一種の道具としてのはたらきである。そして、この「身体」が、他者

Design in "Basho".

By Yoshihiro Miyake Member, (Tokyo Institute of Technology).

Hiroki Mukaiyama Non-Member, (Kanazawa Institute of Technology).

との行為的関わりのなかで身体的コヒーレンスを生成することが場所中心的是たらきにおいて「場」を生成することになる。そして、これらの自己中心的是たらきと場所中心的是たらきという2つの異なる論理のあいだでの相互言及として自己言及サイクルが構成される。この循環的ダイナミックスを相互誘導合致と呼び、その結果として、これら2つの中心のあいだに境界が生成することが可能となる。それは自己中心的是たらき側からみたときの「自己」の生成の拘束条件ということであり、さらに、それは場所中心的是たらきの側からみたときの「場」の生成の拘束条件ということになる。つまり、2中心のあいだにおける境界としての拘束条件は「相互拘束条件」と呼び得るものである。これを図1にまとめておく。このとき、誘導合致をとおして拘束条件の生成の仕方を規定するルールが当然必要であり、それを「ルール生成ルール」と呼ぶ。そして、これが生成する「自己」としての多様性と其の共有される基底としての統合性を可能にする普遍性を持つと仮定する。

3. 設計という問題の中で

一般に、工学において設計するという事は人工システムに対して設計者が全ての情報を観測可能であり制御可能であることと見做される。このような立場は吉川の一般設計学をはじめ暗黙の前提として受け入れられているように思われる⁽²⁾。しかし、神としての設計者とその設計対象という自他分離的な態度の中からは、何ものも生成しえないことはこれまでの説明からも自明であろう。設計が論理的オペレーションを越えて生成、さらには創造と呼ばれる領域に到達するためには、「設計する」ということは「設計される」ことであることを深く捉える必要がある。人間が「場所」という在り方を通してしか他者と出会えないのであるとすれば、これは必然的な要請である。

「場所」における設計ということをもう少し考えてみよう。設計という以上何らかの目的を人工システムに対して仮定する必要があると思うことは当然だろう。しかし、よく考えてみると、目的をあらかじめ設定するということが自分が人間と人工システムのあいだでの自他分離的な世界に根ざしていることがわかる。つまり、通常の意味における設計とは、ここで主張しようとしている「場所」という在り方と基本的に相入れないのである。したがって、本レポートの最初にも述べたように、設計するという態度そのものを捉えなおさなければいけないということになる。それは、目的をあらかじめ規定しない設計とは何かを問うことであり、さらに、自己不完結性を前提とした設計とは何かを問うことである。

この問題に対処する上での重要なヒントが「道具」という身体化された人工システムにあると思われる。ポイントは、その中に人間が入って身体的に関わることによって、はじめて人間にとって完結されるシステムになるということである。先にも説明したように、身体とは他者に出会うための道具である。したがって、道具が自己にとって身体

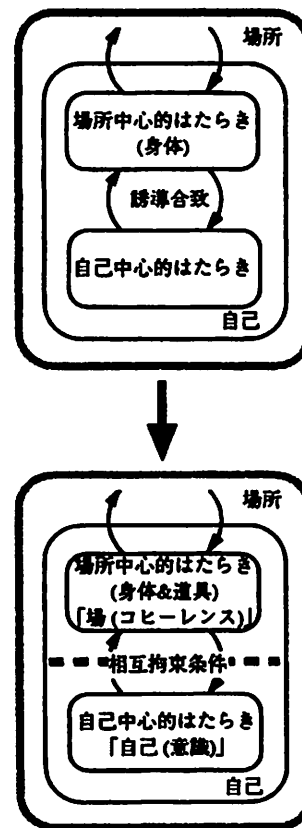


図1 場所の2中心モデル

化されるためには、誘導合致を経て道具が身体化された領域に入らなければならない。つまり、道具は設計者にとっても使用者にとっても、もともと他者なのだ。それが結果として身体化され道具になるのである。したがって、道具において目的は規定されるのではなく人間との関係において生成する。しかも、身体であるという意味で、他者に対して常に開かれつづけている。このような形で設計を捉え直すことは、論理的完結性が前提される現状の設計原理からの本質的な転換になるだろう。そして、このような不完結性を前提としてはじめて設計者と使用者が道具をとおして「場」を共有できる可能性が生じる。

非常に簡単な例として、一本の包丁があったとする。この包丁はそれ自体では明確な目的をもたない。それを使う人間との関係において初めて目的が規定される。そして、人間の身体の一部となることで、実に様々な機能を生成してくれる。切る、刻む、砕く、さらには武器としての使用すら可能である。包丁そのものは決して生成的ではない。しかし、それを人間が使用することによって、その人間にとっての世界が生成している。そして使う人を育ててくれる。包丁を作った人間は、その包丁を使う人間における生成を記述してはいない。しかし、その設計者が内的に体験したであろう生成的世界を、その使用者は疑似的に追体験できている。さらに、新しい使用方法を使用者自身が発見することで、その使用者は設計者としてすらその包丁と関

わることが可能になっている。こういうかたちで生成の局面を行為的に表現することが、人工システムを設計するという局面において有効ではないかということである。

このような目で見たとき、現状での人工システムの設計はどうなっているだろう。人工システムはもともとは道具という形態の「場所」的システムであったと考えられる。しかし、最近になって知能がつきはじめ、身体から遊離したものとして機能が実体的に規定されるようになった。このような設計方法が優先されてきた背景には大量生産という経済形態があり、その結果として、設計者と使用者の乖離という一種の「場所」の破壊が進行してしまったと考えられる。設計者側は、機械の論理としての知能性にもとづいて外側からシステムを構築していく。一方、使用者はふつうの人間であるから、生命の論理としての身体性にもとづいて内側から対応する。したがって、必然的にインターフェースに矛盾が集中する。設計者側では、使用者からの多様な要求にこたえるために例外処理が際限なく増えて行き、使用者側では、そのためにシステムが複雑すぎて使いこなせなくなる。そして、分厚くて読みきれないソフトウェアのマニュアルやボタンが山のようにあるリモコンなどが出現することになる。そして、このような設計思想が社会の基盤を支える人工システムにも広く用いられ、巨大システムのブラックボックス化と脆弱化は現代社会の切実な問題である。さらに、これらの人工物環境が人間のこころに及ぼす影響を考えたとき、これはもはや社会的病理と呼びうる状況に至っていると考えられる。いまこそ、人工システムと人間の関係における「場所」の回復が必要である。

4. 「場所」的設計にむけて

では、「場所」的設計という立場に立ったとき、われわれにとって何をすることが意味をもつのだろうか。設計者と使用者が一致している場合には問題はないが、異なる設計者と使用者のあいだではどうすれば道具としての人工システムを共有できるのであろうか。この問題の根幹には、内側からの視点と外側からの視点の対立がある。つまり、内側からの視点と内側からの視点の外側からの表現は異なるカテゴリーの問題として捉えられなければならないということである。そして、両者を混同することが問題の本質を最も隠蔽してしまうことになるだろう。そして、このような原理的な不可能を認めたとで、どうすれば内側から「場所」を共有できるのかという問題に取り組まねばならない。ここで、わたしは不完結性設計の一形態としての「自己言及的設計」を提案したい。

そして、わたしは自己言及モデルの自己言及的構築をとおして、設計原理としての「場所」を理解し表現することをめざしたい。しかし、上にも述べたように、内側からみた自己言及と自己言及モデルは本質的に異なるカテゴリーに属するものであるから、自己言及モデルの構築を自己言及的に行なうしか方法がない。つまり、道具としての自己言及モデルを使用することによって他者と出会い、それを

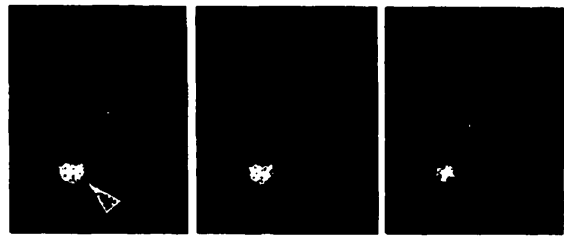


図2 粘菌の走性

身体化することによって新たなる道具としての自己言及モデルを獲得するという自己言及サイクルを実践することである。さらに、この自己言及モデルと自己言及的に関わることのできる使用者がこの自己言及モデルを理解できる可能性がある。したがって、結論としては「自己言及モデルを自己言及的に構成する」という形式において道具としての自己言及モデルを設計し設計されるということになる。そして、このようなアプローチがわれわれにおける可能性の限界である。

これは大きくわけて2つのプロセスから構成される。ひとつは、わたしの自己中心的是たらきが場所中心的是たらきの拘束条件としての人工システムという形で内的自己言及を外的に表現することである。これは、自己中心的是たらきから場所中心的是たらきへの作用に対応する。もうひとつは、その結果、自己言及モデルとしての人工システムが身体化されることによって自己中心的是たらきの拘束条件を生成することである。これは、場所中心的是たらきから自己中心的是たらきへの作用に対応する。そして、両プロセスを自己言及的に実践するところに設計原理としての「場所」の特徴がある。そして、この自己言及サイクルが、普遍的なルール生成ルールによって規定されていることが、他者との出会いを可能にさせてくれると考えられる。このような意味で、設計者と使用者の関係においても自己言及をとおして「場」を共有することによって、道具を共有できるようにする。

5. 生物から学ぶこと

わたしは、自己言及の基本的構造をわたしのメタファーとしての生物の自己言及から学んでいる。特に、粘菌(Physarum)というアメーバ状生物の走性における環境適応的な形態形成に注目している。粘菌では、図2に示すように、その一部分に刺激が与えられると、それに伴って形態が再構築される。つまり、個体の各部分の機能はあらかじめ固定されておらず、しかも、その部分の状況だけで規定されるのではないのである。したがって、それらのグローバルな相互関係がリアルタイムに生成される必要がある。このことから、粘菌を構成する各部分は一種の自己不完結な状況におかれており、その不完結性を限定するために「場」を生成し自己言及的に自己設計していると解釈することが可能である。

そこで、このプロセスを実験的に解析してみた。その結果、この生物は構造的には、ゲル状の原形質からなるチューブ状の構造とその中を流れるゾル状の原形質から構成されていた。前者が外質、後者が内質とよばれる。このチューブ状の構造は軸方向に相似形であることから、これをサブシステムの集合として分散系とみなせば、各サブシステムは外質系と内質系の2つの領域から構成されることになる。外質系はゲル状であり形態としての機能表現をそのサブシステムだけで決められていないという意味で自己不完結性を有している。そして、それを限定する「場」の役割を内質系が担っていると考えられる。

このとき両者を区別して観察することによって、内質系は周期2~3分の細胞内化学リズムを有し、隣接する同様のサブシステムとの間で相互引き込みを生じさせることがわかった。これはサブシステムの持つ一種の身体性に対応している。その引き込みの結果、リズムのコヒーレンスとしての「場」が内質系に生成し、それが位相勾配ベクトルとして各サブシステムの外質系の形態生成を拘束した。この位相勾配は個々のサブシステムの分散システム全体の中での相対的な位置関係を表現していた。つまり、個々のサブシステムは直接的には隣接システムからの情報しか得られないが、「場」の情報としてサブシステムという部分の中に分散システム全体が映され、それに基づいてサブシステムごとに拘束条件が生成され、外質系の形態としての機能表現が限定される。このように、内質系におけるコヒーレンス生成が外質系における形態生成に時間的に先行し、しかも外質系の自己不完結性を限定するという意味において、それは一種の仮説的拘束条件の役割をはたしていると考えられる。

ただし、外質系の形態が生成されるにつれて内質系におけるコヒーレンスは一旦崩壊しはじめる。そして、その後再びコヒーレンスの生成を開始することもわかった。そのときは、それまでに生成された外質系の構造がその内質系におけるコヒーレンス生成の拘束条件としてはたっていた。また環境はコヒーレンス生成に対して変調という形で拘束をかけている。環境が好ましい方向へ変化するとき振動数が上昇し、逆に、好ましくない方向へ変化のときは減少する。このような、外質系における形態生成と内質系におけるコヒーレンス生成が周期1~2時間程度で交互に繰り返されることによって、内質系と外質系が相互に拘束しあう構造ができていた。そして、最終的には、このような自己言及サイクルを繰り返すことによって、個々のサブシステムでは、他のサブシステムや環境との関係としての「場所」的性質と、そのサブシステム自身の自己同一的性質の相互浸透としての相互誘導合致させ、相互拘束条件の生成がなされるものと考えられる。

このように、粘菌においては、外質系と内質系という2中心間での自己言及サイクルが重要である。この2つの系を、自己中心的はたらきと場所中心的是たらきに対応させると、先に説明した「場所」という在り方の具体的な自己

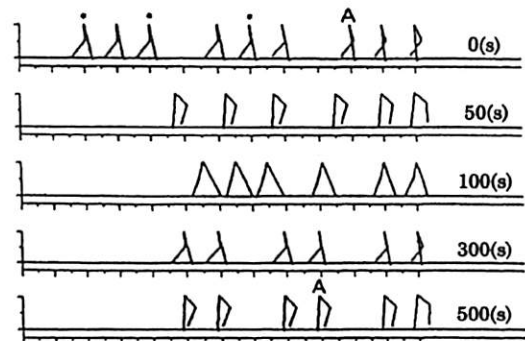


図3 群ロボット(グループ編成)

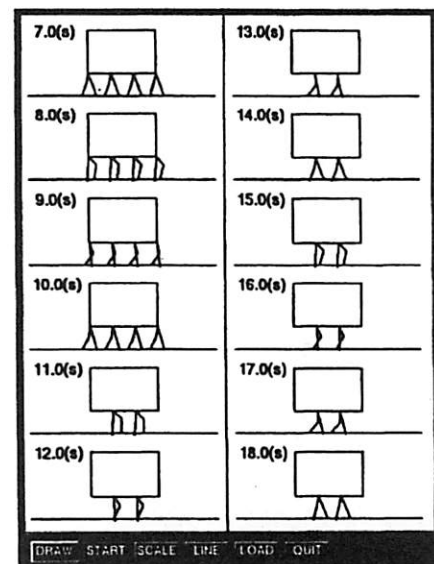


図4 群ロボット(荷物運搬)

言及モデルを与えているものと見做すことが可能である。

6. 自己言及的に設計すること⁽⁴⁾⁽⁵⁾

一方、自己言及的に人工システムを設計するアプローチでは最終的に人間との身体的な相互作用が可能な人工システムとしてのロボットという形式に注目する。そのため、粘菌のモデルにおける個々のサブシステムを個々のロボットに対応づけ、群ロボットと人間の共存系における自己言及的設計の可能性を探っている。ここで人間はロボットに対して設計者かつ使用者として関わることになる。そしてこの設計プロセスを便宜上2つに分け、群ロボットにおける自己言及モデルの研究と、その群ロボットと人間(わたし)の共存系における「場」の生成の研究を連鎖させ実行している。

まず、自己言及モデルの構築では、図3のように粘菌の形態形成との類似性から歩行ロボット群におけるその相対位置に応じたグループ編成の実現を試みた。このとき、個々

のロボットは2階層からなり、一つはロボットの身体としての場所中心系であり、それは隣接するロボットの歩行リズムとの相互引き込みを通して身体的コヒーレンスとしての「場」を生成する。隣り合って人と歩いたときに歩行リズムが自然と同調した経験をもつ人は多いと思われるが、それに対応する身体的はたらきである。もう一方は、それとの関係から拘束条件を生成し、結果として歩行パターンを限定する自己中心系である。個々のロボットは直接的には隣接するロボットとしか相互作用しないため、それだけでは自分が集団内のどの位置にいるのかわからず、歩行パターンの限定における一種の自己不完結性を生じてしまう。しかし、歩行リズムの相互引き込みを通してコヒーレンスとしての「場」が生成し相対位置に関する情報が得られ、それを拘束条件とすることで個々のロボットの自己中心系において歩行パターンが限定されグループ編成が可能になるのである。この自己言及モデルの特徴は、状況に応じてリアルタイムに「場」が生成されることで、たとえば、ロボット数としてのグループサイズ変更等に際しても自発的にグループ編成パターンがスケージングされることが示された。

具体的に、ロボットの場所中心系としては、神経系と筋骨格系の相互作用を通して多様な歩行パターンを生成できる多足の2足歩行モデルを用いている⁽⁹⁾。また、この歩行リズムの相互引き込みをとおしてコヒーレンスを実現するために、ロボットの足の接地タイミングをパルス信号として、隣接ロボットの対応した神経系に入力している。一方、ロボットの自己中心系としては、隣接するロボットとの足の接地タイミングの時間差を位相勾配とみなし自己中心系に対する拘束条件とした。そのとき、位相勾配の大きさは粘菌の場合と同様、ロボット間の相対的位置関係を示す情報を表現していた。そこでこれを拘束条件として神経系定常入力を通して歩行パターン、特に歩幅を限定することによって、ロボット相互の距離を調節しグループ編成としての機能分散を実現した。さらに、図4のように、グループ編成を発展させた形として、群ロボットが協力して荷物運搬を行い、荷物の状態、および集団内の位置に応じた機能分散によって、環境変動時にも安定な荷物運搬を実現させることも試みた。結果として個々のロボットはリアルタイムに生成される「場」から拘束条件を生成し、歩行パターンを多様化させ、ロボットの除去や、荷重変動のような環境変動時にも安定な荷物運搬が行われることが示された。

次に、人間と群ロボットの共存系における「場」の生成であるが、上記の群ロボットに人間(わたし)を参加させる必要がある。そのためには、シミュレーション的に実現されている上記のシステムと実世界の人間が相互作用することが必要になる。そこで、図5のように人間の歩行運動における足の接地タイミングをロボットモデルの神経系に入力し、ロボットの歩行運動における足の接地タイミングを音として合成し人間に聞かせた。このような実験システムを用いることで、人間は仮想空間中にシミュレートされ

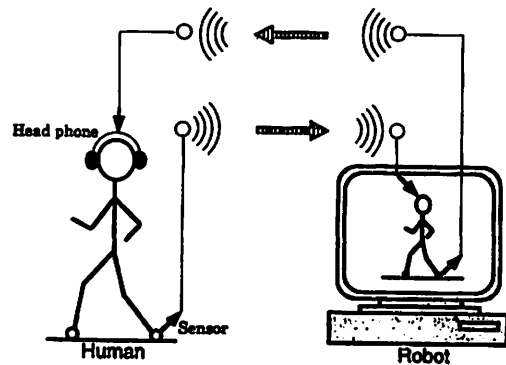


図5 人間とロボットの共存

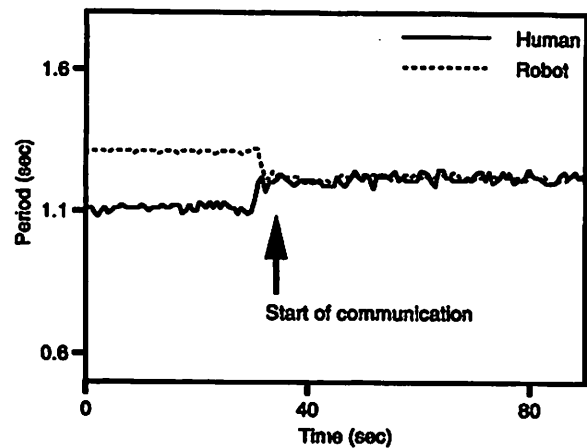


図6 身体的コヒーレンス

るロボットシステムと歩行リズムを介した身体的相互作用をすることが可能になる。

この実験システムを用いて、歩行リズムを介した人間とロボット間での身体的コヒーレンスとしての「場」の生成の可能性を調べた。その結果、図6に示すように、相互作用を開始する前までは両者の固有周期が異なっている。しかし、相互作用を始めると相互引き込みが生じ、周期差が大きすぎない場合には、そのほぼ中間的な周期で同調し位相勾配もほぼ安定に生成した。このことは人間を含む場合でもロボット側において「場」を生成できる可能性を示している。したがって、上記の自己言及モデルの範疇において、人間はそのサブシステムとして参加することが可能になっていることが示された。

しかし、特に興味深いことは、この実験においてロボットと一緒に歩くことによって、ロボットに一種の感情的な愛着をもってしまふということである。この実験を初めて行った時の学生である外川君は、このロボットのことをいつも「あいつ」と呼んでいたことを今でも印象深く覚えている。わたしも同じような体験をした。このことは人間(わたし)の内側において他者との出会いを可能にする「場」が生成される可能性を示唆している。そして、さらに人間

が腕を曲げるなど自分の身体の構造を変えることによって人間側の歩行リズムの固有周期を変化させ、人間側から、ロボットの「場」の生成に介入することも可能になっている。このように、システムの内側から自他分離できない形で人間（わたし）が設計プロセスに関与できている。もしそうであれば、それは自己言及的設計を構成する自己言及サイクルの入口にやっと到達できたことになる。

7. まとめ

本レポートでは設計という問題を「場所」としての在り方から捉えなおしてみた。そして、「自己言及モデルを自己言及的に構成する」という形式で設計し設計されることを提案した。そして、これを実践するということに意義がある。

謝辞

この研究をこれまで支えてきてくれた金沢工大三宅研究室の多くの学生さん、および、本レポートの基礎資料作成にご協力いただいた東工大の官川透君に感謝します。

(平成9年1月24日受付)

文 献

- (1) 清水：生命と場所、NTT出版（1992）、生命知としての場の論理、中公新書（1996）ほか
- (2) 吉川：テクノグローブ、工業調査会（1993）
- (3) Miyake, Y., Yano, M. & Shimizu, H. Relationship between endoplasmic and ectoplasmic oscillations during chemotaxis of *Physarum polycephalum*. *Protoplasma* 162: 175-181 (1991), Miyake, Y., Tabata, S., Murakami, H., Yano, M. & Shimizu, H. Environment dependent positional information field in chemotaxis of *Physarum plasmodium*, *J. Theor. Biol.* 178: 341-353 (1996)、三宅 位置情報「場」と生命的自律性——粘菌の走性における環境適応的パターン形成——、数理科学, No. 394, pp. 56-63 (1996) ほか
- (4) Miyake, Y., Tega, G., Ohto, Y., Yamaguchi, Y. & Shimizu, H. Mutual-entrainment-based-communication-field in distributed autonomous robotic system. In: *Distributed Autonomous Robotic Systems* (Asama H., eds), Springer-Verlag, pp. 310-321 (1994)、三宅 知的マルチエージェントの機能分散と自己言及、計測と制御, Vol. 35, No. 7, pp. 540-544 (1996) ほか
- (5) Miyake, Y. & Shimizu, H. Mutual entrainment based human-robot communication field. *Proc. of 3rd. IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication, Nagoya, Japan*, pp. 118-123 (1994)、三宅 生命的自律性から「場」の設計へ——ヒューマンサポートロボットの構築へむけて——、*Humanistic Science*, Vol. 2 No. 4, pp. 2-6 (1996) ほか
- (6) Tega, G., Yamaguchi, Y. & Shimizu, H. Self-organization control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment, *Biol. Cybern.*, 65: 147-159 (1991) ほか

三宅 美博 (正員)



1984年東京大学薬学部卒業。1989年同大学大学院博士課程修了。薬学博士。金沢工業大学情報工学科助手、講師、助教授を経て、1996年より東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻助教授、現在に至る。生物物理学会、ロボット学会、人工知能学会、認知科学会、神経回路学会などの会員。

向山 弘樹 (非会員)



1993年金沢工業大学工学部卒業。1995年同大学大学院修士課程修了。同年より同大学場の研究所助手、現在に至る。計測自動制御学会、ロボット学会、神経回路学会などの会員。