

139 リズムの相互引き込みを用いた創発的システム設計

—人間-ロボット共存系における「場」的制御構造—

Mutual-Entrainment-Based Emergent Design

---“Ba” Control Structure in Human-Robot Coexistence System---

○三宅美博 (金沢工大・情報工学) 清水 博 (金沢工大・場の研究所)

Yoshihiro MIYAKE, Hiroshi SHIMIZU

Kanazawa Institute of Technology, Nonoichi, Ishikawa 921, Japan

Abstract : Mutual-entrainment-based emergent design is proposed as a new principle to self-organize coordinative function in human-robot coexistence system. Since human behavior unpredictably changes from time to time, we can not previously design complete function of such artificial system. Thus, based on mutual entrainment between human and robotic systems, global functional order including both dynamics should be self-organized in real-time. By using this self-referential information circulation, emergence of coordination and its control structure is relevantly realized in such complex system.

Key Words : Emergent Design, Rhythm, Mutual Entrainment, “Ba”, Human-Robot Communication

1 はじめに

工学的システム設計の特徴は、予め環境を想定した上でシステムの機能(目的)を拘束条件の形で明示的に規定することにある。しかしこの方法は、環境が複雑化し予測不能になるにつれて、その限界が明白になる。その意味で、実世界に出た人工知能プログラムの大半が例外処理であることは当然と言える。したがって、重要なことは「小さな複雑性しか持たないシステムが、それより遥かに大きい複雑性を持つ環境の中で、自己を適切に自己規定できるための創発的設計原理とは何か?」を問うことにある。

このような創発を可能にする枠組みとして、我々は生命システムの自律性に学び「関係論的システム」という概念を提案してきた。これは、要素の関係性によって要素の性質が多義的に変化する「関係子」という構成要素から成るシステムである。したがって、そのようなシステムは自己不完結的になり、その機能をシステムだけで規定することができなくなる。そのため環境とシステムの相互関係として創出される拘束条件に基づいて、システム自身が自己言及的に規定される必要が生じる。ここに予測不可能な環境への対応を可能にする創発的システム設計の可能性が存在している。

2 人間と人工システムの関係

本レポートでは、予測できない複雑な環境の例として、人工システム側から見た人間を取り上げ、人間-人工システム共存系における創発的システム設計の可能性を探る。

従来型の設計では、設計者がシステムと環境を分離し、予め環境を想定した上で、システムの機能を明示的に規定してきた。そのため環境としての人間(ユーザ)の能動性は、設計者にとって予測できない環境変動を生み出す原因と見なされ、環境から排除される傾向が強かった。その結果、人間と無関係にシステムの機能が定義され、それが肥大化しブラックボックス化することによって、人間にとって使いにくい人工システムが氾濫するようになった。

それに対して本設計パラダイムでは、設計者は関係論的システムとして人工システムを構築する。そのため、人間(ユーザ)と人工システムの間での情報循環を通して、人間が「参加」する形でグローバルシステムを生成し、人間にとって適切な関係の機能をリアルタイムで創発させることを目指す。これは人間の能動性(設計者の側面)が、拘束条件の自己創出プロセスに拘束をかけることによって、関係の機能の生成を制御可能になることを踏まえている。言い換えれば、自己組織系の一部としての人間が、ユーザかつ設計者として、系の内側から系を観察し制御する

「場」的制御構造に立脚することによって、人間という予測不能な環境に対応できる創発的人工システムを構築する



Fig.1

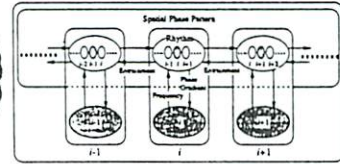


Fig.2

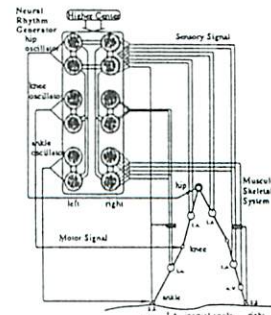


Fig.3

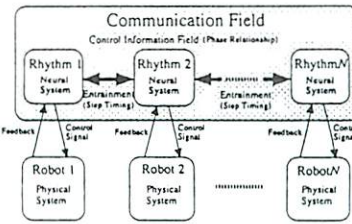


Fig.4

ことが可能になるのである。具体的には、関係論的システムとしてのマルチロボット系を構築し、そのメンバーとして人間が共存する構造を考える。

3 リズムを用いた創発的システム設計

我々はこれまで、関係論的システムにおける創発的設計原理を明らかにするために、Fig.1に示す真正粘菌というアメーバ状生物の形態形成における細胞内コミュニケーション機構を研究してきた。その結果、システムは比較的均質なサブシステムからなる分散系であり、個々のサブシステムの機能は、環境としての他のサブシステムとの相互関係に基づいて、創発的に規定される関係論的システムとしての性質を持つことがわかってきた。

さらに、このような創発性においては「場」的制御構造が重要であり、特に拘束条件の自己創出とそれに基づく自己言及の重要性が明らかにされた。具体的には、Fig.2のように、各サブシステムの局所的状況は、それらの有するリズムの固有周期として表現され、それらは相互引き込みを通して自己組織されるグローバルな空間的位相関係として統合され、その局所的位相勾配として各サブシステムとシステム全体の相対的位置関係が表現され、そのような「場」的拘束条件に基づいて各サブシステムの関係的機能が自己言及的に規定されることが示された。以下、このメカニズムに従って関係論的人工システムを構成する。

4 マルチロボットシステム

4.1 システム構成

まず、関係論的システムとしてのロボット系を構築する。具体的にサブシステムとして用いたのは、Fig.3に示す2足歩行ロボットモデルである。これは神経系リズムと筋骨格系リズムの相互作用を通して安定な歩行パターンを自律生成する関係論的システムの一例である。さらに、これらからFig.4のような1次元のマルチロボット系を構成する。このとき個々のロボットの機能分散は予め規定されず、それらの相互関係から規定される。

このとき、各ロボットにとって環境である隣接ロボットとの情報循環は、ロボットの神経系リズム間での歩行リズムを介した相互引き込みとして実現される。隣り合って人と歩く時に歩行リズムが同調した経験をもつ人は多いと思われるが、それに対応した現象である。そこでは、個々のロボットの足の接地タイミングがパルス信号として、隣接ロボットの対応した神経系リズムに入力される。

4.2 「場」的拘束条件の自己創出

このとき、先頭ロボットの歩行リズムの固有周期を変調すると、相互引き込みを通して、Fig.5aのようにグローバルな位相関係が生成する。このとき隣接ロボット間の足の接地タイミングの時間差を位相勾配と定義すると、Fig.5bのように先頭から末尾にかけて直線的な勾配が自己組織されているのが確認される。このようなグローバルパターンは、個々のロボットの全体の中における位置関係を示す座標系であり、各ロボット間での関係的機能を規定する「場」的拘束条件を表現すると予想される。

4.3 創発性としての機能分散と相互補償

そこで機能創発の一例として、9体のロボットが位置に応じた3グループを編成する機能分散を試みた。この結果はFig.6a上段に示される。さらにその相互補償の例として、3体のロボット（*で示す）を除去すると、同図のように6体で3グループが自発的に再構築された。これはFig.6bのように、位相勾配パターンがシステムサイズの変化に対応してスケールアップされ、新たに自己組織されたからである。このような現象は、ロボットの除去や追加の位置や数に依存しなかった。このように予め機能が規定されていないロボットの間で、他のロボットとの相互関係に依存して全体としての機能が創発されることが示された。

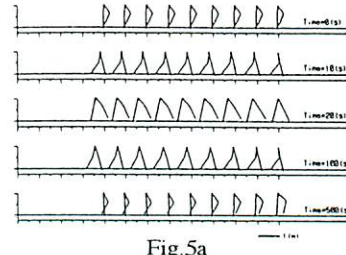


Fig.5a

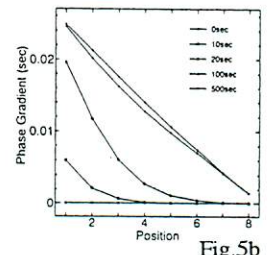


Fig.5b

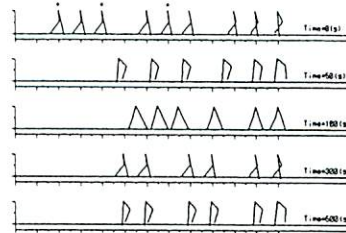


Fig.6a

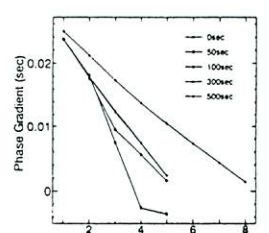


Fig.6b

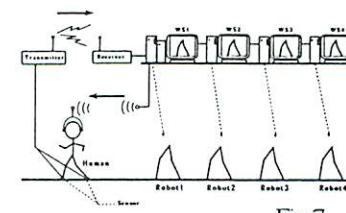


Fig.7

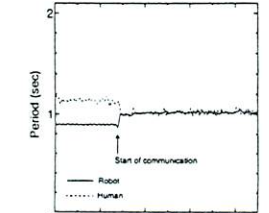


Fig.8a

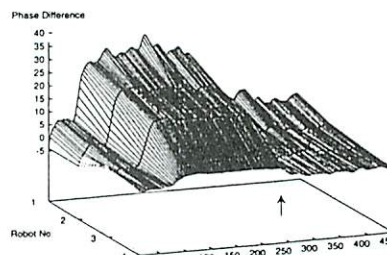


Fig.9

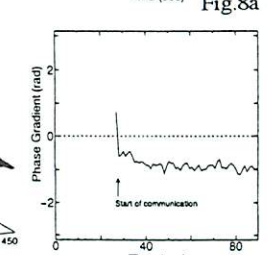


Fig.8b

5 人間-マルチロボット共存システム

5.1 システム構成

つぎに、上記の関係論的マルチロボット系に人間を共存させてみる。具体的には、ロボットと人間の歩行リズムをリアルタイムで相互作用させる。そのメカニズムはFig.7のように、隣接ロボットの足の接地タイミングを音として合成し人間に聞かせ、逆に人間の足の接地タイミングをセンサーで検出し隣接ロボットに入力する。

5.2 人間が参加できる開かれたシステム

Fig.8aのように、人間とロボットの固有周期が異なる場合でも、相互引き込みを開始（↑で示す）すると、ほぼ中間の周期で同調するのが観察された。またそのときの位相関係もFig.8bのように安定に生成している。このことは、人間がその一部として参加するグローバルなシステムが生成されたことを示しており、位相パターンとしての「場」的拘束条件が自己創出される可能性を示唆している。

5.3 「場」的制御構造に基づく創発的設計

そこで人間を先頭にして、上記の1次元マルチロボット系と共存させる場合を考える。このときFig.9左半分に示すように、グローバルな位相勾配パターンが、人間-ロボット系全体で自己組織されており、その「場」的拘束条件に基づいてグループ編成としての関係的機能分散が達成された。さらに、人間が固有周期を変化させる（↑で示

す）ことによって、位相パターンのグローバルな構造が大きく変化する。このことは、人間が自己組織系の一員として「場」的拘束条件の自己創出プロセスに能動的に関与できることを意味している。

6 まとめ

以上の結果より、リズムの相互引き込みを用いることでグローバルシステムとしての人間-ロボット共存系が生成されることが明らかになった。特に、その拘束条件の自己創出プロセスに人間が参加することによって「場」的制御構造が実現され、開放性と統合性を両立させる創発的システム設計が可能になることも示された。本パラダイムは、設計という問題を通して人間と人工システムの関係に新たな視点を与えることになるだろう。

引用文献

- [1] Y. Miyake, G. Taga, Y. Ohto, Y. Yamaguchi and H. Shimizu, Distributed Autonomous Robotic Systems (H. Asama et al. eds.), Springer-Verlag, pp. 310-321, 1994.
- [2] Y. Miyake and H. Shimizu, Proc. of 3rd. IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication, Nagoya, Japan, pp. 118-123, 1994.