

共生過程としての人間-機械コミュニケーション

三宅 美博*1

Man-Machine Communication as Co-Generation Process

Yoshihiro Miyake*1

Abstract - Function as a community is co-generated in real-time through human communications. In this study, we aimed to establish a design principle of man-machine system to realize such co-generation process. This process is modeled as a dual-dynamics model which is composed of simultaneous relationship and causal relationship. The former is body model and is to self-organize coherent relationship between man and machine, and the latter is internal model and is to separate the coherence into two one-sided actions in internal model. Through mutual constraint between these two dynamics, the machine generates internal model to be relevant to its own mutual constraint process. Using this framework, co-generative human interface was realized in man-machine interaction.

Keywords : man-machine communication, co-generation, dual-dynamics model

1. はじめに

人間はコミュニケーションを通してリアルタイムにコミュニティ(共同体)としての機能を生成することができる。本研究では、このような共に創り上げられる関係的機能を理想として、人間と人工物の関わり方に関する新たな設計原理を提案することを目的としている。

このような問題意識の背景には、現状での人間-機械系が直面している大きな困難がある。特に、知能的な人工物において顕著であるが、あらかじめ準備しなければならない機能集合が肥大化し、人工物のブラックボックス化とユーザビリティの低下が進んでいるのである[1]。そのような人工物では、設計者が前もって機能集合を用意しておき、状況に応じて使用者が機能を選択するという形式で動作する。したがって、現状のように設計者から使用者へと機械を介して一方向化された設計方法にとどまる限り、使用状況が複雑になるに従って人工物の複雑化が際限なく進むことは当然である。

われわれは、このような現状を踏まえて、人間と人工物が相互作用を通して機能をリアルタイムに生成できるための設計原理を提案する。そして、上記のような設計手法の限界を超えるために、人間と人工物が共に機能を創り上げる「共生」過程としての新たな人間-機械系を提案する[2]。これは設計と使用を区別しない設計原理ということでもある。本研究では、その背景として人間のコミュニケーションにおける「2重性」に注目し、それを2重ダイナミクスモデルとして構成する。さらに、それを人間-機械系のインタフェース領域に埋め込み共生過程として表現することをめざす。

2. コミュニケーションと2重性

2.1 人間のコミュニケーション

人間のコミュニケーションにおいて最も重要な性質は「2重性」である。この2重性とは、清水の「場」の概念

の根幹をなす枠組みであり[3-5]、コミュニケーションに参加する人間における、意識的はたらきと身体的はたらきの包摂関係のことを指している。通常の意味においてコミュニケーションとは、メッセージのやり取りであるが、それと同時にコンテキストの共有が必要であることは明らかであろう。そして、前者のような意識レベルでの一方向的な作用関係(因果性)は、後者のような身体レベルでの双方向的な作用関係(同時性)に包摂されてはじめて解釈可能になる。

たとえば、ハイデガーの場合も、人間とは可能性の空間における「現存在」の発現であり、現存在は2重性を持つと考えた。そして、人間の行動における被投性と内省の関係を考察し、配慮的な行動として臨在的なものや実践的なものを捉え、熟慮的な知識としてブレイクダウンによる対峙的存在や内省的なものを捉えた[6]。さらに、メルロー=ポンティエは、現存在の2重性を身体の2重性として、触る身体と触られる身体と捉え、言語的コミュニケーションを準備する段階における前言語的身体レベルでの「交通」の重要性を想定した[7]。

さらに、2重性を示唆する実験的な知見もいくつか報告されている。たとえば、コンドンは、新生児が母親の声に同調して手足を動かすことを発見し、それを引き込み現象と呼んだ[8]。その後、これは成人の対面コミュニケーションにおいても観察されることが示された[9]。これらの結果は、人間にとって意識化される領域の外側において、その意識生成に影響を及ぼしている身体的領域が存在することを示唆している。さらに、ベッセルは、視覚認識における図と地の分離過程を観察することによって、意識化された状態は定常状態ではなく、それが身体的領域との関わりのもと周期3秒程度でサイクリックに生成している可能性を示唆している[10]。さらに彼は、2つの事象の間の前後関係を区別し、一方向的な作用関係を特定できることと意識状態の間には強い相関があることも明らかにした。

これらの知見に基づいて、我々は、意識化される自己の顕在的領域と身体化されている潜在的領域の相互拘束を通して、意識状態が生成するという仮説を提案している

*1: 東京工業大学大学院 総合理工学研究科

*1: Tokyo Institute of Technology, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering

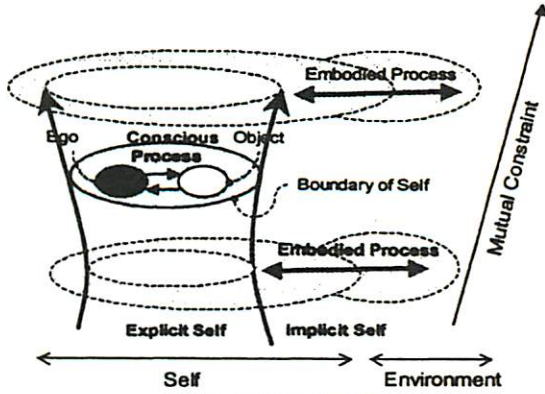


図1 自己の2重性
Fig. 1 Duality of self

[2, 11]. その基本的構造を Fig. 1 に示すが、人間の自己意識は、そのような2つの異なる領域の間での相互拘束サイクルとして生成される歴史のプロセスとして捉えられることになる。そして、コミュニケーションとは、そのような生成サイクルの間での身体的な引き込みを介する共生成過程として捉えられる。

2.2 2重性の表現可能性について

では、2重性に基づく共生成的コミュニケーションを、自己における直接的経験を越えて人間-機械系の設計原理として普遍化するためには、どのような表現が可能であろうか。まず、自己の顕在的領域において表現するだけでは不十分である。なぜならば、上記の説明からも明らかなように、そのような1重的な領域に生成サイクルは生じ得ないからである。

ここで問題になることは、どのような立場から2重性を表現するかということである。もしコミュニケーション系全体を俯瞰できる視点からモデル化すれば、それは自己において顕在化された領域にのみ表現していることになり、結果的に潜在的領域を排除したことになる。したがって、2重性とは局所的な視点から表現されなければならない。つまり、コミュニケーション系を外部から観測する視点ではなく、そのコミュニケーションに参加している内側の視点から表現する必要があることになる。このことは、コミュニケーション過程に対する不完結性を前提として、そこから生成プロセスとして表現しなければならないことを意味している。

つまり、2重性のモデルは、自己の2重性における2領域間での創出的インタフェースとして表現しなければならない。2重性モデルを構築し、それを自己の2重性において作動させることで、自己とモデルのコミュニケーションにおける自己の共生成過程として表現するのである。この様子を Fig. 2 に示しておいた。このような背景から、われわれは人間-機械系の設計原理を、機械系の問題ではなくインタフェースの問題として捉えなければいけないと考えている [12]

2.3 人間-機械系における従来技術

従来技術の立場において、共生成的な人間-機械系を実現する上で最も大きい困難は何であろうか。それは、身体的な作用関係の存在によって、機械にとって人間が静的環境ではなくなるということであろう。特に、機械と人間の

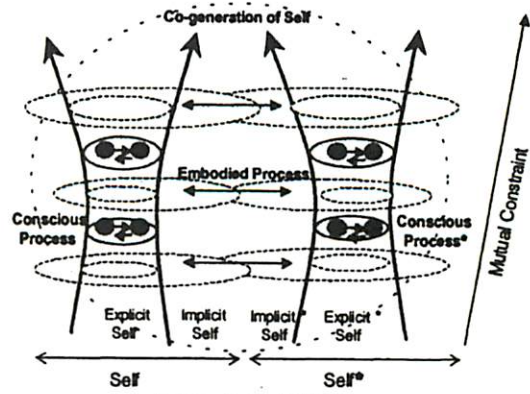


図2 共生成過程
Fig. 2 Co-generation process

相互干渉性は最も本質的な困難になると考えられる。このような動的な複雑性のもとで、機械は環境を完全には同定することができないのである。つまり、設計者にとって機械が動作する環境を前もって確定できないことになる。だからこそ、そのような干渉状態を避けられるような条件のもとで、一方向化された作用関係として、これまでの人間-機械系は構築されてきた。これは、ロボット制御におけるマスタ・スレーブシステムやネットワークにおけるサーバ・クライアントモデルなどにその典型を見ることができる。

言い換えれば、そこでは機械にとっての環境を静的環境に限定してきたと言えるであろう。そして、機械は、固定された環境のもとで、その内部状態を最適化する形式で制御されるのである。それは勾配系におけるエネルギー最小化プロセスとして近似的にモデル化されてきた。このような人間-機械系は、ダイナミクス上の特徴としては、機械と環境の時間スケールが大きく異なる場合に可能である。たとえば、機械が環境よりも十分はやく変化するときには、環境のダイナミクスは静的なものを見なすことが可能であり、勾配系を機械内部で定義することができる。同様に、機械が環境よりも十分ゆっくり変化するときも、環境は定常状態と見なすことができる。このような制限された条件のもとでは、相互干渉は無視可能であり、機械は機械のことだけを考えればよかった。

われわれが提案しようとしている人間-機械系は、このような従来技術との対比で言えば、機械と環境の時間スケールがあまり変わらないような場合に向けて拡張しようとしていることになる。このような状況において、相互干渉は支配的となり、勾配系は機械内部だけで定義できなくなる。このことは機械が観測できるのは、対象としての環境ではなく機械と環境の動的関係であることを意味する。したがって、機械がその目的を実現するためには、動的関係から自分と環境の状態の両方を解釈しなければいけない。これはある種の不良設定問題であり、本研究が提案する手法は、そのような困難を克服するための拘束条件を生成するプロセスとして見なすことも可能であろう。

3. 2重ダイナミクスモデル

3.1 概要

しかしながら、機械がどのように拘束条件を生成すれば

よいかは、これまで明らかにされて来なかった。たとえば標準化理論のような脳の計算論においてさえ、そのような拘束条件は前もって仮設され内部モデルとして固定されていたのである [13]。このような背景から、われわれの研究グループでは、コミュニケーションの2重性を参考にして、拘束条件の生成機構としての2重ダイナミクスモデル (Dual Dynamics Model) を提案してきた [14]。このモデルは、身体モデルと内部モデルの相互拘束として構成され、人間のコミュニケーション過程における意識状態の共生成過程を説明するためのモデルである。身体モデルは身体的コミュニケーションに関する潜在的領域に対応し、一方、内部モデルはわれわれの意識生成に関する顕在的領域に対応している。

このモデルを人間-機械系に対応づけると、身体モデルのダイナミクスは、機械と環境の相互干渉において動的なコヒーレンスを自己組織することである。もう一方は、内部モデルを用いることによって、そのコヒーレントな関係を2つの一方向化された作用に分解することである。これら2つのダイナミクスの間での相互拘束を通して、機械はそれ自身の拘束条件としての内部モデルを生成することになる。具体的に、身体モデルは、コンドンの実験を参考にして、開かれた空間における身体運動の相互引き込みによってモデル化することができる。一方、内部モデルは、ベッセルの実験から、閉じた空間の中に定義される原因と結果の間での1対1関係によって表現できるものとする。

ただし、機械において実現される生成サイクルは自己における生成の仮説的表現であることに注意しなければならない。これは、自己の2重性において作動させることで初めて生成サイクルに接続されるからである。

3.2 構造とアルゴリズム

こうして Fig. 3 に示すように、2重ダイナミクスモデルは2つのサブモデルとその相互拘束プロセスから構成される。これらの特性を以下にまとめる。なお、ここでは、モデルは人間-機械系の機械側に対応付けるものとする。

1. 身体モデルは、相互干渉を通して機械とその環境(人間)の間でコヒーレントな関係を自己組織できる可能性をもっている。そのような開かれた空間における自己組織ダイナミクスの一つの候補として、非線形振動子の間での相互引き込みが用いられ、身体モデルは非線形振動子の一種として構成される。

2. 内部モデルは上記のコヒーレントな関係を2つの1方向化された作用に分離することによって解釈を行なう。そのような解釈ダイナミクスを実現するために、内部モデルは機械とその環境(人間)の関係を表現する閉じた空間として構成される。そして、1方向化された作用は両者の時間スケールを分離することによって実現する。

これらの2つのモデル間の相互拘束によって、コヒーレンスの生成とそれを解釈するダイナミクスの間にはレバンスーを成立させるのである。このプロセスは以下のようによにまとめられる。また、その詳細は Table 1 に示される。

1. 身体モデルにおいて、機械とその環境の間のコヒーレントな関係が自己組織される。そして、その関係を解釈するための手順が開始される。

2. 最初に、内部モデルのための空間が生成される。これは、内部モデルにおいて予測されたコヒーレントな関係と身体モデルにおいて生成された関係のずれを減少させるように構成される。

3. 内部モデルにおいて、機械側モデルの内部状態を固定したもとの、観測されたコヒーレントな関係を再現できるような環境側モデルの内部状態が探索される。

4. 内部モデルにおいて、環境側モデルの内部状態を上記の探索値に固定したもとの、目的とする関係を実現できるような機械側モデルの内部状態が探索される。

5. これらの2つの一方向化された関係に基づいて、機械とその環境の内部状態が内部モデルにおいて予測され、身体モデルは目的とする関係を実現するように変更を受ける。

6. 最初のステップに戻る。

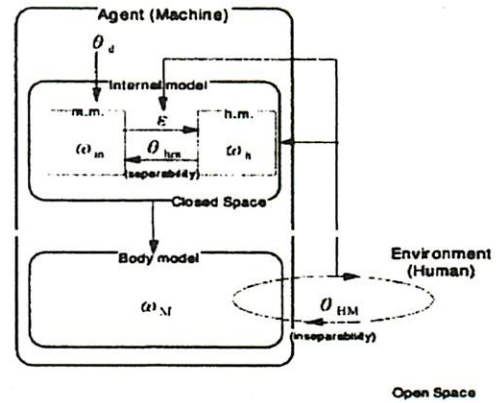


図3 2重ダイナミクスモデル

Fig. 3 Dual dynamics model

表1 2重ダイナミクスモデルのアルゴリズム

Table 1 Procedure of Dual dynamics model

1. In body model, coherent phase relationship (θ_{HM}) is self-organized by mutual entrainment between the agent and its environment.
2. In internal model, error measure is calculated by the difference between predicted relationship (θ_{hm}) and organized relationship (θ_{HM}), and parameter of internal model (ϵ) is modified to decrease the measure.
3. At coherent phase relationship (θ_{hm}) in internal model, original frequency of environment-side oscillator (ω_e) which satisfies the organized phase relationship in body model (θ_{HM}) is searched under fixed original frequency of agent-side oscillator (ω_a).
4. At coherent phase relationship (θ_{hm}) in internal model, original frequency of agent-side oscillator (ω_a) which satisfies the desired phase relationship (θ_d) is searched under fixed original frequency of environment-side oscillator (ω_e) obtained in the above step.
5. Original frequency of body model (ω_M) is modified based on the searched frequency (ω_a) to realize desired phase relationship.
6. Return to the first step.

4. 共生成的コミュニケーションの支援へ向けて

近年、人間の組織活動の支援を目的とした、テレプレゼンス、CSCW、グループウェア等が注目されている [15, 16]。そこではモダリティーの拡大による時間と空間の共有がめざされているが、結果的にそれらは顕在化された領域の支援に留まっているように思われる。このような中で、潜在的領域のコミュニケーションを支援する技術も現われ始めた。例えば、三輪らの目玉ロボットや剣道ロボット [17] における身体性への取り組み、さらに渡辺らのバーチャルアクター [18] などである。また、タンジブルメディアやAIBOのようなペットロボットも類似した指向性を持っている可能性がある。そして、この方向性において次のステップとして必要なことは、顕在性と潜在性の包摂関係としての2重性であり、それに基づく共生成過程の支援であろう。本研究は、そのような共生成過程としての人間-機械系の確立をめざした最初のアプローチとして位置づけることができる。

このような背景の中で、われわれは歩行介助を共生成の具体例として取り上げてきた。その理由は、誰かと並んで歩くとき無意識のうちに歩調が揃ってしまう現象が知られており [19]、これは身体運動の引き込みであり潜在的コミュニケーションの一つと見なせるからである。さらに、歩行介助ロボットのような場合には、人間と機械が強く相互干渉するため本手法の有効性も大きく期待される。このような背景のもと、2重性に基づき人間とロボットが共に歩行という運動を創り上げる歩行介助の実現が進められている。その詳細は既に多く報告してきたが [14, 20-22]、今シンポジウムにおいては、共生成という視点から人間とロボットの身体運動を解析し、人間の歩行パターンの発達サイクルが機械側の生成過程と類似していることが武藤から報告される。このことは、われわれの提案している枠組みが人間における共生成過程に適用可能であることを示唆している。

さらに、われわれは、共生成に基づく人間の意識状態への影響も調べている。特に、本システムを使用することによって使用者の空間感覚や時間感覚が影響を受けることを明らかにしつつある。これらの背景に基づいて、われわれは本枠組みを人間-機械系のユーザビリティをこえて、人間と人間のコミュニケーションを支援する人間-機械-人間系へ拡張しようとしている [23-25]。そして、歩行介助だけではなく、アンサンプルや対話の支援へと応用を進めている。その一例として音楽的コミュニケーションにおける成果が山本によって報告される。

参考文献

- [1] D. A. ノーマン, 「誰のためのデザイン」(野島久雄訳), 新曜社 (1990)
- [2] 三宅美博, コミュニカビリティと共生成 (「場と共創」第4章), NTT出版 (2000)
- [3] 清水博, 「生命知としての場の論理」, 中公新書 (1996)
- [4] 清水博, 「新版 生命と場所」, NTT出版 (1999)
- [5] 清水博, 共創と場所 (「場と共創」第1章), NTT出版 (2000)
- [6] M. ハイデガー, 「存在と時間」(松尾啓吉訳), 勁草書房 (1960)
- [7] M. メルロー=ボンティエ, 「知覚の現象学」(竹内芳郎, 小木貞幸訳), みすず書房 (1967)
- [8] Condon, W., S., Sander, L., W., Neonate movement is synchronized with adult speech. *Science*, vol. 183, pp. 99-101 (1974)
- [9] エドワード・ホール, 「文化としての時間」(宇波彰訳), TBSブリタニカ (1983)
- [10] エルンスト・ベッベル, 「意識の中の時間」(岡山忠行他訳) 岩波書店 (1995)
- [11] 三宅美博, 「生命」おける設計, 現代思想, vol. 25, no. 6, pp. 301-317 (1997)
- [12] 三宅美博, 2中心モデルとインタフェース表現, ファジィ学会誌, vol. 9, no. 5, pp. 637-647 (1997)
- [13] Poggio, T., Torre, V., Koch, C., Computational vision and regularization theory, *Nature*, vol. 317, pp. 314-319 (1985)
- [14] Miyake, Y., Miyagawa, T., Internal observation and co-generative interface, *Proc. of 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'99)*, Tokyo, Japan, pp. I-229-I-237 (1999)
- [15] 廣瀬通孝, 港千尋, ヴァーチャル・リアリティ, そしてテレプレゼンスの行方, *InterCommunication*, vol. 25, pp. 18-27 (1998)
- [16] 西田正吾, 仲谷美江, グループウェアとCSCW, ヒューマンインタフェース学会誌, vol. 2, pp. 18-29 (2000)
- [17] 三輪敬之, 共創における生命的コミュニケーション (「場と共創」第3章), NTT出版 (2000)
- [18] Watanabe, T., Okubo, M., An Embodied Virtual Communication System for Human Interaction Sharing, *Proc. of 1999 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'99)*, Tokyo, Japan, pp. V-1060-V-1065 (1999)
- [19] Miyake, Y., Shimizu, H., Mutual entrainment based human-robot communication field. *Proc. of 3rd. IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication (ROMAN'94)*, Nagoya, Japan, pp. 118-123 (1994)
- [20] Miyake, Y., Tanaka, J., Mutual-entrainment-based internal control in adaptive process of human-robot cooperative walk, *Proc. of 1997 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'97)*, Orlando, U.S.A., pp. 293-298 (1997)
- [21] Miyake, Y., Miyagawa, T., Tamura, Y., Internal observation and mutual adaptation in human-robot cooperation, *Proc. of 1998 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'98)*, San Diego, U.S.A., pp. 3685-3690 (1998)
- [22] Muto, T., Miyake, Y., Temporal development of mutual constraint cycle in human-robot cooperation, *Proc. of 1999 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'99)*, Tokyo, Japan, pp. IV-7-IV-10 (1999)
- [23] Komatsu, T., Miyake, Y., Mutual compensation based communication support agent in "man-machine-man system," *Proc. of 1999 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'99)*, Tokyo, Japan, pp. IV-17-IV-22 (1999)
- [24] Yamamoto, T., Miyake, Y., Generation of sympathetic space in embodied communication, *Proc. of 1999 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'99)*, Tokyo, Japan, pp. V-1045-V-1048 (1999)
- [25] Tatsumi, Y., Miyake, Y., Hierarchy and fluctuation in time structure of speech dialog, *Proc. of 1999 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'99)*, Tokyo, Japan, pp. V-1040-V-1044 (1999)