

# 創発的シンセシスの方法論

## Methodology of Emergent Synthesis

(研究プロジェクト番号：JSPS-RFTF 96P00702)

プロジェクトリーダー

上田 完次 神戸大学工学部・教授

コアメンバー

赤木 新介 大阪産業大学工学部・教授

玉置 久 神戸大学工学部・助教授

藤田喜久雄 大阪大学工学部・助教授

ヤリ・ワーリオ ノキアリサーチセンター・研究室長



既存の自然物・人工物の特性や機能の解明には、対象を部分に分け、そこに成立する法則を求め全体を理解しようとするアナリシスの手法が有効であるのに対し、後者では人間に役立つべき人工物の創出のために部分からの全体の統合が不可欠である。このような人工物創出におけるシンセシスを理解し、また、それを支援する方法論を構築することは重要であるが、そのためには全体から部分への細分化というトップダウン的アプローチだけでは限界がある。

そこで、本プロジェクトでは、トップダウンとボトムアップの双方向アプローチをベースにした創発的方法により、細分化された部分と統合される全体の関係を明らかにすることを通して、シンセシスの方法論を体系的に追究した。以下、本プロジェクトで明確にされた創発的シンセシスの基本フレームを示した上で、プロジェクトの研究成果を整理・概観する。

### 1. 創発的シンセシスの基本フレーム

#### 1.1. シンセシス

シンセシスとは、人工物の創出のための広義の設計である。創出すべき人工物は目的とそれが作動する環境を伴うシステムである。換言すれば、使用環境でシステムの機能が目的を満たすように構造を決定するのがシンセシスである(図1)。

シンセシスと対比されるアナリシスでは、構造を与えられたシステムの機能を調べることが問題となるが、この場合、理論または実験、シミュレーションで因果を辿れば解ける(順問題)。一方、シンセシスでは、与えられた機能を実現するシステムの構造を決定することが必要となるので(逆問題)、一般に試行錯誤(仮説形成と検証)に基づく手続きが必要とされる。したがって、シンセシスの問題は、時間のおよび精度的に困難なものとなる。

ここで、システムの目的と環境に関する事前情報の不完全さの観点から、まずシンセシスの問題を大きく次の三つのクラスに分類した。

- (1)クラスI:環境および目的に関する情報が十分であり、問題を完全に記述できるが、最適化が困難な問題。
- (2)クラスII:目的に関する情報は仕様として十分に与えられているが、環境に関する情報が不十分で、問題を完全に記述できないために困難な問題。
- (3)クラスIII:目的に関する情報も不十分で、問題を完全に記述できないために困難な問題。

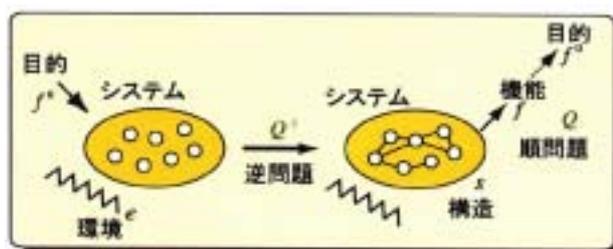


図1 シンセシスの問題

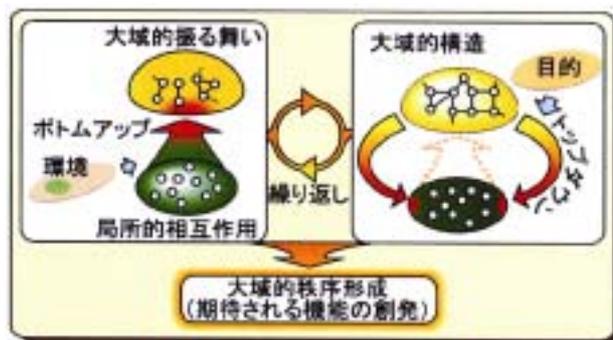


図2 創発的アプローチ

#### 1.2. 創発的方法論

「創発」については様々な定義・解釈がなされているが、本プロジェクトではシステム論的に、「要素間の局所的な相互作用により大域的挙動が現れ、その大域的挙動が要素の揺る舞いを拘束するという双方向の動的過程を通して、新しい機能や形質、行動を示す秩序が形成されること」であると捉えた(図2)。これは、明示的の局所性から非明示的大域性の発現という特徴をもつことも示すものである。さらに、創発的方法論によるシンセシス、すなわち創発的シンセシスを「構造の仮説的形成(トップダウン)と機能の評価(ボトムアップ)を系統的に繰り返すことによって、仕様と機能の差がより少なくなるような(言い換えれば、より最適解に近い)システムの構造を見つけ出すこと」であると定義した。

### 2. 研究サブテーマと成果の概要

創発的シンセシスの方法論を追求するためには、1.に示した基本フレームをベースとし、応用的・事例的研究による検証とその結果に基づいて方法論を構成的に体系化することが肝要であると考え、以下に示すサブテーマを設定して研究を進めた。

- (1)人工物設計システムの創発的シンセシス:人工物

設計における創発プロセスを考察した上で、従来の人工知能による設計支援手法に加え、学習や適応、分散協調などの創発的手法を統合することにより、従来の手法では困難であった概念設計や大規模問題を含めた設計問題に対する支援システムを構築することを通して、シンセシスの方法論を追究した<sup>1-4)</sup>。

- (2)人工物生産システムの創発的シンセシス:人工物生産における創発プロセスを理解するとともに、生産要求変更や設備故障・刷新というシステム内外の環境変動に適應する生産システムの構成的研究を通して、創発的方法論の妥当性を示した。これまで基本となる生物指向型生産システムを提案しているが、一般的なシンセシスの方法論として追究した<sup>5-8)</sup>。
- (3)人工システム運用における創発的計算論:多目的化し変動する人工システムの運用における創発プロセスを明らかにするとともに、システムのモデリング過程、求解過程およびヒューマン・マシン対話過程を総合的・体系的に扱う創発的計算アルゴリズムの開発を通して、シンセシスの方法論を追究した<sup>9-12)</sup>。
- (4)人工物環境における関係創発のシンセシス:人工物消費の段階を視野に入れ、複数の人工物、さらには人間を含めた人工物環境をシンセシスの対象とし、人工物間、あるいは人間との間に生じる協調や共生、共進化などの関係が創発するプロセスを解明することを通して、シンセシスの方法論を追究した<sup>13-15)</sup>。

### 3. 研究例：ラインレス生産システム

ラインレス生産システムとは、機械や AGV といった生産に関わる全ての要素が無軌道で製造フロア上を移動しながら生産を進めるシステムのことである。ラインレス生産システムでは、その自由度が多いため既存の手法では制御が困難になることが予測される。そこで、ポテンシャル場を用いた自己組織化を導入することによって実現を試みた<sup>7)</sup>。

自動車溶接工程を例題として構築した計算機実験において、ラインレス生産が実現されることを確認した。(図3)に、シミュレーションのスナップショットを示す。また、生産性に関してライン型の生産システムと比較した結果、ラインレス生産では溶接ロボット稼働率において高い数値が獲得され、提案手法の有効性が確認された。さらに、ラインレス生産システムの具現化を図る第一段階として小型の移動ロボットを用いた実験を行った結果、故障設備を回避しながら生産を進める過程が実空間で観測され、ラインレス生産システムの有効性・実用性を示す結果となっている。

### 4. まとめ

本プロジェクトでは、創発的シンセシスの基本フレームに基づいて、人工物の設計・生産・運用、さらには、消費活動のように人工物と人間との相互作用を含めた諸段階における創発の重要性を明らかにするとともに、創発的方法論を体系的に構築し、その問題解決への有効性を検証した。すなわち、設計・生産・運用・消費のそれぞれの段階において、事例・例題に対する創発的アプローチが構成されるとともに、その基本的な有効性と可能性が検証された。

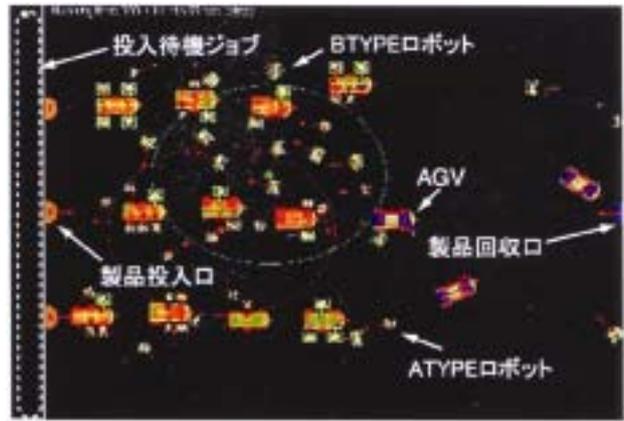


図3 ラインレス生産システム

### 主な発表論文

- 1) K. Fujita and S. Akagi, Agent-Based Distributed Design System Architecture for Basic Ship Design, *Concurrent Engineering --Research and Applications*, 7 (2), 83--94 (1999)
- 2) 藤田・赤木, システム構造に着目したエージェント方式による分散並行型設計支援システムの構成方法, *日本機械学会論文集*, C-65 (630), 813--820 (1999)
- 3) S. Kitamura, Y. Kakuda and H. Tamaki, An Approach to the Emergent Design Theory and Applications, *Artificial Life and Robotics*, 3, 86--89 (1999)
- 4) V. V. Kryssanov, H. Tamaki and K. Ueda, An Internet-enabled Technology to Support Evolutionary Design, *Engineering Manufacture*, 215 (B5), 647--656 (2001)
- 5) K. Ueda, I. Hatono, N. Fujii, and J. Vaario, Reinforcement Learning Approaches to Biological Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, 49 (1), in press (2000)
- 6) J. Vaario, K. Ueda, An Emergent Modelling Method for Dynamic Scheduling, *J. of Intelligent Manufacturing*, 129--140 (1998)
- 7) K. Ueda, I. Hatono, N. Fujii and J. Vaario, Line-Less Production System Using Self-Organization, *Annals of the CIRP*, 50 (1), 319--322 (2001)
- 8) K. Ueda, J. Vaario and N. Fujii, Interactive Manufacturing: Human Aspects for Biological Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, 47 (1), 389--392 (1998)
- 9) 玉置・荒井・阿部, 遺伝アルゴリズムによる不確実な最適化問題の解法, *システム制御情報学会論文誌*, 12 (5), 297--303 (1999)
- 10) H. Murao and S. Kitamura, Q-Learning with Adaptive State Space Construction, *Learning Robots (Lecture Notes in Artificial Intelligence 1545)*, 13--28, Springer-Verlag (1999)
- 11) K. Ohkura, Y. Matsumura and K. Ueda, Robust Evolution Strategies, *Simulated Evolution and Learning (Lecture Notes in Computer Science 1585)*, 10--17, Springer-Verlag (1999)
- 12) M. Svinin, K. Yamada, and K. Ueda, Reinforcement Learning Approach to Acquisition of Stable Gaits for Locomotion Robots, *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, 12--15 (1999)
- 13) K. Ueda, J. Vaario, T. Takeshita and I. Hatono, An Emergent Synthetic Approach to Supply Network, *Annals of the CIRP*, 48 (1), 377--380 (1999)
- 14) S. H. Oda and K. Miura, The Application of Cellular Automata and Agent Model to Markets with Network Externalities, *Commerce, Complexity and Evolution*, Cambridge University Press, 351--371 (2000)
- 15) A. Iwasaki, S. H. Oda and K. Ueda, Simulating an N-person Multi-stage Game for Making a State, *Simulated Evolution and Learning (Lecture Notes in Artificial Intelligence 1585)*, 309--316, Springer Verlag (1999)