

システム理論的アプローチによる分散システムの 設計・解析・制御



研究室紹介

高井 重昌*

Design, Analysis, and Control of Decentralized/Distributed Systems
Based on the Systems Theoretic Approach

Key Words : decentralized/distributed system, systems theoretic approach,
discrete event system, multi-agent system

はじめに

システムの大規模・複雑化、ネットワーク化にともない、様々な分野において分散システムに関する研究開発が盛んに行われている。例えば、制御システムに関しては、自動車に代表されるように、ネットワーク化された電子制御システムが多くの工業製品に用いられている。また、群ロボットやセンサネットワークなども分散システムの典型例である。

分散システムにおいては、自律的に動作する各エージェントの意思決定機能、各エージェント間の通信機能、各エージェントのローカルな判断を統合する機能などを如何に設計するかにより、その性能が大きく左右される。本研究室では、宮本俊幸准教授、林直樹助教と共同で、数学モデルを用いた数理的アプローチであるシステム理論に基づく分散システムの設計・解析・制御に関する研究を行っている。そこで本稿では、分散システムを離散事象システム、マルチエージェントシステムとして捉えた幾つかの研究について紹介する。

離散事象システムの分散制御に関する研究

離散事象システムは、事象の生起により、その状態が離散的に遷移するような事象駆動型システムの総称であり、オペレーティングシステム、通信システム、データベースシステム、生産システムなどは

離散事象システムとしての側面をもつシステムの例である。

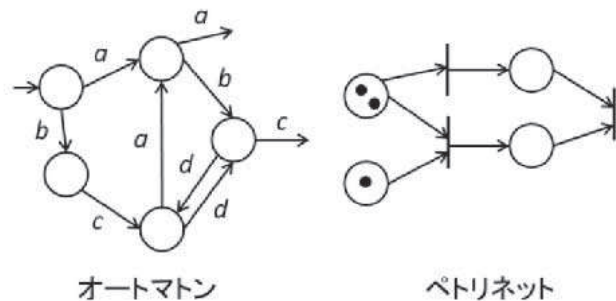


図1：離散事象システムモデル

離散事象システムは、図1に示すオートマトン、ペトリネットのように、その離散的な状態遷移構造に着目してモデル化される。デッドロック回避制御、排他制御、並行処理制御などの制御問題は、システムで生起する事象の順序を制御する問題であり、このような制御問題に対するフィードバック制御の手法にスーパーバイザ制御がある。スーパーバイザ制御では、制御された対象システムの振舞いが望ましい動作を記述した制御仕様とある意味で等価となるようなスーパーバイザと呼ばれるコントローラを構成することが制御問題である。特に対象システムが複数のサブシステムからなる分散システムの場合には、例えばサブシステム毎にローカルスーパーバイザを構成するような、分散スーパーバイザ制御が有効である。その概念図を図2に示す。このような分散スーパーバイザ制御系では、各スーパーバイザは全体システムの一部（図2においては対応するサブシステム）に関するローカル情報に基づき制御判断を下す必要があり、その判断機能、および各スーパーバイザの制御判断の統合機能を適切に定める必要がある。本研究室では、このような機能の設計、設計した機能により



* Shigemasa TAKAI

1966年6月生
神戸大学 工学研究科 システム工学専攻
修士課程修了 (1991年)
現在、大阪大学 大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻教授 博士(工学)
システム理論
TEL : 06-6879-7693
FAX : 06-6879-7263
E-mail : takai@eei.osaka-u.ac.jp

満足することができる制御仕様の特徴づけなどに関する研究に取り組んでいる。

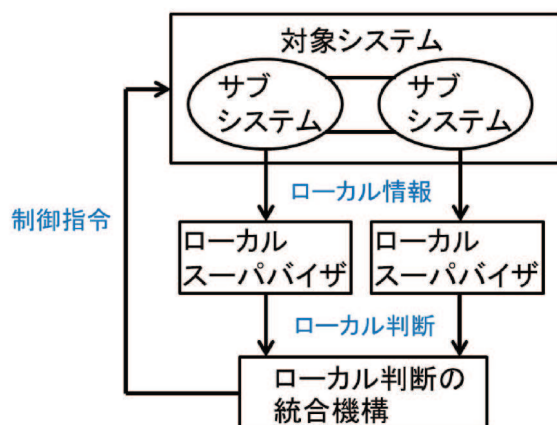


図2：分散スーパーバイザ制御系

マルチエージェントシステムに関する研究

地球温暖化への対策として、CO₂排出量の削減は世界の最重要課題の一つである。また、エネルギー売買の自由化の流れから、エネルギー変換機器をもつ事業者が、自らのエネルギー需要量を超えたエネルギーを生産し余剰分を販売する、逆に自らのエネルギー生産を抑えて他の事業者から購入するといったエネルギー売買が現実的となってきている。機器には最も効率の良い動作点が存在し、自身のエネルギー需要を満たすためだけならば、効率の悪い動作点での運転を余儀なくされる場合でも、上述のようなエネルギー売買が可能であれば、より効率のよい動作点での機器の運転が可能となる。特に地域レベルにおいて、エネルギー取引によるエネルギー利用の効率化が期待されており、本研究室では、地域レベルでの消費コストを削減することを目的とし、事業者間のエネルギー売買を考慮した機器運転計画を作成する研究を行っている。

独自の電力・熱エネルギー需要を持ち、CO₂排出量制約が課されている独立した企業体で構成され、それら企業体間で電力・熱エネルギー売買の自由が認められた特区を想定し、そのような特区を群と呼ぶ。群の概念図を図3に示す。群全体に対して最適な機器運転計画を立案する集中型のアプローチにおいては、立案された運転計画が独立した各企業体に受け入れられるのか、といった問題がある。そこで、

本研究室では、各企業体をエージェントとみなし、各エージェントがエネルギー売買を考慮しながらCO₂排出量制約のもとで機器運転計画を立て、エージェント間の協調により、群全体の消費コストを削減するマルチエージェントシステムとしての、分散エネルギー管理システムを提案している。

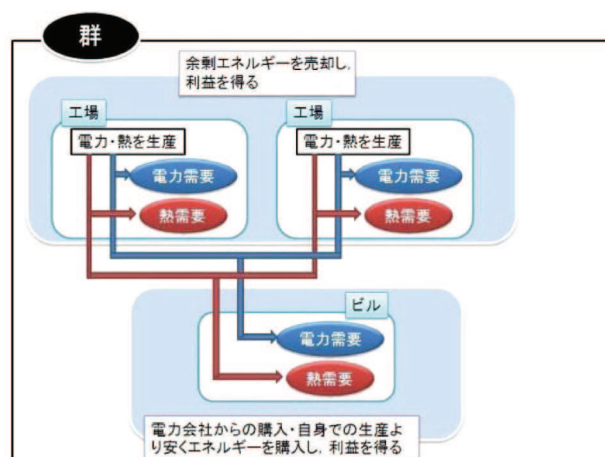


図3：群の概念図

また、本研究室では、エージェント同士のローカルな相互作用によってシステム全体としてのグローバルな目的を達成するための協調制御に関する研究も行っている。無人航空機の編隊形成、高度交通システム、群ロボット、センサネットワークなど協調制御の応用分野は多岐にわたる。特に、すべてのエージェントの状態が等しくなるような制御を行う協調制御問題はコンセンサス問題と呼ばれる。コンセンサス問題の例として、図4に示すように、モバイルロボットの進行方向を同じ方向に収束させる問題などがあげられる。

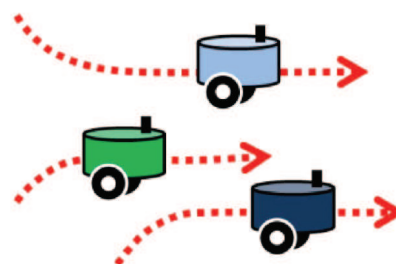


図4：コンセンサス制御の例

近年、物理システムと情報システムが結合したサ

イバーフィジカルシステムという新しい概念が提案され、情報工学や制御工学など様々な分野で注目されている。本研究室では、各エージェントが物理システムと情報システムの結合とみなせるようなマルチエージェントシステムを対象とし、サイバーフィジカルシステムにおける協調制御の理論構築とその応用を目指して研究を進めている。

おわりに

本稿では、筆者の研究室で行っている分散システムに関する研究の概要を紹介した。情報通信技術を活用した制御システムの重要性は増すばかりであり、安全かつ高性能で、エネルギー効率にも優れたシステムの実現へ向けて、精力的に研究を進めていく所存である。

