

外20-35

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博 士 論 文 概 要

## 論 文 題 目

マルチエージェントモデルに基づく

分散協調型システムに関する研究

**Studies on Distributed Cooperative Systems**

**based on Multi-Agent Models**

申 請 者

川村 隆浩

Takahiro Kawamura

2000年12月

近年、ネットワークインフラの整備とコンピュータシステムのオープン化が進み、企業内あるいは企業間をまたがる大規模システムの開発にあたっては従来のメインフレームやオフコンを中心とした集中型のシステムに代わり、必要な処理を性能面や機能面から複数のホスト上に分散して配置し、それらを協調させながら全体としての作業を進める分散協調型のシステムが必要とされている。しかし、分散協調型システムの構築には性能的な側面やシステム維持保守などに関して多くの課題が存在する。そこで本研究では、分散協調型システムの各構成要素をエージェント（自律的に動作するオブジェクトの一種）と位置付け、複数のエージェントに互いにインタラクション（メッセージ交換などの相互作用を意味する）をさせながら、システム全体の目標を達成するモデル（以下、マルチエージェントモデル）を用いることで分散協調型システムにおける課題の解決を試みる。

本論文では、はじめに企業内でしばしば必要とされる分散協調型システムとして分散型のスケジューリングシステムを取り上げ、マルチエージェントモデルを適用して開発した二件の分散型スケジューリングシステムについて述べる。次に、これらの開発事例を通して得た知見に基づいて、マルチエージェントモデルを用いて分散協調型システムを構築するにあたって必要となる機能を開発者に提供するマルチエージェントフレームワーク Bee-gent(Bonding Enhancement and Encapsulation aGENT framework)の開発について述べる。また、システム開発時に要求された性能（処理時間や通信量、メモリ使用量など）を満たす分散協調型システムを設計するために、マルチエージェントモデルにおける基本的なパラダイムを分類し、Bee-gentを用いて各パラダイムの定性的、定量的な性質を明らかにする。更に、Bee-gentを応用した分散協調型システムの開発事例として、動的なサービス連携を用いた製品環境情報システムの開発について述べる。最後に、結論として以上の成果のまとめを行う。以下に、各章の概要を示す。

第1章「序論」では、本研究の目的および本論文の構成について説明する。

第2章「水平分散型マルチエージェントモデルに基づく分散型ジョブショップスケジューリングシステムの開発」では、我々が開発した一件目の分散協調型システムの事例について説明する。一般に大規模生産システムにおいては単一の集中型スケジューリングシステムの導入は困難であり、現状ではスケジューリングシステムは部門単位で導入されている場合が多い。そのため、ある部門で納期遅れなどが発生するたびに各部門の担当者は部門間のスケジュール調整を繰り返さなければならない。そこで我々は、各部門のスケジューラをエージェント化し、スケジューラ間で調整交渉を行う水平型のマルチエージェントモデルを導入する。そして、頻発する部門間のスケジュール調整において即応性と局所性を実現することを目的とする分散型のスケジューリングシステムを開発した。本システムにおけるスケジューラ間の調整交渉は、スケジューラ間の整合性を維持するために交渉の流れを制御する交渉プロトコルを規定した点と、スケジュール調整にお

る即応性を実現するために複数交渉の同時実行を可能とするメカニズムを導入した点に特徴がある。また、現実の多工程ジョブショップスケジューリング問題への適用と評価を行い、スケジューラ間の調整交渉によってスケジュールの整合性が維持されると同時に、複数交渉の同時進行によって即応性が実現できていることを確認する。

第3章「移動仲介型マルチエージェントに基づく分散型電力系統作業停止計画システムの開発」では、我々が開発した二件目の分散協調型システムの事例について説明する。前章の水平分散型マルチエージェントモデルが物理的にも論理的に分散したモデルであったのに対して、本章の移動仲介型マルチエージェントモデルは物理的には分散しているが、論理的には集中しているモデルになっている点に特徴がある。これは前章の開発経験から水平分散型モデルは構築容易性や保守性の面で不利であると考えたためである。これらの課題に関しては次章にて詳しく扱う。電力系統作業停止計画とは、地域毎に分散している電力所間で互いに整合性のとれた計画を作成する必要がある分散制約充足問題である。しかし、分散制約充足解法の一つである同期バックトラッキングアルゴリズムを用いたスケジューリング手法では、計画変更時の即応性や電力所間の計画の公平性において問題がある。そこで、それぞれの問題に対して「並列的な変数値割付戦略」と「重複可能な変数値決定順序」という二つのヒューリスティクスを導入することで解決を図る。また、これらのヒューリスティクスを導入した分散型電力系統作業停止計画システムを開発し、その効果を測定するための実験を行った。本システムでは、二つのヒューリスティクスを実現する手段として、電力所毎に置かれたスケジューラ間に仲介役となるエージェントを設け、それらが必要に応じてクローンやマージを繰り返すことを特徴とする。実験の結果から、本システムは計算量の増加を低く抑えながら、即応性と公平性が向上させていることを確認する。

第4章「マルチエージェントモデルによる分散協調型システムの開発フレームワーク Bee-gent」では、上述した二件の開発事例を通して得た知見に基づいて分散協調型システムの構築をサポートするフレームワークの開発について説明する。近年、ネットワークインフラの整備に伴い、ネットワークを介した異種システムの相互接続に対する要求が高まっている。そこで我々は、レガシーシステムやデータベースなどの既存システムをネットワークを介して結合して分散システムを構築することを目的とし、分散システムの構成要素間に調整機能と通信機能を提供するマルチエージェントフレームワーク Bee-gent(Bonding and Encapsulation aGENT)を開発した。本フレームワークは、構成要素間の相互作用を記述したインタラクションプロトコルを、問題解決手順に関する処理と各構成要素に依存するローカルな処理に分離し、前者を移動型の仲介エージェントが一元的に管理することで構成要素間の調整を実現することに特徴がある。これにより、分散システムの構成の変更や拡張の際に構築容易性や保守性が向上する。本章で

は、本フレームワークの実装上の概要とこれを用いて開発した分散システムの事例を述べ、本フレームワークの有効性を確認する。

第5章「マルチエージェントフレームワーク Bee-gent を用いた分散協調型システムにおけるデザインパラダイムの分類と評価」では、分散協調型システムにおける性能と設計の問題に焦点をあてる。マルチエージェントモデルは、従来異なる実現がなされてきたリモートデータアクセスやリモートプロシージャコール、コードモビリティといったパラダイムを統一された方法で実現できる枠組みとして有効である。一方で、現実の大規模分散システムの設計においては、パラダイム設計はシステムの性能に多大な影響を与える。そこで我々は、まず様々なパラダイムの基本構成要素となっているパラダイムを取り出し、それら基本パラダイムの性質を明らかにすることで、全体パラダイムを設計する際の指針を示したい。本章では、基本エージェントパラダイムとして、ダイレクトアクセス、ステーションナリエージェントアクセス、モバイルエージェントアクセスの三つを取り上げる。そして、まず各パラダイムの性能モデルを構築し、次にマルチエージェントフレームワーク Bee-gent を用いて各パラダイムに基づく分散データベースシステムを構築して通信量、処理時間、メモリ使用量などを測定する。モデルから得られた定性的な性質と実験から得られた定量的な測定結果を比較考察することで、モデルには表れていない性質や、分散協調型システム実装上の課題などを洗い出す。最後に、具体的な分散システム構築事例を対象に、基本パラダイムをその性質に基づいて組み合わせながら、適切な性能を持つ全体パラダイムを設計することを試みる。

第6章「マルチエージェントフレームワーク Bee-gent を応用した分散協調型システムの開発ー動的なサービス連携を用いた製品環境情報システムの開発ー」では、第4章で述べた Bee-gent を用いた実際の開発事例について説明する。近年、広域ネットワークを介したアプリケーション利用への要求が高まり、ASP(Application Service Provider)や企業間 EC といった形態で事業化が進められている。しかし、近い将来は ASP におけるアプリケーションの単純な貸出し(レンタル)などを越えて、ユーザは種々のアプリケーションがネットワーク上で提供している様々なサービスやソリューションを、個々のネットワーク状況やドメイン制約などに動的に対応しながら利用していく、いわば動的なサービス連携が必要になると考えている。そこで我々は、まず動的なサービス連携を実現するための課題を洗い出し、それらを解決するためにサービス連携処理を移動型のエージェントとしてモデル化すると共に、エージェントを必要に応じてネットワーク越しにレンタルすることを特徴とするシステムを Bee-gent を用いて開発した。そして、本システム上に構築した製品環境情報システムを紹介し、上記の課題がどのように解決されているかについて考察を行う。

第7章「結論」では各章で解決してきた課題と今後の課題について説明する。