

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560495

研究課題名(和文)大規模生産の高効率化を目指す社会指向型マルチエージェントシステムの構築と応用

研究課題名(英文) Social scientific multiagent systems approach for effective management of large-scaled manufacturing

研究代表者

貝原 俊也 (Kaiharu, Toshiya)

神戸大学・その他の研究科・教授

研究者番号：70289114

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、製造業の海外移転に伴い、急速に大規模・グローバル化が進んでいる生産・物流システムの高効率化の実現を目指した。その際、まず社会科学が一般に追求する頑健性や効率性を有した社会的交渉メカニズムを内包する社会指向型マルチエージェントシステムの構築を行い、実生産・物流システムを模した物理モデルであるモデルプラントを用いて提案法の具現化に関する方法論を明らかにした後、その有用性についての実証的検討を行った。これらの取組みにより、新しい「人とシステムの協調」による効率的で無駄のないシステム計画や運用のための方法論を構築し、大規模生産におけるその有効性について検証した。

研究成果の概要(英文)：Virtual systems, designed in computers by abstracting real systems, are usually used for analyzing the performance and executing decision makings for objective systems. At manufacturing operational phase, there are lots of external fluctuations such as order change and delayed delivery of materials. On the other hand, the artificial intelligence for machine control systems and network communication techniques are continuously improving. This research proposed a social scientific multi-agent system, named Real-Virtual Fusion Manufacturing System (RVF-MS) by coupling the real and the virtual systems. In order to realize the proposed methodology a new production scheduling mechanism at planning phase for RVF-MS has been proposed, in which a social contract based approach, named Combinatorial Auction (CA), with local search is applied. Effectiveness of the RVF-MS has been verified by computational experiments for flexible flow shop problems in real scale model.

研究分野：システム工学

キーワード：生産システム システム最適化 マルチエージェントシステム 社会的交渉メカニズム CPS

1. 研究開始当初の背景

大規模・複雑化が進むシステムを対象とした計画・運用の一般的な方法論として、自律分散型システムや創発システムなどの概念が提唱されてきた。また、対象を生産システムに注目した場合、生物型システムやホロニックシステムなどの研究が進められてきている。これらの概念にはそれぞれ特徴があり、具体的な対象システムによって適する手法も様々であるが、生産現場などにおける意思決定主体としての人間の存在を強くその概念に内包するものは少ない。

また一方で、生産や物流を取り巻く環境は、市場要求の多様化への対応や安価な労働力や地産地消の要求に応えるべくグローバル化が急速に進んでいる。そのため生産・物流には、資源を無駄に消費や廃棄することのないサステナブルなものづくりを前提に、頻繁に変化する外部環境（需要変動や納期変更など）に対し、迅速かつ効率的に人・もの・資金・時間・ノウハウなどの資源を配分することが求められてきている。さらに実際の生産環境には、処理時間の変動や部材の納入遅延といった様々な内部的不確定要素が存在する。すなわち、大規模・グローバル化が進む生産システムにおいて、環境への配慮を前提に、意思決定主体としての人間との調和を実現するとともに、生産システム外部の環境変動やシステム内部に潜む不確定要素の双方に対する頑健性や効率性を有する今までにない新たな資源配分に関する方法論への要求が高まっている。

一方、我々は、工学的諸問題が一般に有する効率的な資源配分への課題の解決を図るため、従来よりマルチエージェントシステム概念に従う社会的交渉メカニズムベースのさまざまな方法論について研究を進めてきた。この社会的交渉メカニズムの考え方は、経済学や経営学、法学といった社会科学分野がもつ特徴を工学的にモデル化・定式化したものである。ここで、社会科学分野の研究では、対象とする社会における社会厚生最大化が大きな命題の一つとなっている。例えばミクロ経済学では、対象とする市場の社会的な効率性の最大化を目的に、市場内で取引される財と貨幣の均衡解を求め、市場を構成する意思決定主体（需要・供給者）の全体効用に関するパレート最適で無駄のない資源配分量を決定することをその狙いの一つとしている。

このように、社会科学における社会厚生最大化の考え方をアナロジーとすることで、財の取引における無駄を極力排除するとともに、我々の生活する社会の特徴である効率性と頑健性をともに有した社会的交渉ベースの資源配分のアプローチを実現することができ、我々は今までに、新古典派経済学や複雑系経済学、オークション理論などをマルチエージェントシステムに取り入れたいくつ

かの方法論を提案し、代表的な資源配分問題である小規模な生産スケジューリング問題やサプライチェーン問題へと適用しその有効性を検証してきた。

2. 研究の目的

そこで本研究では、これまでに進めてきた社会的交渉メカニズムに関する基本的な取り組みをさらに発展させ、大規模化・グローバル化が急速に進んでいる生産・物流への実適用が可能なレベルにまで昇華させ、その有効性を検証することを試みることを目的とした。

具体的には、まず社会科学が一般に追求する頑健性や効率性を有した社会的交渉メカニズムについて、今までの研究や今後の対象とするさまざまな社会科学の理論について整理や体系化を行った後、人間のより精緻な意思決定機構を内包した新しい社会指向型マルチエージェントシステムのモデル化を検討し実際の構築を行った。そして、実際の生産・物流システムにおける実用化を目指した取り組みとして、実生産・物流システムを模した物理モデルであるモデルプラントを用い社会指向型マルチエージェントシステムの実装形態について検討を行った。

これらの結果、人とシステムの協調による効率的で無駄のない資源配分メカニズムに基づいたシステム計画や運用のための社会指向型マルチエージェントシステムによる方法論を具現化・体系化し、大規模生産におけるその有効性について明らかにすることを目指したものである。

3. 研究の方法

ここでは、1)社会指向型マルチエージェントシステムの構築と特性評価、2)物理モデルとの融合による提案法の具現化および実証的な有効性検証、というCPS(Cyber Physical System)構築手法に基づく2つの研究方法を取り入れた。

まず研究の前半では、従来より取り組んでいる社会的交渉ベースのマルチエージェントシステムをさらに深化させ、大規模生産内の経営資源の無駄の排除を狙いとする効率的な資源配分の最適化と、環境に優しいサステナビリティを実現する方法論の構築を進めた。またその際、対象規模が大きくなっても効率良く実験を進めるため、並列計算技術による高速な計算環境の構築を試みた。

次に、研究の後半では、実際の自動化生産システムを簡易的に模したモデルプラントを用い、社会指向型マルチエージェントシステムのプロトタイプを構築し、提案法の頑健性や効率性、人とシステムの協調性について評価を行い、有効性や実用性についての検証を行った。

4. 研究成果

上記の研究方法にて示したように、本研究課題は大きく2つのフェーズからなっている。前述の研究目的にその概要を示したように、まず研究の前半部において、このうち社会指向型マルチエージェントシステムの構築とその特性評価を中心に、具体的には、下記に示す(1)から(3)までの3つの課題について研究を遂行した。

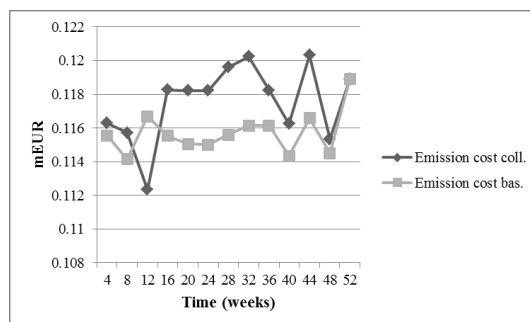
(1)社会指向型マルチエージェントシステムに関する基礎的調査

社会指向型マルチエージェントという新しい概念に対し、従来より研究を進めている社会的交渉メカニズムに従うマルチエージェントシステムについてさらに広範な調査を行い、欧州で先行して進められている大規模生産を検討する上で重要な課題であるプロダクトライフサイクルやサステナビリティとの接点を探りながら、そこで提案されている理論的枠組みの整理や体系化を進めた。その際、神戸大学メンバーが主にシステム最適化を目指した社会的交渉メカニズムを、CNR-ITIAメンバーがサステナブル大規模生産分野関連を、それぞれ主に調査し、これらの調査結果にもとづき技術調査マップを作成しながら基礎的な検討・考察を実施した。なお、交渉メカニズムに関する理論的枠組みについては、エージェント間交渉の全体プロトコルに関する新たな検討とともに、個々のエージェントにおける精緻な意思決定のメカニズムについて、ゲーム理論や多属性効用理論、期待効用理論などの数理モデルに関する調査を進めていった。

(2)社会指向型マルチエージェントシステムの構築と特性評価の実施

前述の(1)で進めた基礎的調査を踏まえ、従来より研究を進めている社会的交渉ベースの一つであるオークションをベースとした組合せ最適手法や分散協調型の資源配分手法などについて、人間のより精緻な意思決定機構を内包した新しい社会指向型マルチエージェントシステムのモデル化を検討し、実際の構築を試みた。その際、本提案手法の社会性がもたらす人とシステムの調和に基づいた頑健性と効率性といった特徴を上手に活かす定式化を検討し、対象システムの規模性に対して近似最適解(均衡解)の高速求解による計算効率の向上などの実現を目指し、計算機実験による特性評価を行った。なお、前述のとおり、対象とする生産の規模拡大により、生産システムの環境に与える影響への検討は重要なファクタとなるため、単に効率的な資源配分の最適化を追い込むだけでなく、環境に優しくサステナブルなものづくりを実践するための目的関数や決定変数、制約条件の設定なども重要な検討事項になると考えており、CNR-ITIAメンバーとの協力

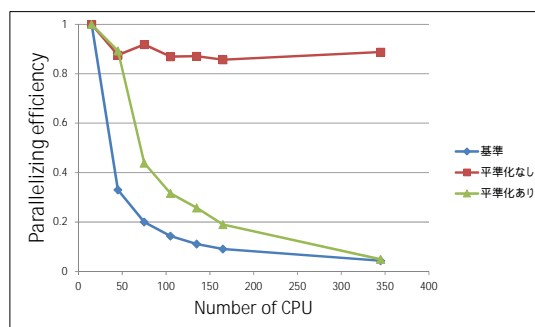
のもとでマルチエージェントシステムの定式化やシステム構築に関する検討を進めていった。また、これらの研究成果を論文にて発表した。



二酸化炭素排出量の最小化結果の一例

(3)GPGPU による並列計算技術を用いた高速な計算環境の構築

大規模生産の効率性を検討する場合、対象とする生産の規模が大きくなるにつれ探索すべき解空間が広がり、交渉による均衡解の計算に対し、たとえ近似最適解であったとしても実用的な時間での求解は困難になるのが一般的である。そこでここでは、最適化計算の効率向上を図るためマルチコア計算機を準備し、もともと自律分散的に処理を実行するマルチエージェントシステムとの親和性が高く安価なGPGPUによる並列計算技術を用いた計算環境の構築を検討した。そして、並列計算を効率的に計算するためのエージェントのプログラミング実装として、繰り返し計算内ロジックの単純化やGPGPU内のスレッド分割、多様なメモリの効率的利用方法などを検討し、実用を意識した高速な均衡解の導出を目指し、研究結果を論文等で発表した。なお、この分野はGPUメーカー主導の技術革新が主流であり、学術的な体系化はまだ未整備であるのが現状である。



並列化効果に関する評価結果の一例

次に研究の後半では、実生産・物流システムを模した物理モデルであるモデルプラントを用い社会指向型マルチエージェントシステムの実装を行った。また、その物理モデルをさらに擬似的に拡張する形で、センサやアクチュエータ、制御機構などをさらに充実させたより精緻な物理モデルを構築し、提案

手法の実環境における有用性について明らかにした。具体的には、以下の取り組みを進めた。

(4)物理モデルを用いた社会指向型マルチエージェントシステムの具現化と大規模生産に対する有効性検証

前半部に引き続き、社会指向型マルチエージェントシステムの方法論確立に取り組むとともに、ある程度進んだ部分について、生産システムの物理モデルであるモデルプラントを利用し提案法のプロトタイプシステムを構築しながらその具現化に順次着手していった。



モデルプラント設備

現有するモデルプラントは、あくまで小規模な FA 工場の物理モデルであるため、これにさらに高速プログラマブルコントローラや RF-ID といった最新のセンサ・アクチュエータ・制御機器を実装し、さらに充実させたより精緻で大規模な物理モデルの構築を進めた。またこのモデルプラントは、完全な自動制御による運用が前提であるが、ここでは、人とシステムのインタラクションを可能とするために、生産システム内に自動制御から切り離された構成要素を設置し、人間のヒューリスティックに基づく運用方式の実装が可能となるような機能拡張を実施した。このように、モデルプラントを社会指向型マルチエージェントシステムと統合化するために機能の拡張を行いながらさらなる規模の拡大を目指し、モデルプラント内センサ信号のリアルタイムでのモニタリングや人の意思決定アルゴリズムとの統合化、および生産管理システムからの物流制御指示などのインタフェース部等の設計・開発を行った。

また、このプロトタイプを用いて実運用を行いながら、社会指向型マルチエージェントシステムの頑健性や効率性、さらに社会指向型の枠組みによる人とシステムの協調について評価を行い、有効性や妥当性、実用性についての検証を行った。また、資源の無駄を極力排除することによるサステナビリティの指標からの提案法の優位性についても検証を進めていった。

最後に本研究のまとめとして、提案した社会指向型マルチエージェントシステムによ

る方法論を具現化・体系化し、実規模生産におけるその有効性について明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 49 件)

Giacomo Liotta, Toshiya Kaihara, Giuseppe Stecca, Optimization and Simulation of Collaborative Networks for Sustainable Production and Transportation, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014

田ノ畑裕幸、貝原俊也、藤井信忠、搬送を考慮した分散協調型生産スケジューリング手法に関する研究、計測自動制御学会論文集, Vol.49, No.8, pp.802-807, 2013

Fang Yu, Toshiya Kaihara, Nobutada Fujii, Multi-agent based Multi-item Negotiation of Supply Chain Networks using Game Theory, 電気学会論文集 C 編, Vol. 133, No. 9, pp.1633-1669, 2013

Toshiya Kaihara, Shinji Kurose, and Nobutada Fujii, A Proposal on Optimized Scheduling Methodology and its Application to an Actual Scale Semiconductor Manufacturing Problem, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.61, PP.467-470, 2012

銭 毅, 藤井信忠, 貝原俊也, 藤井進, 梅田豊裕, 運用段階における社会的交渉ベースの実仮想融合型生産スケジューリング, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.78, No.792, pp.3033-3042, 2012

〔学会発表〕(計 78 件)

貝原俊也, 藤井信忠, 野中朋美, 朱佳利, An Extended EOQ Model considering Recycling, Repair and Reuse in Reverse Logistics, 第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集 (CD-ROM), 2014.5.21, 京都

大掛宗利, 藤井信忠, 貝原俊也, 野中朋美, 中条朱希, 非一様型並列機械スケジューリング問題に対する並列分枝限定法の適用, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2013 講演論文集 (CD-ROM), pp.86-89, 2013.11.18, 大津

余芳, 貝原俊也, 藤井信忠, A game theory based negotiation for the supply chain network - The optimal settings of supply chain structure -, 第 56 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集 (CD-ROM), pp.69-70, 2012.5.3, 京都

〔図書〕(計 5 件)

Toshiharu Miwa, Toshiya Kaihara and

Youichi Nonaka, Integrated Maintenance System Trend and a Maintenance Scheduling System Application, Through-life Engineering Services: Motivation, Theory and Practice, Dr Louis Redding and Prof Rajkumar Roy Eds., Springer International Publishing AG, pp. 241-268, 2014.

共著：「電気学会 125 年史」, C 部門 6 編 2-2 製造流通情報システム (pp.494-495), C 部門 8 編 4-1 モデリング技術 (pp.524-525), 電気学会発行, 2013.9

6. 研究組織

(1) 研究代表者

貝原 俊也 (KAIHATA, Toshiya)
神戸大学・大学院システム情報学研究科・
教授
研究者番号： 70289114

(2) 研究分担者

藤井 信忠 (FUJII, Nobutada)
神戸大学・大学院システム情報学研究科・
准教授
研究者番号： 80332758

(3) 連携研究者

()

研究者番号：