

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560115  
 研究課題名（和文） 社会的交渉に基づくマルチエージェント型生産管理システムの提案とその実証的特性解析  
 研究課題名（英文） A proposal of multi-agent based production control system based on social negotiation mechanisms and its practical analysis  
 研究代表者  
 貝原俊也（KAIHARA TOSHIYA）  
 神戸大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：70289114

## 研究成果の概要：

消費者ニーズの多様化や複雑化，さらに製品ライフサイクルの短命化が進むにつれ，製造業を中心とするサプライチェーン全体において，納期の短縮化や変種変量生産への迅速な対応などが求められるようになってきた．そこで本研究では，人間社会が有する社会的交渉をアナロジーとしたシステム理論に基づく新しいマルチエージェント型生産管理システムを提案し，その有効性について実規模のラインを対象とした実証的特性解析により定量的に示すことを試みた．その結果，従来の自律分散型に基づくフレームワークとは異なる特徴と優位性をもった新しい生産管理システム構築のための方法論を確立するとともに，その有用性や実用性についても実証的に確認することができた．

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学

キーワード：生産管理，マルチエージェント，社会的交渉，サプライチェーン

## 1. 研究開始当初の背景

消費者ニーズの多様化や複雑化，さらに製品ライフサイクルの短命化が進むにつれ，製造業を中心とするサプライチェーン全体において，納期の短縮化や変種変量生産への迅速な対応などが求められるようになってきた．この実現に向けて，ランダム生産システム<sup>1)</sup>，生物型生産システム，フラクタ

ル生産システム，ホロニック生産システム，などの新たな生産システムの基本構成が提案されてきた．これらに共通する特徴として，知的な生産設備の自律的な意志決定機能を利用した分散処理により，生産システムの管理および制御を行うという点が挙げられる．

これらの取り組みにおいて，上述のとおり，

知的な自律要素がそれぞれ影響を与え合うことでシステム全体を統制するという枠組みは共通しているが、生産システム内における相互関係のしくみの違いがそれぞれを特徴づけている。例えば、生物型生産システムでは、生物が内包する遺伝的要素や形質などを相互作用のメカニズムとして利用することで生物の持つ自己組織性や創発的特徴を生産システムに付与している。またホロニック生産システムでは、生態や社会に見られる階層構造(これをホラーキーと呼ぶ)に着目し、生産要素(ホロン)に自己規制機能と自律性をバランスよく持たせることでシステムの安定性を実現する。このように色々と提案されている自律分散型の生産システムにおいては、作業者等の人間系を陽に含んだ概念の提案は少なく、システムに社会的要素を付加するような検討はなされていなかった。しかし、社会的要素を考慮することで、今までの生産システムには存在していなかった柔軟性や頑健性の実現が期待されていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、現実の社会が有する効率性と安定性、頑健性などに着目した。そして、従来より、システム内の構成要素のインタラクションとして、我々が日常社会で実践している社会的交渉を抽象化し適用することで、現実の社会と同様に大規模で動的に変容する生産環境下において、効率性と安定性を同時に実現できるような優れた性能を示す生産管理システムの新しい方法論について研究を進めてきた。この取り組みは、広い意味で前述した自律分散型の生産システム研究の範疇に含まれるが、生産システム内に存在する自律要素の相互作用として、人間社会が有する社会的交渉をアナロジーとしたシステム理論に基づいている点が他にはない新しい考えとなっている。社会的交渉にはさまざまな形態が存在する。我々は、社会科学における研究分野より特に経済学に着目し、今までに以下のような体系化を行ってきた。この中で下線になっている部分が、我々が現在研究を進めている社会的交渉に基づく方法論の名称である。

### (1) 資源配分行為に基づくもの

### ・新古典派経済学

完全競争市場 : ワルラス型仮想市場

不完全競争市場 : クールノー均衡型仮想市場

### ・複雑系経済学

複雑系相対取引市場 : 複雑系仮想市場

### (2) 契約行為に基づくもの

財交換における契約取引 : ディスパッチング型オークションシステム

財交換における組合せ最適化 : 勝者決定型オークションシステム

具体的なアプローチとしては、上記のいずれもディスパッチング型オークションによるマルチエージェントシステムの概念を拡張した取組みとなっており、これまでに少しずつ研究を進めてきたものである。

ここで今回の申請では、前述の区分の中で、主に契約行為に基づく社会的交渉メカニズムに基づいた新しい生産管理システムの提案、および、実規模のラインを対象とした実証的特性解析をその研究目的とした。

## 3. 研究の方法

社会的交渉に基づくマルチエージェント型生産管理システムの提案や、その実証的特性解析を進める上で、具体的には下記の5つの課題について研究を遂行した。

(1) マルチエージェントシステムによる社会的交渉モデルに関する基礎的考察  
研究目的にて述べたように、社会科学の分野においては、社会を構成する複数の意思決定主体による効率性と頑健性の高い資源配分を実現するための理論的枠組みが用意されている。そこでここでは、まず本研究で着目する社会的交渉について、経済学のみならず経営学やマーケティングサイエンス、期待効用理論などの社会科学分野についてもさらに広範な調査を行い、そこで提案されている理論的枠組みの整理・体系化を進めた。さらに、マルチエージェントシステムによるモデル化の容易性についても併せて検討を実施した。

(2) マルチエージェント型の社会的交渉プロトコルに関する研究  
マルチエージェント技術そのものは、情報処理や人工知能の分野で主に研究されている。しかし、これを現実の生産管理システムへ適

用する際には、交渉プロトコル自体をより現実的なモノづくりの概念に近づけていく必要があった。そこでここでは、上記の1項にて体系化された社会的交渉の枠組みをマルチエージェントプロトコルとして具現化することを試みた。そして、その具現化されたマルチエージェントプロトコルを、生産管理に特徴的な資源配分タスクに合ったものへと昇華させていくことを検討した。その際に重要となるのがエージェントの定式化であり、適応的な振舞いを内包する形でエージェントモデルの構築を進めた。

### (3) 社会的交渉プロトコルの生産管理への統合のための基礎検討

ここでは、社会的交渉プロトコルを生産管理における計画手配プロセスへ統合化するための基礎検討を進めた。具体的には、生産管理における基準計画策定モジュールである日程計画プロセスに、組合せ最適化手法の一つである勝者決定オークションシステムの組込み等を検討し、タイムバケット単位での最適なスケジュール解の導出と、それにとりまなう人員や工具、ジグなどの最適ナリソース配分計画立案の具現化を試みた。

### (4) 社会的交渉プロトコルの運用系生産管理システムへの統合化

ここでは、運用系生産管理システムとしてリアルタイム生産スケジューリングシステムを対象とし、ディスパッチング型オークション機構を利用した高速かつ実用的なプロトタイプを作成した。ここで、試作したリアルタイム生産スケジューリングシステムは、加工ワークを決定する方法として納期余裕と段取り時間を競り値としたディスパッチング型オークション方式を用いた。すなわち加工設備を商品、次加工ワークの候補を参加者としてオークションを開催し、ワークはその設備で加工する場合の段取り時間と自身の納期までの余裕時間を競り値として報告する。設備は各ワークの競り値を自身の判定基準に基づいて評価し、落札者すなわち次加工ワークを決定する。また、生産の実行にあたって、リアルタイムスケジューリングで次加工を決定するだけでは将来にわたる納期遅れの発生の予測ができず対策も打てない。そこでリアルタイムスケジューリングと並行して短期的な予測シミュレーションを実施することで、納期遅れ発生のチェックを行えるようにした。なお、シミュレーションの実行タイミングは、リアルタイムスケジューリングが行われるごとに毎回行うことを検討

した。

### (5) 生産管理プロトタイプシステムの開発と実証的な特性解析の実施

上述した(3)計画手配系と(4)運用系を統合化し、市販の標準的なAPSシステムを利用しながら社会的交渉に基づくマルチエージェント型生産管理システムを試作した。そして、現実の大規模機械加工ジョブショップラインを対象として、提案に基づき試作した生産管理システムの特性解析を実施した。最後に提案法の効果や有効性について検証・まとめを行い、本研究を終了した。

## 4. 研究成果

ここで試作した本生産管理システムは、大別して計画手配系のAPSと運用系のリアルタイム生産スケジューリングシステムの2つから構成される。APSは市販のパッケージソフトに前述の勝者決定型オークションシステムを利用した最適化モジュールを組み込み、実時間で高速な最適化生産スケジュールの計画立案を試みた。次に、リアルタイム生産スケジューリングシステムとしては、ディスパッチング型オークションシステムを利用した高速かつ実用的なものを構築した。最後に本研究は、実在する大規模な機械加工ジョブショップラインを対象とし、提案する生産管理システムについて、実証的な特性解析を実施した。その結果、以下のことが検証された。

- ・生産システムの効率性と頑健性：先に述べたように、我々の営む社会は決して最適ではないが効率性と頑健性を自然に内包している。従って、社会的交渉に基づく生産管理システムを構築することで、日程計画やスケジューリング問題に共通となる資源配分の効率性と柔軟性がある程度まで実現できると考えられた。この場合、例えば勝者決定型オークションでは、グローバルな探索空間をオークション参加者(この場合には、例えば生産機械や処理対象ワーク)の特性に従い適切に絞りこんだ後、組合せ最適化を実行することで、交渉過程を模倣しながら短時間で最適解を見つけることが確認された。また頑健性については、例えば代表的な外乱である機械故障を取り上げた場合、このオークションメカニズムにおいては、あくまで入札してきた機械がスケジ

ューリングの対象となり、故障した機械は、特にスケジューリングシステムを停止することなく、そのままの状態から自然にスケジュールの対象外としてみなされる。そして、残った処理キャパシティを基準とする資源配分が交渉に基づき自律的に実行される。また、故障より修復した際には、再度入札を出し始めることによりそのままシステムへの自動復帰が可能となり、適切な資源配分が実施可能となる。これは、人間同士の個別取引とまったく同じ構造を持ち、このような特徴をもつ提案法は、環境変化に対する高い頑健性を有していることが確認できた。

・現場感覚に対する親和性：ここで提案する方法論は、人間が普段行っている意思決定を基本とし、そのお互いの交渉過程を通じてシステム全体の効率性を実現するという構造を持つ。従って、現場作業者がスケジューリング作業で意識している感覚をそのまま実装することが可能であり、また出てくる結果に対しても理解しやすいことが確認できた。この結果、今後は提案法について実ラインへのスムーズな導入が可能になると期待される。これも、本来、人間同士の交渉がベースとなっている社会的交渉の持つ優位性であると考えられる。

以上より、本研究の成果として、従来の自律分散型に基づくフレームワークとは異なる特徴と優位性をもった新しい生産管理システム構築のための方法論が確立された。

#### 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8件)

- ① 貝原俊也, 指尾健太郎, 神野亘俊, 限定的な情報共有環境下における拡張ラグランジュ分解調整法を適用した企業間交渉の最適化に関する研究, 計測自動制御学会論文集, 44 巻 11 号, pp. 848-854, 2008, 査読有.
- ② T. Kaihara and S. Fujii, A study on modelling methodology of oligopolistic virtual market and its

application into resource allocation problem, Electrical Engineers in Japan, Wiley, Vol.164, No.1, pp.77-85, 2008, 査読有.

- ③ T. Kaihara, K. Sashio and K. Miura, Social contract based manufacturing scheduling with combinatorial auction mechanism, Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, Springer-Verlag, London, pp. 265 - 268, 2008, 査読有.
- ④ T. Kaihara, A multiagent-based complex systems approach for dynamic negotiation mechanism in virtual enterprise, International Journal of Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol.24, No.5, pp.656-663, 2008, 査読有.
- ⑤ Y. Yao, T. Kaihara, K. Sashio, K. Morikawa, A scheduling methodology for dynamically changing manufacturing environment, Proc. of 2008 International Symposium on Flexible Automation, 2008, 査読有.
- ⑥ T. Kaihara and S. Fujii, Supply chain management for virtual enterprise with adaptive multi-agent mechanism, Special Issue of "Innovative Approches in Technology and Manufacturing Management, International Journal of Manufacturing Technology and Management, Vol.14, No. 3/4., pp.299-310, 2008, 査読有.
- ⑦ 指尾健太郎, 貝原俊也, 藤井進, 梅田豊裕, 生産コストに基づいた意思決定支援システムの一提案 -適性ロットサイズの決定問題への適用-, 精密工学会誌, 73 巻 7 号 通巻 871 号, pp.840-845, 2007,

査読有.

- ⑧ 貝原俊也, 藤井進, 指尾健太郎, 藤本智子, 格子型機械配置生産システムにおける自律的レイアウト創成機能に関する研究 (第1報 - 計画段階におけるレイアウト創成機能-, 精密工学会誌, 73 巻 4 号 通巻 868 号, pp. 481-486, 2007, 査読有.

[学会発表] (計 1 1 件)

- ① 貝原俊也, 藤井信忠, 西林聡, 藤井進, 梅田豊裕, フレキシブルフローショップを対象とした分散協調型スケジューリング手法によるロット編成とスケジューリングの同時最適化, 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2009, pp. 79-80, 2009. 3. 10. 法政大学
- ② 銭毅, 藤井信忠, 貝原俊也, モデルプラントを用いた実仮想融合型の生産スケジューリング手法に関する研究, 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 323-324, 2009. 3. 16-18. 埼玉大学
- ③ 貝原俊也, 藤井信忠, 辻翔平, 藤井進, 倉橋正志, 林伸広, セル間交渉を用いたオークション型生産スケジューリング手法の最適性評価, 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 327-328, 2009. 3. 16-18. 埼玉大学
- ④ 貝原俊也, 藤井信忠, 指尾健太郎, 銭毅, モデルプラントを用いた実仮想融合型の生産管理手法に関する研究, 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2008, pp. 71-72, 2008. 7. 4. 産業大学院大学
- ⑤ 貝原俊也, 藤井信忠, 辻翔平, 藤井進, 倉橋正志, 林伸広, オークションによる

セル間交渉を用いたセル生産スケジューリング手法に関する研究, 精密工学会 2008 年度関西地方定期学術講演会講演論文集, pp. 87-88, 2008. 7. 29-30. じばしん南大阪

- ⑥ 貝原俊也, 指尾健太郎, 藤井進, 三浦克仁, 生産スケジューリング問題に対する組合せオークションを用いた最適化手法に関する一提案, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2007 講演論文集, pp. 293-298, 2007. 11. 26-28. 国立オリンピック記念青少年総合センター

[図書] (計 1 件)

- ① J. F. Opadiji and T. Kaihara, Agent-Based Adaptive Production Scheduling, Agent-Based Approaches in Economics and Social Complex Systems V, Springer Series on Agent-Based Social Systems, Vol. 5, Springer-Verlag, Tokyo, pp. 119-130, 2009.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

貝原 俊也 (KAIHARA TOSHIYA)

神戸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号 : 70289114

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者