

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350447

研究課題名(和文) エージェント間の情報伝播と群知能を応用した自律分散搬送制御システムの開発

研究課題名(英文) Development of an Autonomous Decentralized Transport Control System using Agent-Based Information Propagation and Swarm Intelligence

研究代表者

辻 康孝 (TSUJI, Yasutaka)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：90304732

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：搬送制御システムにおいては、複雑な搬送要求に対応でき、かつ需要変動等による生産システムの変更や再構築にも対応できるシステムが求められている。本研究課題では、搬送されるワークが残した情報をフェロモン情報として定義し、各搬送要素間での情報伝播と組み合わせることで、ワークに対する処理機械の適応的な割当とそこまでの経路制御を行うことができるマルチエージェントに基づく搬送制御手法の開発を行った。また近年のエネルギー問題の高まりから、使用エネルギーの削減も重要な評価指標となっているため、提案手法のエネルギー消費の低減を指向した搬送制御手法への拡張も試みた。

研究成果の概要(英文)：A recent transport control system for a production system needs abilities to treat complicated transport requirement and reconfigure the system due to demand fluctuation etc. This research proposed a multi-agent based transport control system which can perform both an adaptive allocation of the processing machine for a product and a dynamic routing to the allocated machine. In the proposed method, each element of the system acts as an agent and uses a combination of two types of information to drive out products: path information obtained by communication with neighboring agents and pheromone information deposited on the tracks of products. Reduction of energy consumption in a production process becomes more important as an estimation criterion. The research also extended the proposed method to an energy-aware transport control method.

研究分野：システム工学

キーワード：搬送システム 群知能 マルチエージェント 生産システム Energy-aware 自律分散システム

### 1. 研究開始当初の背景

半導体等のエレクトロニクス製品は熱・化学・検査・実装処理等の複雑な工程を経て製造される。そのため半製品（ワーク）を各工程の間を搬送する要求も複雑であり、効率的な搬送制御手法の開発は極めて重要な課題である。特に近年の製品の多様化、すなわち多品種少量化や個別仕様生産により、複数タイプの製品や多くの試作品を同一の製造ラインで処理し、またそれぞれ処理工程や順序が異なるため、製品ごとの搬送経路の計画も求められる。

一方、需要変動が激しい製品製造の場合、製造ラインの変更（故障・増設・更新）の頻度も高く、それに伴い搬送システムの再設計も必要になる。さらには突発トラブル、ライン変更に伴い設備の一部が停止した状況でも製造を安定継続できることも求められる。

これまでの研究では、様々な制約を満足し、評価関数（メイクスパン等）を最小にする製品の機械への割当順序、製品投入順序、バッファ容量等を、最適化手法（GA・数理計画法等）を用いて事前決定するものが多く、計画変更を考慮した場合には再計画問題としての取り扱いがなされている。そのため搬送を考慮しないか、考慮する場合には搬送経路計画として別の取り扱いがなされている。その搬送経路計画も最適化問題として扱われる。

研究代表者は、処理機械群及び搬送機械群をマルチ・エージェントとみなし、各エージェント間での情報交換により、ワークを効率的に目的地（処理機械）まで搬送する手法を考案した。提案手法の特徴は、搬送されるワークが残した痕跡を二次情報（フェロモン情報）として活用している点にある。近年のRFID等の無線技術や情報端末の低価格・高機能化により、研究代表者が指向するような搬送制御手法に求められる、搬送機械の知能化や搬送に係る様々な情報の取得・更新も容易になっている。

### 2. 研究の目的

以上の点を踏まえた上で、本研究では、研究代表者らの提案手法の進化・高度化を狙い、また応用的な手法としての確立を目的とする。具体的な研究目的を以下に述べる。

(1)提案手法では、エージェント間で情報を伝播させながら、ワークの搬送を行っているため、効率的な搬送の実現には、各エージェントが保持する情報及びその伝播方式が重要となる。そこで、まずエージェント間でのような情報を伝播させるか検討を行う。次に搬送されるワークの痕跡情報としては様々な情報が利用可能であり、フェロモン情報の定義及び効果的な利用法についても検討を行い、提案手法の高度化を目指す。

一方、提案手法では、情報伝播に係るいくつかの調整パラメータがあり、試行錯誤により決定している。そこで提案する搬送制御手

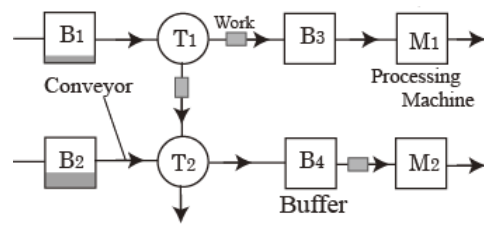


図1.対象とする生産システムの形態

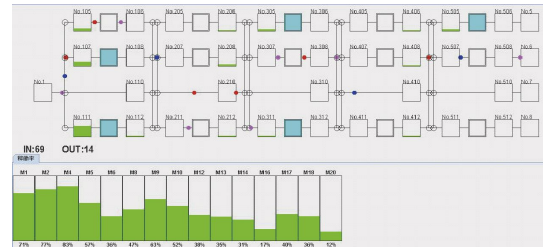


図2.搬送シミュレータ

法の数式モデルを構築し、パラメータ決定法の確立を行い、理論的な裏付けのもとで提案手法の有用性を示す。

(2)次に生産システムが変動する環境下や突発的な故障等に対する提案手法の性能評価を行う。また処理工程間で時間制約があるような、より複雑な搬送要求を取り扱うことができる手法への拡張を目指す。

(3)(2)まではフローショップタイプの生産システムへの適用を前提としている。当初は、さらに複雑なジョブショップタイプの適用も行う予定であったが、シミュレータの拡張が問題となった。近年の環境・エネルギー問題の高まりや国際的な規制強化により、生産システムにおけるエネルギー（消費電力）の低減が効率性ととも重要になっていることから、代替の応用研究として、提案手法をエネルギー消費低減を指向した搬送制御手法への拡張を行う。

### 3. 研究の方法

生産システムの形態及びその搬送システムに使用される機器の種類によって、対象とする生産システムの規模や複雑さが異なる。そこで本研究における搬送制御手法の開発においては、以下の生産システム構成を前提として進める（図1参照）。

- ・多段階のフローショップ型の生産システム
- ・コンベア・ターンテーブル・バッファから構成される搬送システム
- ・複数の処理工程及び各工程には、処理能力の異なる機械を複数配置
- ・処理工程の異なる複数タイプのワーク搬送
- ・特定の処理を行わない場合は、迂回路を通過して次工程に搬送される。

本研究では、J A V A で開発した搬送シミュレータ（図2参照）を用いて、段階的に以

下のように進めて行く。なお、搬送シミュレータは、本研究課題で調達したワークステーション上に実装して行った。

(1) まず処理機械、搬送システムの各要素がワークを目的地まで適切に搬送するのに有用な情報を抽出する。ワーク搬送の目安としては、それぞれの搬送要素からワーク目的地までに要する搬送時間が考えられ、それをできるだけ正確に見積もれる情報と情報伝播の構成を考案する必要がある。またバッファや処理機械においては、現在の状況だけでなく、過去の状況についても考慮する必要がある。ここで一定の時間範囲で累積し、かつ古い情報は破棄あるいは減衰させて考える情報をフェロモンと定義する。このフェロモン情報を効果的に利用し、予測精度の高い情報を伝播させる手法を考案する。なお、以上の値は現実のシステムにおいて取得可能、計測可能な情報であることに注意する。

提案手法では、フェロモンの減衰率等いくつかの調整パラメータが存在する。これらを適切に設定するため、ネットワーク、待ち行列等を援用した設定法を開発する。

(2) 生産システムにおける変動として、突発トラブルや設備の一部が停止した状況を考え、このような状況でも搬送・処理を安定継続できることの検証及び性能評価を行う。

また納期制約や各工程間に時間制約のある場合に対して、時間制約を満たせるように搬送経路の見積・判定、合流部分へ送る時の優先順位等について検討し、提案手法の拡張を行っていく。

(3) 一般に機械は加工作業を行っていないときでも、大きな待機電力を消費している。そのため生産を行いつつ、待機状態にある機械の待機電力を低減またはカットすることにより、使用電力量の低減が期待できる。(1)で開発した提案手法の考え方を拡張し、待機状態の各機械の電力供給のオン・オフを切り替える手法を開発する。特に、緩衝装置としてのバッファに着目した情報伝播の拡張を実現する。なおピーク電力の低減は電力コスト削減に大きく寄与するが、本研究では総使用電力の低減のみを対象とした。

#### 4. 研究成果

本研究では、搬送制御手法の開発と並行して、開発部分を搬送シミュレータに追加することで評価実験を行ったが、完全な形でシミュレータに実装できない場合もあった。その場合はできるだけ近い状況による代替評価を行った。

各研究項目の研究成果の概要を述べる。

(1) フェロモンとして、通過したワークの個数でなく、バッファでは“ワークの増加速度” = (流入数 - 流出数) を定義した。これによりバッファ前方の混雑状況あるいは通

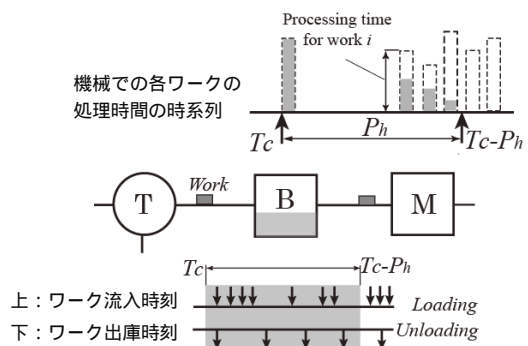


図3. フェロモンの定義

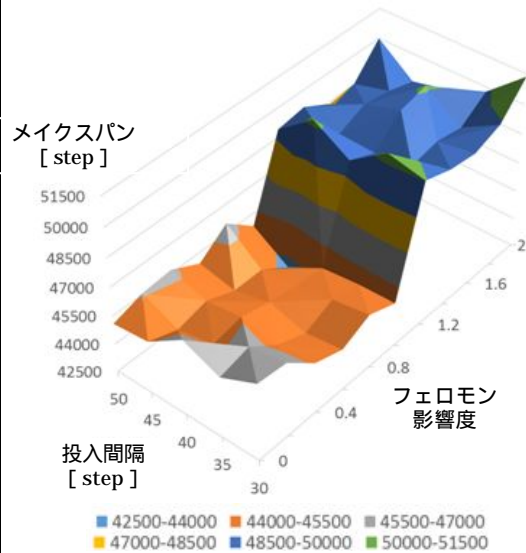


図4. シミュレーション結果の一例

過の容易さを予測することができる。また処理機械においては、ワークが留まっていた時間、すなわち機械の処理時間を、一定期間内での累計値(古い情報は減衰させた上で)として定義した。これにより機械の稼働状況や処理の遅延の見積り、さらに下流側の大まかな状況を予測することができる。これらの値の定義を図3に示す。情報の伝播は各処理機械から始まり、処理機械のフェロモンにその上流側の各エージェント(搬送要素)でかかる搬送時間を加算することで、各エージェントから処理機械を通過するまでの所要時間の予測が可能となる構成とした。なおバッファではフェロモン、すなわちワークの増加速度を勘案した時間予測を加えている。

シミュレータによる性能評価実験では、この手法との比較が困難であったため、主にフェロモン導入の効果と調整パラメータについて評価を行った。シミュレーション結果の一例を図4に示す。この例では5種類のワークを計1000個処理したとき、二つのパラメータ(ワーク投入間隔とフェロモンの影響の強さ)の組合せに対して、メイクスパンで評価したものである。フェロモンに関するパラメータを適切に調整すれば、一定の改善が図れることが分かった。しかしフェロモンの影響を強め過ぎると大幅な搬送性能の劣化に繋がる結果となった。

このようなパラメータ調整による性能劣化を回避するため、数値モデルによる設定法の開発を行ったが、研究期間内で開発することができなかった。提案手法の実用性を高めるためには、数式モデルに基づく調整が必要不可欠であるので、今後も継続して行く必要がある。

(2) 特定の機械の処理機能が低下し、ワークの処理に大幅な遅延を発生させた状況(遅延は途中で解消される)を想定してシミュレーションを行った。遅延により特定の処理機械へワークを送れなくなっても、他の経路を通じて別の処理機械へ搬送が行うことができることを確認した。また遅延が発生しない場合と比較して、大幅なメイクスパンの増大は見られなかった。これは遅延が発生している処理機械のフェロモンが徐々に大きくなり、当該機械への搬送が回避され、他の処理機械への搬送が適切に行われたと考えられる。しかしながら、バッファでのフェロモンの効果においては有意な効果が見られなかった。

また納期及び時間制約のある場合については、シミュレータの拡張が研究期間内に間に合わず、実施できなかった。

(3) 使用電力削減手法としては、機械の電力消費モードと機械のフェロモン(累積処理時間)の二つの情報によりバッファが操作対象となる機械の電力モードを適応的に切替える。同時にワーク搬送も適切に行っている。開発手法を図5に示す。

シミュレータに開発部分を完全に実装できなかったため、シミュレーション実験では疑似的に次のような形で実施した。

- ・まず節電モードへの移行命令を機械への搬送を妨げる情報送信を行うことで、機械の稼働を抑制し、疑似的に電力抑制モードに移行したと仮定した。
- ・機械の稼働状況のログ解析から節電可能部分を特定し、節電したと仮定して消費電力を再起動時間も考慮した形で算出した。

実験の結果、消費電力抑制の効果は有意な結果が得られなかった。シミュレーションのログを詳しく調べたところ、過剰なワーク投入を行った条件だったため、機械稼働の抑制が上手く機能しなかったためと分かった。また稼働率の低い機械では図6に示すように、定常状態では、断続的に電力抑制と再起動が繰り返され、電力抑制した状態を長く維持できていなかった。この断続的に行われる切替を、うまく調節できれば使用電力の改善に繋がると考えられる。今後は、シミュレーション実験の見直しとともに、電力抑制状態をできるだけ長く維持するための仕組みの実装を行う必要がある。

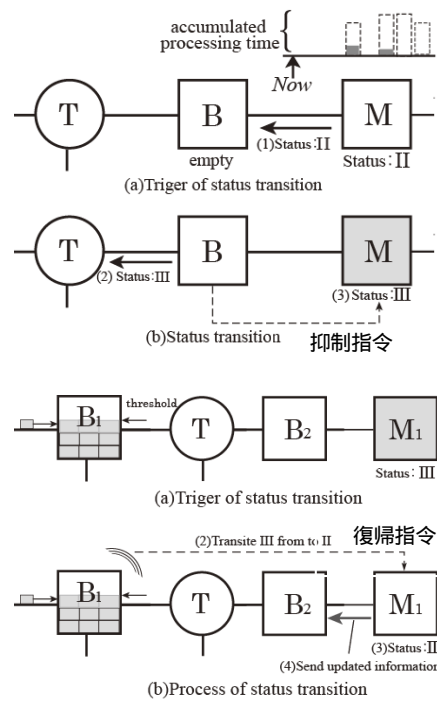


図5. 提案する電力抑制手法の構成  
(上: 電力抑制へ移行, 下: 復帰)

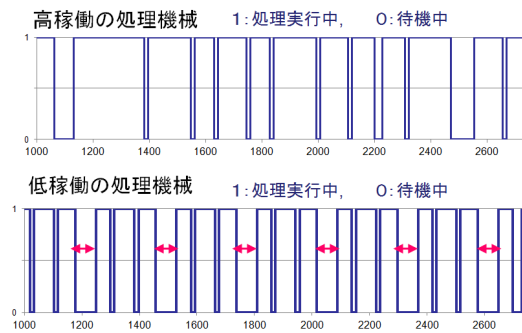


図6. 機械の稼働状況の一例

## 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)

[学会発表](計3件)

金澤 昌範, 辻 康孝, エージェント間の伝播とフェロモン情報を用いた搬送システムにおけるロバスト性能評価, 33 回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 2014 年 12 月(九州工業大学)

辻 康孝, 金澤 昌範, 情報伝播と群知能を援用した自律搬送システムに関する研究, 生産システム部門研究発表講演会, 2015 年 3 月(慶応大学 日吉キャンパス)

辻 康孝, 藤田 慎也, エネルギー消費を考慮したマルチエージェントに基づく搬送制御システムの一構成法, 日本機械学会九州支部第 69 期総会・講演会, 2016 年 3 月(熊本大学)

〔その他〕なし

6．研究組織

(1)研究代表者

辻康孝 (TSUJI, Yasutaka)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：90304732