

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16296

研究課題名(和文) 容易に低コスト生産を実現できる生産制御システムの開発

研究課題名(英文) A study to develop an intelligent control system that enables low-cost production

研究代表者

翁 ウェイ (Weng, Wei)

早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・助教

研究者番号：80631522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、一般的な生産システムに生産プロセスも原料補充方式も変更せずジャストインタイム生産システムと同様に納期直前の製品完成ができるようにさせるための制御システムを開発する。分散型インテリジェント制御システムと前後半に分ける生産システムモデルを提案することで、ジャストインタイム原料供給の条件を緩み、納期直前の製品完成を達成した。しかも、機械をタイミングよく電源オフ・電源オンにすることで、生産用電力を最小にし、製品の在庫コストと生産のエネルギーコスト両方の削減で低コスト生産の実現に貢献した。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop a control system that enables a traditional production system, which uses a flow-shop or job-shop process, to complete products just before their due dates, like in a just-in-time production system. We propose a distributed intelligent production control system and a hybrid system model, which successfully removed the restriction to JIT material supply and achieved just-in-time product completion. We also add a design to turn on and turn off machines at suitable times to minimize machine power. By reducing both inventory costs of completed products and energy costs of machine power, this research contributed to the development of low-cost production systems.

研究分野：インダストリアルエンジニアリング

キーワード：インテリジェント生産 生産制御システム

### 1. 研究開始当初の背景

市場のグローバル化により、製造企業間の競争が強まり、低コスト生産への要求は高まっている。生産システムにおいて最もコストを発生させている原因は在庫である。一般的な生産システムでは、注文を受ける前に需要量の予測によって原料が届いて生産を行うため、原料の在庫と売れない製品は発生しやすい。また、機械は全ての製品に共用されるプロセスを利用するため、製品ごとの完成時刻を管理しにくく、納期より早く完成された製品は在庫として保管スペースやコストも発生する。ジャスト・イン・タイム (JIT) 生産システムは、一般的な生産システムと異なり、注文を受けてから受注の量によって原料が補充され生産をするため、原料の在庫と売れない製品は存在しない。また、機械は一種類の製品に専用されるプロセスを利用するため、製品ごとの残り処理時間を把握しやすく、納期直前の製品完成ができる。そのため、一般的な生産システムより、原料と製品の在庫は大幅に少なく、生産コストも明らかに減少する。しかし、中小企業のような大量生産をしない企業にとって、JIT 生産システムの導入は JIT 原料補充や多数の機械・大きな生産スペースなど実現することが難しいこともあるため、JIT 生産システムを導入していない企業も多い。そこで、JIT 生産システムを導入せず JIT 生産システムのように納期直前の製品完成によって製品在庫を減らし生産コストを抑える技術が望ましい。

### 2. 研究の目的

上記背景に対して本研究は一般的な生産システムでは低コスト JIT 生産を実現するための制御システムを開発することを目的とする。

既存文献は一般的な生産システムに対応するものか JIT 生産システムに対応するものであり、一般的な生産システムを対象に JIT 生産を目指す研究は少ない。

それらの研究は、納期での製品完成を目標関数にし、線形計画法や進化型アルゴリズムなど静的な最適化手法を利用するものであり、ダイナミックな新着注文や突然な機械故障等には対応できない。また、問題の規模の増大によって必要な計算時間は急増するデメリットもある。

本研究は既存研究をベースに、一般的な生産システムでの JIT 生産を目標とし、静的な最適化手法と同じ効果を達成するうえ、ダイナミックな外乱が生じる場合もリアルタイムに対応できるような生産制御システムを構築する。

納期直前の製品完成の他、低エネルギー生産にも着手し、生産用エネルギー (電力) を最小にする方法を提案制御システムに入れる。在庫コストとエネルギーコスト両方の削減で低コスト生産を実現する新型生産制御システムの構築を目的とする。

### 3. 研究の方法

一般的な生産システムのほとんどであるフローショップとジョブショッププロセスを対象に、納期直前の製品完成を目指す分散型インテリジェント制御システムを提案する。また、JIT 生産システムにある JIT 原料補充という条件を緩むため、一般的な生産システムを前半と後半に分け、前半は従来の原料供給方式のまま半製品まで製造し、後半は提案制御システムを利用して受注生産を行う生産システムモデルを提案する。この二つの提案で JIT 生産を実現させるうえ、各工程で新着ジョブの到着時刻を予測することで、タイミングよく機械の電源を切ったり入れたりして生産用電力を最小にする。三つの提案の詳細は以下の通りである。

分散型インテリジェント制御システムは、各工程に一つの制御点を設置し、その工程のローカル情報を利用して複数の利用可能な機械に新着ジョブの処理機械を手配する。自分の前後工程の制御点と通信し前後工程の混雑度によって速い機械か遅い機械を利用することを決定する。ジョブごとの残り処理時間を予測し、最も納期の直前に完成できそうな機械を選ぶ。

前後半に分ける生産システムモデルは、従来の生産方式と JIT 生産方式をつなげるためのものである。前後半の分ける場所 (分岐点) は、もし前半の工程数が多いだと完成された半製品の在庫は多くなり、注文の少ない場合は在庫コストが発生する；もし後半の工程数が多いだと半製品から製品までの製造時間が長くなり納期の短い製品は納期に遅れる可能性がある。そのため、需要量及び生産システム中の混雑度を考慮するうえ、前後半の分岐点を動的に移動する方法を提案する。

各工程での制御点はローカルの処理待ちジョブの完成時刻と前工程から自分の工程に到着予定ジョブの到着時刻を予測し、その間は機械をアイドルにするか電源を切るかを判断する。電源を切る場合は、新着ジョブの納期直前の完成へ影響があるかどうかとその後いつ電源を入れるタイミングを決定する方法を提案する。

### 4. 研究成果

分散型インテリジェント制御システムは、動的な外乱に対応するため、マルチ・エージェントシステムを利用した。一般的な生産システムを代表するフレキシブル・フローショップとフレキシブル・ジョブショッププロセスでシミュレーションを行った他、北九州市にある実際の化学工場のデータを利用して検証を行った。

フレキシブル・フローショッププロセスでは、すべてのジョブの加工経路は同じであるため、後方の工程での混雑度によってジョブの残り処理時間を予測し、それに基づき現在の工程での処理機械を選ぶ。フレキシブル・

ジョブショッププロセスでは、ジョブごとの加工経路は異なるため、ジョブごとの後方の工程の混雑度を利用して上記の判断をする。

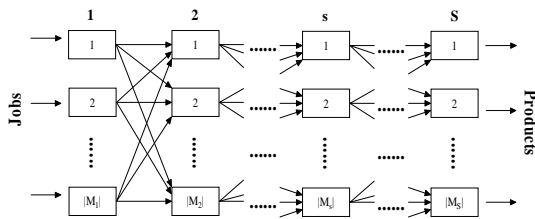


図1：研究対象とするフレキシブル・フローショップ生産プロセス

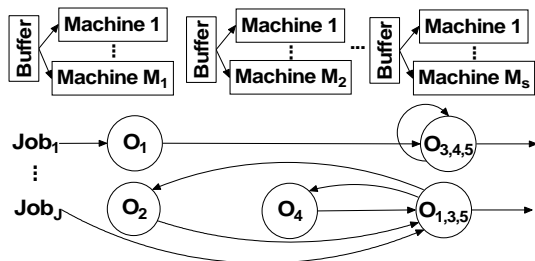


図2：研究対象とするフレキシブル・ジョブショップ生産プロセス

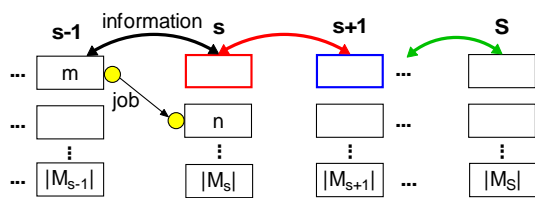


図3：提案の制御システムのイメージ

前方の工程での混雑度によって、需要量の変化を判断する。前方の工程はどんどん混雑になっているのであれば、需要量は増えていると考え、前のジョブを速めの機械で処理させ、新着ジョブを早く処理できるようにする。逆に、前方の工程は空いていくような傾向があれば、少々遅めの機械で処理させるか一部の機械を電源オフにする。

このようなヒューリスティック方法は多数提案のシステムに入れ、システム中の混雑度の変化・需要量の変化・過去の製品のJIT完成率の変化・製品納期の変化・突然の機械故障など様々動的な外因に対応している。

シミュレーションの結果によると、フローショップでもジョブショップでもJIT製品完成ができて、JIT生産システムの導入に比べ、提案制御システムの利用は実施の困難度を明らかに減少した。既存文献にある線形企画法や進化したアルゴリズムなどに比べ、提案手法は動的な外乱にも対応でき、柔軟性及びロバスト性が高い。また、工程数やジョブ数など増えても各工程の制御点は同時に計算す

るため、計算時間は増えず大規模な問題でもリアルタイムに解決できた。また、北九州市にある化学工場の実際のデータを利用して提案システムの有効性を確認できた。

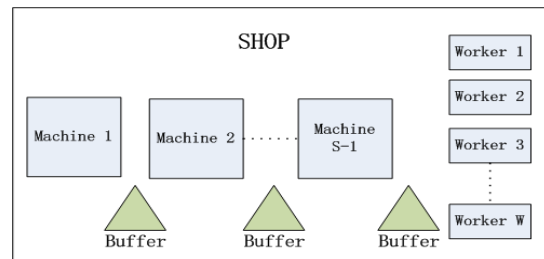


図4：北九州市にある化学工場の実際の生産プロセス

この成果に基づき、JIT原料補充という条件を緩むため、生産システムを前後半に分けるシステムモデルでシミュレーションを行った。

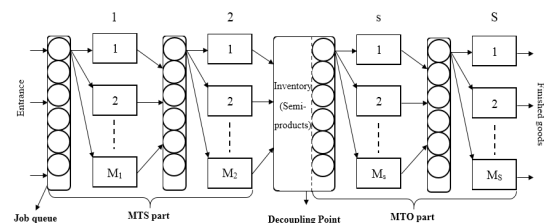


図5：提案の前後半に分ける生産システムモデル

後半のみ (Decoupling Point 以降) 提案の制御システムを利用する場合も納期直前のJIT製品完成ができることが分かった。しかし、前後半の分岐点の場所をうまく設定しないと、前半の半製品在庫は多くなり、在庫コストは増えてしまう。そこで、最も良い場所を選出する方法とシステム中の混雑度によって分岐点を移動する方法を提案した。具体的には、過去一定的な時間内で納期遅れの製品がなければ、分岐点をなるべく原料側へ移動し、半製品の在庫を減らす。納期遅れの製品があった時だけ、分岐点を製品側へ移動し、半製品から製品までの製造時間を減らしJIT製品完成を優先に保証する。このような提案でシミュレーションをすると、JIT製品完成率はシステムを前後半に分けない場合とほぼ同じく、半製品の在庫は分岐点を固定するシステムモデルに比べ明らかに減少したことが分かった。

JIT製品完成を達成した後、提案制御システムの制御点を利用して、生産中のジョブの本ワークステーションでの完成時刻と次のジョブの到着時刻に空く時間がある場合、機械のアイドルコストと電源入れコストを比べ、どちらにするかを決定する。また、複数の機械を電源オフにする場合の順番と電源オフした機械を再開する場合のタイミングと順番を決定する方法を提案した。節電

方法を入れていないシステムに比べ、JIT 製品完成率はほぼ同じく、生産用電力は大幅に減少したことが分かった。

まとめに、本研究は一般的な生産システムを JIT 生産システムへ変更しないまま JIT 生産ができるようにするための生産制御システムを提案した。生産システムを前後半に分けるシステムモデルと生産用電力を節約する方法を提案することで、JIT 原料供給の条件を緩み、生産用電力も減少することができた。提案制御システムを利用すれば、生産の在庫コスト及びエネルギーコストを両方削減でき、容易に低コスト生産を実現することができる。

学術成果として、雑誌論文 1 件・国際会議論文 11 件を発表した。海外大学での招待講演は一回し、国際会議でスペシャルセッションを一回主催した。応用成果として、提案制御システムは北九州市にある実際の工場のデータを利用して有効性を確認できた。

#### 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 2 件)

[1]. Ikutaro Okada, Wei Weng, Wenbai Yang, Shigeru Fujimura, “A genetic algorithm with local search using activity list characteristics for solving resource-constrained multiproject scheduling problem”, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering 11(S2): S34-S43, 2016.

[2]. 吴焯丹, 翁琄, 陆小锋, 基于混合分散搜索算法的实时动态车间调度研究, 《科技与创新》(Science and Technology & Innovation) 2016 年第 6 期, 9-11, 2016 (中国語).

[学会発表](計 11 件)

[1]. Wei Weng, Yifan Yang, Shigeru Fujimura, “A control method to save machine energy in production”, 2018 International Conference on Advanced Control, Automation and Robotics, Bangkok, Thailand, 2018.2.

[2]. Linna Li, Wei Weng, Shigeru Fujimura, “An improved teaching-learning-based optimization algorithm to solve job shop scheduling problems”, 16th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, pp. 797-801, Wuhan, China, 2017.5.

[3]. Yiyong He, Wei Weng, Shigeru Fujimura, “Improvements to genetic algorithm for flexible job-shop scheduling with overlapping in operations”, 16th

IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, pp. 791-796, Wuhan, China, 2017.5.

[4]. Yanchao Jia, Wei Weng, Shigeru Fujimura, “A hybrid MTS-MTO production model with a dynamic decoupling point for flexible flow shops”, 16th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, pp. 803-807, Wuhan, China, 2017.5.

[5]. Yifan Yang, Wei Weng, Shigeru Fujimura, “An approach for energy conservation in just-in-time production”, Proc. of SICE International Symposium on Control Systems 2017, 3A1-3, 4 pages, Okayama, Japan, 2017.3.

[6]. Wei Weng, Gang Rong, Shigeru Fujimura, “A distributed learning method for due date assignment in flexible job shops”, DOOR-SUP 2016 Discrete Optimization and Operations Research CEUR-WS 1623: 791-798, International Conference on Discrete Optimization and Operations Research 2016, Vladivostok, Russia, 2016.9.

[7]. Wei Weng, Shigeru Fujimura, “Estimating job flow times by using an agent-based approach”, Proc. of 5th International Congress on Advanced Applied Informatics, pp. 975-979, Kumamoto, Japan, 2016.7.

[8]. Yingzhe Jiang, Wei Weng, Shigeru Fujimura, “Multi-agent just-in-time manufacturing scheduling system for dynamic environment”, Proc. of 5th International Congress on Advanced Applied Informatics, pp. 1022-1025, Kumamoto, Japan, 2016.7.

[9]. Wei Weng, Shigeru Fujimura, “Methods to estimate the lead time of an order in a flexible flowshop”, Proc. of 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 1353-1356, Taipei, Taiwan, 2016.3.

[10]. Wei Weng, Shigeru Fujimura, “A dynamic control method for just-in-time production”, Proc. of The 2nd International Conference on Electrical and Electronic Engineering, Telecommunication Engineering, and Mechatronics, Manila, Philippine, 2016.2.

[11]. Junru Chen, Wei Weng, Gang Rong,

Shigeru Fujimura, "Integrating Genetic Algorithm with Time Control for Just-In-Time Scheduling Problems", IFAC-PapersOnLine 48-3: 893-897, 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing 2015.5.

〔その他〕

ホームページ等

[https://ridb.kanazawa-u.ac.jp/public/detail.php?id=4726&page=1&org1\\_cd=585000](https://ridb.kanazawa-u.ac.jp/public/detail.php?id=4726&page=1&org1_cd=585000)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

翁 璋 (WENG, Wei)

早稲田大学・理工学術院 大学院情報生産システム研究科・助教

研究者番号：80631522