

早稲田大学大学院情報生産システム研究科

博士論文審査結果報告書

論 文 題 目

A Multi-Agent Scheduling System
for Just-In-Time Production

申 請 者

WENG, Wei

情報生産システム工学専攻
生産管理情報システム研究

2011年 5月

生産システムにおいて、与えられた仕事（ジョブ）を指定された納期に終了すること（Just-In-Time: JIT）は基本的かつ重要な要件である。納期に終了できなければ様々な障害が生じる。納期より早期に終了すれば、製品あるいは中間品の在庫増加を招き、製品によっては滞留時間が品質劣化を引き起こす場合もある。遅延して終了すれば、顧客や次工程に製品あるいは中間品を届けることができなくなるだけでなく、顧客との今後の取引に影響を与え、次工程の生産に混乱をきたす。このような障害を回避するために JIT を実現するための手法が望まれている。

従来、JIT を実現するための数理的な手法に関する研究が多く行われている。しかし、これらの研究の対象は問題を解く前に既知である静的な情報により定義される問題を扱う研究が多く、情報の動的な変動によって状況が変化する問題を扱う研究は少ない。これは、問題自身の難しさに加えて、様々な状況の変化に対する正当な評価の難しさに起因している。ところが、現実には様々な変動要因が存在する。注文はリアルタイムに到着し、需要は常に変化する。作業員の作業効率は個人によって異なり、製造のための機械は故障する可能性がある。そこで、このような変動要因によって状況が変化する生産システムの JIT を実現する手法を提案することは非常に意義がある。

このような課題に対して、本論文では、生産システムの機械や工程をエージェントとして捉え、機械の追加・削除、工程の変更に対してエージェントの機能を変更することなく動的に対応可能なマルチエージェント（Multi-Agent: MA）スケジューリングシステムを提案している。現実の生産システムでは、複数工程のフローショップ、あるいは代替可能な機械群による構成が一般的であり、これらの構成を汎用化したハイブリッド・フローショップ（Hybrid Flow Shop: HFS）を本提案では対象としている。そして、様々な変動要因のシミュレーションによる評価が行われ、提案手法の有効性が明らかにされている。さらに、実問題への適用による評価が行われ、提案手法の実用性が示されている。

第 1 章「Introduction」では、研究の背景、本論文で扱う問題の概要、問題解決のために提案された手法の概要がまず述べられ、実際に適用可能な対象が整理されている。そして、第 2 章以降の本論文の内容を要約している。

第 2 章「Scheduling Methods for Single Machine JIT Production」では、単一機械の JIT スケジューリング問題に対する手法を提案している。この問題では、与えられた複数のジョブの納期に対する早期終了および遅延終了のペナルティ値の合計の最小化を目的とし、各ジョブの開始時刻を決定している。このような問題に対して、まず、最適解の導出が難しい対象を解析し、その特徴を取り入れた初期解導出のアルゴリズムを提案している。そして、局所探索の方法として、納期を跨ぐ（開始時刻が納期より前で終了時刻が納期より後）ジョブの調整方法、最初に投入するジョブの開始時刻の調整方法を提案している。対象とする問題は、ベンチマーク問題（OR ライブラリと

して公開されている)として参照可能であり,多くの研究者が利用している. このベンチマーク問題に対して評価を行ったところ,本論文で提案された手法は,最新の先行研究の最も優れた評価値(参照値に対する改善比率)を0.01%更新し,さらに探索時間を約40%軽減している.

第3章「An MA Scheduling System for JIT Production in Hybrid Flow Shops」以降では,動的に変化する情報に対するHFSのMAスケジューリングシステムを提案している.本章では,3つの基本的な手法を提案している.提案手法では,各ジョブがある工程に到着した時に,終了までの時間(残処理時間)を推定し,与えられた納期にジョブを終了させるように最も適切な機械を動的に決定している.3つの手法では残処理時間を推定するための情報の流れが異なり,これらは,2つの工程の機械間,次工程および次工程以降の機械と自工程の機械間,2つの工程間に対応し,各々,M2M(Machine to Machine),SM2M(Stage and Machine to Machine),S2S(Stage to Stage)と呼んでいる.いくつかの需要量(ジョブの到着頻度)に対してシミュレーションを行い,これらの手法を評価している.3つの提案手法は共に一般に利用されているディスパッチングルールによる結果に比べてペナルティ値を50%以上軽減している.また,ジョブの処理時間に対する納期と終了時刻の偏差の比率を約4.5%に抑え,良好なJIT性能が示されている.また,3つの手法の中でS2Sが構造的な単純さによる導入の容易さおよび性能が共に優れていることを明らかにしている.

第4章「An MA Scheduling System for HFS JIT Production under Dynamic Machine Addition, Removal and Breakdown」では,第3章で提案した手法に対して,2つの変動要因に対する評価を行っている.まず,需要量の変化に対して機械の追加あるいは削除を行った場合の評価を行っている.S2Sでは第3章と同様にペナルティ値を50%以上軽減しているが,M2Mでは25%程度の軽減に留まり,S2Sが最も優れている手法であることを明らかにしている.次に,2つめの変動要因である機械の故障に対する評価を行っている.このような突発的な変化に対しては,迅速な対応が必要であり,残処理時間の推定のために機械の処理待ちジョブの待ち行列の変化を取り入れたRS2S(Real-time S2S)という手法を提案している.そして,構成の異なるHFSにおいてRS2SとS2Sの比較シミュレーションを行い,故障する機械の工程の位置や機械の能力の違いに対する細かな性能評価を行うことによって,提案手法の優位性と実際に利用する際の限界が整理されている.

第5章「An MA Scheduling System for HFS JIT Production under Dynamic Demand Fluctuation」では,需要量の動的な変動に対応するために,第3章で提案した手法S2Sを改良し,提案手法のロバスト性に対する評価を行っている.需要量が通常あるいは低めの場合にはS2Sはロバスト性にあまり影響を与えないが,高めの場合には影響が大きいため,より精度の高い残処理時間の推定と,迅速に処理を行う必要があるジョブの対応が必要と

なる．そこで，工程内の待ち行列の混雑の度合いを上流工程から下流工程に伝達する仕組み，混雑時の機械の選択確率調整の仕組み，優先して処理を行わなければならないジョブのための仕組みを取り入れた手法 S2SIDF (S2S for Increased Demand Fluctuation) を提案している．この提案によって，需要量が高めの場合，S2S に比べ提案された S2SIDF はペナルティ値を約 30% 軽減することを明らかにしている．

第 6 章「Real-World Application of the Proposed MA Scheduling System」では，実際の工場で提案手法を評価している．この工場は，2 つの大きな工程群に分離され，後工程群に一定の間隔で中間製品を供給するために，前工程群で中間製品を JIT 生産することが目的である．この前工程群は HFS ではなく，主要な工程は複数の作業者が担当する手作業で，作業者の工程は複数回通過する工程群であるが，この手作業を HFS の 1 工程の 1 機械として考え適用している．本章では，この問題に適用するために改良しなければならない点をまず整理し S2S の一部を改良している．具体的には，複数回通過する工程に対応する残処理時間の推定方法，複数の処理を同時に行うことができる機械への対応，待ち行列内のジョブの処理順序の再決定方法などを提案している．評価のためのシミュレーションは実データを利用し，一日（稼働時間 16 時間）分の平均処理時間が約 260 分である 31 ジョブに対して行われている．実際の工場での運用をシミュレーションした結果では，遅延終了 7 ジョブ，早期終了 24 ジョブ，JIT 終了 0 ジョブ，納期差の累計時間 108.1 分であった．それに対して，提案手法を適用した結果では，遅延終了 0 ジョブ，早期終了 13 ジョブ，JIT 終了 18 ジョブ，納期差の累計時間 2.6 分（ジョブの平均処理時間に対して 1.0%）という優れた性能を示し，実際の問題への適用の可能性を示している．さらに，提案手法を利用することによって実稼働時間を短縮することが可能となり，短縮時間による作業員の削減の実現性もシミュレーションにより検証している．これにより，提案手法は，需要量に応じた生産能力の調整に対しても有効に機能することを示している．

第 7 章「Conclusions」では，本研究で得られた成果を総括し，今後の研究課題について論じている．

以上を要するに，本論文は，動的に変動する情報のもとで，JIT を実現するためのマルチエージェント・スケジューリングシステムを提案し，その有効性および実用性を示している．これらは生産管理技術の進展に大きく寄与するとともに，製造業の発展に貢献するものとして高く評価できる．よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める．

2011 年 4 月 18 日

審査員

主査	早稲田大学	教授	博士（工学）（早稲田大学）	藤村 茂
副査	早稲田大学	教授	工学博士（九州大学）	平澤 宏太郎
	早稲田大学	教授	工学博士（早稲田大学）	吉江 修