

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01210

研究課題名(和文) 業務・生産プロセス改善と同期したスパイラル進化可能なスケジューリングシステム

研究課題名(英文) Spiral-Evolutional Production Scheduling System synchronized with improvement of Production and Business process

研究代表者

藤村 茂 (FUJIMURA, SHIGERU)

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)・教授

研究者番号：00367179

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、生産業務および生産プロセスの改善活動と同期したスパイラル進化可能な生産スケジューリングシステムを提案することを目的としている。スパイラル進化とは、システム導入後の生産業務・プロセスの改善活動による生産をとりまく環境の変化に対して、システムが逐次システム自身も変化させ適合していく仕組みである。従来の生産スケジューリングシステムは、個々の生産プロセスに特化した形で導入されてきたが、本システムは単純な機能から利用を開始し、徐々に変化していく仕組みを導入し、初期導入およびメンテナンスを容易にする。

研究成果の概要(英文)：This research aims to propose a spiral-evolutional production scheduling system which is built in synchronizing with improvement of production and business process itself. Spiral-evolution is a mechanism that a system changes itself to fit to surrounding environment which is affected by changes of business process and improvement of production process. A conventional production scheduling system has been built with specialized functions for each production and business process. On the other hand, if we use this proposed production scheduling system, firstly a system with simple functions is provided automatically, and evolved by using the spiral-evolutional mechanism. By using this evolutionary mechanism, initialization and maintenance cost is reduced and this system can follow to any future changes.

研究分野：工学

キーワード：生産スケジューリング 業務プロセス 生産プロセス カイゼン スパイラル進化 実績収集 Internet of Things インダストリー4.0

1. 研究開始当初の背景

製造業をとりまく環境は時々刻々と変化している。そして、生産現場では様々な要因によって業務および生産プロセスが変化している。急速に変化する社会環境において、このような変化に追従し迅速な意思決定を行うことが企業にとってますます重要となってきた。そして、製造現場において迅速な意思決定を支援するために利用される生産スケジューリングシステムは、これらの変化に追従していかなければならない。しかし、現状のシステムは、現在の生産プロセスのパフォーマンス（生産効率、生産能力、生産歩留り、スループット、在庫削減、資源平準化利用、顧客満足度など）を最大化することを目的とし特化しているものが多く、このような変化に追従することを難しくしている。

そこで、本研究では、業務および生産プロセスの改善活動と同期したスパイラル進化可能な生産スケジューリングシステムを提案することを目的としている。スパイラル進化とは、システム導入後の生産業務・プロセスの改善活動による生産をとりまく環境の変化に対して、システムが逐次システム自身も変化させ適合していく仕組みである。従来の生産スケジューリングシステムは、個々の生産プロセスに特化した形で導入されてきたが、本システムは単純な機能から利用を開始し、徐々に変化していく仕組みを導入し、初期導入およびメンテナンスを容易にする。

業務・生産プロセスは以下のような3つの目的のために変化が生じる。1つ目は、現在発生している問題点の解決のため、あるいは生産プロセスのパフォーマンス改善のための変化である。発注方式の変更／生産指示方式の変更などの業務の変化、新規設備の導入／生産フローや作業手順の変更などの生産プロセスの変化、さらに、製品処理順序の変更／バッチサイズの変更／作業間余裕時間の挿入など現場への作業指示内容の変化である。2つ目は、予測精度を向上させるための変化である。製品の生産スケジュールの予測精度を高めることによって顧客に対する納期遵守率を高めることができる。この究極のかたちがカンバンによるジャストインタイム生産であり、それを実現するためには生産プロセスの多大な変更が必要となる。3つ目は、既存製品の製造終了や新製品の投入のための変化である。生産プロセスの変更、新規設備の導入、生産方式の変更、人員の増強などが必要となる。

従来の研究や実システムの提案は、逐次的に発生するこのような変化を考慮せず、静的な前提条件のもとでの最適化手法や実行可能解導出手法に関するものが多い。変化を考慮した研究の中には、処理時間、歩留りなどの確率的変動に対するロバストなプロアクティブスケジューリング手法に関する研究、変動が生じた後の対処法について検討する

リアクティブスケジューリング手法に関する研究、スケジューリングの対象となる製品の構成の動的な変化に対応する生産制御方式に関する研究は存在するが、逐次的に発生する変化に対応するスケジューリングシステムの構築方法に関する研究は存在しない。

一方、生産スケジューリングシステムは、生産プロセスのパフォーマンスを最大化するために導入される。そして現状の多くのシステムは、現時点でのパフォーマンスを最大化することを目的としている。そこで以下のような2つの問題点が生じている。1つ目は、業務・生産プロセスの改善なしにシステム構築を行うことによって、スケジューリング方法が複雑になってしまうという問題点である。まず、現状の見える化および改善を実施し、スケジューリング方法を簡略化する必要がある。2つ目は、現状のパフォーマンスを最大化することに特化したスケジューリング方法は、業務・生産プロセスの変化に対応できないという問題点である。現状に特化した方法を極力取り入れず簡略化する必要がある。そこで、1) 見える化により、2) 業務・生産プロセス改善を実施し、3) 簡略化したスケジューリング方法からスタートし逐次的な変化に応じて進化できる（スパイラル進化可能な）仕組みの導入はこれらの問題を解決する手法として考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、業務および生産プロセスの改善活動と同期したスパイラル進化可能な生産スケジューリングシステムを提案することを目的としている。生産現場では、業務・生産プロセスの改善のために利用できる多くの有益な実績情報が存在する。これらの情報を携帯端末で収集する。研究代表者が既に実装済みである作業実績の収集の他に、原材料、中間製品、製品の場所移動（入出庫を含む）や在庫量、作業員の動線などの実績情報を収集する仕組みを実現する。

作業実績の収集機能で収集された情報は、マスタ情報の抽出、スケジュール情報との差異のガントチャート上での見える化のために利用する。作業員による処理時間のばらつきや工程間の待ち時間の解析に利用できる。また、場所移動・在庫量の数値実績は、部品のピッキングのためのマスタ情報の抽出や、作業実績と結び付け、歩留りの分析機能を実現するために利用できる。作業員の動線実績は、作業実績と共に作業を効率的に実施するための方法を分析するために利用する。業務・生産プロセスの問題点の抽出のためには、工程の流れに従って問題の因果関係を抽出し、作業者の視線の動きにより根本的な原因を抽出する方法を提案する。

3. 研究の方法

本研究では、研究目的で示した内容を実現するために、以下の4つの項目について研究

を実施する。

1) 実績収集機能の実現

場所移動・在庫量の数値実績、作業員の動線などの作業実績の携帯端末からの収集機能を検討する。各々の情報の収集は、実作業の妨げにならない方法を検討し実装する必要がある。そして、操作方法についての作業者の意見を取り入れた評価が必要である。現在の作業実績の入力は、携帯端末を利用し、作業指示、品目、作業種別、工程などの情報を2次元コードによって入力する方法を用いている。この方法を基本とし、場所移動・在庫量の数値実績の入力も携帯端末から行うものとする。作業者の動線については、作業者が保持する携帯端末に Beacon から送信される電波強度を利用したインドア位置測定技術の精度を高める方法を提案し、作業者のデータ入力等の負担を軽減しつつ、作業者の場所の移動情報を検知させるようにする。また、問題点の検出については、作業者が感じる問題点を作業者の視線の動きのデータから抽出する方法を検討し、実績収集システムへの応用を検討する。

2) 実績収集機能の実プロセスでの評価

1) で実装した実績収集機能を実プロセスで利用し、作業者のデータ入力の負担度を検証する。負担がかかる部分については、ICカードなどの利用を検討する。しかし、すべてに対して IC カードを利用するのではなく、将来多くの中小企業で利用してもらうことを考慮し可能な限り安価で実現できる方法を検討する。これらの実績収集機能は、汎用的な枠組みが必要である。しかし、多くの業種業態での評価を行う場合、汎用的な機能を提供することが難しいことも想定される。そのような場合は、業種業態を整理し、本システムの適用方法を分類することにする。

3) 改善のための実績分析機能の実現

2) で収集した実績情報をもとに、改善のための実績情報の分析手法について検討する。数値実績、作業実績、作業員の動線からのものの流れの解析手法を提案する。具体的には、作業実績と原材料投入、製品取り出しの数値実績をグラフィカルな操作で関連付ける環境を用意し、生産作業によるものの流れ、ピッキングや在庫移動によるものの流れと作業員の動き、問題点との因果関係を見える化する機能を実現する。これらの情報から業務・生産プロセスの問題点を検出するための支援機能を実現し改善に役立てる手法を提案する。これらの手法については、実プロセスで収集した実績情報を基に検討を行う。この実績分析機能についても、業種業態によって異なる業務・生産プロセスの違いが想定される。このような場合も、業種業態を整理し、分析方法を分類することにする。

4) 研究成果の発表

研究成果を論文としてまとめ、国際会議での発表、論文誌への投稿を積極的に行う。

4. 研究成果

実績収集機能の実現については、iBeaconを利用した作業者の動線の解析、複数2次元コードの同時読み込み機能による在庫管理機能を効率化する手法、作業者が入力した作業日誌からデータマイニングを行い解析作業を簡易化する手法などを実現するための基盤技術の検討を実施した。また、素材加工業種を対象として、半利用素材の在庫管理に最適化の概念を導入するアルゴリズムの検討を実施し、本システムへの組み込みを行った。当初の目的より広範囲な手法について検討を実施したため多くの時間を割いたが実利用に向けて大きな進展があったといえる。

動線解析のためには、より精度の高いインドア動線解析方法を提案した。この方法は、作業者が携帯端末を持ち、作業フロアに設置した iBeacon からの電波強度を感知し位置を特定する基本的な手法であるが、作業フロアで作業者が立ち止まるという特徴を利用した位置補正機能、過去の移動軌跡から位置を予測する学習機能を提案し、高い位置特定機能を実現している。

また、作業者の視線情報の解析も実施し、どのように業務・生産プロセスの改善を実施していくかという研究も実施した。作業者の視線、動線の変化をとらえ作業者の作業のカイゼンに役立てる方法について検討を行った。視線の変化については、実際の製造プロセスの作業者の動作・注目点の解析に利用し、動きの無駄を検出し、そのような作業のカイゼンによるスケジューリング方法の変化に対して、本システムが追従できることを検証した。加工工程、検査工程、梱包工程の実プロセスを対象に検証を実施した。

実績収集機能の実プロセスでの評価では、当初多くのプロセスでの利用を考えていたが、プロセス固有の環境の違いがあるために、対象プロセスの選択が難しかった。そのために、より広範囲のプロセスでの可能性を探るために、電気学会で「日本型インダストリー4.0 実証検討協同委員会」を立ち上げ、実際にシステムの評価を実施してもらった。

また、本研究で目的とするシステムの実現のためにシステムに組み込む最適化技術のための基盤研究も実施し、1件の雑誌論文および1件の国際学会発表論文としてその内容をまとめている。また、スパイラル進化の概念全般およびスケジューリング技術に関して、4件の国内学会発表論文、7件の国際学会発表論文で内容を報告している。

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 1 件)

- (1) Alfian Akbar Gozali, Shigeru Fujimura: "Localization Strategy for Island Model Genetic Algorithm to Preserve Population Diversity", *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 719, pp149-161, 2017, https://doi.org/10.1007/978-3-319-60170-0_11

[学会発表] (計 11 件)

- (1) Bobby Kurniawan, Alfian Akbar Gozali, Wei Weng, Shigeru Fujimura: "A Genetic Algorithm for Unrelated Parallel Machine Scheduling Minimizing Makaspan Cost and Electricity Under Time-of use Tariffs with Job Delay Mechanism", *The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2017)*, Dec. 10 - 13, 2017, Singapore
- (2) Alfian Akbar Gozali, Shigeru Fujimura: "Performance analysis of localization strategy for island model genetic algorithm", *18th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2017)*, Jun. 26 - 28, 2017, Ishikawa, Japan
- (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 (ICIS 2017)*, May 24 - 26, 2017, Wuhan, China
- (4) Linna Li, Wei Weng, Shigeru Fujimura: "Increasing diversity and quality of students in Teaching-learning-based optimization algorithm to solve job shop scheduling problems", 平成 28 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2016 年 8 月 31 日-9 月 3 日, 神戸
- (5) Yifan Ye, Wei Weng, Shigeru Fujimura: "Optimization of supply chain allocation problem in dynamic environment by NSGA-II", 平成 28 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2016 年 8 月 31 日-9 月 3 日, 神戸

- (6) Wei Weng, Shigeru Fujimura: "Estimating Job Flow Times by Using an Agent-Based Approach", *5th International Congress on Advanced Applied Informatics*, July 10 - 14, 2016, Kumamoto, Japan
- (7) Yingzhe Jiang, Wei Weng, Shigeru Fujimura: "Multi-agent Just-in-time Manufacturing Scheduling System for Dynamic Environment", *5th International Congress on Advanced Applied Informatics*, July 10 - 14, 2016, Kumamoto, Japan
- (8) Shigeru Fujimura, Wei Weng: "Spiral-Evolutional Production Scheduling System", *The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2015)*, Dec. 6 - 9, 2015, Singapore
- (9) 徐 芳芳, 藤村 茂: "資源制約のあるフレキシブルフローショップスケジューリング問題の解法の比較", *スケジューリング・シンポジウム 2015 (SS2015)*, 2015 年 9 月 26 日-27 日, 東京
- (10) Junru Chen, Wei Weng, Shigeru Fujimura: "Integrating Genetic Algorithm with Time Control for Just-In-Time Scheduling Problems", *15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, May 11 - 13, 2015, Ottawa, Canada
- (11) 藤村 茂, 宮崎 知明: "IoTを利用した生産プロセスにおける生産スケジューリング業務のありかた-Industrie4.0の生産スケジューリングシステム構築に向けて-", *日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年春季研究発表会*, 2015 年 3 月 17 日-18 日, 東京

[その他]

ホームページ等

<http://www.fujimura-lab.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤村 茂 (FUJIMURA, Shigeru)

早稲田大学, 理工学術院

大学院情報生産システム研究科, 教授,

研究者番号: 00367179