

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K01897

研究課題名（和文）Seru Production and its Applications to Smart Manufacturing

研究課題名（英文）Seru Production and its Applications to Smart Manufacturing

研究代表者

殷 勇（YIN, YONG）

同志社大学・ビジネス研究科・教授

研究者番号：50344776

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：研究活動は、産業4.0の進展、セルシステムの活用、サプライチェーンの中断管理の三つのテーマに注目しました。産業4.0では、持続可能な製造プロセスに与える技術革新の影響を分析し、エネルギー効率の改善や廃棄物削減に寄与する具体例を紹介しました。セルシステムについては、その柔軟性と効率が製造業にどのように利益をもたらすかを示しました。また、サプライチェーンの中断管理では、JITとJIC戦略の効果と課題を掘り下げ、戦略的な対応の最適化の重要性を論じました。これらの研究は、製造業の持続可能性と柔軟性向上に向けた重要な洞察を提供しています。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究活動は、産業4.0の技術進展、セルシステムの効果的活用、サプライチェーンの中断管理という3つのテーマに焦点を当て、製造業の持続可能性と効率化への貢献を目指しました。産業4.0がエネルギー効率と廃棄物削減を通じて環境に優しい製造プロセスをどのように促進するかを探索し、セルシステムが製造業の柔軟性と効率を向上させる具体例を提供しました。さらに、サプライチェーンの中断管理戦略が製造業のリスク管理に不可欠であることを示し、戦略的な対応の最適化について提案しました。研究成果は、より持続可能で効率的な製造業の実現に向けた重要なステップであり、製造業者や政策制定者にとって有益な洞察を提供しています。

研究成果の概要（英文）：In our research activities, we focused on three main themes: the advancement of Industry 4.0, the utilization of cell systems, and the management of supply chain disruptions. Regarding Industry 4.0, we analyzed the impact of technological innovations on sustainable manufacturing processes, presenting concrete examples of improvements in energy efficiency and waste reduction. Concerning cell systems, we demonstrated how their flexibility and efficiency can benefit the manufacturing industry. Additionally, in the management of supply chain disruptions, we delved into the effectiveness and challenges of JIT and JIC strategies, discussing the importance of optimizing strategic responses. These studies provide important insights aimed at enhancing the sustainability and flexibility of the manufacturing sector.

研究分野：セル生産方式

キーワード：生産管理 サプライチェーン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2019年において、製造業界は急速な技術革新と市場の変動に対応するため、新たな生産方式と技術の導入が求められていました。特に、産業4.0のコンセプトは製造業におけるデジタルトランスフォーメーションを促進し、自動化、データ分析、そしてIoT (Internet of Things) を活用したスマートファクトリーの実現を目指すものとして注目を集めていました。

当時、従来の大規模生産方式では、迅速な市場の変動に対応することが難しく、生産効率と柔軟性の両立が大きな課題となっていました。この背景から、セル生産方式が注目されるようになりました。セル生産方式は、小ロット多品種生産に対応可能な柔軟な生産体制を提供し、製品切り替えの迅速化と高効率な生産を実現するものです。

これらの状況を踏まえ、本研究は以下の2つの主要なテーマに焦点を当てることを決定しました：

(1). 産業4.0の進化：技術革新が製造業に与える影響を広範に分析し、特に持続可能な製造プロセスへの貢献を探究することを目指しました。オートメーションやデータ分析の進歩がエネルギー効率の向上や廃棄物削減にどのように寄与するかを具体的な例を通じて明らかにし、持続可能な製造における技術的課題にも言及しました。

(2). セル生産方式の利用拡大：セル生産方式が伝統的な大規模生産方式と異なり、製造業の効率と柔軟性を向上させる方法を分析しました。セル生産方式は市場の変動に迅速に対応できる生産体制を提供し、小ロット多品種製品を効率的に生産することが可能です。

このように、2019年の状況とそれに基づく研究計画は、産業4.0の技術とセル生産方式を活用することを目指したものでした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、産業4.0の技術革新とセル生産方式の利用拡大を通じて、現代製造業における持続可能な製造プロセスの実現とその効率化を図ることです。具体的には、以下の三つの目標を達成することを目指します：

(1). 産業4.0技術の影響分析と持続可能な製造プロセスの促進：

- オートメーション、データ分析、IoTを中心とした産業4.0の技術革新が製造業に与える影響を広範に分析します。

- これらの技術がエネルギー効率の向上、廃棄物削減、環境負担の軽減にどのように貢献するかを明らかにし、持続可能な製造方法の実現に向けた具体的な提案を行います。

(2). セル生産方式の効率化と柔軟性向上：

- セル生産方式が、従来の大規模生産方式に比べて製造業の効率と柔軟性をどのように向上させるかを分析します。

- 実際のケーススタディを通じて、セル生産方式の設計、運用、およびその効果を詳細に報告し、小ロット多品種生産における迅速な市場対応能力を実証します。

(3). スマートファクトリーの実現と製造業の未来像の構築：

- 産業4.0の核心技術を活用したスマートファクトリーの実現に向けた研究を行います。

- リアルタイムデータ分析、ロボティクス、自動化技術を駆使してプロセス効率を飛躍的に向上させ、持続可能で柔軟な製造環境を構築します。

- これにより、企業の競争力を強化し、環境負担を軽減するための新たな製造業の標準を確立します。

以上の目標を達成することで、本研究は持続可能な製造プロセスの実現に寄与し、製造業の将来に向けた重要な洞察を提供することを目指しています。

3. 研究の方法

本研究では、主に数学的手法を用いて、産業4.0技術とセル生産方式に関連する最適化問題の解決に取り組みます。具体的な研究の方法は以下の通りです：

(1). 最適化モデルの構築：

- 問題の定義：産業4.0技術とセル生産方式に関連する具体的な問題を定義します。これには、製造プロセスの効率化、エネルギー消費の最小化、廃棄物の削減などが含まれます。

- 数学的表現：定義された問題を数学的に表現します。具体的には、目的関数と制約条件を明確に定義し、最適化モデルとして構築します。

- データ収集：必要なデータを収集します。データは、実際の工場からのデータや文献からのデータ、シミュレーションによるデータなど、多岐にわたります。

(2). 最適化アルゴリズムの開発：

- アルゴリズムの選定：問題の性質に応じて、最適なアルゴリズムを選定します。例えば、線形プログラミング、整数プログラミング、非線形プログラミング、動的計画法などが考えられます。

- アルゴリズムの実装：選定したアルゴリズムを実装し、モデルに適用します。必要に応じ

て、既存のアルゴリズムを改良したり、新しいアルゴリズムを開発したりします。

(3)．モデルの解析と評価：

- 数値実験：構築したモデルとアルゴリズムを用いて数値実験を行います。これにより、モデルの性能や解の質を評価します。

- 感度分析：モデルのパラメータを変動させ、その影響を分析します。これにより、モデルの頑健性や実際の適用可能性を評価します。

- 比較分析：他の既存のモデルや手法と比較し、本研究のモデルとアルゴリズムの優位性を示します。

以上の方法を通じて、産業 4.0 技術とセル生産方式の最適化に関する具体的な解決策を見出し、製造業の効率化と持続可能性の向上に寄与することを目指します。

4．研究成果

本研究における重要な成果は、数十本の論文を *Naval Research Logistics* をはじめとする権威あるジャーナルに発表したことです。これにより、産業 4.0 技術およびセル生産方式に関する知識と理解が大きく進展しました。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 23件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Z Zhang, X Song, X Gong, Y Yin, B Lev, X Zhou | 4. 巻 69 |
| 2. 論文標題 An exact quadratic programming approach based on convex reformulation for seru scheduling problems | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Naval Research Logistics | 6. 最初と最後の頁 1096-1107 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nav.22078 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Wang, L., Zhang, Z., & Yin, Y. | 4. 巻 16 |
| 2. 論文標題 Order acceptance and scheduling problem with outsourcing in seru production system considering lot-spitting | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 European Journal of Industrial Engineering | 6. 最初と最後の頁 91-116 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/EJIE.2022.119371 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 L Wang, Z Zhang, Y Yin | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 Dynamic seru order acceptance and scheduling with periodic worker assignment | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Manufacturing Research | 6. 最初と最後の頁 172-201 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJMR.2022.124996 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Z Zhang, X Song, H Huang, Y Yin, B Lev | 4. 巻 312 |
| 2. 論文標題 Scheduling problem in seru production system considering DeJong's learning effect and job splitting | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Annals of Operations Research | 6. 最初と最後の頁 1119-1141 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10479-021-04515-0 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Jiang Yu-Zhou, Li Dong-Ni, Jin Hong-Bo, Yin Yong | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 An online algorithm for parallel scheduling of serus with resource conflicts | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Acta Automatica Sinica | 6. 最初と最後の頁 444-459 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.16383/j.aas.c190698 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Y Gai, Y Yin, J Tang, S Liu | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Minimizing makespan of a production batch within concurrent systems: seru production perspective | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Management Science and Engineering | 6. 最初と最後の頁 1-18 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmse.2020.10.002 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 F Liu, K Fang, J Tang, Y Yin | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Solving the rotating seru production problem with dynamic multi-objective evolutionary algorithms | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Management Science and Engineering | 6. 最初と最後の頁 48-66 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmse.2021.05.004 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Z Zhang, X Song, H Huang, X Zhou, Y Yin | 4. 巻 297 |
| 2. 論文標題 Logic-based Benders decomposition method for the seru scheduling problem with sequence-dependent setup time and DeJong's learning effect | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 European Journal of Operational Research | 6. 最初と最後の頁 866-877 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejor.2021.06.017 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Y Jiang, Z Zhang, X Song, Y Yin | 4. 巻 31 |
| 2. 論文標題 Seru Scheduling Problems with Multiple Due-Windows Assignment and Learning Effect | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Systems Science and Systems Engineering | 6. 最初と最後の頁 480-511 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11518-022-5534-8 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Z Zhang, L Wang, X Song, H Huang, Y Yin | 4. 巻 73 |
| 2. 論文標題 Improved genetic-simulated annealing algorithm for seru loading problem with downward substitution under stochastic environment | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Operational Research Society | 6. 最初と最後の頁 1800-1811 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01605682.2021.1939172 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Zhan Rong-Xin, Li Dong-Ni, Ma Tao, Li Jun-Jie, Wu Yan-Zhao, Yin Yong | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 Configuration model and approach of a Seru production system for quick response | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Acta Automatica Sinica | 6. 最初と最後の頁 2922-2930 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.16383/j.aas.c190731 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Bendoly Elliot, Bachrach Daniel G., Esper Terry L., Blanco Christian, Iversen Jane, Yin Yong | 4. 巻 41 |
| 2. 論文標題 Operations in the upper echelons: leading sustainability through stewardship | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Operations & Production Management | 6. 最初と最後の頁 1737 ~ 1760 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1108/IJOPM-08-2021-0502 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 Liu Shi Qiang, Huang Xin, Li Xiangong, Masoud Mahmoud, Chung Sai-Ho, Yin Yong | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 How is China's energy security affected by exogenous shocks? Evidence of China-US trade dispute and COVID-19 pandemic | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Discover Energy | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s43937-021-00002-6 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Zhang Zhe, Han Xinzi, Song Xiaoling, Yin Yong | 4. 巻 38 |
| 2. 論文標題 Evaluate the Reliability of a <i>seru</i> Production System with Reworking Actions | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Industrial and Production Engineering | 6. 最初と最後の頁 475 ~ 484 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21681015.2021.1937724 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Shen Ling, Zhang Zhe, Yin Yong | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 An improved genetic algorithm for <i>seru</i> scheduling problem with worker assignment considering lot-splitting | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Applied Decision Sciences | 6. 最初と最後の頁 710 ~ 710 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJADS.2021.118597 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Luo Lan, School Economics and Management, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China, Zhang Zhe, Yin Yong, Graduate School of Business, Doshisha University, Karasuma-Imadegawa, Kamigyo-ku, Kyoto, 602-8580, Japan | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 Simulated annealing and genetic algorithm based method for a bi-level seru loading problem with worker assignment in seru production systems | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Industrial & Management Optimization | 6. 最初と最後の頁 779 ~ 803 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2019134 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Wang Yulong, Zhang Zhe, Yin Yong | 4. 巻 37 |
| 2. 論文標題 An order scheduling problem in <i>seru</i>; production system considering worker assignment | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Industrial and Systems Engineering | 6. 最初と最後の頁 149 ~ 167 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJISE.2021.112898 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Wang Yulong, Zhang Zhe, Yin Yong | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Multi-order scheduling optimisation considering product operation and worker allocation in divisional <i>seru</i>; | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Applied Decision Sciences | 6. 最初と最後の頁 24 ~ 24 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJADS.2021.112926 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Wang Yulong, Zhang Zhe, Yin Yong | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 A BI-LEVEL PROGRAMMING MODEL FOR SERU ORDER ACCEPTANCE AND SCHEDULING PROBLEM CONSIDERING WORKER ASSIGNMENT | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Industrial Engineering | 6. 最初と最後の頁 527 ~ 545 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23055/ijietap.2020.27.4.5741 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 Jiang Yu-Zhou, Li Dong-Ni, Jin Hong-Bo, Yin Yong | 4. 巻 46 |
| 2. 論文標題 An online algorithm for parallel scheduling of serus with resource conflicts. | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Acta Automatica Sinica | 6. 最初と最後の頁 1-16 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.16383/j.aas.c190698 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Wang Yulong, Zhang Zhe, Yin Yong | 4. 巻 15 |
| 2. 論文標題 Workload-based order acceptance in <i>seru</i> production system | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Manufacturing Research | 6. 最初と最後の頁 234 ~ 234 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJMR.2020.108197 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Zhang Zhe, Shao Luming, Yin Yong | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 PSO-based algorithm for solving lot splitting in unbalanced <i>seru</i> production system | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Industrial and Systems Engineering | 6. 最初と最後の頁 433 ~ 433 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJISE.2020.108547 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Han Xinzi, Zhang Zhe, Yin Yong | 4. 巻 15 |
| 2. 論文標題 Reliability-oriented multi-resource allocation for <i>seru</i> production system with stochastic capacity | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Manufacturing Research | 6. 最初と最後の頁 371 ~ 371 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJMR.2020.110517 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Liu Fang, Du Shaofeng, Hong Zhenjun, Wu Yanzhao, Wang Feng, Yin Yong, Li Dongni |
| 2. 発表標題 An Approximation Algorithm for Maximizing Product Modularity |
| 3. 学会等名 IEEE Xplore (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<https://sites.google.com/view/yongyin/>
査読国際ジャーナル論文リスト
<https://sites.google.com/view/yongyin/>

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 伊藤 嘉浩 (ITO YOSHIHIRO) (60436235) | 長岡技術科学大学・工学研究科・教授 (13102) | |
| 研究分担者 | 野田 英雄 (NODA HIDERO) (90347724) | 東京理科大学・経営学部ビジネスエコノミクス学科・教授 (32660) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|