

令和 6 年 9 月 30 日現在

機関番号：34426

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2018～2023

課題番号：17KK0078

研究課題名（和文）AI併用シミュレーションによるスケジューリング法の開発

研究課題名（英文）Development of Scheduling Methods by Combining Simulation and AI

研究代表者

岳 理恵（Gaku, Rie）

桃山学院大学・経営学部・教授

研究者番号：80584911

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,900,000円

渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：情報通信技術の進展に伴い、製造・サービス分野の情報化・知能化が進められている。研究代表者は、DX（デジタル・トランスフォーメーション）の有効的なツールとして、シミュレーション技法とAIの併用アプローチを具体的な製造・ロジスティクス現場の長期生産計画および日程管理課題へ適用して研究を実施した。そして、企業内部や外部で蓄積された様々なデータをいかに融合的に活用して、より詳細な経営意思決定を定量的に支援できるかという経営現場の運営上にある生産・物流日程管理へ提案するアプローチを適用することにより、その有効性を検証した。さらに、産業界の関心を喚起するために、国内ならびに海外の学会に研究成果を報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

経営資源のスケジューリングにおいて、これまで制約条件を表現する数学的手法があるが、システムのすべての重要な制約条件を考慮しモデル化することは複雑で多大な時間を要するため、実用化しにくい点がある。本研究で提案するAI併用シミュレーションによるスケジューリング法は、現場で蓄積された種々のデータを即座に活用できるスケジューリングのアプローチであり、ダイナミックなビジネス現場へ運用しやすい。また、提案するアプローチの活用領域は、ダイナミックかつ複雑な生産システム、ロジスティクスシステム、サービスシステムなどの広範囲にわたり、経営資源の有効活用に関する迅速な意思決定に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：Production scheduling is a complex but extremely important aspect of operation control in operation research, industrial engineering, and management.

This study proposes a framework, which focuses on combined use of simulation and machine learning in an Industry 4.0 environment, to generate an intermediate plan or a schedule integrating various data sources from computerized information, such as internal operational data and related economic data. Application examples for production operations are introduced and involved in the decision-making process of production planning and scheduling control.

研究分野：シミュレーション

キーワード：システムシミュレーション AI 生産計画

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 情報通信技術の進展に伴い、製造・サービス分野の情報化・知能化が進められている。特に、センサーデータを扱う IoT や AI が普及するにつれ、製造・ロジスティクス現場では、原材料、商品、受注、出荷、設備稼働、作業員などのデータを高精度に収集し蓄積できる。これらの大規模なデータには、多種多様な知能情報が含まれているため、実用性のある生産・物流日程計画をたてるのに極めて有効である。したがって、蓄積された種々のビジネスデータを即座に活用できる生産・物流日程計画法の構築、とりわけ現場で運用しやすい新しいスケジューリング法の構築が求められている。

(2) スケジューリングは、運用上の詳細に関連しているため、多くの場合、数日前ないし数分前になされる。数学的手法を用いたスケジューリングにおいては、大規模なビジネスデータを有効に活用するには限界があるため、ダイナミックなシステムに実行可能なスケジューリング生成は難しいとされている。また、多くの企業で利用している計画スケジューリング・アプリケーションは、数学モデルから考案されたものであり、実際に起きるシステムの変動に影響されやすいのである。従って、数学モデルで定義した静的な理想環境を前提とするスケジュールは、リアルタイムな調整機能を欠き、運用段階で陳腐化しやすい。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、経営資源や需要の状況をダイナミックに反映する種々のビジネスデータの有効活用に焦点をあてて、リアルタイムな意思決定を支援できるスケジューリング法を構築し提案することを目的とする。

(2) 提案する AI 併用シミュレーションによるスケジューリング法のアプローチを DX (デジタル・トランスフォーメーション) の有効的なツールとして、具体的な研究対象へ適用することにより、オペレーションズ・マネジメント (経営工学) において提案するアプローチの有効性を確認することは、本研究のもう 1 つの目的である。

## 3. 研究の方法

(1) 生産・物流日程計画の探索空間上で考慮されるデータ・要因が膨大かつ複雑になると、探索空間の形が複雑になり、実用可能な日程計画を得るために、大量の計算を必要とする。一方、AI とシミュレーションは、オペレーションズ・マネジメントにおいて、幅広く用いられる重要な技術・ツールとなった。過去の半世紀にわたって、両技術は非常に大きな能力をもつようになり、また洗練化されて、いずれも大規模なデータへ応用できるようになってきた。本研究において、ビジネスデータを有効的に活用するスケジューリング法の開発にあたって、AI およびシミュレーション技法を活用する。

(2) コンピュータの計算能力の向上とソフトウェアの進歩により、近年、深層学習 (deep learning) など様々な機械学習 (machine learning) の技術が発展してきた。本研究において、リスクと不確実性を前もって緩和するために必要な情報を抽出するために AI を用いる。他方、シミュレーションは、システムの挙動をまねるための手法であり、従来、ダイナミックかつ複雑なシステムの設計や改善のために最も活用されている経営科学手法の 1 つである。本研究では、製造・ロジスティクス現場で蓄積した実際のビジネスデータを用いて、実用性のあるスケジュールを立案するために、シミュレーション技法を活用する。

(3) 本研究は、シミュレーションモデリングの段階で、伝統的なシミュレーション手法を拡張し、システムに存在する変動性を着目し、製造・ロジスティクスなどの現実のシステムで経営資源や需要の変動状況をよりリアルな水準で反映するデータ駆動型シミュレーションモデリング手法を検討した。そこで、製造・ロジスティクス現場で蓄積してきた大規模データを用いて、AI を活用することにより、リスクと不確実性を前もって緩和するのに必要な知能情報を抽出する。また、AI によって得られた知能情報をパラメータやインプットデータとしてシミュレーションモデルに組み込むことにより、リアルタイムな意思決定を支援するスケジューリング法の構築を提案する。提案する AI 併用シミュレーションによるスケジューリングのアプローチの応用例を図 1 に示す [1]。AI によって得られた知能情報をパラメータやインプットデータとしてシミュレーションモデルに組み込むことにより、スケジュール案の重要なパフォーマンス目標をどの程度達成できるかを客観的に評価できる。また、確定的なスケジュールが生成された後で、実際のシステムに生じる突発的な変化を制約条件として扱えるので、スケジュールを改善するために、代替案を迅速に検討することができる。資源や需要の状況をダイナミックに反映する種々のビジネスデータや公的統計データなどの大規模データベースの有効活用に焦点をあてることは、本研究の主な特色である。

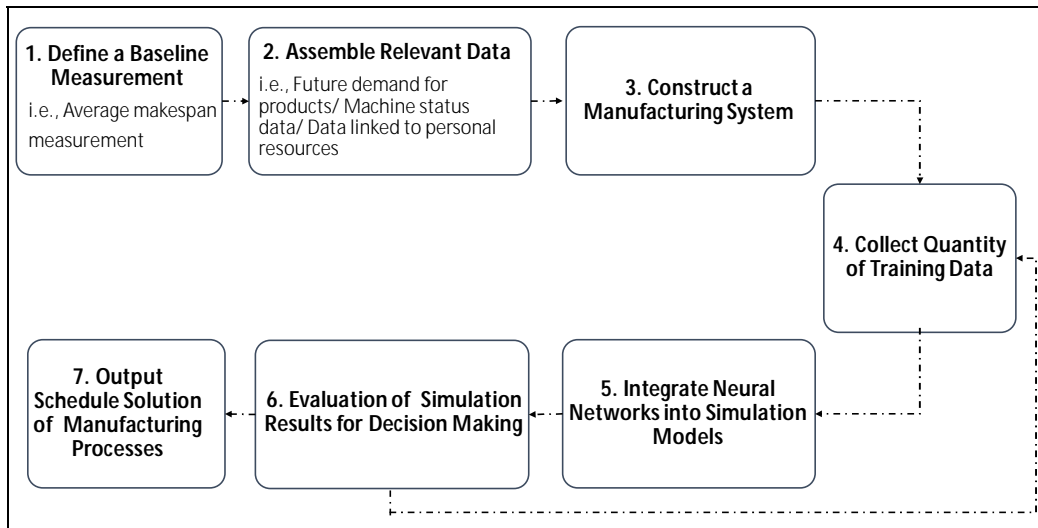


図1. 本研究課題の提案するスケジューリング法の枠組み

#### 4. 研究成果

本研究課題では、DXの有効的なツールとして、シミュレーション技法とAIの併用アプローチを生産・ロジスティクスシステムのスケジューリング管理への応用を提唱してきた。

(1) リアルタイムな調整機能を提供できるスケジューリング法の有効性を検証するために、現場運営上の日程管理課題に対して、ビジネスデータの利活用の観点から、従来のシミュレーション分析のアプローチとAI併用のシミュレーションアプローチを比較することにした[1]。そのため、優先度に基づいたダイナミックな需要データ、処理時間や機械の変動性と連動するデータなどを活用することによって、従来のシミュレーションアプローチでは、スケジューリングが困難であった新しいスケジューリング法の構築を提案した。そして、AIの併用アプローチに必要なビジネスデータを活用するための手順についても提案し、その有効性を検証した。新しいスケジューリング法は、ビジネスデータの活用において、AIとシミュレーションアプローチの重要な利点を活用しながら、それぞれの短所を克服できるように考慮している。さらに、製造工場のJSS (Job Shop Scheduling) へ適用し、提案するアプローチの有効性を検証した。

(2) 企業内部や外部で蓄積された様々なデータを融合的に活用することに重点を置いて、より詳細な経営意思決定を定量的に支援できるかという経営現場の運営上にある生産・物流日程管理にビジネスデータの活用事例を中心に研究を展開し進めた[2]。特に、DXの有効的なツールとして、AI併用のシミュレーションアプローチが具体的な研究対象の長期生産計画へ適用し、その有効性を確認した。

(3) 需要の状況や地域の経済活動状況をダイナミックに反映する公的統計データと研究対象の長期的なオペレーションズ・マネジメントで蓄積してきた種々かつ大規模のビジネスデータを用いて、研究対象企業の主要品種や類似商品の導入期と終了期を考慮した長期的なライフサイクルの経済性分析を実施した[3]。シミュレーション分析結果を通して、必要な大規模なデータベースを活用することにより、より高度な事業継続計画 (BCP: Business Continuity Plan) に定量的かつ客観的根拠および種々の知見を得ることができた。本研究で提案するAI併用のシミュレーションアプローチが蓄積されたデータの有効活用に基づく事業継続計画に貢献することが可能となる。

#### <引用文献>

[1] Rie Gaku: "Scheduling Optimization of Manufacturing Process Flows Using Agent-Based Simulation Modeling and Neural Networks," DAAAM International Scientific Book 2024, 掲載決定, 2024年.

[2] Rie Gaku; Louis Luangkesorn; Hiroshi Saito; Soemon Takakuwa: "Data-Driven Economic Analysis of Poultry Data Used in Complex Long-Term Egg Production Systems Combining Simulation and Machine Learning," 2022 Winter Simulation Conference (WSC), 736-747, 2022年. DOI: 10.1109/WSC57314.2022.10015442.

[3] Rie Gaku; Louis Luangkesorn; Soemon Takakuwa: "Life Cycle Assessment for Long-term Production Operation," Chapter 11 in DAAAM International Scientific Book 2021, pp.131-138, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-31-0, ISSN 1726-9687, Vienna, Austria, 2021年. DOI: 10.2507/daaam.scibook.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 4件）

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Rie Gaku  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Scheduling Optimization of Manufacturing Process Flows Using Agent-Based Simulation Modeling and Neural Networks | 5. 発行年<br>2024年 |
| 3. 雑誌名<br>DAAAM International Scientific Book 2024  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Rie Gaku; Louis Luangkesorn; Hiroshi Saito; Soemon Takakuwa   | 4. 巻<br>該当なし          |
| 2. 論文標題<br>Data-Driven Economic Analysis of Poultry Data Used in Complex Long-Term Egg Production Systems Combining Simulation and Machine Learning | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>2022 Winter Simulation Conference (WSC)   | 6. 最初と最後の頁<br>736-747 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1109/WSC57314.2022.10015442   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

|   |                    |
|---|--------------------|
| 1. 著者名<br>Rie Gaku  | 4. 巻<br>18-19      |
| 2. 論文標題<br>Data Utilization Areas for Operations Management of Business in Industry 4.0 | 5. 発行年<br>2021年    |
| 3. 雑誌名<br>Japan Society of Logistics systems  | 6. 最初と最後の頁<br>3-10 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>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<br>-          |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Rie Gaku, Louis Luangkesorn and Soemon Takakuwa           | 4. 巻<br>Chapter 11    |
| 2. 論文標題<br>Life Cycle Assessment for Long-term Production Operation | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>DAAAM International Scientific Book 2021                  | 6. 最初と最後の頁<br>131-138 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.2507//daaam.scibook.2021.11           | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Wenhe Yang, Yifei Tan, Sike Hu, Rie Gaku and Soemon Takakuwa    | 4. 巻<br>Chapter 7   |
| 2. 論文標題<br>Modeling and Analysis of Healthcare Facilities Using RFID Data | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>DAAAM International Scientific Book 2021                        | 6. 最初と最後の頁<br>85-94 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2507//daaam.scibook.2021.07                | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Rie Gaku, David T. Sturrock, Soemon Takakuwa     | 4. 巻<br>21            |
| 2. 論文標題<br>Simulation and the Fourth Industrial Revolution | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>環太平洋圏経営研究  | 6. 最初と最後の頁<br>69 - 79 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                             | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Sang Haixia, Shingo Takahashi and Rie Gaku  | 4. 巻<br>なし              |
| 2. 論文標題<br>Big Data-Driven Simulation Analysis for Inventory Management in Dynamic Retail Environment | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>IEEE The 24th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management | 6. 最初と最後の頁<br>687 - 694 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Rie Gaku and Soemon Takakuwa   | 4. 巻<br>なし              |
| 2. 論文標題<br>Using Operational Approaches to Predict the Performance of Large-scale Shuttle-vehicle-type Mini-Load AS/RS Systems | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>Proceeding of the 2019 Winter Simulation Conference  | 6. 最初と最後の頁<br>636 - 637 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Mitsuko Yokouchi, Satsuki Okui, Rie Gaku  | 4. 巻<br>なし              |
| 2. 論文標題<br>Comparison Between Sequential Evacuation and Simultaneous Evacuation in a Hospital Staircase | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>Proceeding of the 2019 Winter Simulation Conference   | 6. 最初と最後の頁<br>610 - 611 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Rie Gaku; Louis Luangkesorn; Hiroshi Saito; Soemon Takakuwa  |
| 2. 発表標題<br>Data-Driven Economic Analysis of Poultry Data Used in Complex Long-Term Egg Production Systems Combining Simulation and Machine Learning |
| 3. 学会等名<br>2022 Winter Simulation Conference (WSC) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Rie Gaku, Louis Luangkesorn and Soemon Takakuwa   |
| 2. 発表標題<br>Applying Associative Forecasting Methods for Economic Analysis of Poultry Production Activity |
| 3. 学会等名<br>日本情報経営学会 第81回全国大会   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Rie Gaku, Louis Luangkesorn and Soemon Takakuwa   |
| 2. 発表標題<br>Using Simulation and Machine Learning to Innovate Long-term Production and Operational Planning |
| 3. 学会等名<br>Session of Productivity and Manufacturing of Winter 's Simulation Conference 2021 (国際学会)        |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>譚奕飛、楊文賀、岳理恵、高桑宗右工門          |
| 2. 発表標題<br>シミュレーションモデリングにおけるRFIDデータの活用 |
| 3. 学会等名<br>日本情報経営学会 第82回全国大会           |
| 4. 発表年<br>2021年                        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高桑宗右工門、楊文賀、岳理恵、譚奕飛           |
| 2. 発表標題<br>RFIDデータを用いた人の移動に関するパフォーマンス分析 |
| 3. 学会等名<br>日本情報経営学会 第82回全国大会            |
| 4. 発表年<br>2021年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Rie Gaku, Soemon Takakuwa, K. Louis Luangkesorn  |
| 2. 発表標題<br>A Case Study Of Demand Forecasting with Data Mining Methods For New Short-lifecycle Products |
| 3. 学会等名<br>INFORMS Annual Meeting 2019 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Sang Haixia, Shingo Takahashi and Rie Gaku   |
| 2. 発表標題<br>Big Data-Driven Simulation Analysis for Inventory Management in Dynamic Retail Environment         |
| 3. 学会等名<br>IEEE The 24th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Rie Gaku and Soemon Takakuwa  |
| 2. 発表標題<br>Using Operational Approaches to Predict the Performance of Large-scale Shuttle-vehicle-type Mini-Load AS/RS Systems |
| 3. 学会等名<br>the 2019 Winter Simulation Conference ( 国際学会 )  |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高桑 宗右卫門, 野村 淳一, 三輪 冠奈, 譚 奕飛, 岳 理恵, 楊 文賀, 吉田 孝太郎 |
| 2. 発表標題<br>IoTを活用したシミュレーションのためのデータ収集                       |
| 3. 学会等名<br>日本情報経営学会 第79回全国大会                               |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Mitsuko Yokouchi, Satsuki Okui, Rie Gaku   |
| 2. 発表標題<br>Comparison Between Sequential Evacuation and Simultaneous Evacuation in a Hospital Staircase |
| 3. 学会等名<br>the 2019 Winter Simulation Conference ( 国際学会 )   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

〔図書〕 計2件

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>共訳: Takakuwa S., J. Nomura, K. Miwa, Y. Tan, R. Gaku and W. Yang                   | 4. 発行年<br>2022年 |
| 2. 出版社<br>Simio LLC.   | 5. 総ページ数<br>429 |
| 3. 書名<br>Simio and Simulation: Modeling, Analysis and Applications. 6th ed. ( Japanese ed. ) |                 |



|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>共訳: Takakuwa S., J. Nomura, K. Miwa, Y. Tan, R. Gaku and W. Yang                   | 4. 発行年<br>2021年 |
| 2. 出版社<br>Simio LLC.   | 5. 総ページ数<br>456 |
| 3. 書名<br>Simio and Simulation: Modeling, Analysis and Applications. 5th ed. ( Japanese ed. ) |                 |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                    | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)   | 備考 |
|-------------------|--|---|----|
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | ルアンケソーン ケールーイー<br><br>(Luangkesorn K. Louis) | 米国・ピッツバーグ大学・Swanson School of Engineering・Assistant Professor |    |

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  |  |  |  |
|---------|----------|--|--|--|
| アメリカ    | ピッツバーグ大学 |  |  |  |