

令和 4 年 4 月 30 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14962

研究課題名（和文）建造実績データを活用したデジタルツイン造船工程シミュレーション手法の構築

研究課題名（英文）Development of a Digital Twin Shipbuilding Process Simulation Method Using Actual Process Data

研究代表者

満行 泰河（MITSUYUKI, Taiga）

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40741335

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、建造実績データを活用したデジタルツイン造船工程シミュレーション手法の構築である。IoTや作業員間の定期報告での取得を想定した過去と現在の実績データからシミュレーションモデルを逆推定し、それらを造船工程管理業務で利活用するための全体の枠組みを構築する。仮想的な造船工程モデルと実際の造船所のデータを用いて構築した枠組みを検証することで、モニタリングデータや実績データを活用して効率的な造船工程管理を実施するための戦略を検討できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後、造船分野でもIoTを活用した工場モニタリング、見える化が進むことが期待されるが、見える化以上の高度な意思決定につなげるためには、見える化に必要なデータと今まで研究されてきたシミュレーションモデルを併用したデジタルツインの枠組みが必要であるが、国内外含めて、造船工程のように標準化されているとは言えない人間系の作業が大きな割合を占める一品受注生産型の工程でデジタルツインの枠組みが導入・実用化された事例は存在しない。本研究はモニタリングデータを用いた今後の造船工程シミュレーション研究の新たな方向性を示すとともに、そのための研究基盤を構築するものである。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop a digital-twin shipbuilding process simulation using construction performance data. We developed a method to estimate simulation models from past and current performance data, which are assumed to be acquired through IoT and routine reports among workers. The overall framework for utilizing these models in shipbuilding process management operations was developed. By using the virtual shipbuilding process model and actual shipyard data, it was confirmed that the developed framework can analyze strategies for implementing efficient shipbuilding process management.

研究分野：システム工学

キーワード：デジタルツイン 離散プロセスシミュレーション 生産管理

1. 研究開始当初の背景

一品受注生産型の工程である造船において、シミュレーションを利用した生産計画立案と生産予測手法に関する研究事例は数多く行われている。しかしながら、現場の進捗に関する細かい粒度での建造実績情報を取得することが困難であったため、不確実性を含む造船工程を説明できるシミュレーションモデルを構築できたかどうかを合理的に確認することができず、結果として現場でシミュレーションを利用した生産計画立案と生産予測を行っている造船所は少ないのが現状である。そのため、過去の同型船での生産実績をそのまま生産計画として使用するなどの対応を続けており、結果として、工場の設備配置変更や並行して行っている建造船の状況が前回の建造の時と異なると生産予測精度は極端に低くなる、新しいタイプの船の建造におけるリスクを管理できないなどの問題が存在する。

近年、造船分野でも IoT 技術などを活用して造船工程における様々な実績データを細かい粒度で取得しようとする動きが出てきている。これらは、IoT 技術を利活用した造船工程の「見える化」が主な目的となっているが、これらの成果を「見える化」以上に高度なレベルで生産管理業務に活用するためには、デジタルツインという考え方を導入する必要がある。デジタルツインとは、現実世界を IoT データで取り込み、デジタルのコンピューティングパワーでシミュレートし、現実世界の課題を解決・最適化するアプローチを指す。造船工程管理にデジタルツインの枠組みを導入するには、過去の実績データとリアルタイムやそれに近い形で得られる現在の実績データをどのように不確実性を考慮したシミュレーションモデルに反映させ、造船工程管理に活用していくのかを含めた全体の枠組みの構築が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、建造実績データを活用したデジタルツイン造船工程シミュレーション手法の構築である。IoT や作業員間の定期報告での取得を想定した過去と現在の実績データからシミュレーションモデルを逆推定し、それらを造船工程管理業務で利活用するための全体の枠組みを構築する。風車や飛行機のエンジンなど、製品そのものを対象としたデジタルツイン導入事例はいくつか存在するが、造船工程のように標準化されているとは言えない人間系の作業が大きな割合を占める一品受注生産型の工程で実用化・導入された事例は存在しない。また、本研究を実施することで、デジタルツイン造船工程管理に必要なレベルの見える化と具体的なモニタリング技術・機器を検討することにもつながると考えている。

3. 研究の方法

本研究の全体像を図1に示す。具体的実施する項目は、「A. 造船工程における種々の不確実性のシミュレーションモデルへの組み込み」、「B. 過去の実績データからシミュレーションモデル逆推定手法の開発」、「C. 現在の実績データを用いたシミュレーションモデルのパラメータ更新手法の開発」の3点である。

Aについては、造船現場で行われている作業進捗管理方法の調査を行い、造船現場の作業進捗における不確実性をモデル化する。

Bについては、過去の実績データからデジタルツインの基盤技術となるシミュレーションモデルを逆推定する手法の開発に取り組む。Aで定めた不確実性を表現する確率分布モデルのパラメータについて、実績データから集計できる個々の作業ログと、作業間の類似度や関係性などを考慮して推定する。逆推定手法の検証の際には、実際の実績データを複数取得することは困難なため、Aで定めた不確実性に関するパラメータを含めた pDES シミュレーションモデルからモンテカルロシミュレーションを行った複数の実績データとシミュレーションモデルから抽出した造船工程の基本情報を入力として、シミュレーションモデル逆推定ケーススタディを行うことで、開発した手法の検証を行う。

Cについては、実際に作業進捗情報が取得できたことを想定して、過去の実績データから求めたシミュレーションモデルの設定と現在の実績データに乖離がある場合に、現在の実績データの不確実性を考慮してシミュレーションモデルのパラメータを推定する手法を開発する。これらの手法の有効性を仮想的な造船所のモデルを構築することで確かめるとともに、実際の造船所の作業現場と連携して提案手法の有効性を検証する。

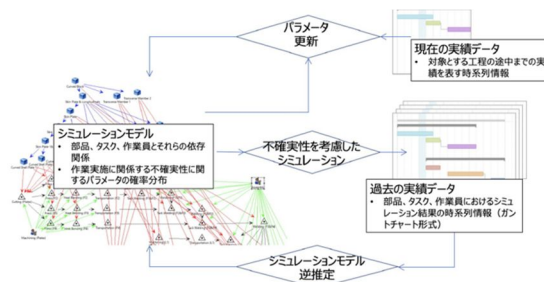


図1. 研究の方法の概要

4. 研究成果

造船工程における種々の不確実性のシミュレーションモデルへの組み込みについては、まず船

船建造工程を適切にモデル化するための検討を実施した。具体的には、生産工程シミュレーションを実施するために必要なデータとして製品の部品構成表である M-BOM データ、製品の製造プロセスに関する情報である BOP データ、作業情報、設備情報を定義し、これらのデータから、Product、Workflow、Workplace、Team の 4 つのモデルをノードとリンクを用いて自動的に作成したうえで、離散プロセスシミュレーションを実施し、その結果としてガントチャート形式の生産計画案として出力する枠組みを構築した。この枠組みの中で離散プロセスシミュレーションに人間の作業進捗における不確実性を含んだモデルを導入することで、造船工程における種々の不確実性のシミュレーションモデルへの組み込みを達成した。

過去の実績データからシミュレーションモデル逆推定手法の開発については、上記で構築した枠組み内で、不確実性を考慮したモンテカルロシミュレーションを行った複数の実績データとシミュレーションモデルから抽出した造船工程の基本情報を入力として、シミュレーションモデル逆推定ケーススタディを行った。具体的には、事前にモデル構築に必要な情報をどの程度まで知ればどの程度の逆推定ができるのかについての検討を実施するとともに、実際の造船所の協力の下、過去の作業ログからシミュレーションモデルを構築するためのケーススタディを行った。

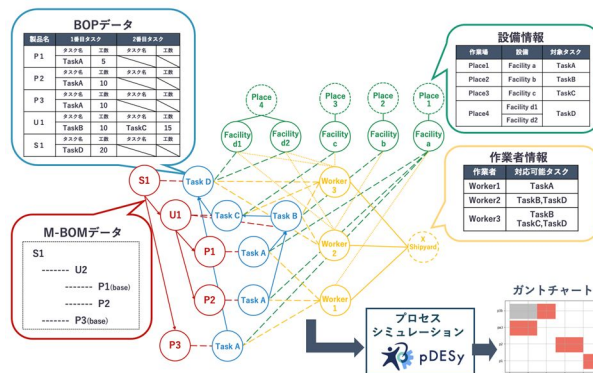


図 2 . 開発した生産工程シミュレーションの枠組み

結果として、出力したガントチャートは、造船所の複雑な機能特性を正確に捉えており、モデルリング通りであることを確認した。また、生産管理者が本手法を現場管理に活用する事例として、出荷要求順序維持の計画立案、ボトルネックとなる作業場の抽出、作業者の割り当て計画の見直しを実施し、その有効性を示した。また、納期順に部材を出荷するシミュレーションを実施したいというニーズを持たすため、新たにバックワードシミュレーション機能を開発し、仮想の造船所と実際の造船所でその機能の有効性を検証することができた。

図 3 は仮想造船所において船体中央部を構成する大組ブロックが船底部、船側外板部、第二甲板部、上甲板部の順に出荷する計画立案を検討した結果を示す。既存の計画では、出荷順序が乱れているが、各ブロックの納期から遡って逆算するバックワードシミュレーションを用いた検討により、リードタイム最短化を保ちつつ、大組ブロックが要求順通りに出荷する計画を作成することができている。現在の実績データを用いたシミュレーションモデルのパラメータ更新手法の開発については、上記の枠組み内でデータ同化手法などを検証するための仮想的な造船所を想定したシミュレーション環境とモデルを用意したが、研究期間内では詳細な検討まで実施することができなかった。今後、この項目については引き続き研究を実施する。

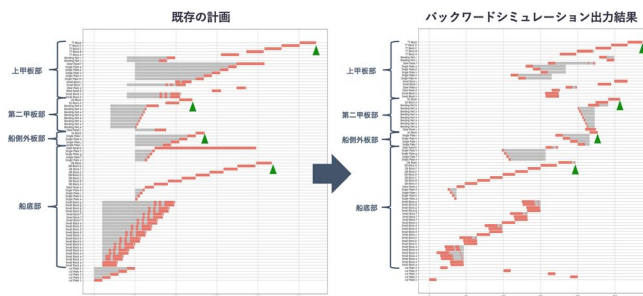


図 3 . バックワードでのシミュレーション

今後、造船分野でも IoT を活用した工場モニタリング、見える化が進むことが期待されるが、見える化以上の高度な意思決定につなげるためには、見える化に必要なデータと今まで研究されてきたシミュレーションモデルを併用したデジタルツインの枠組みが必要であるが、国内外含めて、造船工程のように標準化されているとは言えない人間系の作業が大きな割合を占める一品受注生産型の工程でデジタルツインの枠組みが導入・実用化された事例は存在しない。このような状況の中で、本研究では造船工程管理におけるシミュレーションの活用というテーマで、実際の造船所の協力を得ながら造船工程管理へのデジタルツイン導入に向けた実践的な研究を実施してきた。また、本研究の成果を取りまとめたものを、Python 版の離散プロセスシミュレーションライブラリ pDESy として GitHub 上で公開している。すでに 1 つの造船所でこのライブラリが利用されている実績もある。以上より、本研究はモニタリングデータを用いた今後の造船工程シミュレーション研究の新たな方向性を示すとともに、その研究のための基盤を構築できたことは大きな成果であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Okubo Yui, Mitsuyuki Taiga	4. 巻 10
2. 論文標題 Ship Production Planning Using Shipbuilding System Modeling and Discrete Time Process Simulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 176 ~ 176
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/jmse10020176	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yui Okubo, Taiga Mitsuyuki
2. 発表標題 Study on Job Shop Scheduling for Keeping the Requested Shipping Sequence by Production System Modeling and Backward Simulation
3. 学会等名 Proc. of the 28th ISPE Inc. International Conference on Transdisciplinary Engineering（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大久保友結、満行泰河
2. 発表標題 造船工程シミュレーションを利用した生産計画の多目的最適化に関する研究
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演論文集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

pDESy: Discrete-Event Simulator in Python
<https://github.com/pDESy/pDESy>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------