

船舶建造プロセスシミュレーションを用いた人員と設備の設計に関する研究

人間環境学専攻 2016年3月修了
47-146720 松原 洸也
指導教員 稗方 和夫 准教授

In this paper, a method to evaluate installation effect of production facilities in shipbuilding process is proposed. The method evaluates the production process defined by product, workflow and organization models using the process simulation with rework based on error of the product. In the case study on a production process of curved blocks, it is quantitatively clarified that installation of accuracy evaluation system for curved shell plates by laser scanner to heat bending process reduces the duration and cost of the process by using the proposed method. Under the condition where the production spaces are limited, the system is installed more effectively than under the condition where the spaces are enough. Moreover, it is suggested that the system is effective if the skill level of the workers is low.

Key words: Shipbuilding Process, Production Process Simulation, Production Facility, Rework

1 緒言

船舶建造プロセスのQCD（品質・原価・納期）を向上させるためには、プロセスへの新規生産設備導入の検討が必要不可欠である。造船業への生産設備導入による効果は、工数の変化、ランニングコストの変化、製品の品質の変化など様々である。生産設備の導入は、対象となる工程以外のプロセスへの影響も考慮したうえで、その効果を定量的に評価して意思決定を行う必要がある。

製造業の生産プロセスは時々刻々と状態を変え、手戻りなどの不確実性を含んでいるため、そのパフォーマンスの評価にしばしばシミュレーションが用いられる。Yang¹⁾らは、製品開発プロセスのタスクの反復と並列作業のスケジュールへの影響をシミュレーションにより評価している。船舶建造プロセスのシミュレーションに関する研究では、Mitsuyuki²⁾らによる電力のピークカットを行う状況下での船殻ブロックの生産戦略の設計に関する研究や、岩下³⁾らによるブロック組立工程へのプル生産方式の導入の検討などが挙げられる。生産設備はQCDに影響を与えるものであると考えられるが、これらの研究におけるシミュレーションでは製品の品質、つまり部品の製造誤差に影響を与える生産設備の導入効果を検証することは難しい。また、生産設備導入の効果は、造船工場や組織の特徴によっても変化すると考えられるが、これらの特徴の違いによる設備導入効果の変化を定量的に示した研究は存在しない。

よって本研究の目的は、船舶建造プロセスにおいて、新規生産設備を導入した際の効果を、工場や組織の特徴を考慮したうえで定量的に評価することを目的とする。ケーススタディでは船舶の曲がりブロック製造工程を対象に、生産設備導入の効果を検証する。

2 提案手法

2.1 はじめに

本研究では、船舶建造プロセスにおける生産設備は以下の3つの事項に影響を及ぼすものとして考える。

- 作業スピード
- ランニングコスト
- 部品の製造誤差

提案手法では以上3つの事項を考慮することが可能な船舶の生産プロセスシミュレーションを構築する。

2.2 概要

提案手法の概要を Fig. 1 に示す。提案手法における船

舶の生産プロセスシミュレーションは、製品、ワークフロー、組織の3つのモデルの情報を入力とする。また、定義した組織モデルの設備のパラメータを変化させることにより、新規生産設備導入後の組織モデルを作成する。

以上の入力情報を基に、製品の製造誤差に基づく手直し作業を考慮した生産プロセスのモンテカルロシミュレーションを、各組織モデルについて実行する。各組織モデルについて、シミュレーションの結果として得られる生産プロセスの所要時間と合計費用を比較することによって、新規生産設備導入による生産プロセスへの影響を定量的に評価する。

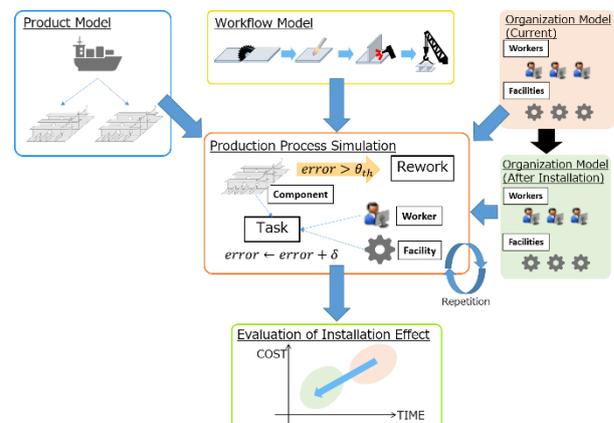


Fig. 1 Overview of the proposed method

2.3 生産プロセスのモデル化

2.3.1 製品モデル

製品モデルは、生産プロセスで製造の対象となる製品1つを表すものである。1つの製品は、複数の部品を要素とする木構造からなり、それぞれの部品間には依存関係が定義される。

各部品には依存関係の他に、誤差の許容値という属性が定義される。シミュレーションの実行中には各部品の誤差の値が更新され、これらの値はシミュレーション内での手直し作業発生判定に用いられる。

2.3.2 ワークフローモデル

ワークフローモデルは、製品1つを生産するための作業内容を表し、製品モデル1つに対してワークフローモデル1つを作成する。1つのワークフローでは、複数のタ

スクとそれらの依存関係、優先度が定義され、PERT (Program Evaluation and Review Technique) のアロー・ダイアグラムで記述される。

各タスクは依存するタスクの情報の他に、工数、手直し作業の工数、対象とする部品の集合を情報として持つ。シミュレーション実行中には、タスクに割り当てられた人員と設備のスキル値に基づいて残り工数を減らし、状態 (NONE : 開始不可、READY : 開始可能、RUNNING : 実行中、FINISHED : 完了) の更新が行われ、タスクの実行が表現される。

2.3.3 組織モデル

組織モデルは、ワークフローを実行するリソース (人員および設備) の情報を表す。人員と設備は、どちらも単位時間あたりの利用コスト、各タスクに対するスキル値、各タスクに対する誤差発生確率といった属性を持つ。スキル値が 0 に設定されている場合は、そのリソースは該当のタスクを実行できないことを表している。これらのパラメータによって、人員であれば技術レベルを、設備であればその特性を表現することが可能である。

2.4 生産プロセスシミュレーション

生産プロセスシミュレーションの流れを以下に示す。

1. シミュレーションの初期設定
2. 開始可能状態のタスクと空いている人員・設備の抽出
3. タスクの優先度に基づく人員・設備の割り当て
4. タスクの残り工数と費用の更新
5. 部品の誤差値の更新と手直し作業の判定
6. タスクの状態の更新
7. シミュレーションの終了判定

シミュレーション開始後、時刻 t を 0 に設定し、ワークフローの先頭タスクの状態を READY にする。

初期設定が終わると、まず READY 状態のタスクと、現在タスクに割り当てられていない人員と設備を抽出する。

次に、タスクの優先順位が高い順に人員と設備の割り当てを行う。自身が所属するワークフローの優先順位が高いほどタスクの優先順位は高い。同じワークフローに所属するタスク同士の優先度の比較には、PERT の手法によって求める時刻 t における全余裕時間を用いる。人員と設備が割り当てられたタスクの状態は RUNNING に変更される。

続いて、人員と設備が割り当てられたタスクの残り工数をそれらのスキル値に基づいて更新し、作業を行った人員と設備の費用を合計費用 c_{total} に加算する。

残り工数と費用の更新後、部品の誤差に基づく手直し作業の判定を行う。タスクに割り当てられた人員と設備の誤差発生確率にしたがってランダムに誤差を発生させ、誤差が発生した場合はそのタスクが対象とする部品 c の誤差値を 1 単位増加させる。部品 c について、式(1)で定義される誤差の総量が許容値を超えた場合は、手直し作業が発生したと判定され、該当タスクに手直し作業の工数を追加する。ただし、 $C_{depend,c}$ は部品 c が依存する部品の集合である。

$$error_{total,c} = error_c + \sum_{c' \in C_{depend,c'}} error_{total,c'} \quad (1)$$

以上の操作が終了後、残り工数が 0 以下になったタスクの状態を FINISHED に変更し、すべての先行タスクの

状態が FINISHED であるタスクの状態を READY に更新する。

全タスクの状態が FINISHED になった段階でシミュレーションを終了する。そうでない場合は時刻 t を更新してタスクと人員・設備の抽出操作に戻る。

シミュレーションの結果として、シミュレーション終了時の時刻 t と合計費用 c_{total} を出力する。

2.5 生産設備導入効果の評価方法

2.4 の生産プロセスシミュレーションを利用して、以下の流れで生産設備導入効果を評価する。

1. 既存の生産プロセスの製品モデル P 、ワークフローモデル W 、組織モデル R を作成する。
2. 組織モデル R の中で、設備導入の対象となる設備の単位時間あたりの費用、スキル値、誤差発生確率を変更し、設備導入後の組織モデル R' とする。
3. モデルの組 (P, W, R) 、 (P, W, R') それぞれに対して生産プロセスシミュレーションを N 回実行する。
4. 3 の結果から、それぞれのモデルの組に対して生産プロセス実行にかかった時間と費用が得られる。得られた時間と費用の平均や標準偏差、分布などの情報を比較することで設備導入効果を検証する。

3 ケーススタディ

3.1 対象

ケーススタディでは、仮定の船舶 1 隻の曲がりブロック 30 個を製造するプロセスを対象とする。曲がりブロックは、船体の船首尾の曲面で形成される部分を構成する中間製品であり、曲がり外板、ロンジ、トランスという部材を溶接により接合することによって製造される。

対象とする工程は曲がり外板とロンジの加工工程、トランスの小組立工程、ブロックの大組立工程である。

曲がり外板加工工程は部材の切断、プレス、ぎょう鉄からなる。ロンジ加工およびトランス小組立工程は部材の切断と製作作業からなる。ブロック大組立工程は外板、ロンジ、トランスの溶接からなる。これらの工程の工場での生産ラインと設備を Fig. 2 に示す。

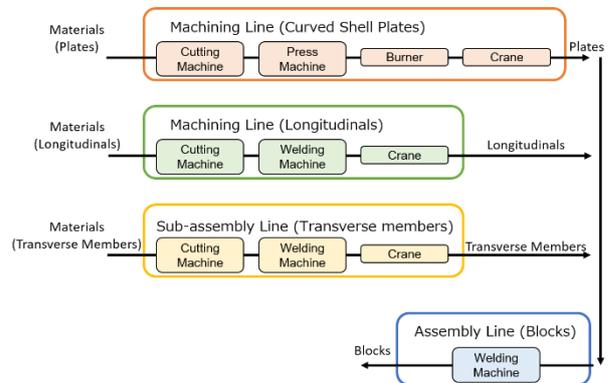


Fig. 2 Production line of the curved blocks

3.2 導入する生産設備

ぎょう鉄工程にレーザスキャナによる曲がり外板の工作精度評価システム⁴⁾の導入を検討する。ぎょう鉄は職人がバーナーで外板を加熱して曲げ加工を行う工程である。

ぎょう鉄工程では曲がり外板の品質のばらつきが問題となっており、システムはこの問題を解決するために開発された。システム導入によってぎょう鉄工程での曲がり外板の誤差の現象と、設備の単位時間当たりの費用の増加が見込まれる。設備導入の対象となる部分は、Fig. 2 では曲がり外板加工ラインのバーナーである。

3.3 シミュレーションの設定

曲がりブロックの製品モデルを Fig. 3 に示す。製品モデルは 4 枚の曲がり外板と 6 個のロンジ、2 個のトランスからなる。簡単のために、30 個の曲がりブロックはすべて同じ製品モデルで表されるとする。末端の部品である外板、ロンジ、トランスの誤差の許容値をそれぞれ 5, 2, 3 とし、その他の中間部品の許容値は依存する部品の許容値の総和とした。

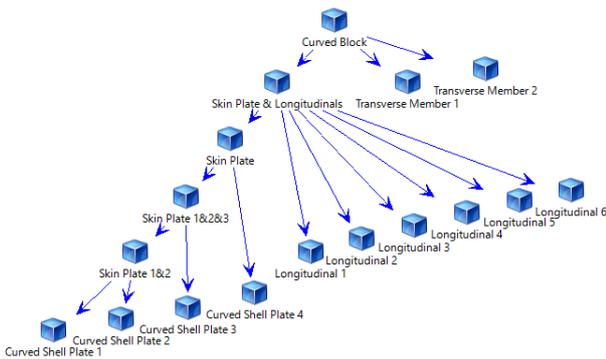


Fig. 3 Product Model

ワークフローモデルは Fig. 4 で表されるとした。Fig.2 に示した生産ラインとそれぞれの工程の対応関係を色付けて表示している。

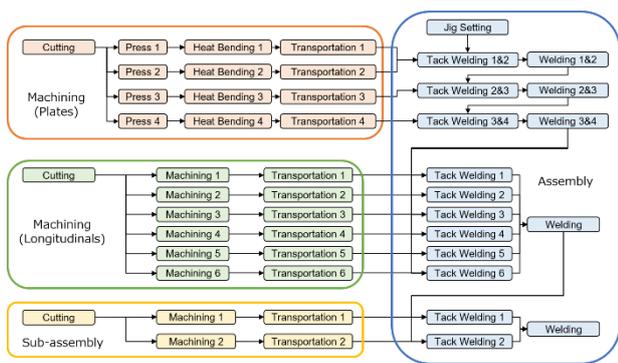


Fig. 4 Workflow model

組織モデルは 14 人の人員（外板加工：5 人、ロンジ加工：2 人、トランス小組立：3 人、ブロック大組立：4 人）と 21 台の設備とした。設備の種類は Fig. 2 にブロック大組立における治具を加えたものである。スキル値はすべて 1 に設定し、人員の誤差発生確率は 0.10, 設備の誤差発生確率はバーナーと大組立の溶接機のみ 0.20, その他はすべて 0.10 とした。費用については適宜設定した。

生産設備の導入前後で、バーナーの誤差発生確率が 0.20 から 0.10 に、単位時間当たりの費用が 500 円から 900 円に変化すると設定した。

すべての設定について、シミュレーションは 1000 回ず

つ実行し、同時に組立可能なブロックの数は 3 個とした。

3.4 結果

システム導入前後の比較結果を Fig. 5 に示す。システムの導入によって、曲がりブロックの製造プロセスの所要時間と合計費用の両方について、平均値とばらつきが減少することがわかる。システム導入後は、所要時間の平均値が 88 時間、合計費用の平均値が 15 万円減少した。また、30 個の曲がりブロック製造に要した実績工数は 219 時間減少した。システムの導入コストを考慮すると、船舶 1 隻あたり約 120 万円の費用の増加によって、曲がりブロック製造プロセスの所要時間を約 90 時間、実績工数を約 220 時間削減できるという結果が得られた。

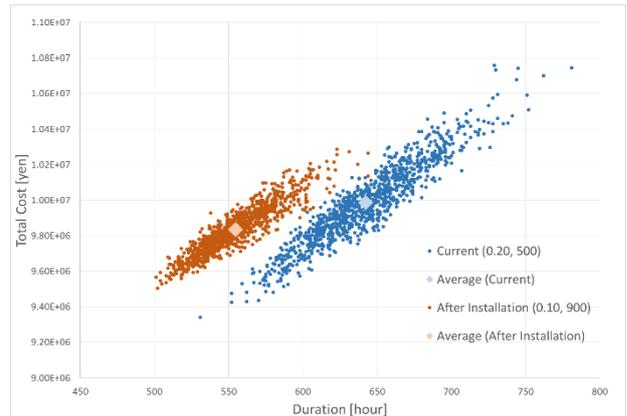


Fig. 5 The simulation results of the system installation

次に、工場の作業場所の制約の違いによる影響を調査するために、同時に組立可能なブロックの数を 2, 3, 4, 5 個に設定して、設備導入前後の組織モデルを用いたシミュレーションを実行した。実行結果を Fig. 6 に示す。プロセスの所要時間に関して、同時に組立可能なブロックの数が小さいほど大きな削減効果が出ていることがわかる。よって、工場の作業場所が狭いほど、システムの所要時間の削減に関してより大きな導入効果を得ることができるといえる。

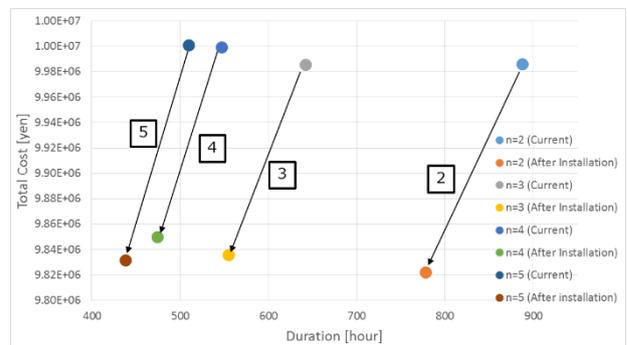


Fig. 6 Comparison of the simulation results among different production spaces

さらに、ぎょう鉄作業者の技術レベルの違いによる影響を調査するために、作業者のぎょう鉄タスクについての誤差発生確率を 0.05, 0.10, 0.15 の 3 種類に設定し、それぞれの場合について設備導入前後の組織モデルを用いたシミュレーションを実行した。実行結果を Fig. 7 に示す。

プロセスの所要時間と合計費用の両方に関して、ぎょう鉄作業者の誤差発生確率の値が大きいほど、平均値とばらつきの削減効果がより大きく得られるという結果になった。つまり、ぎょう鉄作業者の技術レベルが低い場合の方が、より大きな曲がり外板の工作精度評価システムの導入効果を得ることができるということを意味する。

ぎょう鉄の技術レベルがある程度高い場合には、曲がり外板の加工完了時の工作誤差は一定の水準以下に抑えられており、曲がり外板の工作誤差に基づく手直し作業は技術レベルが低い場合に比べて少なくなっていると考えられる。したがって、技術レベルが低い場合の方がシステム導入によって軽減できる手直し作業の量が多いために、より大きなシステム導入効果が得られたといえる。

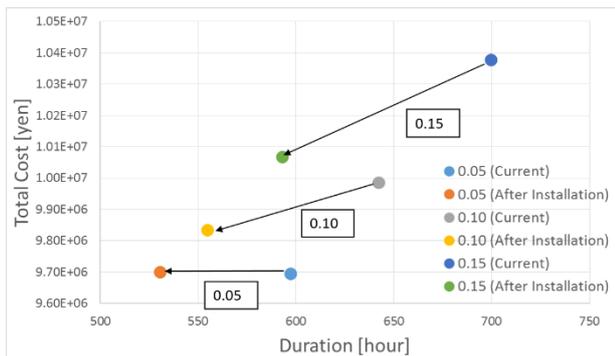


Fig. 7 Comparison of the simulation results among different error probabilities of the workers for the heat bending process

4 考察

提案手法では、製品モデルでは部品の誤差の許容値を、ワークフローモデルではタスクの工数を、組織モデルでは人員と設備のスキル値や誤差発生確率をそれぞれ設定する必要がある。

誤差の許容値の設定に関しては、日本鋼船工作法精度基準 (JSQS) を参考にできる。JSQS は、過去に建造された船舶を対象に工作精度を計測し、その値を基にそれぞれの部材や作業の工作精度の標準範囲と許容限界を定めたものである。

タスクの工数の設定に関しては、船舶部材の管理量を活用できる。管理量とは、部材に対する各工程の工事量を代表させる値である。例えば切断作業であれば、切断長を管理量、切断速度を効率として、工数は管理量と効率の積を基にして見積もることが可能である。

人員のスキル値の設定に関しては、製造現場で人員が保有する技能を可視化するための管理表であるスキルマップの活用が考えられる。原口ら⁹⁾は、スキルマップを定量的に表現するための「スキルインデックス」という技能指標を提案している。スキルインデックスでは、各作業がある製品のあるタスクを作業する場合の、標準作業時間と実作業時間の比によって技能を定量化する。

以上のシミュレーションモデルのパラメータを設定した後で生産プロセスシミュレーションを実行し、シミュレーション結果がシミュレーション実行対象の船舶建造プロセスでの実績値とおよそ一致するかを確認しながら、パ

ラメータを調整することによって実際の造船現場での運用が可能となる。

5 結論

本研究では、船舶の生産プロセスにおいて、新規生産設備を導入した際の効果を定量的に評価した。具体的には、生産プロセスで対象とする製品の製造誤差に基づく手直し作業を考慮した生産プロセスシミュレーションを利用して、新規生産設備導入によるプロセス全体の時間と費用への影響を評価する手法を提案した。

また、船舶の曲がりブロック建造プロセスにおけるぎょう鉄工程に、曲がり外板工作精度評価システムを導入する際の生産プロセスへの影響を提案手法によって評価し、以下の知見を得た。

- システムを導入すると、曲がり外板に発生する誤差が減少することによって、曲がりブロック製造プロセス全体にかかる作業時間と費用の平均とばらつきの両方を減少させる効果が得られる。
- 曲がりブロック製造の作業場所が狭い場合は、広い場合と比較してシステム導入による製造プロセス全体の作業時間の削減効果が大きい。
- ぎょう鉄作業者の技術レベルが低い場合は、技術レベルが高い場合と比較してシステム導入による製造プロセス全体にかかる作業時間と費用を減少させる効果が大きい。

以上のように、提案手法を用いて、船舶の生産プロセスにおける生産設備の導入の効果を工場の制約の違いや組織の違いに基づいて定量的に評価できることを示した。

文献

- 1) Yang, Q., Lu, T., Yao, T. and Zhang, B., The Impact of Uncertainty and Ambiguity Related to Iteration and Overlapping on Schedule of Product Development Projects, *International Journal of Project Management*, Vol. 32, No. 5 (2014), pp. 827-837.
- 2) Mitsuyuki, T., Hiekata, K. and Yamato, H., Design of Production Strategy Considering the Cutting Peak Demand of Electricity in the Shipbuilding Industry, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 19, No. 4 (2014), pp. 425-437.
- 3) 岩下寛弥, 梶原宏之, Heap モデルに基づくツインタンドム建造方式の組立日程計画, *日本船舶海洋工学会論文集*, Vol. 21 (2015), pp. 83-91.
- 4) 稗方和夫, 大和裕幸, 笈田佳彰, 榎本昌一, 古川慈之, 牧野有紀, 杉廣武俊, レーザスキャナによる曲がり外板の工作精度評価システムの開発, *日本船舶海洋工学会論文集*, Vol. 13 (2011), pp. 231-238.
- 5) 原口春海, 貝原俊也, 藤井信忠, セル生産における技能向上を目的とした作業者の配置に関する研究, *日本機械学会論文集*, Vol. 81, No. 825 (2015), p. 14-00646.