

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

大久保, 友結
横浜国立大学大学院理工学府

満行, 泰河
横浜国立大学大学院工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/7397146>

出版情報 : Conference Proceedings The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers.
30, pp.155-158, 2020. 日本船舶海洋工学会

バージョン :

権利関係 : © 2020 The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers



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

正会員 満 行 泰 河* 学生会員 大久保 友 結**

A Study on Multi-Objective Optimization of Production Plan using Shipbuilding Process Simulation

by Taiga Mitsuyuki, Member Yui Okubo, Student Member

Key Words: Process Simulation, KPI, optimization

1. 緒 言

造船所にとって生産計画は、建造プロセスや現場統括の計画だけでなく経営にも大きく影響を与える重要なファクターである。しかしながら、取り扱う部材数が大量かつ多品種、人間系の作業が非常に大きな割合を占めるなどの造船工程が持つ固有の特徴により、適切な生産計画を立案することが困難であるという問題が存在する。

このような複雑な製品システムを持つ製造業の定量的なパフォーマンス評価に、シミュレーション技術がしばしば用いられる。満行らはプロセスシミュレーションを利用して造船所の新設備導入効果を定量的に評価した¹⁾。また、青山らは時間因子による制約を考慮した生産計画の作成を可能にし、シミュレーション上で造船所内の作業の流れや物の流れを可視化した²⁾。これらの既存の研究では煩雑な生産計画に対してある程度実用的であると考えられるが、造船所が実際に採用する作業計画を作業計画者が具体的に入力する必要がある、作業計画立案を直接的に支援する方法が必要である。

本研究では、以上の造船業の特徴や既存研究を踏まえて、造船工程シミュレーションを利用して造船所の生産計画立案を支援する手法を提案する。具体的には造船工程シミュレーションを用いて、造船所の目指す多数の目標(KPI)を定量的に考慮し、生産計画者にとって理想的な作業者の配置や作業手順の解を求めることを目指す。また、実際の造船所の工程や実データを用いて、提案手法のデモンストレーションを行うことで、現場における生産計画立案の意思決定支援の妥当性を検討する。

2. 対象とする工程のモデル化と問題定義

2.1 対象とする工程のモデル化

本研究では、ある造船所の小組立工程を対象としてモデル化を行う。対象とした造船所では、小組立工程で製造する小組ブロックに必要な部材と各作業を後に説明する「オボン」単位で管理しており、次の大組立工程でどの小組ブロックを組み合わせれば大組ブロックが製造できるかが事前に定義されている。

Fig.1に対象とする工程のモデル化の概要を示す。小組ブロックを製造するために必要な各作業を実施する場所は固定されている。オボン単位で管理されている各部

材を四角形の大きな板である「オボン」に乗せ、オボンをコンベアに乗せた状態で移動と作業を繰り返すことで、各オボン上で小組ブロックを製造し、オボンごとストックヤードに搬出している。コンベア上のオボンを移動させることを「コンベア回転」を呼び、全作業者はコンベア回転中にはコンベア上から撤退し、コンベア回転後に全作業者を改めて各オボンで実施する作業へ割り振ることが可能である。すなわち、コンベア回転の条件として、コンベア上のすべての作業が終わらないとコンベア回転ができない点、コンベア回転が終了し次のライン作業が始まるタイミングはどの作業も同時であるという特徴が存在する。本研究では、オボン上で実施される各作業は、「取付」「自動溶接」「手動溶接」「ウラ」の4つであるとしてモデル化を行った。また、ストックヤードに搬出されたオボンは予め設定された時刻に台車が引き取りに来るが、そのときに1つの大組ブロックに必要な小組ブロックが乗せられているオボンがすべて揃っていないと、オボンは引き取られずに次の引き取り時刻までストックヤードに置かれたままとなる。また、台車の数は限られており造船所内の至る所で使用するので、引き取り時間は小組立工程の都合で決まらず融通が効かない。

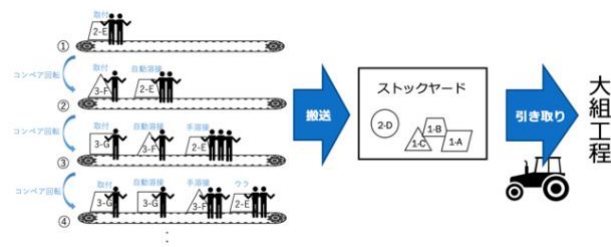


Fig. 1 Overview of simulation model.

2.2 問題設定

2.1で説明したモデルをもとに、適切な生産計画を立案するための問題設定について説明する。今回は対象とした造船所が管理・評価を目指す以下の3つのKPIを目的関数として導入する。

- リードタイム KPI
- アイドリングタイム KPI
- オボン停滞量 KPI

リードタイム KPI は、未完成のオボンをコンベアに投入してからストックヤードに搬送されるまでの時間である。アイドリングタイム KPI は、生産ライン上で作業する作業者が作業を終えて同一ライン上の他の工程が終わるのを待っている手待ち時間である。オボン停滞量 KPI

* 横浜国立大学大学院工学研究院

** 横浜国立大学大学院理工学部

原稿受付 令和2年3月6日

公開日 令和2年5月18日

春季講演会講演論文として投稿

©日本船舶海洋工学会

は、ストックヤードに搬送されたオボンが次に大組工程から引き取られるまで停滞する時間である。

上記の3つのKPIを評価関数として、生産計画を評価することを考える。本研究では、生産計画は以下の2つの設計変数から成り立つ。

- コンベアに投入するオボンの順序
- コンベア回転ごとの作業者の各作業への割り当て

3. 提案手法

3.1 概要

提案手法は造船工程シミュレーションと多目的最適化処理の2つにて構成される。造船工程シミュレーションでは、設計変数のオボン投入順序を入力情報とし、シミュレーションの動作に必要な定数値であるシステムパラメータとして作業者情報、オボン情報、引き取り情報が与えられ、2.2で設定した目的関数である3種類のKPIの値が出力される。ここで生産計画のもう1つの要素である作業者の割り当ては、オボン投入順序によって自動的に決めることができるため造船工程シミュレーション内では設計変数として扱わない。次に、多目的最適化処理では考える作業計画候補をそれぞれ入力として造船工程シミュレーションを行い、出力される3つのKPIの評価値からパレート解である作業計画候補群を抽出する。

3.2 開発した造船工程シミュレーションシステム

本節ではまず、システムパラメータの情報の詳細を説明する。次に、シミュレーションのシステムをフローチャートで示して説明する。

(1) システムパラメータ

作業者情報は作業者名、各作業に対するスキルの有無、スキル値の情報を定める。スキル値は1人の作業者が1分で作業した際の作業量を仕事量1人分であるとして定義する。なお、本研究では、作業者がすべての作業に対して同じスキル値を所持している状況を想定する。

オボン情報はTable 1で示す様に各オボンに対して、オボンID、オボン上で必要な各作業の仕事量、各オボンがどの大組ブロックを構成するかを示すブロックID、を定める。仕事量の単位は作業者情報におけるスキルの定義に合わせて[人分]とする。また、本研究における設計変数の1つであるオボン投入順序については、オボン情報におけるオボンIDの順列によって定義される。

Table 1 Example of OBON information.

BlockID	ObonID	取付	自動溶接	手溶接	ウラ	
0	1	A	172	77	325	11
1	1	B	271	110	523	20
2	1	C	181	89	334	13
3	2	D	313	149	591	61
4	2	E	145	168	316	0
5	3	F	303	298	711	0
6	3	G	223	251	423	70

引き取り情報については、ストックヤードに停滞しているオボンを台車が引き取りに来る時間[分]を複数回定める。

(2) 造船工程シミュレーションの処理

本節ではFig. 2に示すフローチャートの流れに沿ってシステムの詳細を説明する。

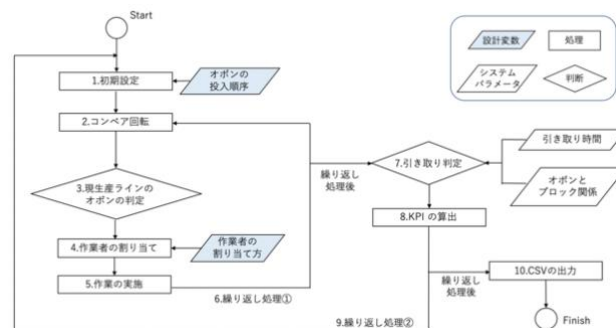


Fig. 2 Flowchart.

シミュレーション開始後、初期設定として時刻 t を0に設定し、オボン投入順序に応じて先頭のオボンから順に作業状態を作業前に設定する。なお、時刻 t の単位時間は1分であるものとする。

初期設定後のコンベア回転では、現在の生産ラインを次の生産ラインに移動させるため、すべてのオボンの作業状態を1つ更新する。また、コンベア回転にかかる時間は通常10分であるため、現在の時刻 t を $t=t+10$ と更新する。この段階で、コンベア上の全作業を終えたオボンはストックヤードに貯蓄される。

現在の生産ラインのオボン判定では、コンベア回転した時点での生産ライン上にあるオボンを抽出し、各オボン作業の仕事量を取得する。

続いて、現在の生産ラインのリードタイムが最短となる様な作業者の割り当てを行う。具体的には、 N 個のタスクに同じスキルレベルであるとみなした M 人の作業者を割り振るすべての組み合わせを重複組み合わせの解法で算出する。そして、現在の生産ラインの各オボン作業の仕事量に対して、リードタイムが一番小さくなる様に重複組み合わせで求めた作業者の割り振りパターンを全検索することで作業者の割り当てを求める。

作業者の割り当てが完了したら、各オボン作業の作業時間 WT_i を式(1)の様に計算する。ただし、オボン作業 i の仕事量を WL_i 、この生産ラインにおけるオボン作業 i に割り当てる作業者の数を NW_i とする。

$$WT_i = WL_i / NW_i \quad (1)$$

現在の生産ライン上の全オボン作業に対して作業時間を求めたら、式(2)に示す様に最も作業時間を要したオボン作業に合わせて生産ラインを終了させる。

$$t = t + \max(WT_i) \quad (2)$$

以上のシミュレーション処理をすべてのオボンが全工程を終えてストックヤードに貯まるまで繰り返し実行する。

続いて、各オボンがストックヤードに移動した時間、

引き取り時間、オボンとブロックの関係の3つを比較して、オボンの引き取り判定を行う。まず、「引き取り情報」からオボン引き取り時間を順番に取り出す。引き取り時間よりも前にストックヤードに移動したオボンを引き取り判定の対象とする。そして、対象のオボンが現在の引き取り時間に引き取られるかどうかの判断をする。ただし、引き取り条件として、現在の引き取り時間に、あるブロックを構成するオボンがすべて揃っている場合は引き取られるが、揃っていない場合は次の引き取り時間までストックヤードに停滞する。ストックヤードにあるすべてのオボンが引き取られるまで引き取り判定の繰り返し処理を行う。

引き取り処理後、各生産ラインに対して3種類のKPIを算出する。リードタイムKPIは各生産ラインにおける最も時間を要したオボン作業の作業時間とコンベア回転にかかる時間の和で定義する。アイドリングタイムKPIは自分の作業を終えて手待ち状態になっている作業数と手待ち時間の積で定義する。オボン停滞量KPIはあるブロックを構成する全オボンが揃うまで停滞するオボン数とストックヤードに移動してから台車に引き取られるまでの停滞時間の積で定義する。

最後に、すべてのオボン投入順序の回数分、以上の処理を繰り返し行う。シミュレーションで得た一連のプロジェクトにおける3種類のKPIの結果を出力する。

3.3 多目的最適化

ここでは、3.2で説明した造船工程シミュレーションシステムを用いて、2.2で示した3つのKPIを考慮した生産計画の多目的最適化の処理方法について説明する。なお、3.2で説明したように、作業者の割り当てについては、造船工程シミュレーション内で自動的に算出されるため、ここでは設計変数としてオボン投入順序のみを考えるものとする。

まず、考えうるすべてのオボン投入順序候補に対して開発した造船工程シミュレーションを実施して3つのKPIの値を算出する。その後、3つのKPIの値を考慮したパレート最適な全オボン投入順序群を抽出する。オボン投入順序は、オボン個数の階乗だけその候補が存在する。これをすべて計算すると計算量が膨大になり、また現実的にあり得ないオボン投入順序も多数含まれることになる。本研究では、次の大組立工程では建造するブロックの順序があらかじめ決められていることを想定し、ここで考えうるすべてのオボン投入順序として、ブロックの順序内でのみオボン投入順序を変更可能であるとした。

4. ケーススタディ

4.1 シナリオ設定

ケーススタディとして、4つの大組ブロックを構成する13枚のオボンを製造するシナリオを考える。

作業情報に関しては、コンベア上で実施されるすべての作業に対して同一の標準スキル値を持つ10人の作業員で作業することを想定した情報を作成する。本ケーススタディにおけるオボン情報をTable 2に示す。ブロック1はオボンA～Dの4枚、ブロック2はオボンE～Gの3枚、ブロック3はオボンH～Jの3枚、ブロック4はオボンK～Mの3枚で構成される。すなわち、提案手法において考えうるオボン投入順序候補は $4!3!3!3! =$

5184通りとなる。これはシミュレーション回数に相当する。

Table 2 OBON information

	BlockID	ObonID	取付	自動溶接	手溶接	ウラ
0	1	A	172	77	325	11
1	1	B	271	110	523	20
2	1	C	181	89	334	13
3	1	D	313	149	591	61
4	2	E	145	168	316	0
5	2	F	303	298	711	0
6	2	G	223	251	423	70
7	3	H	258	185	546	60
8	3	I	200	200	200	200
9	3	J	419	152	778	0
10	4	K	171	107	409	129
11	4	L	419	152	778	0
12	4	M	154	93	241	30

また、300分後、600分後、900分後、1300分後、1600分後に、ストックヤードに停滞するオボンを引き取りに台車がやって来るものとして引き取り情報を設定した。

4.2 結果

提案手法に沿って5184通りのオボン投入順序候補に対して造船工程シミュレーションを実施し、その結果として出力される3つのKPIの値を三次元プロットした結果をFig.3に示す。Fig.3より、5184通りのオボン投入順序候補は3つのKPIで分類すると2つの群に大別されることがわかる。また、Fig.3からパレート最適解として19通りのオボン投入順序を得ることができた。

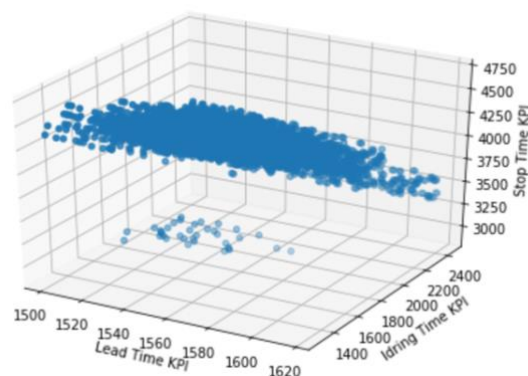


Fig. 3 Evaluation results in 3D plot.

5. 考 察

ここでは、ケーススタディで得られた出力結果に関する考察と、提案手法としてあげたシミュレーションを実際の現場で運用する場合における考察を行う。

5.1 オボン停滞量 KPI の特性

その代表例として、リードタイム KPI とオボン停滞量 KPI の 2 つの軸で 5184 通りのオボン投入順序の評価結果とパレート最適解である 19 通りのオボン投入順序を同じグラフにプロットした結果を Fig.4 に示す。Fig.4 を見るとオボン停滞量 KPI が大きい集団と小さい集団にはっきりと分かれていることが明らかである。この差について Fig.5 の様にガントチャートを用いて検証する。

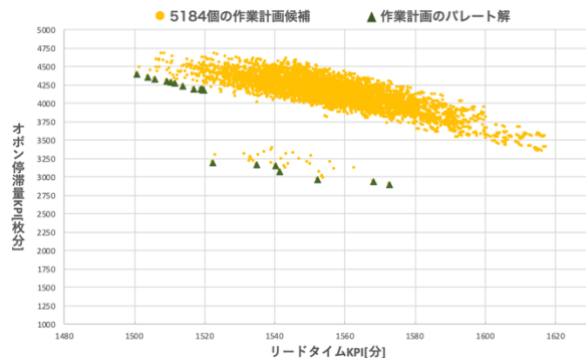


Fig. 4 Evaluation results in 2D plot.

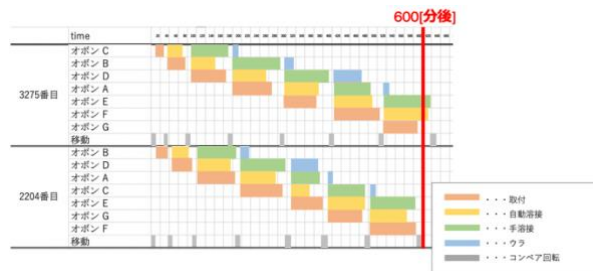


Fig. 5 Gantt chart.

停滞量 KPI が小さい集団の代表として選んだ 2204 番目のオボン投入候補のガントチャートを見ると、600 分後の引き取りタイミング時に A~D のオボンが引き取られている。しかしながら、停滞量 KPI が大きい集団の代表として選んだ 3275 番目のオボン投入候補は、600 分後の引き取りタイミング時に間に合わず次の引き取り時間 900 分後まで停滞する。A~D のオボンが 600 分後の引き取りに間に合うか否かで停滞量 KPI に大きく差が生じると証明できた。つまり、引き取り時間と、あるブロックを構成する最後のオボンがストックヤードに移動する時間のタイミングが上手く合わないと、停滞量 KPI に大きく影響してしまうことが分かる。

引き取りタイミングを合わせた生産計画を複数パターン作成して適切な生産計画を検討するのは、生産計画者にとって非常に困難な作業である。提案手法により、引き取りタイミングを合わせた複数パターンの生産計画を自動的に抽出することは、生産計画者が適切な生産計画を立案するための意思決定の支援に大きく寄与することが可能であると考えられる。

5.2 提案手法の現場応用の可能性

実際の造船現場では 1 日の稼働時間は 8 時間であることや、コンベアの敷地面積、作業ごとの人数制限考慮、作業員ごとのスキルの差や教育の観点での作業割り振りなど、実際の生産計画立案者は本研究で想定した状況よりもより複雑な事象を考慮して生産計画を立案している。一方で、提案手法のような仕組みに上記の項目を導

入することは可能であり、また出力結果から運用で上記の項目を考慮に入れるなど、様々な対応が考えられる。

6. 結 言

本研究では、造船工程シミュレーションを利用して造船所の生産計画立案を支援する手法を提案した。具体的には、実際の造船所の製造工程を再現する造船工程シミュレーションを開発し、複数の KPI を考慮したパレート解となる生産計画を抽出した。実際の造船工程の一部を簡略化したケーススタディの結果から、シミュレーション利用によって 3 つの KPI を考慮したパレート解となる生産計画を自動的に抽出することができ、適切な作業計画のための意思決定支援が可能であることが示された。

謝 辞

本研究の実施にあたり、住友重機械マリンエンジニアリングの松井倫太郎様、中井誠様には、数回ほど横須賀造船所に行かせていただき、造船所の溶接工程の調査や、現場データの提供などのご協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 満行泰河, 稗方和夫, 松原洗也, 大和裕幸, Bryan Moser : 船舶建造プロセスシミュレーションを用いた生産設備の導入に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, vol.24, pp.291-298, 2016.
- 2) 青山和浩, 野本敏治, 渡辺健太郎: ペトリネットを利用した造船工場シミュレータの構築, 日本造船学会論文集, 1997 巻, 182 号
- 3) 満行泰河, 大和裕幸, 稗方和夫, : 複数設計業務のシミュレーションと組織内人員の最適配置, 日本機械学会論文集 C 編, vol. 79-806, pp.3930-3938, 2013.
- 4) Yong-Kuk Jeong *et.al.* : Shipyard Block Logistics Simulation Using Process-centric Discrete Event Simulation Method, Journal of Ship Production and Design, Vo33, pp.1-12, 2017.