

交通運輸技術開発推進制度
令和6年度業務実績説明書

MBOM・BOPの自動生成によるデータ連携と建
造シミュレータの造船製造分野への実装に関
する研究

令和7年3月

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

海上・港湾・航空技術研究所

I. 研究開発成果の要約

作成年月	令和 7 年 3 月
研究課題名	MBOM・BOP の自動生成によるデータ連携と建造シミュレータの造船製造分野への実装に関する研究
研究代表者名	谷口智之
研究期間	令和 5 年 10 月 1 日～令和 7 年 3 月 31 日
研究の目的	現場任せとなっている造船作業を科学的なアプローチで解明し、すべて数値表現され、すべて数値計画され、すべてが計画通りに完結することを目指すデジタルシップヤードの研究を行ってきた。その一環に計画精度向上と事前検証を可能とする高精度な建造工程のシミュレーション技術を開発してきた。本研究では、建造シミュレータの社会実装を進めるため、特にそのデータとなる MBOM と BOP のデータ化および自動生成と、これを用いた建造シミュレータとの連携および検証を目指す。また、事業性について検討を行う。
研究成果の要旨	・グラフデータを用いた MBOM・BOP の簡易自動生成技術の開発 EBOM のリエゾングラフとしての表現と、それに対するグラフの縮約ロジックを適用することにより自動生成を行うアルゴリズムを提案した。さらに製品同士の溶接線データを用いた縮約ロジックや、形状を用いた汎用的なロジックを提案した。また、これらは別枠研究で開発したエディタ上で実行可能なシステムとして実装した。 ・建造シミュレータとの連携システムの構築と検証 協力造船所 3 社に対して本エディタとシミュレータを用いたユースケースについてそれぞれ検討した。主に事前検討や事前計画での利用となる。また、各造船所の環境で本システムが実用レベルで実行できることを検証した。本シミュレータは人が中心の作業（労働集約型）を対象としていることや、造船業の作業のモデル化をいち早く実現したシステムである。
知的財産権 取得状況	
研究成果発表実績	論文発表：国内 0 件、海外 0 件 口頭発表：国内 0 件、海外 0 件 その他：

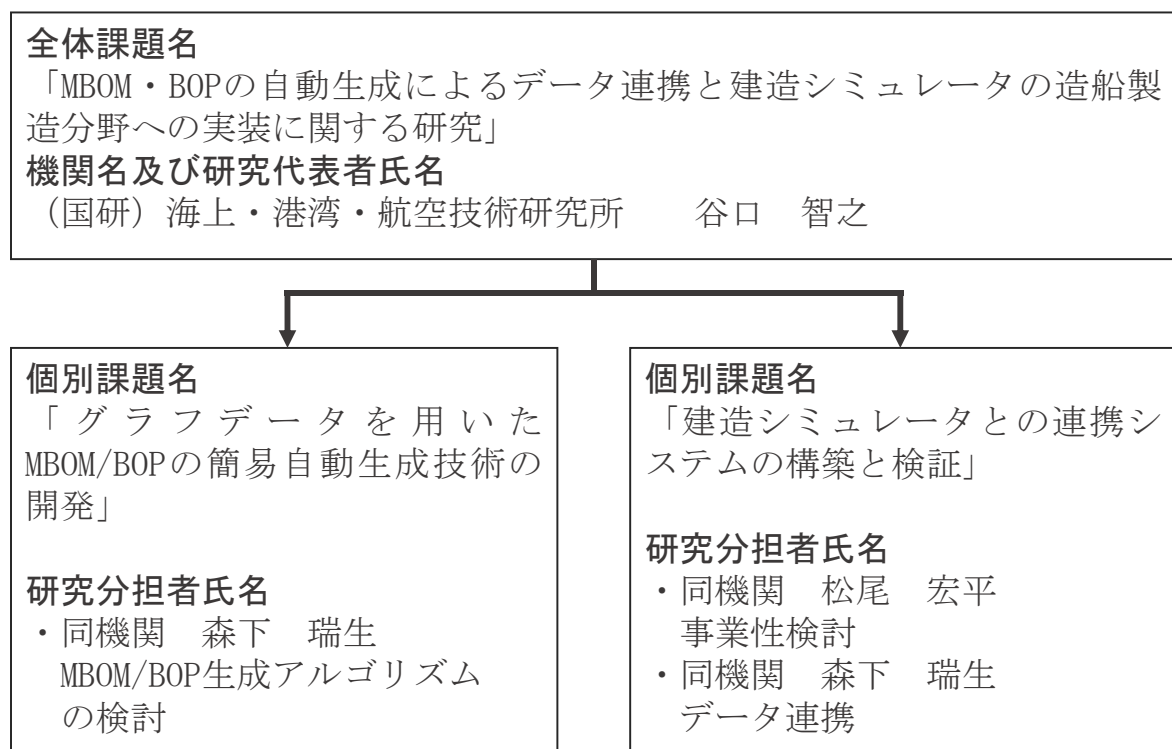
II. 研究開発の目的と実施体制

(1) 研究開発の目的

国際的な海上荷動き量は年々増加の傾向にあるが、商船建造量は中国と韓国で約8割近いシェアを占めており、わが国の海上物流の技術基盤を失いかねず、造船業の生産性向上は大きな喫緊の課題である。海上技術安全研究所ではこれまでに、従来は現場任せとなっていた造船作業を科学的なアプローチで解明し、すべて数値表現され、すべて数値計画され、すべてが計画通りに完結することを目指すデジタルシップヤードの研究を実施し、マルチエージェントシステムに基づく3D建造シミュレータの開発を実施してきた。本フェーズ2ではフェーズ1での成果を活用しながら社会実装に向けた具体的な取り組みを進める。

(2) 研究実施体制

本研究では外部機関とのグループとしての研究は実施せず、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所を総括研究機関として実施した。造船所において本開発システムを試適用する計画があるため、別途協力造船所とは共同研究契約を締結して研究を実施している。担当機関内の研究実施の流れを示すチャートは以下の通りである。



III. 研究開発の成果

1. 序論

国際的な海上荷動き量は年々増加の傾向にあり、それを運ぶ船舶の建造のニーズはこれからも続くと考えられる。一方で、世界の商船建造量は中国と韓国で約 8 割近いシェアを占めており、建造コストの面で劣勢な日本の造船業にとって生産性向上は大きな喫緊の課題である。これはわが国の海上物流の技術基盤を失いかねない課題でもある。また、近年では海運業に対する GHG 削減の国際的な要求に対して、LNG 燃料船、アンモニア燃料船、水素燃料船など代替燃料船の需要が高まっており、自動運航船といった新技術を適用した船舶の開発も進む中、造船所は今後ますます複雑化する製品に対して、設計のみならず建造面での対応も求められている。このような状況の中、我々はものづくりの観点から造船業の生産性向上に資するデジタルシップヤードの研究を実施してきた。これは、従来は現場任せとなっていた造船作業を科学的なアプローチで解明し、すべて数値表現され、すべて数値計画され、すべてが計画通りに完結することを目指す研究である。その一環として、付随作業と無付加価値行為に着目し、付随作業を緻密に数値表現し、作業者の臨機応変なふるまいを演繹的にシミュレーションできる建造シミュレータの開発を実施してきた。これはマルチエージェントシステムをベースとしており、エージェントを作業者、3D 仮想工場を環境と見立て、緻密に製造プロセスを再現・予測する技術であり、海上技術安全研究所（以降当所と呼ぶ）の重点研究および昨年度の SBIR フェーズ 1 にて開発を進めてきた。SBIR フェーズ 2 の本研究では、これらのユースケースをより具体的に社会実装へと進めるために、次の 2 つの研究課題を設けることとする。

① グラフデータを用いた MBOM/BOP の簡易自動生成技術の開発

どのユースケースにおいても建造シミュレータを手軽に実行するためには、入力データをスムーズに用意できることが重要といえる。建造シミュレータを実行するには、製品の部品構成を表す EBOM (Engineering-Bill of Material)、部品構成を製造の観点から階層構造として表現した MBOM (Manufacturing-Bill of Material)、製造のプロセス情報 (BOP : Bill of Process) が必要となる。EBOM は 3DCAD にて構造化されたデータとして作られていることが多いが、MBOM は限定的にしか作成していない、もしくは現場任せにしている造船所も存在している。さらに BOP については現場任せであることがほとんどである。つまり非構造化データとして、もしくは現場の担当者の中でのノウハウとして情報が存在しているケースが多く、これらのデータ準備をサポートすることが課題の一つであると考えた。その中でも MBOM と BOP を自動生成を実現するアルゴリズムの検討を行う。これらをソフトウェアとして実装するにあたり、既に当所ではユーザーインターフェースの開発を別枠研究として実施しており、マージすることを計画する。

② 建造シミュレータとの連携システムの構築と検証

本研究では造船所に共通のユースケースとなりうる次の 2 つを対象としている。

- ・事前に建造シミュレータにて作業手順を検討し、作業内容の詳細化と効率化を図るケース
- ・建造シミュレータにて詳細な工数を算出し、製造ラインの平準化を図るケース

本年度は、建造シミュレータによる造船所の工程の再現と BOP 自動生成技術との連携を検討する。また、開発したシステムをユーザーインターフェース付きのソフトウェアとして一般企業向けに展開し、導入や運用に関するコンサルティングを実施するためのビジネスモデルについても検討する。

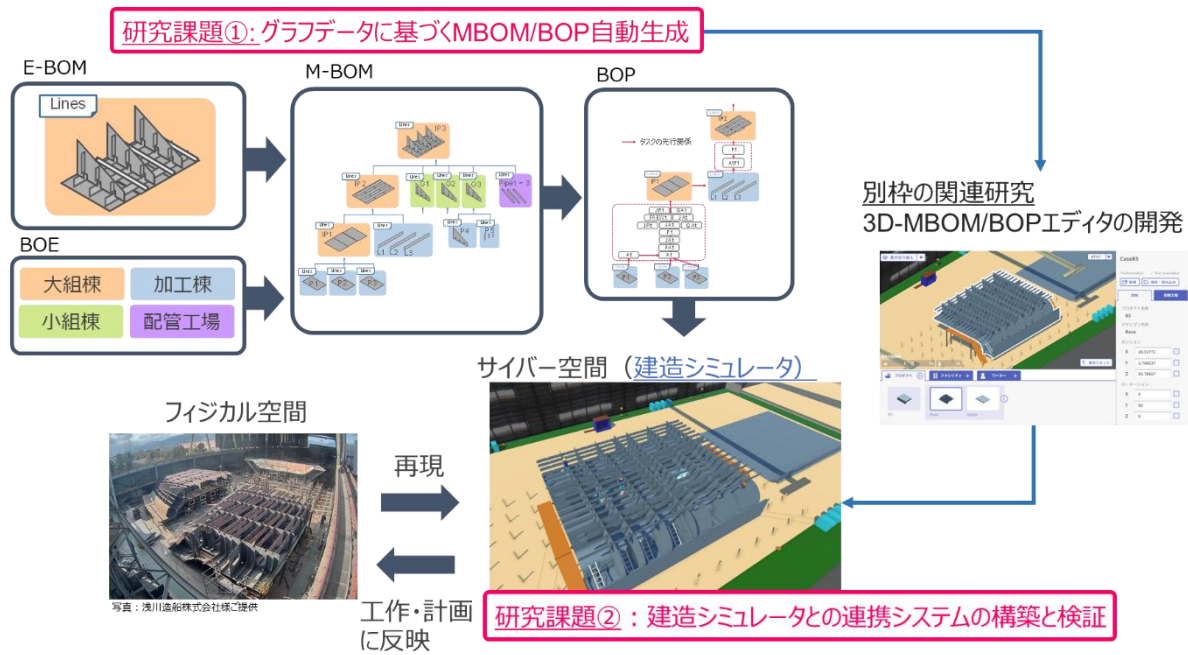


図 1-1 本研究課題の概要

以上①と②の研究課題と別枠の研究課題との関係についてその概要図を図 1-1 に示す。EBOM と BOE 情報から MBOM を自動生成し、それを基に BOP を自動生成するシステムの構築と、そのデータを基に建造シミュレータを実行する連携システムの構築が大きな 2 つの課題といえる。また、これらを社会実装するために別枠研究で実施中のエディタとマージすることで早期の社会実装を狙う。

本研究による生産性が向上された場合、その影響は非常に大きいといえる。造船における原価の大部分は材料費であるが、その次が労務費である。造船所の経営者監修の下独自の試算ではあるが、例えば、組立工程の作業員全員が毎日 15 分の短縮を実施できた場合、年間の試算は数千万～数億に及ぶ可能性がある。これはわが国造船業の国際競争力強化と海上物流の基盤技術の維持につながる。また、造船所は地方経済・雇用を支えていることから、本研究課題で効果が出た場合の社会的・経済的意義は高いといえる。本研究成果により建造シミュレータによる有効性が確認されれば、適用対象の工程の拡張や別の利用方法、利用箇所などの発展につながり、BOP や MBOM が構造化されたデータとして残ることで、ノウハウのデータとしての蓄積とそれを用いた AI 等の研究開発も進むものと考えている。データ構造がデファクトスタンダードとなることで、造船所間での連携がスムーズに進むことも発展性の一つとして考えている。さらに、副次的ではあるが、本研究課題を外部に向けて発信することで船舶分野だけでなく、情報通信などの他分野の人材へ向けた PR やイメージアップにもつながると考えている。このような活動は、第 5 期国土交通省技術基本計画や第 4 期海洋基本計画では、国際競争力の強化、DX 造船所の推進が述べられており、本研究は政策課題へ直接的に寄与するといえる。

2. グラフデータを用いた MBOM/BOP の簡易自動生成技術の開発

2. 1 研究概要

本研究では、図 2-1 に示すように MBOM の自動生成技術と BOP の自動生成技術の 2 つについてアルゴリズムの検討を実施する。MBOM の生成では E-BOM(Engineering-Bill of Material)と BOE(Bill of Equipment)の情報を入力として、組立の階層構造を自動出力する仕組みを検討した。これは、造船所や施工する棟などの BOE の違いにより、組み方 (MBOM) が異なることからこのようなシステム体系としている。生成された MBOM を基にして BOP(Bill of Process)情報を生成する。このとき組立の中間製品ごとに BOP を生成するアルゴリズムを検討する。以降ではそれぞれ、MBOM の自動生成、BOP の自動生成の 2 つに分けて説明する。

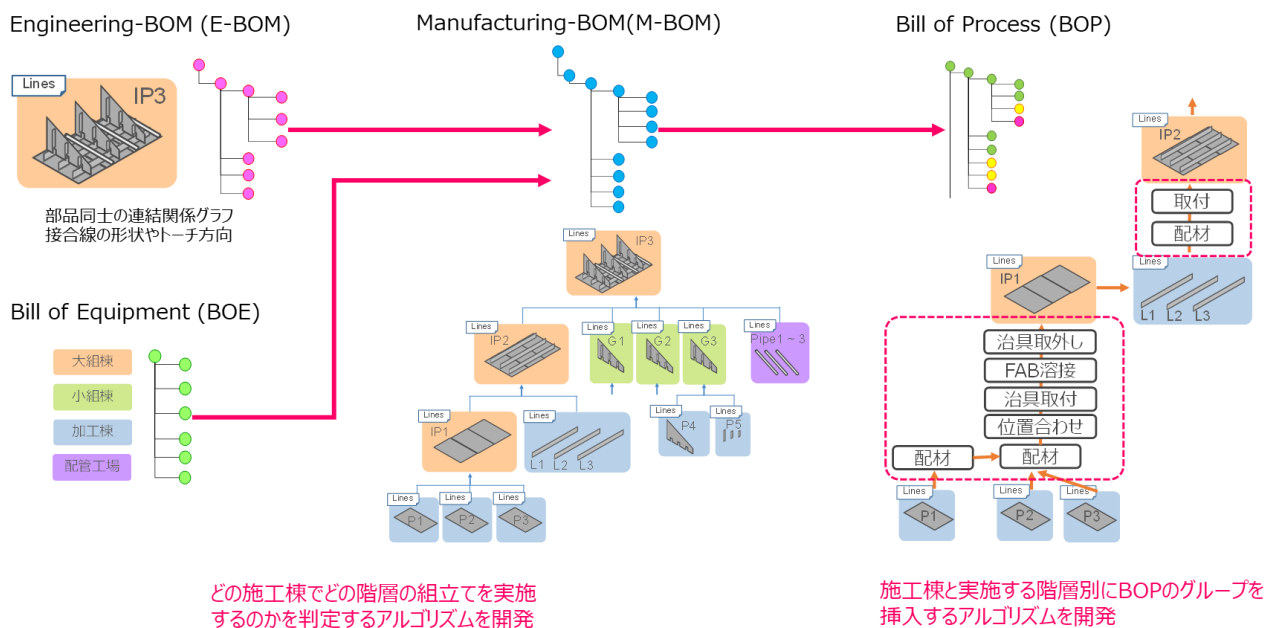


図 2-1 MBOM/BOP の自動生成の研究内容

2. 2 MBOM 自動生成機能の開発

建造シミュレータにて利用するために必要な MBOM のグラフデータ構造を対象として、主にルールベースでの実現に向けたアルゴリズムの検討を実施し、実データでの確認を行う。実データは市販 CAD システムから E-BOM 相当のデータを出力し、そのデータを基に MBOM 生成機能にて MBOM を自動出力し、精度を確認する。確認方法として、協力造船所が作成したことのある MBOM データとの比較、および生産設計担当者による評価で実施する。ただし、早期の社会実装性を高めるため、本自動生成技術による完全な自動化を目標とするのではなく、別枠で実施中の 3D-MBOM/BOP エディタとマージすることで、初期解を自動で生成し、幾分かの修正はエディタを用いて人手で修正するといった運用を想定する。

本研究ではグラフの縮約ロジックを活用する。グラフの縮約とは、グラフ上の任意の 2 つのノードを結ぶエッジを除去し、2 つのノードを 1 つのノードとして取り扱うことである。このグラフの縮約を実行する順序がそのまま組立の順序を表現することとなる。ここで、どのようなエッジを抽出するのが課題となる。例えば板継ぎの組立階層においては、板継ぎに相当するエッジを検出する必要がある。このように各組立階層において縮約のためのロジックを構築する。この縮約のロジックを複数定

義し、それらを適切な順番で適用することで最終的に組立階層が生成される。図 2-2 にそのイメージを掲載する。自動生成にあたり、縮約ロジックを「板継ぎ」⇒「ロンジ」⇒「小組」⇒「中組」⇒「大組」⇒「小部材」という順番で適用したイメージである。板継ぎのエッジを検索し、それにともない縮約を実施すると、板継ぎのパーツが一つの中間製品として定義される。この時、板継ぎのエッジが検出されなくなるまでグラフの縮約ロジックを適用する。同様に、「ロンジ」、「小組」と適用されて、リエゾングラフ中のノードの数は減少していく。最終的には「大組」、「小部材」まで適用されると、リエゾングラフは1つのノードのみを残す状態となる。以上の縮約された部品もしくは中間製品を段階ごとに記録することで、階層構造としての MBOM が生成される。

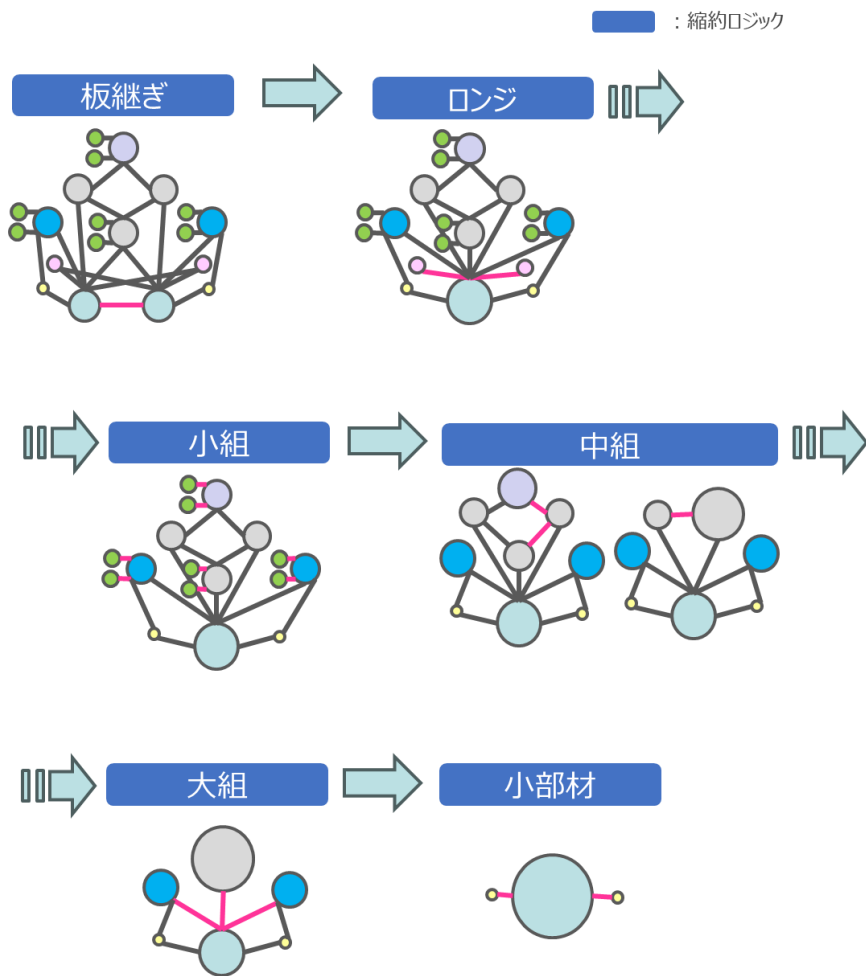


図 2-2 グラフの縮約を用いた階層構造の自動生成アルゴリズム

これら縮約ロジックを構築する上で、汎用性を高めるために物理的な関係性をパラメータに用いたロジックを構築した。具体的には、製品の結合の種類、溶接線長ベースの結合度、寸法を用いた関係性を考慮した。製品の結合種類とは、製品の溶接線が突合せか、隅肉かの種類を示し、本研究ではこれらを自動で判別するロジックを構築した。これにより突合せの縮約ロジックを汎用的に構築することが可能となる。次に、溶接線長ベースの結合度については、部品は複数の別の製品と結合している場合が多いため、どの部品と縮約するのがよいのかを判断する必要がある。そこで、ある部品 i と部品 j との間の結合度合を次のように定義した。

$$c_{i,j} = \frac{l_{i,j}}{\sum_p l_{i,p}}$$

ここに、 $l_{i,j}$ は部品 i と部品 j の間の溶接線長を表す。分母は部品 i に結合するすべての部品との溶接線長の総和を表しており、結合度は部品 j との溶接線長のその総和との比として定義している。これにより、小組段階でにつけるべき部品をより適切に評価することができる。また、寸法を用いた関係性についてはベースとなる板のバウンディングボックスを部品候補のバウンディングボックスを比較することでより正確に縮約ロジックを構築することができる。

上記の汎用的なパラメータを導入することで、MBOM 自動生成の汎用性を向上させる。

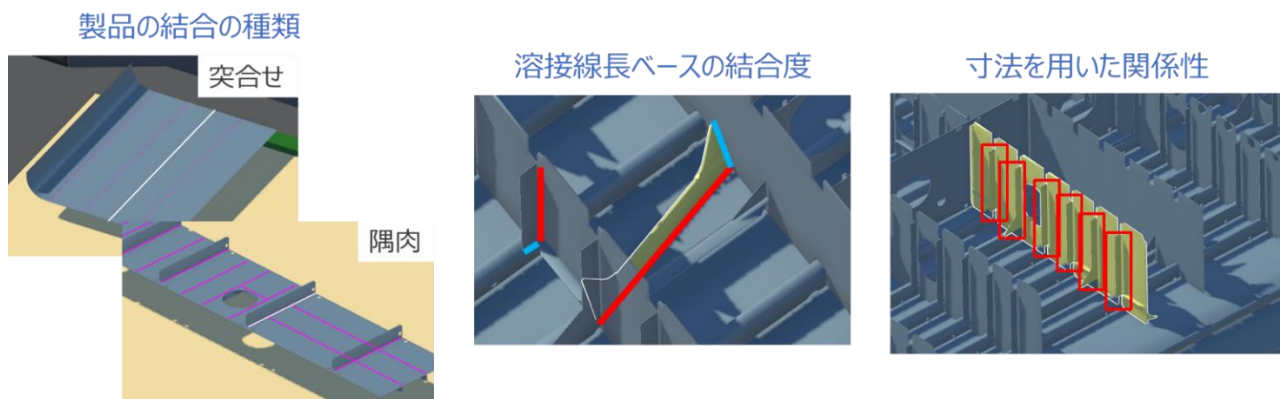


図 2-3 縮約ロジックで用いる物理的な関係性について

2. 3 BOP 自動生成機能の開発

これまでに申請者が提案したルールベースの BOP 生成アルゴリズムをベースとしたアルゴリズムを構築する。これは MBOM の各階層構造ごとに、その階層での製品や接合線の情報に基づき適切な BOP のグループを挿入するアルゴリズムである。実際の造船所において、BOP は実データとして作成していない、もしくは非構造化データしか残っていないことが多いため、協力造船所の工程設計担当者による評価を実施する。ただし、こちらも 2. 2 節の MBOM と同様、本自動生成技術による完全な自動化を目標とするのではなく、別枠で実施中の 3D-MBOM/BOP エディタとマージすることで、初期解を自動で生成し、幾分かの修正はエディタを用いて人手で修正するといった運用を想定する。

MBOM の情報をもとに BOP を自動生成する手法について説明する。手法の概要を図 2-4 にまとめる。まず、2. 2 節で述べたように MBOM には組立階層、施工場所、および各組立段階において発生する接合線に関するメタ情報が定義されている。ある中間製品を組立てるのに必要な BOP を生成する場合を考えると、その中間製品を構築するために必要な部品群と接合線の情報に基づき、ルールベースで先行関係を持った BOP を生成するアプローチを考えることができる。このルールはそれぞれの施工場所の特徴を反映したルールとして構築しておく。これは設備によって工作法が変わることを意味する。

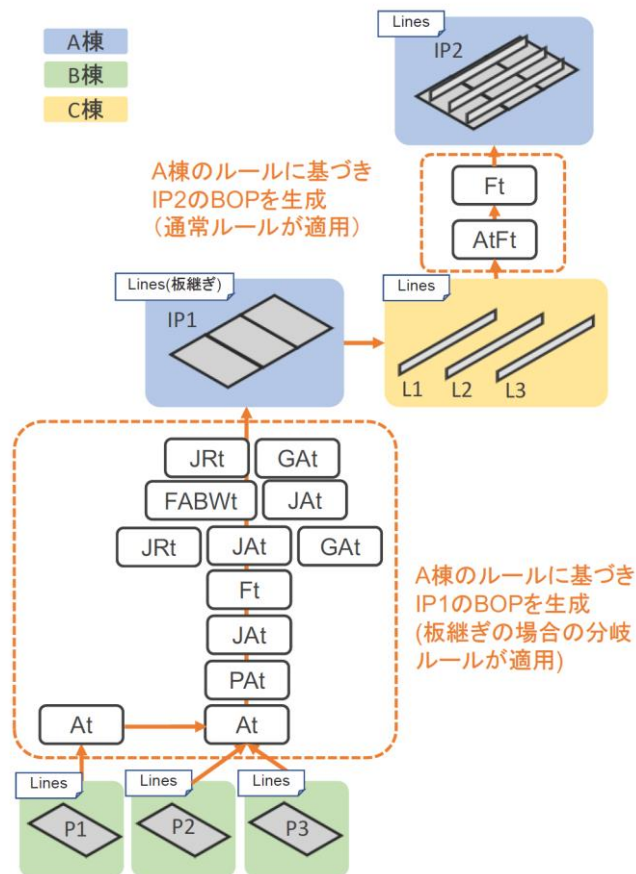


図 2-4 BOP のテンプレートに基づく自動生成アルゴリズム

2. 4 機能のエディタへの実装

2. 2および2. 3で述べた MBOM・BOP 自動生成技術を各造船所にて利用できるようにエディタへと実装した。本エディタのベースは別枠研究にて開発したものであり、そのエディタに本開発機能を実施できるように改良を行っている。図 2-5 に MBOM 自動生成をエディタに実装した結果を示す。ユーザーは単に「MBOM 自動生成」のボタンを押すだけで本機能を利用することができ、3D と階層構造にてその結果を容易に確認することが可能である。また、この自動生成の結果に対してユーザーが階層をドラッグ&ドロップで容易に修正可能である。図 2-6 に BOP の自動生成をエディタに実装した結果を示す。こちらも同様にユーザーは単に「BOP 自動生成」のボタンを押すだけで本機能を利用することができる。本ボタンを押すことで全中間階層に対して BOP が生成される。また、生成された BOP は選択することで容易に内容を変更することが可能である。

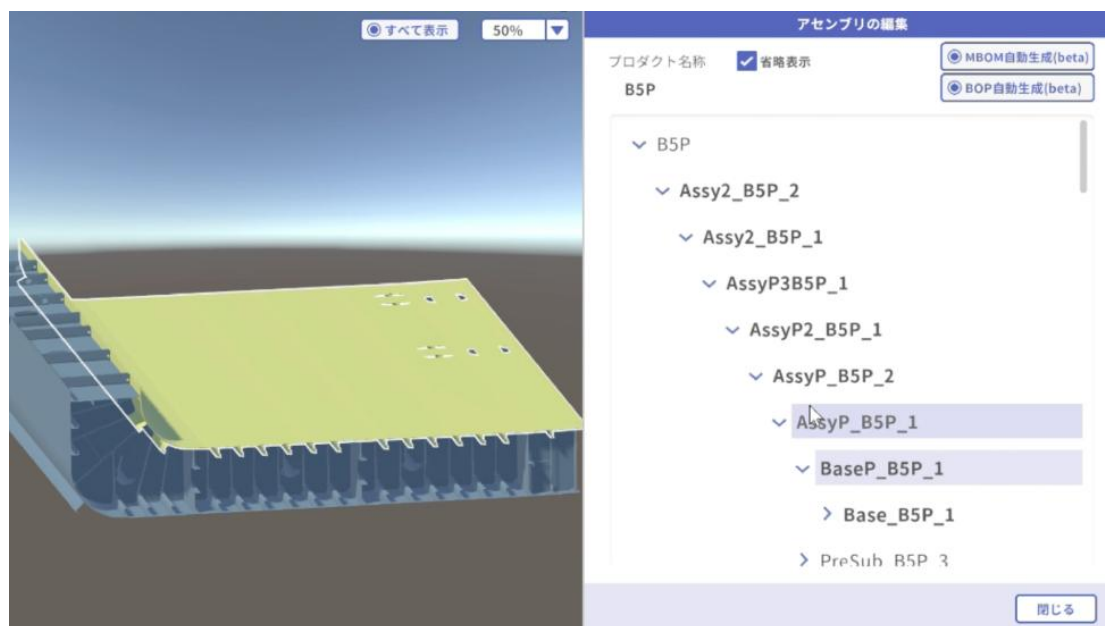


図 2-5 MBOM 自動生成機能のエディタへの実装

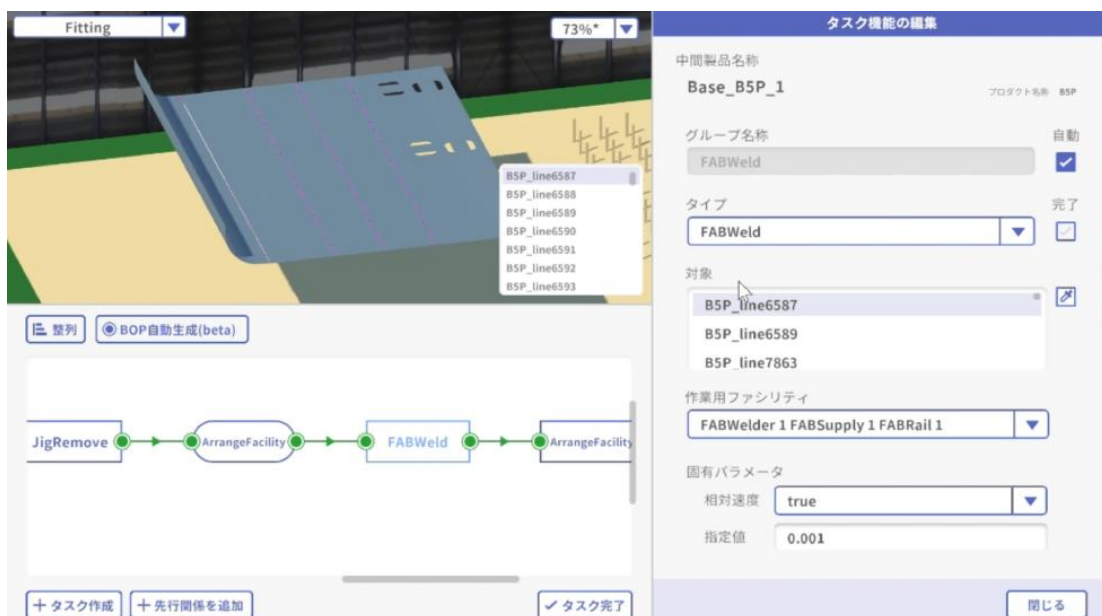
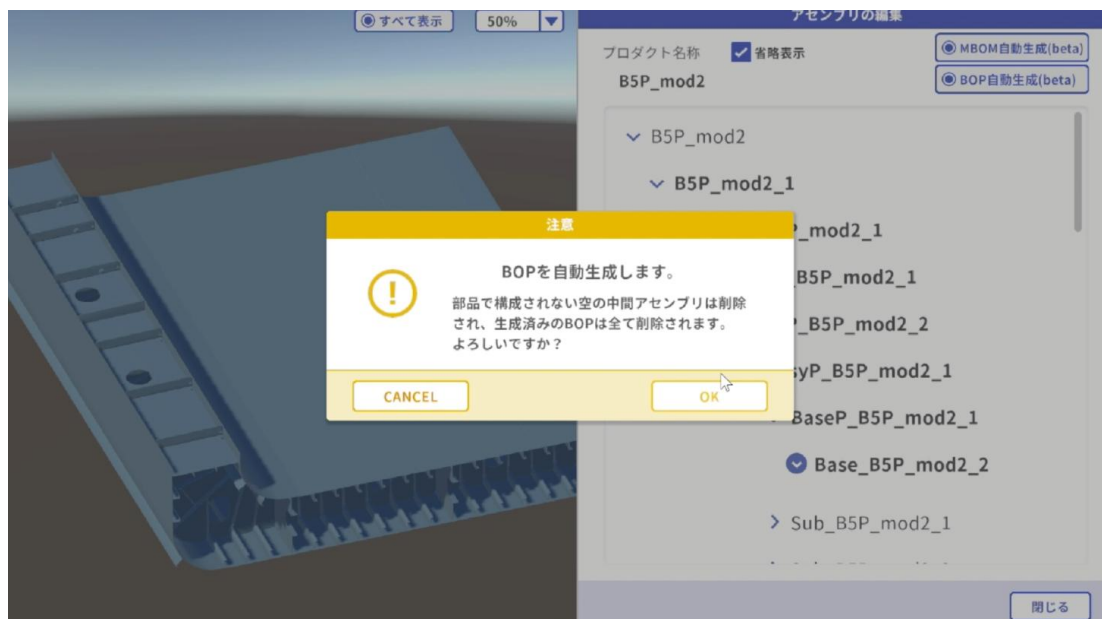


図 2-6 BOP 自動生成機能のエディタへの実装

3. 建造シミュレータとの連携システムの構築と検証

本研究では、2章で述べた MBOM/BOP の自動生成技術を活用して、当所が開発した建造シミュレータとの連携を確認し、実際の造船所におけるユースケースでの利用および検証を計画している。建造シミュレータの概要は割愛するが、2章で述べた MBOM・BOP の自動生成によりシミュレーションに必要なデータを事前に準備することで、図 3-1 に示すようなシミュレーションが可能となる。それぞれ浅川造船株式会社の協力の下、ブロック大組立工程を対象として、シミュレーションを実施した結果を示している。ブロック大組立工程は大組の固定定盤上にて、板部材と小組部材を組み合わせてブロックを構築する工程であり、主にクレーンでの移動と取付、溶接作業が行われる。対象としたブロックは1つである。インプットデータは提供された CAD データおよびネスティングデータを基に作成しており、BOP については2.3節で述べた BOP 自動生成を用いて生成したものをそのまま用いている。このようにスムーズにシミュレーションを実行できることが確認された。別のブロックの場合や別工程についても同様に、本建造シミュレータのアルゴリズムは変えずに、インプットデータのみを変更しただけで計算を実行が可能である。



図 3-1 建造シミュレーション結果の例（大組立工程）

本研究では MBOM/BOP の自動生成技術および建造シミュレータの連携システムの開発のほかに、社会実装の早期化のために事業としてのケーススタディを実施している。本システムは、人が中心の作業（労働集約型）を対象として、3D の自動パス計算や配置領域の計算などを製造シミュレータに取り入れており、造船業の作業のモデル化をいち早く実現したシステムである。初めから造船で利用することを考慮したデータ構造であり、自動生成に関する機能を有する。

本システムを元に実際の造船所を対象としたユースケースを検討した。次の 2 つのケースについて説明する。

○CASE1：A 造船所様 「ブロック大組工程に対するスコア方式の予実管理」

A 造船所では、切断工程などでスコア管理方式を導入し、予実管理を実施している。これはその工程

において達成すべき評価項目をスコアという点数形式で導入し、1日単位でスコアが達成されているかないかを管理する方式である。このスコアは工程ごとに定義が異なり、例えば切断工程であれば切断の回数などで定義している。このスコア管理方式をブロック大組工程でも実施したいというニーズがあるが、そのためにはスコアを定義する必要がある。ただし、ブロック大組工程の場合、1日単位で測ることができるスコアを定義するためには、BOP や作業時間に相当する情報が必要となる。また、合わせてブロック大組工程のスケジュールを同様に緻密化したいとのニーズがある。

これに対して、A 社が利用している CAD から本 MBOM・BOP エディタを実行できるように中間フォーマットを出力し、MBOM・BOP 自動生成機能を用いて素早く BOP を用意する。そこからスケジュールとスコアに必要な情報を集約して出力し、A 社所有のスケジューラーと進捗管理システムで利用する。このうち、CAD からエディタまでのフローは A 造船所の環境にて実行可能であることを検証した。
○CASE2：B 造船所様 「モニタリングと作業指示システムによる計画管理」

B 造船所では、作業の細かな進捗管理を目指して、モニタリング技術と作業指示システムの自社開発プロジェクトを進めている。これらを実行するためには詳細な BOP に相当するデータが必要である。BOP 単位で計画を立て、それに対してモニタリングや作業指示を実行し、データをフィードバックする計画である。これに対して、A 社と基本的な流れは同様であるが、利用先が B 社開発の作業指示とモニタリングシステムとなる。B 社においても CAD からエディタまでのフローが実行可能であることを確認済みである。

今後はこれらのユースケースを元に、実際の運用検証を進める予定である。

4. 結論

本研究では当所で開発している建造シミュレータを用いた造船所の生産性向上とその社会実装を目指して、MBOM/BOP の自動生成技術の開発と建造シミュレータとの連携システムの構築と検証の2つを研究課題とした。

・MBOM/BOP の自動生成技術の開発

EBOM はリエゾングラフとして表現し、このグラフに対して縮約ロジックを適用することにより組立階層構造を自動生成するアルゴリズムを提案した。汎用性を高めるために物理的な関係性を考慮した縮約ロジックを提案した。造船所の実際の CAD データを基に適用した結果、小組やロンジ、板継ぎなどの中間製品を高精度に自動生成できた。また、MBOM からテンプレートに基づく BOP の自動生成を提案した。12 種類の BOP を定義し、それらを MBOM の各階層に対してどの順番でどの先行関係で実施するのか、テンプレートという形で定義し、適用することで自動化を図った。これらはエディタ内に実装し、ユーザーが容易にこれらの機能を利用できる環境を構築した。

・実工程を対象とした建造シミュレータによる再現

当所で開発した建造シミュレータを浅川造船株式会社様の工場でのブロック大組立工程を対象として適用した。上記 BOP の自動生成を用いてデータを準備して実行できることを示した。大組立工程のようにブロックの内部に侵入する必要があるような空間的制約の多い工程に対しても同様に適用でき、本内容については協力造船所の担当者に内容を比較していただき、おおよそ工程を再現できていることを確認できた。本シミュレータは人が中心の作業（労働集約型）を対象として、3D の自動パス計算や配置領域の計算などを製造シミュレータに取り入れており、造船業の作業のモデル化をいち早く実現したシステムである。協力造船所に対して2つのユースケース例を検討した。主に BOP を詳細に作成し、計画や管理に利用することである。これらのユースケースに沿って、本エディタおよび

シミュレータを造船所の環境で実行し、実用レベルで利用可能であることを確認した。今後はこれらのユースケースを元に、実際の運用検証を進める予定である。

5. 知的財産権取得状況

特許出願 0 件

6. 研究成果発表実績

1) 論文発表

国内 0 件、海外 0 件

2) 口頭発表

国内 1 件、海外 0 件

[1] シミュレーション技術による造船の生産革新、安部昭則、松尾宏平、谷口智之、海事デジタルエンジニアリング講座第3回シンポジウム～MODE2024～

3) その他（研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等）

・海上技術安全研究所プレスリリース

(<https://www.nmri.go.jp/news/press/2023/press20231012.html>)

7. 参考文献

- 1) SHIPPING NOW 2023-2024、公益財団法人日本海事センター、
<https://www.jpmac.or.jp/relation/shipping.php>
- 2) 生産シミュレータによる造船作業のモデル化に関する研究、松尾宏平、谷川文章、第18回海上技術安全研究所研究発表会、2018.
- 3) 平成28年度日本財団助成事業「中小造船業への新しい生産管理手法の導入による人材活用」、日本中小型造船工業会
- 4) マルチエージェントシステムに基づく造船用高精度シミュレータの開発、谷口 智之、竹澤 正仁、松尾 宏平、日本船舶海洋工学会論文集、36 巻、2022
- 5) 第5期国土交通省技術基本計画、<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001479986.pdf>
- 6) 第4期海洋基本計画、<https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/plan/plan04/plan04.html>
- 7) ペトリネットを利用した造船工場シミュレータの構築、青山和浩、野本敏治、渡辺健太郎、日本造船学会論文集、第182号、1997
- 8) バーチャルファクトリーを用いた生産計画システムの開発、佐々木裕一、三浦正美、山本郁夫、伊藤健、飯田昭男、日本造船学会論文集、第186号、1999
- 9) 離散事象システム理論に基づく造船ラインのスケジューリング、梶原宏之、中尾洋一、日本船舶海洋工学会論文集、第4号、2006
- 10) 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、満行泰河、稗方和夫、松原洸也、大和裕幸、Bryan Moser、2016

- 11) Discrete Event Simulation: An Efficient Tool to Assist Shipyard Investment and Production Planning, Matthias Krause, Frank Roland, Dirk Steinhauer, and Maximilian Heinemann, Journal of Ship Production, Vol.20, No.3, 2004.
- 12) Shipyard Block Logistics Simulation Using Process-centric Discrete Event Simulation Method, Yong-Kuk Jeong, Philippe Lee, and Jong Hun Woo, Journal of Ship Production and Design, Vol.34, No.2, 2018.
- 13) Agent-Based Systems for Manufacturing, L.Monostori, J.Vanczam, and S.R.T Kumara, Annals of the CIRP Voll.55, 2006.
- 14) Hybrid Model of Multi-agent and DEDS for Steelmaking-Continuous Casting-Hot Rolling Manufacturing Process Simulation, Duan Xu, Chao Lu, Wei Zhou, and Shixin Liu, The 26th Chinese Control and Decision Conference, 2014.
- 15) 構造物建造のためのプロセスプランニングの研究、小山健夫ら、日本造船学会論文集、第 166 号、1989
- 16) 造船 CIMS のための工程設計システムの構築、雨宮俊幸、日本造船学会論文集、第 168 号、1990
- 17) A Petri net model for sequence optimization and performance analysis of flexible assembly systems, Ullah, H., Bohez, E.L.J., Journal of Manufacturing Technology Management, 19(8), 2008.
- 18) Design of an artificial neural network for assembly sequence planning system, C. Sinanoglu, Int. J. of Industrial. Eng., Vol.15, No.1, 2008.
- 19) Assembly sequence planning method based on knowledge and ontostep, Qian, J., Zhang, Z., Shao, C., Gong, H., Liu, D., Procedia CIRP, 97, 2020.
- 20) NAPA Steel, <https://www.napa.fi/ja/ship-design/structural-design/>
- 21) Assembly sequence planning of automobile body components based on liaison graph, Y. Xing et.al, Assembly Automation, Vol.27, 2007.
- 22) ブロック大組立工程に対する工程情報生成と建造シミュレーションに関する基礎的検討、谷口ら他 4 名、日本船舶海洋工学会講演論文集、Vol.36、 2023
- 23) Modelling of Work in Shipbuilding by Production Simulation, Matsuo, K., and Tanigawa, F., Proceedings of Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries 2020, 2020.
- 24) 生産計画情報の段階的詳細化の表現に関する研究、青山和浩、武市祥司、野本敏治、藤井基史、日本造船学会論文集、第 190 号、2001
- 25) 船舶産業を取り巻く現状、国土交通省海事局、
<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001614700.pdf>