

## 11 造船業におけるデータ標準化と PLM システムの開発に向けて

松尾 宏平\*, 森下 瑞生\*, 谷口 智之\*, 竹澤 正仁\*

### **Toward Data Standardization and PLM System Development in Shipbuilding Industry**

by

MATSUO Kohei, MORISHITA Mizuki, TANIGUCHI Tomoyuki  
and TAKEZAWA Masahito

#### Abstract

The NMRI has been conducting an R&D project on the concept of the digital shipyard to facilitate digital transformation in shipbuilding manufacturing. The goal of the digital shipyard is to provide a shipyard where everything is expressed and planned numerically, as well as to digitize the ambiguities that arise in various aspects of shipbuilding manufacturing. As part of this, NMRI has conducted R&D on a production simulator for shipbuilding manufacturing that precisely reproduces the workers' behavior in shipbuilding, including their incidental work. To operate the production simulator, it is necessary to prepare input data about the product, the process, and facilities used for manufacturing. However, various issues remain regarding the preparation of input data. Unless these issues are resolved, it may not be feasible to use simulators as a routine tool for production planning and production control in shipyards. Therefore, it is important to design the data structure specifically for the purpose and content of the simulation, especially to associate and manage data on products, processes, and facilities within the system. The NMRI is developing a shipbuilding data structure for planning and managing shipbuilding manufacturing with fine granularity as an effective use of design data in manufacturing. In addition, R&D is being conducted on production planning and management based on this data structure. This paper introduces the data structure for shipbuilding manufacturing, specifically for operating the production simulator, and the PLM system that implements the data structure as a system.

---

\* 構造・産業システム系 産業システム研究グループ系

原稿受付 令和 4年 5月 17日

審査日 令和 4年 5月 26日

## 1. はじめに

海上技術安全研究所（以下、当所）では、造船の製造現場における DX 推進への取り組みとして「デジタルシップヤード」構想を掲げている。「デジタルシップヤード」構想では、「すべてが数値表現され、すべてが数値計画され、すべてが計画通りに完結する造船所」を目指し、造船作業の様々な場面に発生するあいまいさを排除（デジタル化）する。この一環として、造船作業における作業者の臨機応変なふるまいを対象に、作業者の造船作業を精密に再現する「建造シミュレータ」の研究開発を実施している<sup>1)2)</sup>。建造シミュレータは、作業者を模したエージェントが計算機内のバーチャル工場を環境として認識し、自律的に判断、動作することで造船作業を進めるもので、これにより付随作業まで含めた造船の一連の作業を計算機内で再現する。建造シミュレータによって造船作業を予め精密に解析し、それによってぶれない生産計画や生産管理を行うことで、高度な船舶を圧倒的な生産効率で建造できる体制構築を図る。

建造シミュレータ内にて作業者の緻密な作業を再現するため、建造シミュレータに、製造する製品に関する情報、その製品の作り方に関する情報、そして製造に使用できる工場、設備、作業員等に関する情報を入力する必要がある。しかし、シミュレーションに必要なデータの準備に関しては以下のような問題、課題があり、これらを解決しない限り、生産計画及び生産管理のための日常ツールとしてのシミュレータが定着しない恐れがある（なお、以下の問題、課題は生産関連のシミュレーション全般に当てはまる）。

- ・ シミュレーションを実行するには、詳細かつ膨大な入力データが必要で、その準備のために相当の工数がかかる。シミュレーションで得られる効果に対して、データ準備にかかる労力の必要性が見出せず、シミュレーションが日常業務に定着しない。データ準備にかかる労力軽減のためデータを粗くすればシミュレーションの精度が落ちて実用的に使えない。必要な入力データを設計者や生産計画者等の負担が少なく、また、必要な時に用意できる体制整備が必要である。
- ・ シミュレーションの目的や内容に応じてシミュレーションに必要なデータは変わりうる。しかし、データ構造に関する周到な事前設計を経ず、スクラッチ的に入力データを定義、生成することが多く、シミュレーションを回すまでに試行錯誤を繰り返し、時間がかかる。このため、シミュレーションが1回限りの検討ツール止まりになる等、定着しない。シミュレーションの目的や内容を整理し、それに応じてデータ構造を体系的に事前設計する必要がある。データ構造はなるべく汎用的なものとし、目的や内容に応じて細部をカスタマイズするデータ構造のひな型モデル（レファレンスモデル）として整備することが望ましい。
- ・ シミュレーションに必要な情報が造船所内の様々な部署、図面、帳票類に分散しており、必要情報を抽出、収集するのが困難である。情報項目によっては、デジタル

化されていないなかったり、そもそも通常業務では生成していない情報もあり、シミュレーションのために特別に生成する場合がある。また、それらのデータがシステム内で相互に関連付けてデータ管理されているケースは稀で、独立なものとして存在している。このため、例えばあるデータを変更すると、それに波及するデータを手作業で修正する必要があり、手間がかかる上、データの誤りも発生する。関連するデータをシステム内に関連付けて管理し、データの自動収集、自動生成、自動変更等に対応できる環境整備が必要である。

このような建造シミュレーションの運用上の問題、課題に対して、シミュレーションの目的や内容に応じて予めデータ構造を設計すること、特にシステム内で製品情報、工程情報、設備情報を関連付けて一元管理することが重要な取り組みとなる。これにより以下が期待できる。

- ・ 建造シミュレーションに必要なデータ構造のひな型を用意することにより、速やかに造船所内のデータ整備ができ、建造シミュレーションを運用できる体制を構築できる。各社で設計プロセス、データ構造、使用する CAD 等が異なっても、データ構造のインタフェースを揃えることで汎用的に使うことができる。
- ・ 造船所内の製品データ、工程データ、設備データを紐づけて一元管理することにより、必要なデータを自動的に自動収集できる環境が整備できる。また、設計の進展や設計変更に対して自動生成、自動修正する機能などが展開でき、データ作成業務の効率化が図れる。
- ・ 製品データ、工程データ、設備データを一元管理するデータベースをプラットフォームとして、造船所内の生産計画及び生産管理の様々な用途に活用できる。例えば、製造現場に作業指図情報を出力する、製造現場の進捗状況をモニタリングして製造の着完を自動収集する、調達情報として活用する等。

以上の観点に基づき、当所では以下について研究開発を実施している。

- ・ 造船における設計-生産のデータ連携。特に設計データの製造への有効活用として製造現場を細かい粒度で計画、管理することを目的とする造船のデータ構造の策定・標準化
- ・ 当該データ構造に基づく生産計画及び生産管理の運用体系

本講演では、造船のデータ構造の策定、それを具体的に実装する PLM (Product Lifecycle Management, 製品ライフサイクル管理) システム、具体的な活用としての建造シミュレータへの接続について報告する。本論文の主張するところは、造船データのデータ項目及びデータ構造を定め、それを汎用のデータベース (PLM システム) に実装できるか、一活用法としての建造シミュレーションに接続しデータ構造に不備がないかを検証することである。

2. PLMシステムと建造シミュレータ周辺のシステム構成

本研究で対象とする製品、工程、設備に関するデータ構造に関して、データベース(PLMシステム)とその周辺のシステム構成及びシステム運用の概略を説明する(図-1)。

2.1 全体のシステム構成

造船の設計プロセスでは、基本計画、基本設計、詳細設計、生産設計の一連のプロセスの中で、始めに船の主要目、船型、区画配置、主要な機器配置が決められ、続いて中央横断面図、キープラン(鋼材配置図、外板展開図)等の主要な構造部材が設計される。この段階で製造面を考慮してブロック割りがされ、ブロック割りに応じて構造配置やスキャンtringが決定され構造図が作成される。そして生産設計にて、各ブロックの組立要領、組立ステージを考慮して、大組、中組、小組等のブロックツリーが決定され、部品展開される(部品名の付与)。溶接作業に関して溶接施工要領、開先等が決定される。また、各ブロックに取り付ける先行機装品(管、管サポート、梯子等)、作業用の吊ピース、足場ピースについても検討される。これらの情報は、CADシステム、工程計画システム等の専用システム、各種図面、部品表、各種要領図内で管理される。しかし、例えば工作図はブロックの組立要領、部品名、溶接施工要領を指示する図面だが、工程や詳細な作業手順、船殻部品以外の先行機装品、建造に必要な治具類に関する情報はなく、これらの情報は他の図面類が扱う。これまでの造船は、作業内容や担当部署ごとにそれぞれが必要な情報を取りまとめて図面類として作成してきたが、建造シミュレーションのようにシステム内で製造を表現する場合、製品や製造に関する情報を統合的に取り扱う必要がある。このため、あらかじめ必要なデータ構造を定め、造船所内に分散している情報を紐づけておく必要がある。本研究における

PLMシステムでは、建造シミュレータ等による生産計画及び生産管理に必要なデータ項目を予め決めておき(データの器を用意しておき)、それらのデータを生成、管理するシステム等と接続することでデータを統合的に管理する。また、PLMシステムは、建造シミュレータ、各種生産計画システム、生産管理システム等と接続することでデータ利用される。

2.2 PLMシステムの運用

設計プロセスの過程において PLMシステムで管理すべきデータが生成されると、それらのデータをデータベース内に収集する(図-1の①)。データ構造としては第3章で詳述するBOM(Bill Of Materials), BOP(Bill Of Process)の形で表現するが、これにより製品情報と工程情報を統合的に取り扱うことができる(図-1の②)。次に、PLMシステムに構築されたデータベースを利用し、生産計画及び生産管理を行う。本研究では、建造シミュレーションの運用を想定し、粒度の細かい生産計画、生産管理のためのデータ構造としているため、PLMシステム内のデータベースを参照することで建造シミュレーションが運用できる(図-1の③)。建造シミュレーションの計算結果を利用して、生産計画、日程計画を立案したり、製造現場向けに詳細な作業手順書を作成する(図-1の④)。その他、PLMシステム内のデータベースを直接利用することで、生産計画、日程計画、製造現場の生産管理(作業着完の管理等)、資材の調達管理に利用する(図-1の⑤)。建造シミュレーションや生産計画、日程計画等の検討の結果、ブロック割りや施工要領、施工ステージを変更する場合、設計システム内で製品情報及び工程情報を変更することでPLMシステム内のデータを更新し、再度、建造シミュレーションや生産計画、日程計画等を検討する(図-1の⑥)。

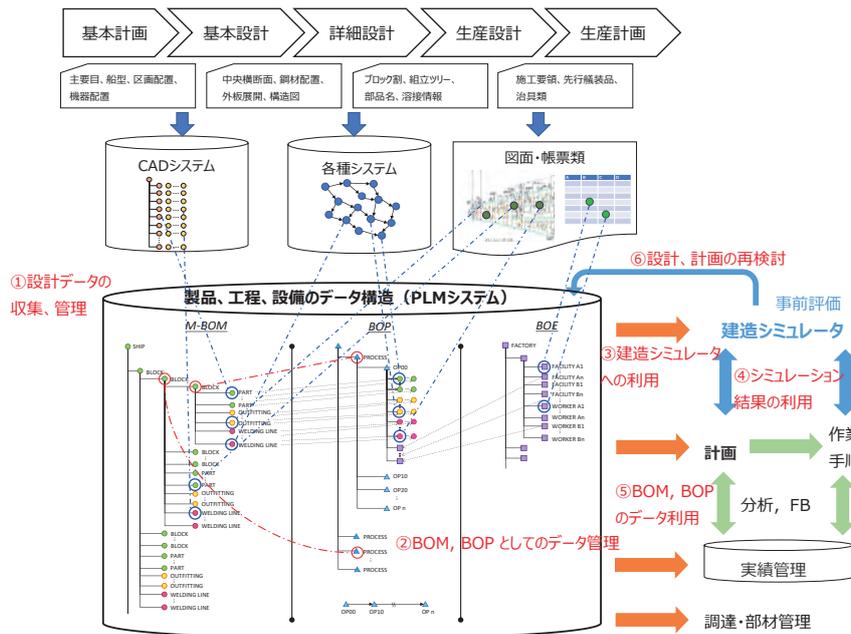


図-1 データベース周辺のシステムと情報フロー

### 3. PLM システム内のデータ構造とデータ標準化

本研究では、造船における製品情報、工程情報、設備情報の一元管理のため、BOM, BOP によるデータ構造を検討した。製品情報を BOM, 工程情報を BOP で表現する。本章では提案する BOM, BOP のデータ構造について説明する。図-2に今回提案する BOM, BOP のデータ構造の概要を示す<sup>3)</sup>。

#### 3.1 M-BOM のデータ構造

BOM の内、製造に関する製品情報の管理として M-BOM (Manufacturing BOM) を対象にする。M-BOM は製品の部品構成を製造上の階層構造で表現する。船殻の場合、船殻部品について組立てる先行関係を階層構造で表現する。つまり、上位の階層に位置する製品の低位に、当該製品を構成する部品を定義する。階層構造の最上位に最終製品 (船1隻等) を配置し、単一の部品 (船殻一品等) になるまで階層構造を展開する。階層構造を、いわゆる総組、大組、中組、小組、一品の単位で表現すると、造船所における一般的な組立ツリーに相当する。M-BOM は CAD システムで定義した船殻部品を階層構造の中に参照・登録することで作成する。階層構造には船殻部品だけでなく、当該ブロックの時点で取り付ける先行艤装品、貼付け部材、作業用ピース (吊りピース、足場ピース、エアテストピース等) も登録できる。また、ブロックの製作時に発生する溶接線を構成部品として登録できる。M-BOM に製造に必要な構成部品を表現することで、次節で説明する BOP の工程内に当該部品に関わる作業を明示的に表現できる。M-BOM で扱う対象製品や表現する粒度は、BOP で取り扱いたい工程の内容や粒度に応じて設計する。

#### 3.2 BOP のデータ構造

BOP は製品を製造する各工程の工程情報、作り方の情報を

を表現する。本研究で提案する BOP には、管理対象とする工程を定義し、各工程にそれを構成する作業 (オペレーション) を定義する。各作業に当該作業に必要な部品と利用可能な設備を定義する。なお、作業には作業順を示す先行関係を定義できる。必要な部品は前節で定義した M-BOM から参照し、利用可能な設備は別途定義する BOE (Bill Of Equipment) から参照することで BOP を作成する。これにより工程情報を製品情報と設備情報で結び付け、システム内で一元管理できる。管理対象の工程の粒度は任意に設定できるが、総組、大組、中組、小組で表現すると BOP は各組立工程内の作り方に関する情報を表現することになる。同様に、工程内の作業の粒度も生産計画や生産管理の粒度に応じて任意に設定できるが、一般には製造現場における生産管理 (着完管理等) の単位に合わせる。BOP で表現する工程情報と M-BOM で表現する製品情報の粒度を合わせ、データ間の参照関係に対応性をつけることが運用の面から重要である。BOP では作業を対象製品と利用可能設備で表現する。BOP では「いつ」などの製造指図情報は扱わない。これらの情報は PLM システムと接続するスケジューラシステムや MES (Manufacturing Execution System, 製造実行システム), ERP (Enterprise Resources Planning, 企業資源計画) システムで扱う。

### 4. PLM システムにおける BOM, BOP の実装と建造シミュレータとの接続

#### 4.1 概要

第3章で提案するデータ構造に基づき、PLM システム内で BOM, BOP を構築した。検証は実際の船舶のモデリングを想定し、市販の造船用 CAD システム及び PLM システムを活用することで実施した。

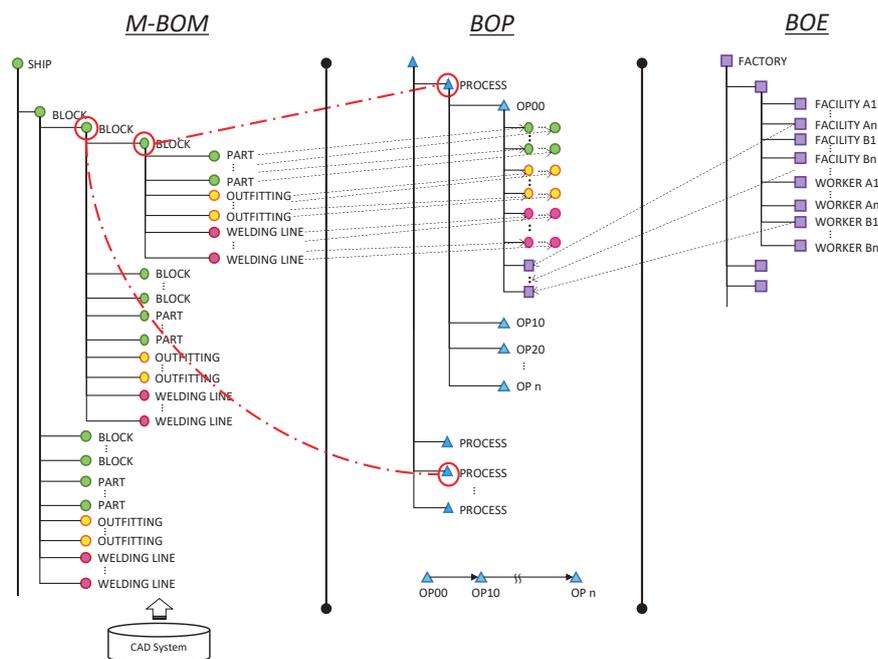


図-2 BOM, BOP, BOE のデータ構造

今回の検証は、造船所が一般的に生成している情報を対象に、それらを BOM, BOP 上で管理することを想定して実施した。つまり、造船所の設計図(GA, キープラン, 構造図等), 工作図, 部品表, 作業要領図で扱う情報を PLM システム内の BOM, BOP に束ねる。そして、建造シミュレーションの実施や作業手順書の作成に対して、入力情報としての情報内容や情報表現法の妥当性を検討する。なお、今回の検証では、造船用 CAD システムとして Siemens 社製 NX Ship, PLM システムとして Siemens 社製 Teamcenter を使用した。

#### 4.2 M-BOM の作成

実際の船舶を想定して、製品情報としての M-BOM を作成した。今回の検証では船体中央平行部を対象に、造船用 CAD システムで船体のモデリングを実施した(図-3)。CAD システムでは船体中央平行部を船体全体としてモデル化し、これにブロック分割線(バット, シーム)を入力することで船殻ブロックを定義、管理する。CAD システムにて最終的な一品部品まで生成した(板逃げや開先の入ったソリッドとして一品情報を作成)。なお、CAD システム内では部品は単階層で管理され、ブロック等による階層構造は有しない。

M-BOM は PLM システム内に構築した。M-BOM 内の製造上の階層構造に従って、CAD システムで生成した部品を登録する。今回の検証では、造船所における一般的な部品表を参考に製造上の階層構造を構築した。つまり、大組, 中組, 小組, 先行小組, 一品の組立ツリーの階層構造で M-BOM を作成した。PLM システム内の M-BOM には、上記の階層構造に従って、製品情報としてブロック, 船殻部品, また、建造シミュレーションの実施, 詳細な作業手順書の作成を目的とするため溶接線を定義した。船殻部品については、CAD システムでモデリングされた部品の形状情報(JT ファイル形式で管理)と属性情報(部品名, 接続する部品, 送り先情報等)が登録された。溶接線は部品と部品の間の接続箇所について線分の情報として登録された。

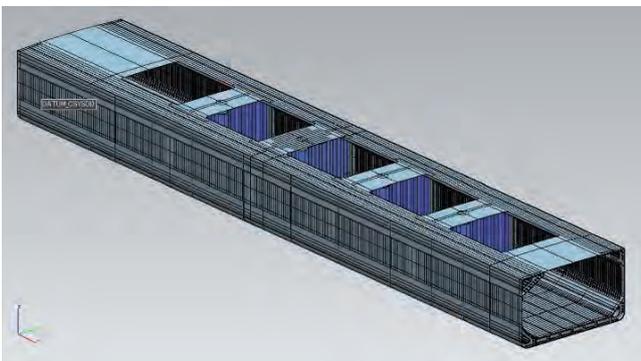


図-3 CAD システム内のモデルの様子

#### 4.3 BOP の作成

前節でモデリングした対象船の特定ブロック(大組ブロック)について工程情報として BOP を作成した。今回の検証では、管理対象とする工程としてブロックの大組, 中組, 小

組, 先行小組を想定し、対象ブロックの大組, 中組, 小組, 先行小組の BOP を作成した。これは日程計画における中日程計画で扱う粒度と合わせたためで、前節の M-BOM の階層構造もこれに合わせて構成している。工程内の作業(オペレーション)には配材, 取付, 溶接等を定義した。これは、この単位で作業, 定盤, 作業内容等が変わり、生産管理上の節点と見なせるためである。工場の工程や作業が体系化されている場合、工程及び作業をテンプレート化できる。今回、各工程の実際の作業を分析した上で工程内の作業構成を固定化、テンプレート化して BOP を作成した。図-4 は今回の小組工程における作業のテンプレート化のイメージである。BOP では今回の小組工程の作業を、OP10(配材)→OP20(取付)→OP30(溶接)→OP40(配材)→OP50(歪取)→OP60(取付)→OP70(溶接)→OP80(配材)とテンプレート化し、各作業に該当する製品, 設備を参照・登録した。物理的な制約等により製品の取付順等がある場合、対象製品を取付順等に応じてグルーピングして定義することでこれを表現する。本検証では、ベース板のグループとそれに取り付けられる部材のグループに分けて表現することで、例えば、配材において先にベース板を配材し、次にそれに取り付ける部材を配材することを表現したり、取付においてベース板をベースとして部材を取り付けることを表現できることとした。また、M-BOM に定義されている溶接線の情報を使って様々な作業を表現することに工夫した。つまり、溶接作業だけでなく、歪取り作業についても溶接線の情報でその作業を表現した(歪取りは通常、溶接箇所の裏面を焼くため)。作業には利用可能な設備を併せて定義した。設備情報は作業可能な作業員情報も含めて BOE で定義する。今回の検証では、建造シミュレーションにて設備の使用上の干渉を正しく表現するため、クレーン, 溶接機, 簡易自動台車等、干渉によって無視できない影響が生じる主要設備について定義した。なお、BOE には、工場レイアウトの配置情報や設備の3次元形状の情報は有していない。以上を踏まえて作成した BOP を図-5 に示す。

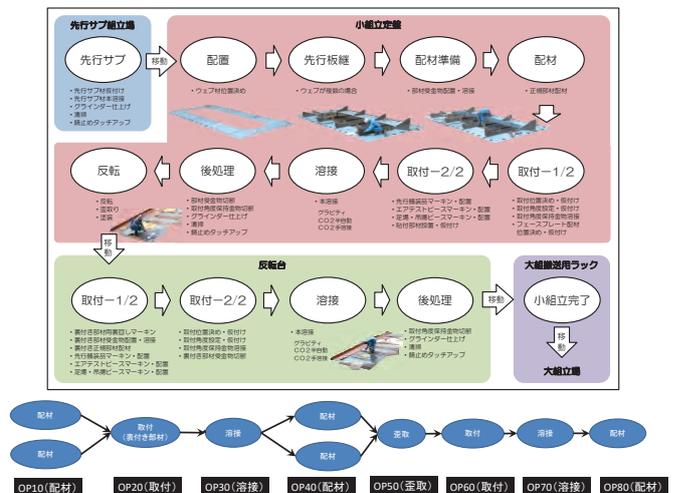


図-4 小組工程の作業フロー

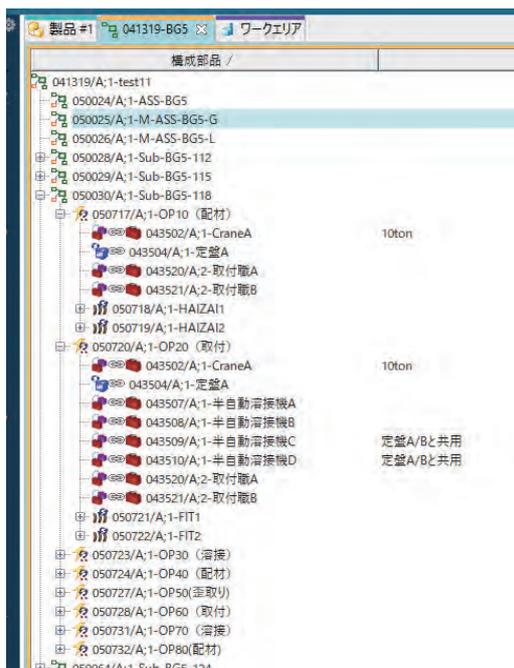


図-5 BOPの様子

#### 4. 4 建造シミュレータとの接続

PLMシステム内で作成したM-BOM, BOPのデータを当所で開発している建造シミュレータと接続し、データ構造の妥当性を検証した。

建造シミュレータはマルチエージェントシステムにより作業者の付随作業まで含めた造船作業の詳細な動きを再現する。PLMシステム内で定義した工程、作業情報に基づき、シミュレータ内で作業者の詳細な作業を再現できるかについて検証した。3章で説明した通り、今回、PLMシステム内に定義した工程、作業情報は一般的な造船所で作成している情報を対象としている。小組工程を対象とした建造シミュレータとの接続に関して、PLMシステム内の情報を入力データとして、不足する情報は途中で補充しつつ、小組工程の作業をシミュレータ内で再現することを確認した(図-6、図-7)。これにより、PLMシステム内のデータから建造シミュレータ運用までの一連のデータフローを整理できた。



図-6 建造シミュレーションの様子

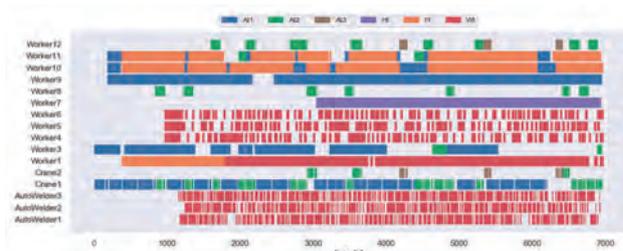


図-7 シミュレーションによる各作業者等のガントチャート

## 5. まとめ

設計データの製造への有効活用として、製造現場を細かい粒度で計画、管理することを目的とする造船のデータ構造の策定及びその活用について報告した。データ構造はBOM, BOPとして表現することで、製品情報、工程情報、設備情報を一元的に管理できることを確認した。また、BOM, BOPデータを当所で開発している建造シミュレータに接続し、製造現場における作業を詳細に再現するまでの一連のデータフローを整理した。

今後は、小組工程の他、造船の様々な工程に対処できるデータ構造について検証を続け、造船の設計-製造のデータ構造の標準化に取り組んでいく。また、PLMシステムにデータを投入すれば速やかに建造シミュレータが運用できるといったようなPLMシステム周辺の整備を進めていく。

当所では、PLMシステムを核とした設計と建造シミュレーションを合わせた建造の在り方を提案している。建造シミュレーションは製造現場の造船作業を細かい粒度、メッシュで表現、解析する。構造解析における有限要素解析(FEM)はFEM計算を実行するため、船体3次元モデルのメッシュ切りが必要である。建造シミュレーションについても同様に、解析を行うための入力データとして「メッシュモデル」が必要であり、これが製品、工程、設備情報を併せたBOM, BOPデータと見なせる。今後、造船業はぶれのない生産計画、生産管理体制を構築するため、BOM, BOPを中核とした設計-製造データの有効活用に向けた取り組みが必要である<sup>4)</sup>。

## 謝辞

本研究は、株式会社JMUシステムズとの共同研究により実施しました。関係各位に深く感謝申し上げます。

## References

- 1) 竹澤正仁他：造船用高精度建造シミュレーションに関する基礎的検討，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第31号，2020。
- 2) 谷口智之他：マルチエージェントシステムに基づく造船用高精度建造シミュレーションに関する基礎的研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第33号，2021。
- 3) 松尾宏平他：造船用PLMシステムに関する基礎的検討，日本船舶海洋工学会講演論文集，第34号，2022。
- 4) 安部昭則：デジタルシップヤードに向けた海技研の取組，SEA JAPAN 海上技術安全研究所セミナー，2022。