

造船用デジタルモックアップの活用法に関する研究

正員 佐々木 裕一*

正員 尊田 雅弘**

A study on 3-D Digital mockup systems for shipbuilding

by Yuichi Sasaki, *Member*Masahiro Sonda, *Member*

Summary

Simulation-based design and virtual manufacturing based on 3-D digital mockup is an evolving technology that is widely used in mass production industries. The use of this technology facilitates design and production optimization by selecting from several potential design options and production strategies. This paper presents an effective usage of 3-D digital mockup systems for ship hull structures focusing on work strategy planning/evaluation. The newly developed system enables visualization and simulation of process planning for hull blocks, as well as interference checks in assembly stage and evaluation of production stage workability. A converter has also been developed to integrate data from CAD systems into commercial visualization/simulation software. The system has been applied to the production design of actual ships, and several useful lessons have been learned.

1. 緒 言

3次元のデジタルモックアップを用いたバーチャルマニュファクチャリングは、自動車産業などの量産品工場において、設計の事前検証などに用いられ、生産性向上などの効果を発揮している。これらの工場では、設計段階において、デジタルモックアップを用いた製造方法の複数案の比較を行うことにより、製品設計と製造プロセス設計をコンカレントに進めることができ、最適化によるコスト削減を実現している。

造船においても、工法検討は建造コストと直結する重要な要素であり、複数案の比較検討を生産資源の制約を考慮して短時間に実施する必要があるが、試行錯誤的であるが故に、このようなシミュレーションによる手法が非常に有効である。そこで、本研究ではデジタルモックアップの工法検討への適用を検討した。造船の場合、一品受注生産であるため、工法検討に加えて、設計結果と工法の整合性の確認作業も重要である。さらに、デジタルモックアップは現場での作業改善への適用も有効と考えられる。そこで、本研究では、下記3システムについて、検討を行った。

- (1) 設計段階における工法検討機能
- (2) 船殻ブロック組立シミュレーション
- (3) 人間モデルを用いた作業検討システム

* 三菱重工業(株)長崎研究所

** 三菱重工業(株)長崎造船所

原稿受理 平成14年7月10日

秋季講演会において講演 平成14年11月14, 15日

本論文では、これらのシステムのコンセプト及び試作したシステムの概要について述べる。

2. デジタルモックアップの工法検討への適用

Fig.1にMHIの造船CIMの概要¹⁾を示す。ここに示すように、造船CIMは、設計上流で定義したデータを下流フェーズで活用するシステムとして有効に稼働している。

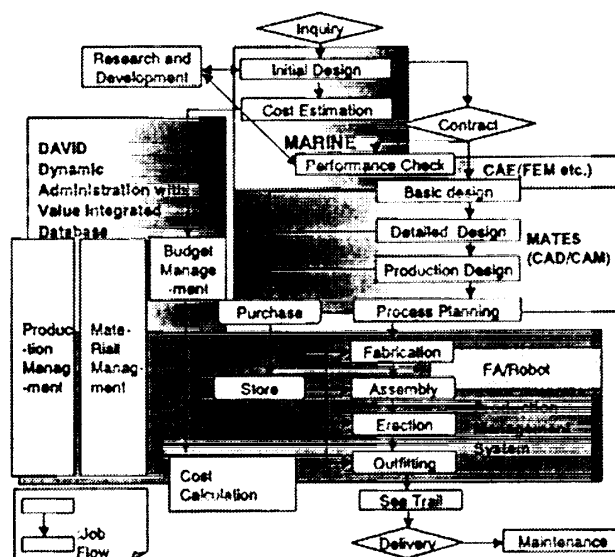


Fig.1 Overview of MHI CIM

今後の課題は、設計上流フェーズで下流の事前検証を行うことによる、設計への後戻りの防止や、設計の最適化を支援するシステムの実現である。

また、Fig.2 に造船の標準的な業務フローを示す。これによると、造船の場合、契約時に船の基本的な構造配置はほぼ決定されており、受注確定後には、主要構造配置に従った設計及び工法検討が行われている。

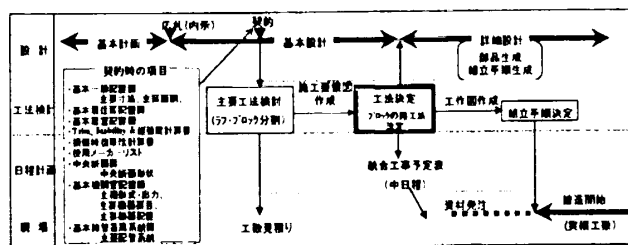


Fig.2 Ship Production procedure

このため、3次元デジタルモックアップを用いた設計段階における事前検証機能としては、複数の設計（主要構造配置）案の比較というよりも、工法検討及び設計結果の施工性の確認への適用が有効である。さらに、工法検討については、設計段階における施工要領検討に加えて、現場での作業改善への適用が考えられる。そこで、これらのシステムの実現について検討した。Fig.3 にデジタルモックアップの造船への適用イメージを示す。

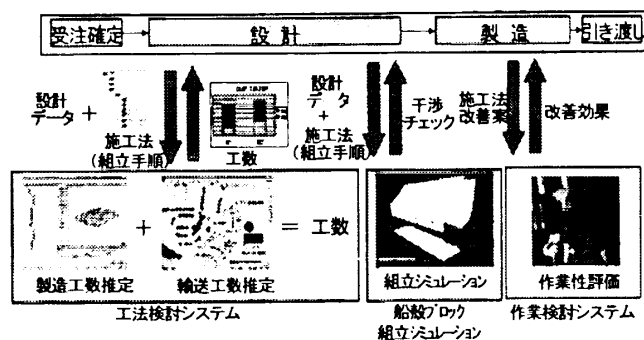


Fig.3 An image of digital mockup system for shipyard

本研究では、設計段階において、施工法の検討を行うための工法検討システム、設計結果を施工性の面から検証するための船殻ブロック組立シミュレーション、さらに、現場での作業改善の検討を行うための、人間モデルを用いた作業検討システムについて、検討を行った。

3. 設計段階における工法検討システム

3.1 工程設計アプリケーションの工法検討への適用

設計段階における工法検討システムは、ブロック毎に施工法の違いによる工数を比較し、より最適な工法を検討できるシステムとして検討した。Fig.4 にシステムのイメージを示す。

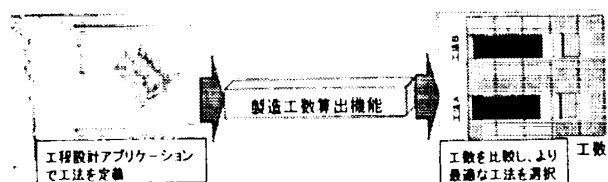


Fig.4 An image of work strategy planning system

この図に示すように、工法検討のためには、当社の下流生産設計フェーズで、詳細組立手順の定義に用いられている工程設計アプリケーション²⁾を用いることが有効である。Fig.5 に工程設計アプリケーションの画面を示す。ここでは、中組毎に色を変えて表示させ、工法のチェックを行っている。このように、中間製品の3次元形状を確認しながら、施工要領の検討ができる。

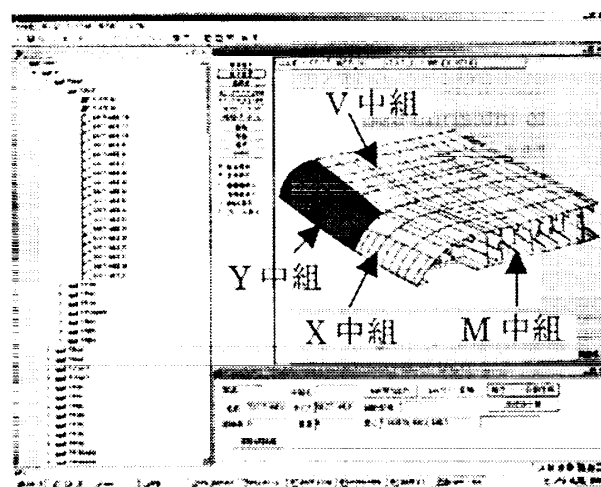


Fig.5 Computer aided process planning system

工法検討を行うためには、複数案の比較を行い、施工法の評価を行う必要がある。そこで、本研究では、この工程設計アプリケーションのデータを用いて、製造工数算出機能を開発し、工程の評価機能を実現することとした。ここでは、開発した製造工数算出機能について述べる。

3.2 製造工数算出機能

製造工数は、中間製品毎の工数の合計である。本研究では、各中間製品の工数は、中間製品を組立てる際の取合と姿勢から推定することとした。したがって、製造工数 $C_{product}$ は以下の式から算出される。

$$C_{product} = \sum (W_{im} \times G_{workshop})$$

$$W_{im} = \sum (W_{real} \times K)$$

W_{im} : 中間製品毎の換算取合長

$G_{workshop}$: 施工場所毎の工数推定係数

K : 姿勢別の難易度 (例: 下向き1、上向き2など)

この計算を行うために必要な中間製品毎の姿勢別取合長は、工程設計アプリケーションのデータから計算でき

るので、ブロックの組立手順を定義することで、製造工数を推定することができる。

3.3 工法検討の試行

Fig.6 に示すような、DB2F ブロックについて、工法検討を行った例を示す。

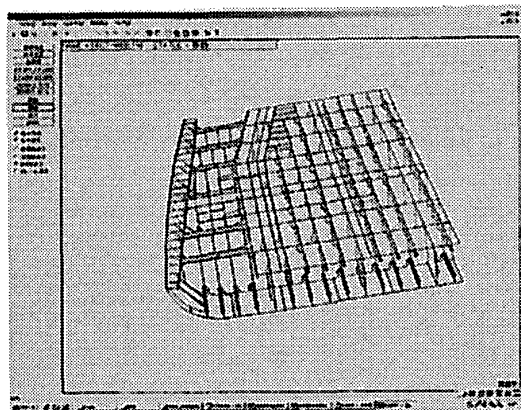


Fig.6 DB2F

ここでは、単板工法と枠組み工法の2ケースの比較を行った。Fig.7 に製造工数の比較結果を示す。左側が、換算取合長の集計結果、右側に、製造工数比較結果を示す。今回は、以下に示すように、組立ステージ毎に、工数推定係数を変えて集計を行った。

工数推定係数: 大組=10、中組=5、小組=1、B/U 組立=0.5

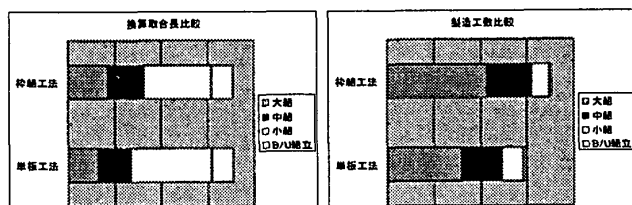


Fig.7 Result of work strategy evaluation

今回のケースでは、単板工法の方が、工数推定係数の大きい大組での取合長が少なく、製造工数が低くなることがわかる。このようにして、工程設計アプリケーションに、工数推定機能を追加することで、工法検討システム実現の目処が立った。このことで、検討ケース増大による施工要領の最適化が期待できる。

4. 船殻ブロック組立シミュレーション

4.1 システム概要

Fig.8 に組立シミュレーションによるロンジの設計変更例を示す³⁾。これは、製品の段階では干渉していなくても、中間製品同士を組み合わせる段階で干渉が起これ、ロンジの向きを変更した例である。このような組立時の干渉による設計変更については、事前に組立シミュレーションでチェックすることで大幅に削減できると思わ

れる。そこで、船殻ブロック組立シミュレーションの検討を行った。

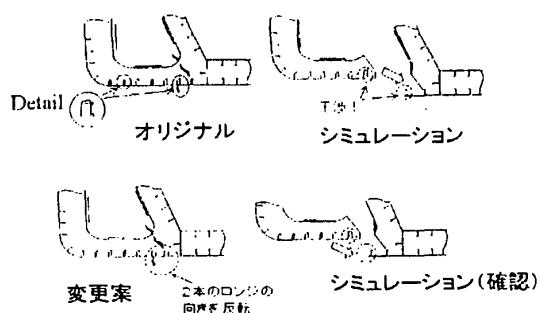


Fig.8 Example of an Interference check

Fig.9 に、システム構成図を示す。本研究では、組立シミュレーションソフトは市販のシステム (Envision Delmia 社) を用いることとし、MATES と工程設計アプリケーションから、組立シミュレーションソフトへのデータ変換機能を開発した。

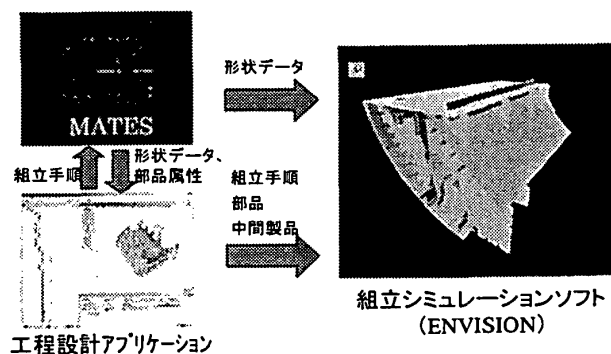


Fig.9 System concept of assembly simulation

変換されるデータについて、以下に示す。

(1) 部品

個々の船殻の部品に関するデータであり、部品 ID、部品名、タイプなどの属性が定義されている。

(2) 部品形状

部品の形状情報を表す。本研究では、MATES の 3 次元モデルファイルから、Envision の幾何データへと変換することとした。

(3) 中間製品

大組ブロック、小組ブロックなどの中間製品を表すデータである。施工場所や、中間製品の向きに関する情報も定義されている。

(4) 組立手順

組立手順を表すデータであり、中間製品同士、部品の所属中間製品に関する情報が定義されている。

組立シミュレーションを実行するためには、これらのデータに、中間製品の組立時の移動経路を定義することで、組立シミュレーションを実行することができる。

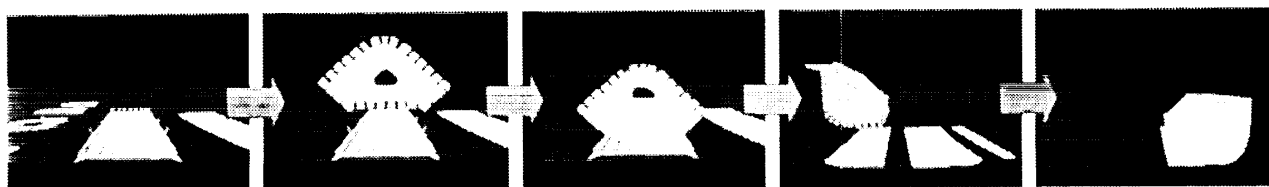


Fig.10 Trial of hull block assembly simulation system

4.2 船殻組立シミュレーションの試行

Fig.10 に、組立シミュレーションの試行結果を示す。このように、MATES や工程設計アプリケーションのデータを用いて、組立シミュレーションを行うことができた。このことで、設計段階における動的な干渉チェックを実現し、不具合の早期発見、対策が可能になり、設計における確認作業の効率化を実現することができる。

5. 人間モデルを用いた作業検討システム

5.1 人間モデルを用いた作業性検討の必要性

Fig.11 に、現場の改善案を示す。これは、藤棚と呼ばれる棚に半自動溶接装置がつり下がっている定盤での作業において、半自動溶接装置を効率的に用いるために、なるべく溶接装置と溶接線の距離が離れないように「常に溶接線の上に自動溶接装置を配置できるような配材方向にする」という改善案であるが、具体的にどの程度効果があるか机上ではわからない。

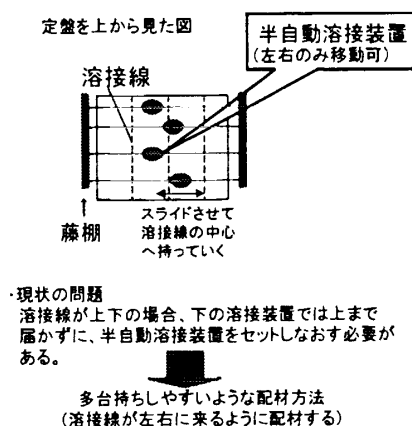


Fig.11 Example of Kaizen plan

このような改善案を検討するためには、改善効果をシミュレーションにより把握できるシステムが必要である。

5.2 システムコンセプト

このような、現場の作業改善のシミュレーションを実現するためには、製品データを用いた造船組立シミュレーションに、人間モデルを追加する必要がある。さらに、この人間モデルは作業に応じて動きを定義する必要があるが、全てを手動で設定するのは手間がかかるので、あらかじめ基本動作を定義しておき、それらを組み合わ

せる形で定義する機能が必要である。Fig.12 に人間モデルを用いた作業性検討システムの概念図を示す。

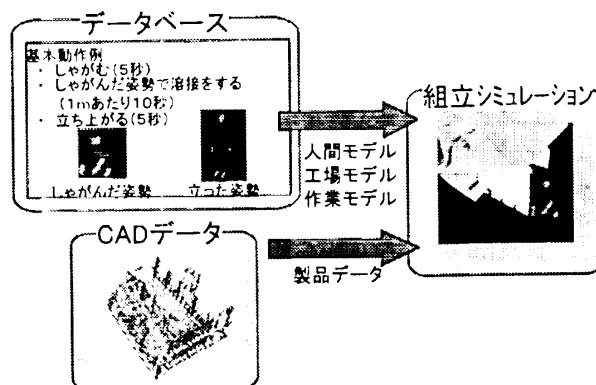


Fig.12 System image of a virtual factory for production stage

本研究では、人間の作業の基本動作や作業場所をデータベースに定義し、これらのデータと、製品データを組み合わせることで作業検討のシミュレーションを行うこととした。このデータベースには、以下の情報を定義した。

(i) 作業姿勢

現場における作業姿勢を基本姿勢毎に定義した。

(ii) 作業手順

標準的な作業内容を表現するデータであり、(i)の作業姿勢を組み合わせることで、定義される。

(iii) 組立現場

作業場所をコンピュータ上で表現したものであり、部材置場、作業場所等の場所のモデル化を行ったもの。以下にこれらのモデル化について述べる。

5.3 作業姿勢の定義

本研究では、作業前後の姿勢について定義し、作業中の姿勢はシミュレーションソフト側で補間することとした。ここでは、造船のブロック計測などに用いられている3次元計測装置⁴⁾を用いて、人間の姿勢を計測することとした。計測場所は、頭、左右手首、左右足首、腰の6カ所とし、読み込んだ点にそれに対応した人間モデルの部位をもってくることで、姿勢を定義することとした。下向き溶接をしている姿を想定して計測した例を、Fig.13 に示す。

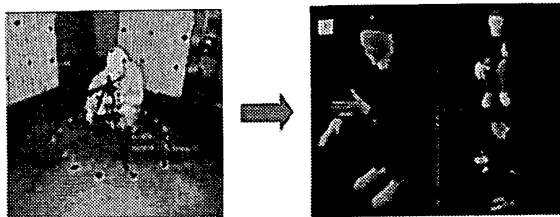


Fig.13 Trial to define human model activity positions

本研究では、小組を対象とした作業姿勢のモデル化を実施した。小組の組み立てに必要な作業者の基本姿勢の一部を Table 1 に示す。

Table 1 Basic work postures for small assembly

No.	基本姿勢
1	移動
2	位置決め
3	片面仮付け
4	調整 (ハンマー叩き)
5	直角確認
6	溶接

Table 1 の基本姿勢をコンピュータ上で実現した結果の例を Fig.14 に示す。

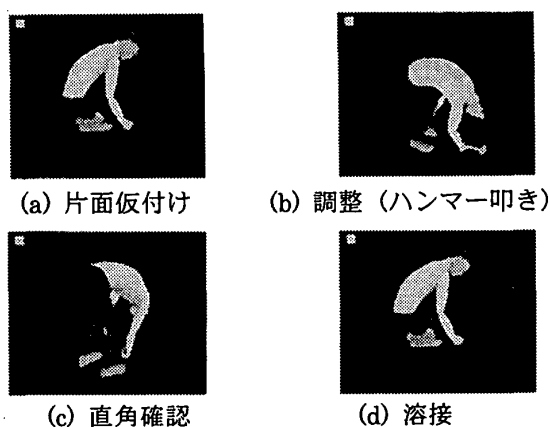


Fig.14 Examples of basic worker posture models for a small assembly

このようにして、基本姿勢を予めデータベースに定義しておくことで、これらを組み合わせることにより、小組組立作業における作業者の動作をコンピュータ上で定義することが可能となる。

5.4 作業手順の定義

造船現場における一連の作業をコンピュータ上で実現するためには、5.3 でデータベース化した作業者の姿勢を組み合わせる必要がある。小組を対象とした場合の作業者の作業内容を Table 2 に示す。

Table 2 Operations performed by workers for production of a small assembly

部材運搬～仮付け	溶接
移動, 部材確保	移動
運搬	直角確認
位置決め	溶接
片面仮付け	
調整 (ハンマー叩き)	
直角確認	

ここで、例えば“調整 (ハンマー叩き)”という作業を行う場合は以下の手順で人間モデルの姿勢を組み合わせることで実現できる。

- ① “移動”の姿勢で調整個所まで移動させる
- ② “調整 (ハンマー叩き)”の姿勢へ変化させる
- ③ 調整作業中は、姿勢を維持する
- ④ “移動”の姿勢へ変化させる
- ⑤ 次の作業場所へ移動させる

また、クレーンを用いた部材の輸送作業についても、人間モデルをクレーンの操作盤まで移動させ、クレーンの操作盤を握らせて、人間モデルとクレーンを同時に動かすことで、模擬することができる。このように作業内容を作業毎に分割することにより、基本姿勢の組み合わせで一連の作業をコンピュータ上で表現することが可能となる。

5.5 組立現場の定義

コンピュータ上で人間モデルを用いた作業のシミュレーションを行うためには、仮想工場をコンピュータ上に定義する必要がある。本研究では、小組組立の作業現場を例に、部材置場、作業場所等の場所のモデル化および作業者、クレーンなどの移動体が移動するための移動経路のモデル化を行った。移動経路と場所のモデル化例を Fig.15 に示す。

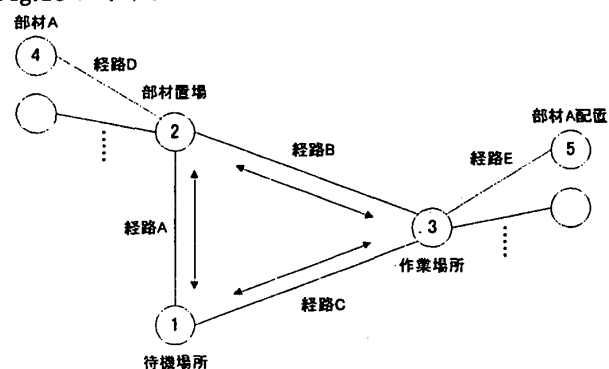


Fig.15 Workshop model for a sub assembly block

ここでは、経路を線、場所をノードで示している。場所については、“部材 A 配置”などの細かい位置を表すも

のに加えて、それらをまとめて表す“作業場所”といった主要な場所を定義した。そして、経路については、経路Bのようなこれらの主要な場所を結ぶ経路と、経路Eのような、主要な場所とそれに属する細かい場所を結ぶ経路を定義した。

このことで、作業者のさまざまな移動経路を表現することができる。例えば、作業者が部材Aを部材置場から溶接場所まで運搬する場合の経路の流れは以下のように示される。

①-A→②-D→④-D→②-B→③-E→⑤

このように、設定した経路およびノードを組み合わせることで、小組の組立に必要な移動経路を全て表現することができる。また、これらの経路へデータベース化した作業員の作業姿勢やクレーンなどの移動体を割り付けることにより、コンピュータ上での作業員の作業を実現することが可能となる。

また、主要な場所として部材置場（ノード②）を予め作成しておくことにより、複数の部材がある場合でも、経路・ノード（例：経路D，ノード④）を②に接続することにより、簡単に部材を追加することができる。溶接等の作業についても同様で、作業場所（ノード③）に経路・ノードを接続することにより、小組の組立に必要な様々な作業を追加することができる。

このようにして定義した組立現場のモデルに、作業員モデルを組み合わせることで、人間モデルを用いた作業検討システムを実現することが可能となる。

5.6 作業検討システム試行

小組の組立現場のプロトタイプを作成し、現場作業の効率化を図るための事前検討を実施した。ここでは、作業者が1人の場合と2人の場合を対象として、作業時間、作業効率の比較検討を実施した。シミュレーションの画面をFig.16に示す。今回は、作業者が1人の場合は、一人で全ての作業を行い、2人の場合は、鉄工（部材運搬～仮付け）と溶接作業を別で行うこととした。



Fig.16 Workability evaluation trial

シミュレーション結果から、今回対象とした小組においては作業員が2人の場合は待ち時間が発生するため、作

業員が1人の方が作業効率が良いことが確認できた。

以上の結果から、実現した作業検討システムを用いて作業の効率化を図るための事前検討が可能であることが確認できた。

6. 結論

本研究では、デジタルモックアップの工法検討への適用を目的として、下記3システムについて、検討を行った。

(1) 設計段階における工法検討機能として、工程設計アプリケーションに、工数推定機能を追加した。その結果、組立手順を評価することが可能になり、3次元形状を確認しながら、工法検討が可能であることがわかった。このことにより、検討ケース増大による組立手順の最適化が期待できる。

(2) 船殻ブロック組立シミュレーション機能として、造船CADから組立シミュレーションソフトへの変換機能を開発した。その結果、設計段階における動的な干渉チェックが可能になり、不具合の早期発見及び対策が期待できる。

(3) 人間モデルを用いた作業検討システムを実現するために、作業者姿勢、作業動作、組立現場の定義方法について検討した。その結果、作業検討の試行を行うことができ、システムの有効性が確認できた。このことで、現場の改善案を定量的に評価するシステムを実現できる目処が立った。

謝 辞

本研究は、主にモーターボート競走公益資金による財団法人日本財団からの補助金をうけた（財）シップ・アンド・オーシャン財団 高度造船 CIM プロジェクトでの研究成果、及びIMS研究IRMAプロジェクトの研究成果をベースしたものであり、高度造船 CIM プロジェクトをご指導いただいた東京大学小山名誉教授、大和教授、シップ・アンド・オーシャン財団の方々、及びIMSセンターの方々、両研究プロジェクトのメンバーに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) T. Yoshimura 他：Overview of the CIM for Shipbuilding at Mitsubishi heavy Industries, ICCAS'97,1997
- 2) 佐々木 裕一 他：知識ベースを用いた造船自動工設計システムの開発、造船学会論文集 189号、H13年5月
- 3) 伊藤 健、造船事業における業務支援システムの実現に関する研究、東京大学博士論文、2000
- 4) 第237研究部会：高度工作精度管理技術に関する研究（総合報告書）、日本造船研究協会、2000