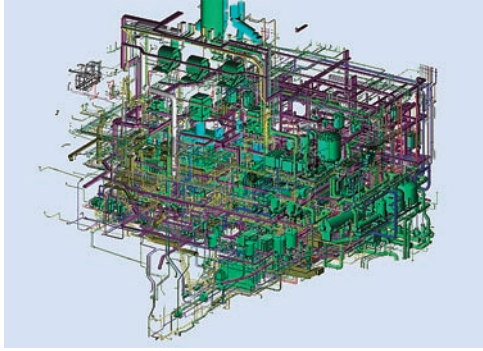


造船における 3D 設計による設計品質向上の取組み

Improvement of Ship Design Quality Using 3D-CAD System



尊田 雅弘*¹
Masahiro Sonda

三原 弘明*²
Hiroaki Mihara

平木 常正*³
Tokimasa Hiraki

武田 信玄*⁴
Shingen Takeda

製造業のデジタルものづくりが進展している。当社も 3D 設計や製造部門での設計 3D 情報活用など、IT による設計・生産プロセス革新に取り組んでいる。当社造船部門の 3D 設計への取組みは古く、1980 年代に造船用 3D-CAD MATES (Mitsubishi Advanced Total Engineering system of Ships) を自社開発し、実船適用を通して機能改良を継続。現在、基本設計から生産設計までをカバーする実用性の高い造船システムとなっている。MATES の 3D モデル自動設計機能や設計知識を折り込んだ自動チェック機能を利用して設計品質向上を図っている。また、3D ビューフを利用した設計レビューなど、3D 情報を活用した設計完成度向上活動を行っている。一方、初期計画の 3D 化に関しては、市販ソフトウェア NAPA をベースにしつつも当社独自の設計手法やノウハウを折込み、当社固有の高度な 3D 初期計画システムを構築した。設計上流のデザインスパイラルを迅速に回す事により設計最適化と品質向上を図った。本報では初期計画及び詳細設計ステージにおける設計 3D 化による設計品質向上の取組みを紹介する。

1. はじめに

3D-CAD は三次元形状を持つ設計対象を従来の二次元図面よりも格段に正確に表現することができる。一般に、二次元図面では存在し得たあいまいさは許されず、3D モデルに蓄積される設計情報は高精度化される。また、3D-CAD はコンピュータ画面上にリア

ルで分かりやすく設計対象を表示できるので、直感的に製品構造を把握することが可能である。

当社造船システムの構成を図 1 に示す。初期計画システムは、3D モデルを持つ造船用市販 CAE システム NAPA をベースに当社独自のカスタマイズを行い、設計初期段階での品質向上を図っている。基本設計から生産設計までの設計中核部分は MATES を適用し、

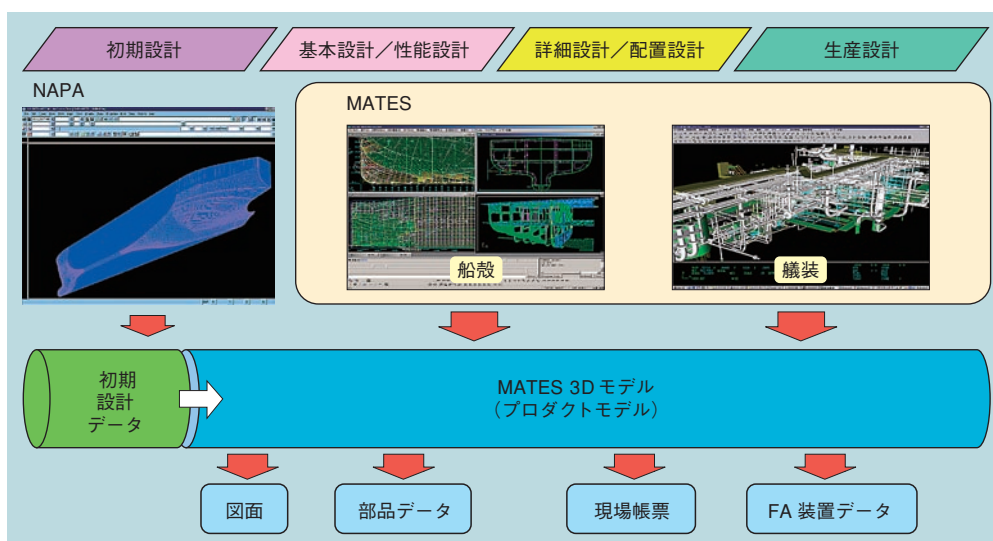


図 1 造船システムの構成
初期設計は NAPA、基本設計以降は MATES を活用し、プロダクトモデルを生成している。プロダクトモデルからは、図面や部品データ等が出力され、現場で活用されている。

*¹ 長崎造船所造船設計部主幹

*² 長崎造船所造船設計部船海システムグループ主席

*³ 長崎造船所造船設計部船海システムグループ

*⁴ 長崎造船所造船設計部計画課

3D プロダクトモデル^(注1)構築時の設計データ自動入力やモデルの自動品質チェックにより設計情報の品質を確保している。

注1：船という三次元製品を表現するために三次元形状や設計情報（属性データ、部品接続情報）を格納した三次元製品情報モデル。

プロダクトモデルからは、図面や部品データ等が出力され、現場で活用されている。

2. 初期計画の3D化による設計品質の向上

顧客ニーズにマッチした性能と品質を持つ魅力的な船舶の提案を行うためには、船型計画から製品仕様設定、見積までの初期計画ループを迅速に回し、設計案（検討ケース）増大による設計最適化を図る必要がある。

当社は約20年前に初期計画システム MARINE (Mitsubishi Advanced Real-time INitial design and Engineering System) を自社開発し、計画作業に供してきたが、初期計画ステージの業務プロセスを変革し、製品性能・設計品質の更なる向上を図るべく初期計画の3D設計環境を構築した。3D初期計画システムの実現手法として、市販の3D設計ソフトをベースにしつつも当社が培ってきた設計ノウハウを折り込むことにより当社固有の3D初期計画環境を実現することとした。

2.1 船舶初期設計用CAEシステム“NAPA”の概要

ベースとなる市販ソフトとして船舶初期設計システム NAPA^(注2)を採用した。NAPAは欧州を中心に国内外の多くの造船所、船級協会、設計コンサルタントなどで活用されているシステムであり、タンク容積計算、貨物積付計算、縦強度計算、スタビリティ計算など船舶の初期計画に必要な基本機能を揃えている。特長として、3Dモデルを利用した精度良い初期計画が可能であること、及びNAPA Managerと称する柔軟なカスタマイズ機能が提供されていることがある。

注2：NAPAはNAPA Ltdの登録商標です。

2.2 3D初期計画支援システムの開発

図2に3D初期計画支援システムの構成を示す。NAPAの基本機能の上に、設計プロセス定義ツールであるNAPA Managerを利用して当社の初期設計手順を作り込んだ。更に、模型船水槽試験データベースや各種性能計算プログラム、旧MARINEのシステム資産と連携した当社独自のシステム構成となっている。以下にそれらについて述べる。

(1) 初期計画 MANAGER

初期計画 MANAGER の設計画面は船型創生、区画配置検討など設計プロセス毎に準備されている。図3に初期計画画面を示すが、画面左側に初期計

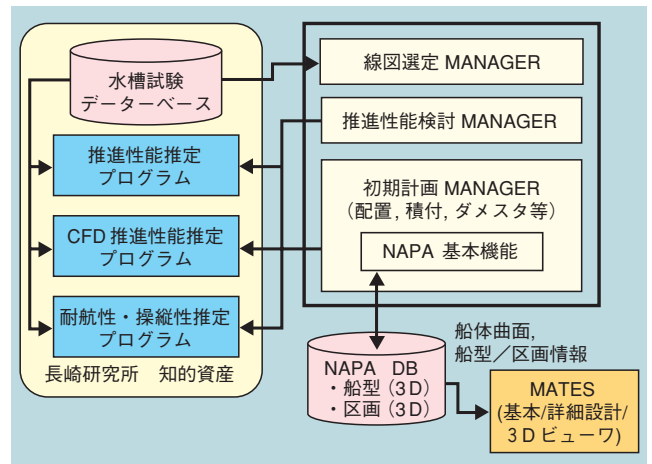


図2 初期計画システム構成
当社ノウハウを折り込んだManagerを開発し、研究所資産とリンクした。

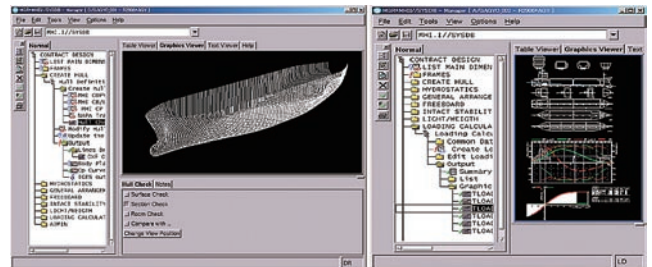


図3 初期計画 MANAGER 画面
設計者は画面左側に表示される計計プロセスにそって作業する。各設計シーンに必要なパラメータ入力や計算結果が画面右側に表示される。

画の設計プロセスが表示され、各設計者は表示されたプロセスにそって作業を進めていく。画面右側が Input/Preview 画面となっており各設計シーンに必要なパラメータ入力や生成された船型が3D表示される。設計プロセスや詳細な設計手順はシステム開発に先立って標準化した。また、設計パラメータ入力も出来るだけ選択形式とし、作業効率化と属人性排除による設計品質の均質化、信頼性向上を図っている。

(2) 線図選定 MANAGER

初期計画作業において計画船検討のベースとなる線図（船型）を適切に選択することは非常に重要である。線図選定 MANAGER は、当社長崎研究所の有する3000隻を超える模型船水槽試験データベースから計画船の寸手法、Cb, Lcbなどをパラメータとして候補船型を絞り込み検索し、水槽試験性能値を基に船型創生、馬力計算を実施し、適切なタイプシップを決定できる。これにより既存知的資産を十分活用した精度の高い船型計画が迅速にできるようになった。

(3) 推進性能検討 MANAGER

旧システム MARINE の資産であるプロペラ設計、馬力計算プログラムを NAPA から呼出し、当社独自の推進性能計算が可能となっている。なお、CFD による性能推定プログラムとの連携に取組み中であり、設計者の端末から容易に CFD による高精度な推進性能推定が可能になる予定である。同様に長崎研究所で開発した耐航性、操縦性プログラムも利用可能となっている。

(4) MATES 及びビューワとの連携

初期計画システムで設計された船体曲面は IGES データ形式で MATES に伝達され、基本設計・詳細設計で使われる。NAPA の船型情報・区画情報は、図4に示すように MATES の 3D ビューワでも表示可能であり、従来の二次元図面よりも分かりやすく正確な情報伝達が可能となった。また、NAPA で定義した区画情報は塗装面積計算などに利用されている。

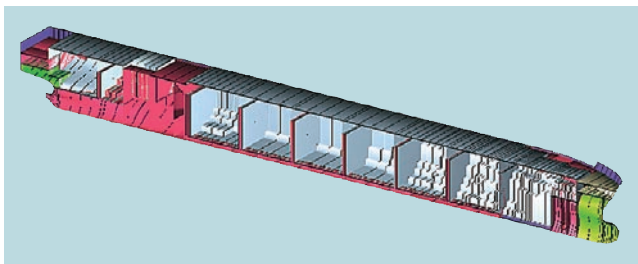


図4 船型・区画情報のビューワ表示
NAPA で生成された船型情報や区画情報が 3D ビューワにて閲覧できる。

2. 3 初期計画の品質向上

以上の様に市販 3D ソフトを活用し、狭あい区画の 3D 確認機能や SOLAS 新ダメージスタビリティなどの最新のルール要求に対応した検討機能をカスタマイズし、初期計画時の計算精度向上を図るとともに、コンテナ配置検討など設計プロセスを体系化した当社独自の設計手法とノウハウを折り込んだ。

さらに研究所の豊富な模型試験データや実績船データなどの知的財産を十分活用できる環境とし、信頼性の高い最適設計が可能な初期計画システムとした。これにより初期計画作業が迅速化され、検討ケース（設計案）が増大することで最適化レベルが向上し、高い性能と品質を有する船舶の提案が可能となった。

3. 3D-CAD MATES による詳細設計の品質向上

基本設計から生産設計までをカバーする 3D-CAD システム MATES の基盤は船という製品の三次元設計情報を格納するプロダクトモデルである。設計が進むに従ってプロダクトモデル内の設計情報は詳細化さ

れて行くが、この設計データの品質は、設計自身の品質・信頼性は勿論のこと、部品精度や工作ステージでの生産情報の信頼性に直結する重要なものである。

プロダクトモデルの品質を確保するためには、設計標準化を図ると共に、その設計標準やヤードプラクティス等の設計知識を折り込んだ自動処理プログラム化を図り、設計者のヒューマンエラーの排除と設計結果のばらつきを最小化する必要がある。

以下、詳細設計を対象に MATES の持つ 3D 設計情報の品質確保機能の幾つかを紹介する。

3. 1 船殻詳細構造の自動定義による品質確保

船殻詳細設計ステージでは、スティフナ端部形状データなどの多くの詳細構造情報を効率的かつ設計標準に基づいてミス無く 3D モデル入力する必要がある。

MATES の船殻詳細構造自動入力機能（AUTO コマンド）は、作業効率と設計品質の両面から設計を支援する目的で開発された機能であり、スティフナ、フェイス等の代表的な構造について詳細構造の自動定義が可能となっている。AUTO コマンドは各種の構造設計標準を内蔵しており、例えばスティフナの場合、設計者は寸法、端部固着記号といった図面に記載するレベルの基本的な設計情報を指示するだけで、端部形状や取り付け角度といった詳細属性データは、設計標準を参照して自動定義されるので、設計者は設計の本来業務に集中することが出来る。さらに、関連する構造要素間での属性データ自動調整機能も持っている。

図5は AUTO コマンドによるフェイスサイズの変更例であり、フェイスと取り合うスティフナ端部形状が設計標準に従って自動的にテーパ処理されていることが分かる。一般に設計変更時のミスは、変更対象部材と取合う関連部材の修正漏れに起因するものが多いが、AUTO コマンドの属性データ自動調整機能により、変更漏れが無くなりモデル品質向上が図られた。

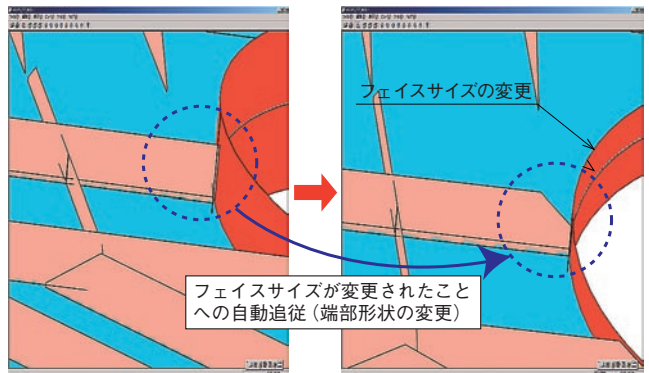


図5 スティフナ構造取合部詳細形状の自動調整例
取り合うフェイスのサイズが変更されると設計標準に準じて、スティフナの端部形状が自動的に変更される。

3.2 設計知識を利用した3Dモデル自動チェック

MATESの3Dプロダクトモデルは、船殻構造情報を属性データとして詳細に表現しているため、設計知識に基づいた自動チェック機能の開発が可能である。

設計がほぼ終了した時点で実行する品質チェック機能の一例として水密隔壁チェックコマンドがある。MATESでは水密隔壁板の属性データとして“この板は水密でなければならない”という属性を持っており、これを手がかりとして板内開口部（穴、スロット、スカラップ等）塞ぎ漏れ、骨端部補強漏れ、水切り設置漏れ等を自動チェックする。その他、ブルワークステイ裏補強チェック、ブラケット遊辺長チェック、穴-穴間隔チェックなど、設計便覧チェックリストに対応した各種自動チェック機能を持っている。設計知識を折り込んだ自動チェックは、今後のベテラン設計者減少時の品質確保に有効と考えている。

3.3 配管の自動干渉チェック

艤装配管設計における設計不具合の原因としてパイプと船殻構造・艤装品との干渉がある。MATESの干渉チェック機能は、パイプとパイプ、船殻構造、ダクト、電路、機器、鉄艤品などあらゆる対象品間的高速、高精度な干渉チェックが可能である。干渉チェックは艤装設計の品質を確保する上で非常に有効であり、詳細設計の業務標準で実行をルール化した結果、変更管の大幅な削減につながった。

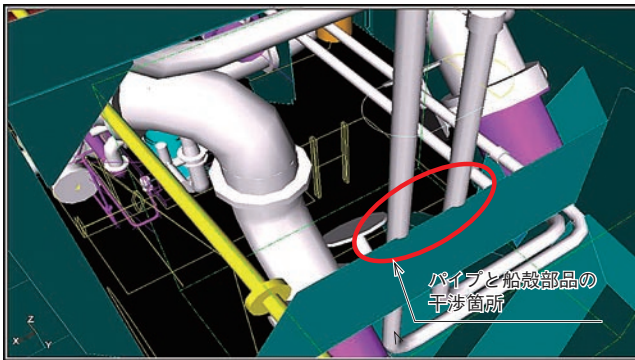


図6 干渉チェック機能
パイプと船殻部品、艤装品との干渉を自動チェックする。チェック箇所は、ハイライト表示され、不具合位置を設計者に伝える。

3.4 3Dビューワを利用した設計・工作レビュー

3D設計の利点として設計結果である船殻構造や艤装配管・配置が3Dビューワを利用して非常に分かり易く画面表示できる点がある。従来、二次元図面だけで行っていた設計レビューを3Dビューワを利用した設計・工作合同のレビュー会に変更した。その結果、設計不具合の減少、配管ルート最適化によるパイプ長の削減、機器操作性の改善が図れた。さらに、工作

施工性に関するフィードバック項目が工作部から着工前に数多く出されるようになり、より施工しやすい設計につながった。

以上の様に、3D化による製品定義精度の向上、MATESの設計品質検証機能、3D設計レビューなどの運用側の工夫により、工作部に伝達される設計情報の品質（完成度）は従来と比較して格段に向上している。



図7 設計・工作合同 設計レビュー会
設計・工作部の関係者が集まり、3Dモデルを見ながら、図面の不具合チェックや現場施工性、機器操作性を考慮した配置変更を検討し、図面の完成度を向上させる。

4. 生産現場での三次元情報の活用

設計3D化は設計だけではなく生産現場の3D情報活用による生産プロセス変革も促進している。品質が確保された設計3D情報を生産現場に提供することで後戻り作業が防止される。更に従来よりも詳細な生産管理物量を提供することで生産計画の精度も向上する。

図8はブロック看板と称する船殻組立工程の三次元作業指示書の例である。設計3Dモデルを利用した分

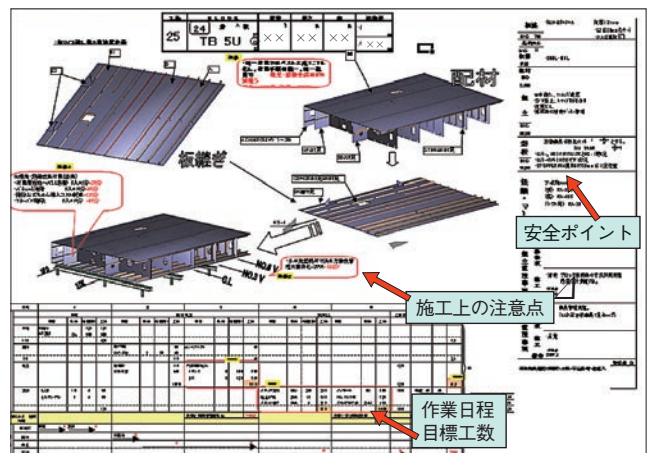


図8 船殻組立用ブロック看板
本看板を組立場に掲示し、最終完成形状や配材手順を3D図で作業者にイメージアップさせるとともに、作業日程や安全ポイントなどを指示する。

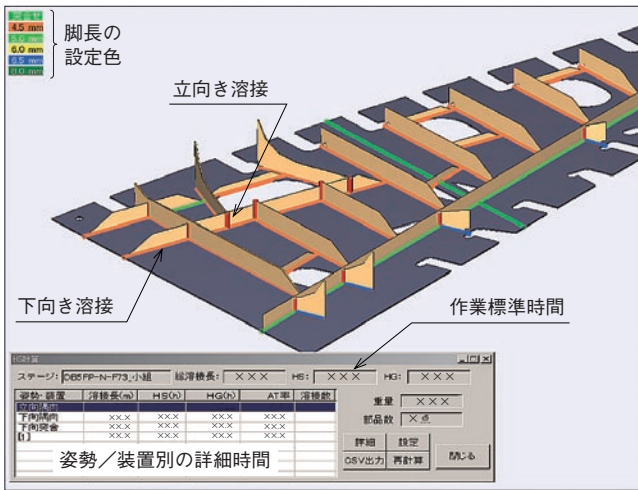


図9 溶接作業用 作業標準時間の算出
溶接姿勢・脚長別の溶接長から、作業標準時間を算出することで、従来よりも精度のよい生活管理が可能となった。

かりやすいブロック完成形状や配材順序，作業時の注意点が記載されている．図9は溶接姿勢と脚長を考慮した溶接作業標準時間の算出画面であるが，従来よりも精度の良い生産管理が可能となった。

5. ま と め

本報では，初期計画と詳細設計ステージを対象に設計3D化による設計品質向上の取組みを紹介した．3D

製品情報モデルは設計・工作の基幹データとしてその重要性を一層増しつつあり，モデル品質を保証するためのシステム支援機能は，設計品質向上による後戻り作業撲滅のための重要なツールとなっている。

今後，高度な市販ソフトと当社が長年蓄積してきた設計ノウハウを折込んだ社内開発ソフトをうまく連携させながら，新しい設計支援環境を構築していく必要があると考えている．本報で紹介した設計品質向上の取組みは，将来の熟練技術者減少時代へ向けてのひとつの解決策と考えられ，更なる設計品質向上へ向けて3D活用を進めていく予定である。



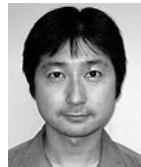
尊田雅弘



三原弘明



平木常正



武田信玄