

3D PLM 技術を用いた船体構造初期概念設計システム

Competitive Conceptual Structural Design System Using 3D PLM Technology

豊 田 昌 信 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部 課長代理
 中 島 喜 之 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部 課長 技術士（船舶・海洋部門）
 谷 口 博 隆 株式会社 IHI エスキューブ ソフト開発事業部
 山 田 健 二 株式会社ダイキエンジニアリング

客先の求める商品価値が変化し続けている商船マーケットにおいて、我が国の造船業界が成長を続けていくためには、つねに高性能な船舶を設計していくことが重要課題となっている。限られた設計期間内で数多くの設計検討と、正確な管理量の集計を行うことができる船体構造初期概念設計システムを開発した。本システムでは容易に全船三次元モデルを作成でき、三次元モデルの特性を活かしたレビュー機能や管理量推定、FEM モデルへの変換が可能である。本システムは 2004 年 2 月から実際の設計に適用し、設計の信頼性向上に寄与している。

In today's competitive commercial shipbuilding world where the product value for the customer has been changing, the design of high performance ships is a key in winning and sustaining growth for Japanese shipyards. To achieve high performance design and accurate cost estimation, IHI Marine United Inc. has developed the conceptual structural design system using 3D PLM (Product Lifecycle Management) technology. The key words of our system are easy modeling, visual study, quick and accurate estimation and easy translation to FEM (Finite Element Method) model. The system has been already in use for about one year. Thanks to this system, the reliability of our design is enhanced with many design spirals.

1. 緒 言

船体構造の設計は第 1 図に示すように大きく二つのステージに分けることができる。最初のステージは、客先要求性能を満たす仕様を検討する概念設計と基本設計から成る基本設計ステージである。概念設計は船体の長さや幅、深さなどの主要目から始まり、機関室や貨物倉配置、船体の強度を受け持つ主要部材の配置まで船の機能を決定づける設計を行う。基本設計はこの概念設計で決められた要目や配置を図面作成や強度計算、管理量集計を通して具現化するまでを含んでいる。概念設計は基本設計の結果だけでなく建造への影響までを考慮した設計を行う必要があり、高度の設計力が要求されている。第 2 のステージは基本設計に基づいて生産設計を行う詳細設計ステージである。ここでは船体部品形状や溶接脚長なども考慮した詳細な設計を行う。株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド（以下、IHIMU と呼ぶ）では、それぞれの設計ステージに適した設計システムを開発し、運用している。

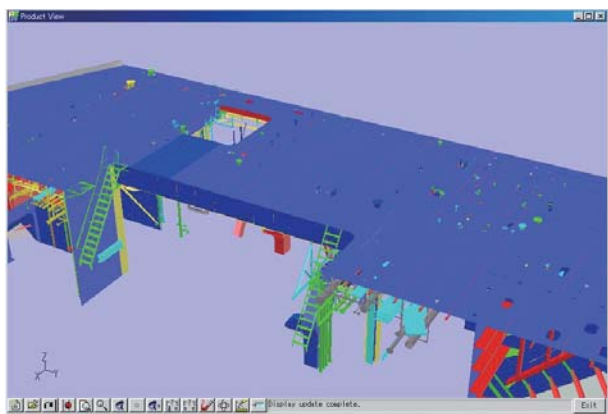
詳細設計ステージにおいては、プロダクトモデルを用いて IHIMU で開発した生産情報統合システム「あじさ

ステージ	設 計	業 務 内 容	シ ス テ ム
基本設計	概念設計	初 期 設 計 管理量見積り 強 度 検 討	船体構造初期 概念設計システム
	基本設計	機 能 設 計 (キープラン)	
詳細設計	詳細設計	生 産 設 計 (ヤードプラン)	生産情報 統合システム 「あじさい」
	生産設計	管 理 量 組 立 情 報 建 造 工 程	
	建 造	作 業 指 示 船 体 建 造 機 装	

(注) : 本稿で紹介するシステム

第 1 図 船体構造設計の設計フロー
 Fig. 1 Design flow of hull structural design

い」⁽¹⁾（第 2 図）を適用している。「あじさい」は、鋼材配置や部品形状などの詳細な情報を蓄積し、板厚分のオフセット量や開先情報などを自動生成して部品図を作成するなどの有効な機能を数多くもっている。このシステムを



第 2 図 生産情報統合システム「あじさい」によるモデル例
Fig. 2 Unified detail design system “AJISAI”

用いて最適な製造工程の選択や製品品質の向上を達成している。そのために、「あじさい」は膨大な量の高精度な情報を処理する能力をもっている。

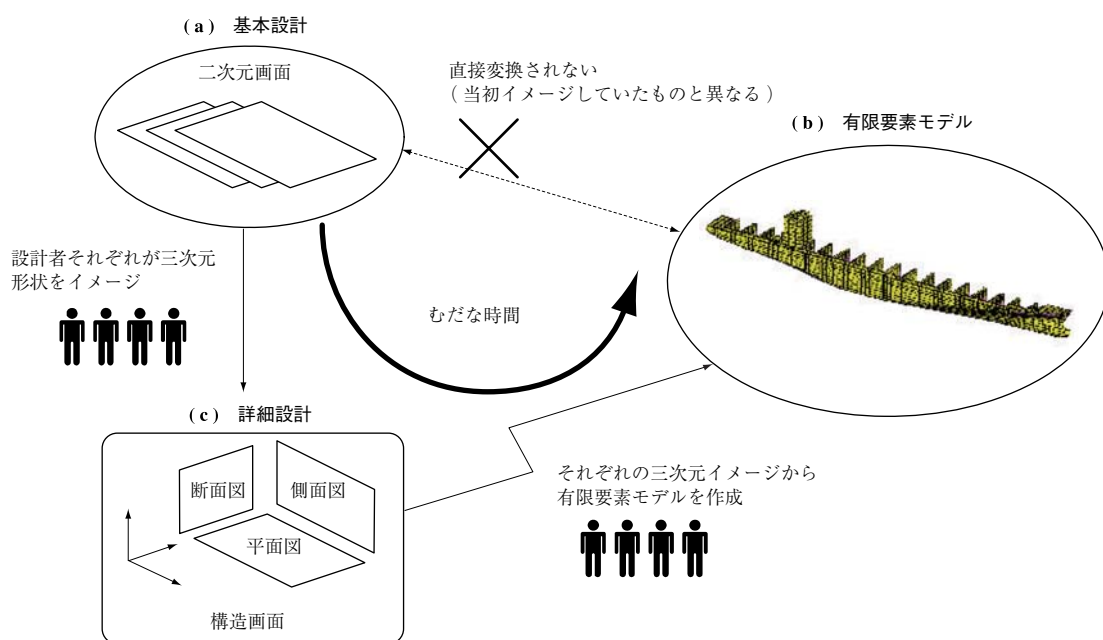
これに対して概念設計では、客先要求仕様を満足させながら、船体の長さや幅、深さなどの主要目と、これらに密接に関係する構造配置の両者を短時間でバランスよく決定しなければならない。そのため、設計変更と最適化を短時間で繰り返し実施する、デザインスパイラルといわれる設計手法が用いられている。加えて、初期設計段階において、管理量と呼ばれる船体構造重量や溶接長さ、塗装面積などは、建造コストを算出するために非常に重要であり、建造工場の設備による制限、安全などに配慮した構造配置やブロック分割が求められている。

IHIMU では、二つの異なるシステムであるマクロな検討をスピード重視で行う概念設計システムと、プロダクトモデルをベースに大量の情報量を高精度で処理する生産情報統合システムの役割を明確にし、使い分けを行うことで、すべての設計ステージにおいて高い効果を挙げている。概念設計システムは、製品開発の企画段階から製品ライフサイクル全般にわたって管理する PLM (Product Lifecycle Management) ソフトウェア技術を用いることによって、設計初期に作成した 3D モデルおよび部材情報を早期段階から下流のステージに事前情報として伝達できるようにし、そのフィードバックを得ることでフロントローディングの実現につなげている。

本稿では、基本設計ステージの前半部分をカバーし、特にその初期段階である概念設計を強化し、正確な管理量の算出を可能にする船体構造初期概念設計システムについて紹介する。

2. 従来の構造基本設計

これまでの設計は、まず二次元のラフな図面を作成し、設計担当者の頭の中で三次元構造をイメージしながら構造の配置検討を行い、構造図面を作成することが最初のステップであった。その後、有限要素モデルを作成し、強度および振動検討を行って構造配置や部材寸法が十分であったかを確認していた（第 3 図）。詳細設計は重複、後戻り作業を避けるため基本設計が終了してから作業を開始していた。



第 3 図 二次元ベースの設計システム
Fig. 3 2D based design system

多くの設計者が関与する構造設計において、このような設計プロセスでは、各人の頭の中での構造配置イメージを完全に一致させることは困難である。設計者間の誤解が重なり、議論がかみ合わないことや実物とは異なる有限要素モデルを作成してしまうなど、むだな作業が少なからず発生していた。また、管理量やコスト算定に時間を要することから、引き合い時点での正確な管理量の算出や、競合他社との受注競争でのコスト調整をタイムリーに行うことが難しく、ビジネスチャンスに大きく影響していた。

設計プロセスがシーケンシャルであるため、後工程からのフィードバックによって、基本設計終了後もしばしば設計変更が発生した。このため、強度計算やコストなどの再確認作業は、詳細設計が完了するまで続いていた。

3. 新概念設計システム

従来の基本設計プロセスの問題を解決し、より密度の高い設計を行っていくため、基本設計ステージにおいて、デザインスパイラルを高速で回すことができる設計システムの構築を目指した。開発の目標を次に示す。

- (1) 全船三次元 CAD モデルの作成期間をこれまでの 2 週間から 2 日程度に短縮
- (2) 全船有限要素モデルの作成期間をこれまでの 1 か月から 1 週間程度に短縮

CAD モデル作成から管理量算出、強度計算までのサイクルをこの程度の日数で回すことができなければ、厳しい競争のなかで受注を確保していくことは困難である。そこでスピードが最も重要な要素の一つであると位置づけた。

概念設計システムは、そのスピードと柔軟性といった性能を最大限引き出すため、市販の造船向けソフトウェアが一貫したシステムを目指そうとしているなかで、あえて詳細設計システムと切り離して運用するという決断を下した。

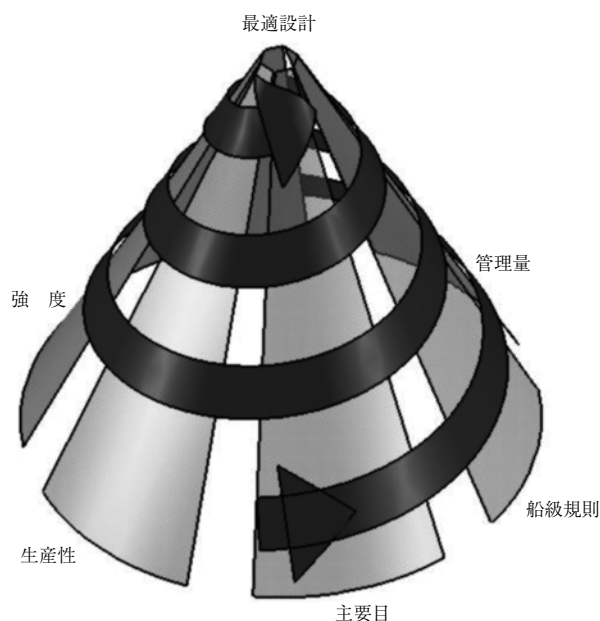
概念設計では、個々の詳細な部品形状などの情報は不要であり、船体形状や構造配置などのマクロな検討を行う。船体構造はマクロな視点から見れば板の組合せである。モデリング時間の短縮というねらいからも、ソリッドモデルではなくサーフェスモデルを採用した。構造配置検討や全船構造解析など機能・強度面で必要とされる部材をモデル化し、板厚やスティフナのサイズなど必要最小限の情報を属性データとして各サーフェス部材にもたせた。この結果、構造配置検討用のモデルから構造解析用のモデルへ直接かつ自動的に変換することが可能となり、構造解析用モデル

を CAD モデルとは別に、ほとんど一から作成していた手間がなくなる。また、入力した属性情報を集計して、迅速に管理量を算出することも可能となる。

さらに、ベースとなる CAD モデルが三次元であるため、客先や他部署の設計者にも構造配置の理解が容易であり、設計レビューなどでより多くの意見・提案が得られるようになる。また高速なモデリングによって、これらのコメントを迅速に反映させることができ、この繰り返しによって質の高い設計が可能になる。第 4 図に高速デザインスパイラルによる概念設計を示す。図に示すように、高度に各々の設計要件がバランスしたデザインへ高速に収束していくことになる。

概念設計システムのベースソフトウェアには、次の点を考慮して汎用三次元 CAD の CATIA V5 を採用した。

- (1) CATIA V5 には強力なサーフェスモデリングの機能が用意されており、船体構造のモデルを作成するうえでは非常に有効である。
- (2) モデルの中にパラメータや設計意図をもたせることができる。このため、容易に更新、再利用を行うことができ、設計変更に対応できる。
- (3) 自動メッシュ分割機能によって、有限要素モデルを直接かつ簡単に作成、編集できる。
- (4) デジタルモックアップ機能を使用して容易に三次元形状を利用したレビューが行える。また CATIA が導入されていない PC 環境でも三次元形状が閲覧可



第 4 図 高速デザインスパイラルによる概念設計
Fig. 4 Basic design spiral driven by rapid design system

能なXVL (eXtensible Virtual world description Language) 形式へのデータ変換も容易に行える。

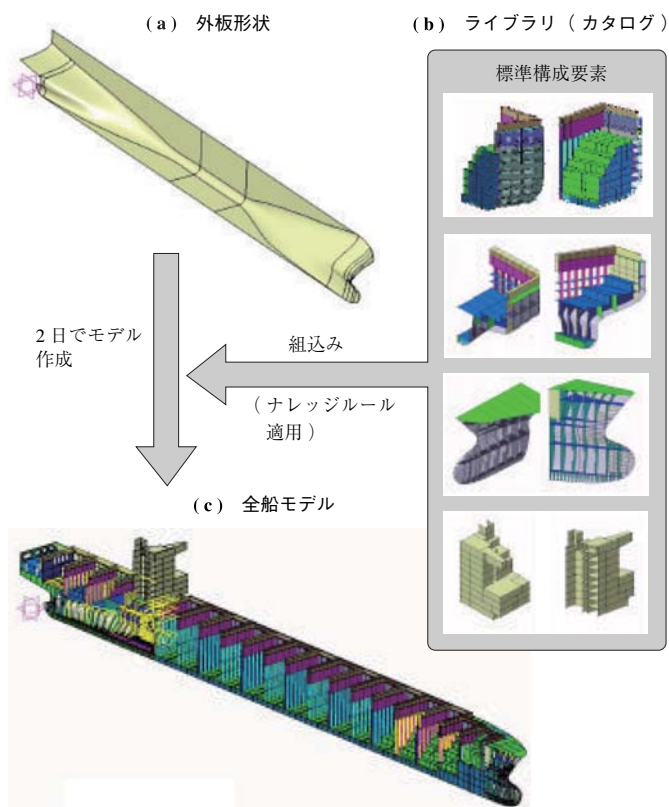
- (5) 高い信頼性とトップシェアを占めている。また、市販ソフトウェアをカスタマイズして使用することによって、システムの管理、維持費用を大幅に抑えることができる。

4. 構造概念設計システムの特長

4.1 簡単なモデル作成

コンテナ船やタンカー、バルクキャリアのような船種ごと、船尾区画や機関室、ホールド部などの区画ごとに標準的なモデルデータをカタログとして用意しておくことで、モデリングを容易に行うことができる。第5図にコンテナ船のカタログから全船CADモデルを作成する例を示す。

カタログ化された区画を外板のモデルにはめ込むことで、外板形状に合わせた構造配置が作成できる。たとえば、コンテナ船の場合には、ひな壇と呼ばれるコンテナフラットの配置を外板形状に合わせて変化させ、ホールド部のモデルを作成する。この結果、従来は2週間掛かっていた全船三次元モデルの作成時間を2日間に短縮することができた。カタログには、あらかじめ板厚などの部材情報をもたせて



第5図 カatalogモデルによるモデル作成
Fig. 5 Copied, pasted and re-used based modeling

いるため、新たに属性を入れ直す必要はない。第6図に部材情報の入力インタフェースを示す。

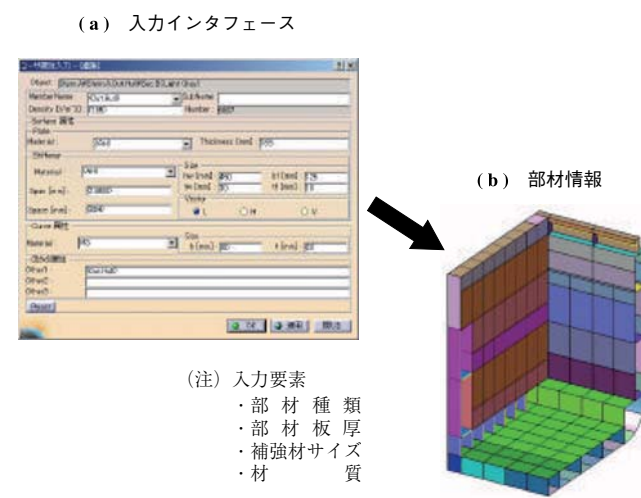
なお、外板モデルは IHIMU で開発した性能計算システムから取り込んだ船体形状データを基に作成する。また、市販ソフトウェアから IGES と呼ばれるデータ形式で外板形状を取り込むことも可能である。

4.2 三次元モデルによる設計検討

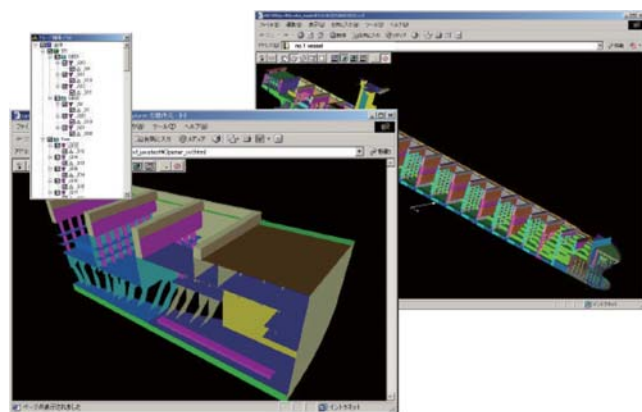
本システムでは、構造の連続性や部材間の干渉、不整合のチェックなどの構造配置検討を、実際に三次元形状を見ながら行うことができる。従来は、船体構造に精通したベテランの設計者が二次元の図面を見ながら、頭の中で行っていた作業である。また、インターネットを介して設計情報である三次元モデルを共有することで、空間的な制約を受けることなくさまざまな部署の技術者から、より多面的な意見やアイデアを得ることが可能となる。第7図にXML (eXtensible Markup Language) ベースの超軽量フォーマットである XVL の技術を用いて作成された無償ビューワを示す。三次元モデルを素速く簡単に共有することができる。

さらに、IHIMU はこの XVL ビューワの機能を拡張し、独自のビューワを開発した。このビューワはモデルの各サーフェスにもたせている各部材の属性値を表示させる機能を追加したものである。この機能を用いて、基本設計とCATIA をもたない詳細設計の技術者間で手軽に部材情報を含む船体構造全体のレビューを行うことができる。

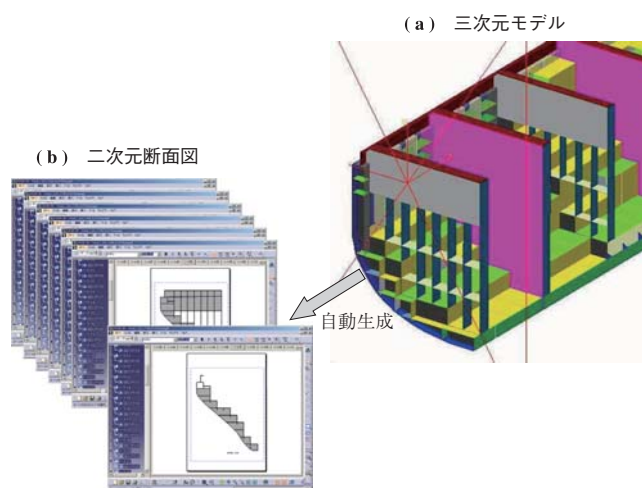
第8図に、選択した部材の属性値を XVL ビューワ上に表示させている様子を示す。もちろん、従来の設計手法で用いられていた二次元図面を自動で出力することもできる



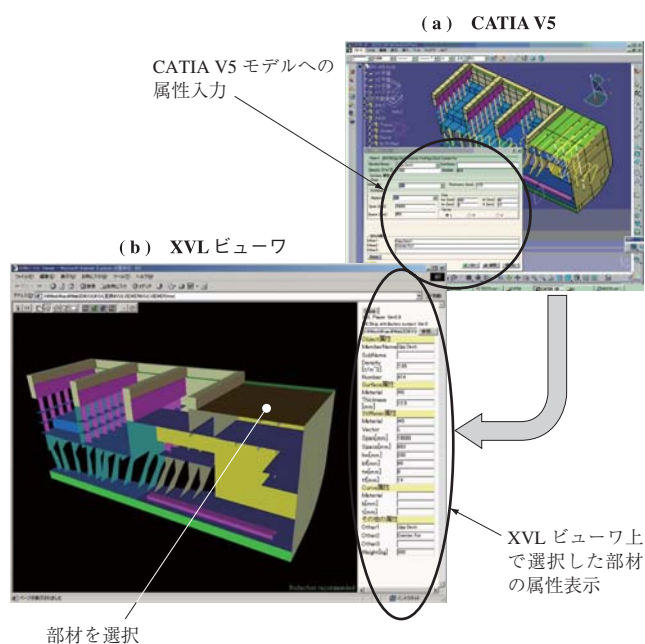
第6図 部材情報の入力インタフェース
Fig. 6 Material information input



第 7 図 XVL 技術を用いた簡単ビューイング
Fig. 7 Easy viewing by XVL



第 9 図 断面自動作画
Fig. 9 2D drawing generation

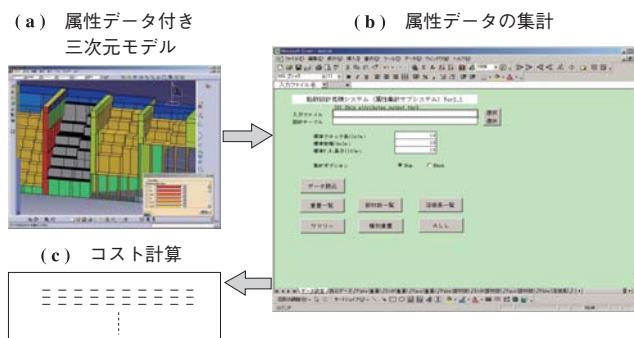


第 8 図 XVL ビューワ上での属性確認
Fig. 8 Checking attribution data on XVL viewer

(第 9 図) ので、船級協会と断面図を使った情報のやり取りや、板厚など設計情報の確認も可能である。

4.3 迅速かつ正確なコスト見積り

受注確保のため、コスト見積りの精度は非常に重要である。概念設計システムでは、三次元モデルがもつ構造形状情報や板厚、スティフナのサイズなどの設計情報を用いて鋼材重量、部材数、溶接長さ、塗装面積などを精度よく推定し、モデル作成と同時に製造コストが把握できるようにした(第 10 図)。これによって契約時だけでなく、設計進ちょくでの管理量が把握でき、コストパフォーマンスを意識した設計が行える。板材やスティフナなどの種類別に重量を集計することが可能となり、より精密なコスト算出ができる。また、船尾部や機関室などの区画の重量重心や搭



第 10 図 管理量の出力
Fig. 10 BOM output

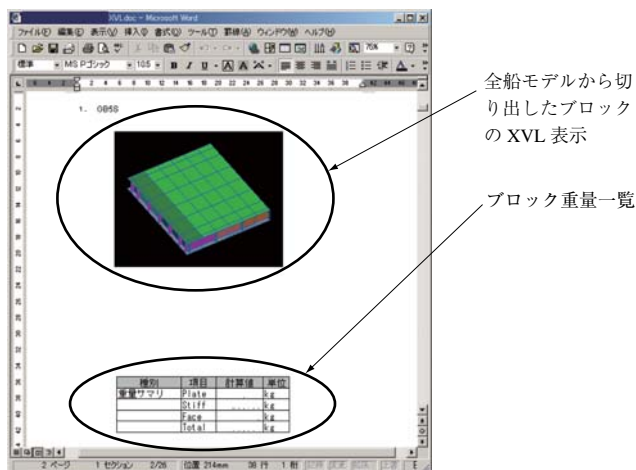
載ブロック単位での重量重心、溶接長さの算出など限定された範囲での算出も可能である。

前節で述べた XVL による三次元レビュー機能と組み合わせ、建造計画に活用することができる。第 11 図にブロック分割検討例を示す。コンテナ船の二重底ブロックの XVL 表示とブロック重量が示されており、従来の数値の羅列だけの資料と比較して分かりやすくなっている。

4.4 有限要素モデルへの自動変換

CATIA V5 上で全船メッシュ分割を行い、有限要素モデルを生成する機能を開発した(第 12 図)。必要に応じて、部材種類ごとにメッシュサイズを設定することも可能である。生成された有限要素データには、形状定義データのほかに板厚やスティフナなどの属性情報が自動的に変換される機能も含まれている。

これまで全船の有限要素解析モデルは、準備に 1 か月以上も要していたため、全区画の構造図面が作成される基本設計での強度確認のために用いられていた。しかし、現在



(注) 1. 建造計画検討用資料
2. ブロック形状と重量一覧 (Excel)

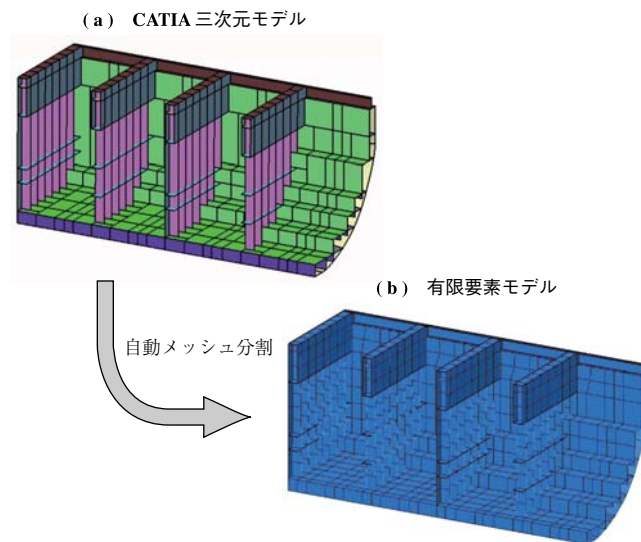
第 11 図 ブロック分割検討例
Fig. 11 Example of block generation study

は 1 週間程度で作成が可能となったため、設計初期の設計変更が容易な概念設計段階での強度解析に適用し、強度上最適な部材配置や形状を検討することに役立っている。

5. 結 言

初期設計段階において、船体形状や構造配置から強度評価までが行えるシステムの開発に取り組んだ。三次元 CAD の技術を用いることで、1 週間程度と驚くほど短期間でモデルを作成し、配置検討、重量計算、工作検討、強度検討を含めたデザインスパイラルを高速で回すことが実現可能となった。

2004 年 2 月から新設計の大型コンテナ船に本格適用を開始し、高速デザインスパイラルによる基本設計の最適設計を行った。加えて、基本設計段階でデータを共有し、三次元での可視化効果による下流からのフィードバックを多



第 12 図 有限要素モデルへの変換
Fig. 12 One click FEM modeling

く取り込んだ。この結果、横強度計算や承認図作成を含めて、詳細設計や建造段階でも高い効果を挙げている。

本システムによって、IHIMU の製品の高性能、高信頼性、低コストが達成されている。

— 謝 辞 —

本システムの実現に当たっては、ダッソー・システムズ株式会社の Nikos Calfacacos 氏、吉田圭志氏に多大な協力をいただきました。ここに記し、深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 上杉典敬, 秦 憲雄, 比翼謙太郎: プロダクトモデルを利用した造船の生産性向上の取組み 石川島播磨技報 第 41 巻第 3 号 2001 年 5 月 pp.132-137