PrimeShip-HULL 直接強度評価システム（ダブルハルタンカー版）の開発

情報技術部　小林 敬幸、鈴木 竜浩、米家 卓也
船体部　佐々木 吉通

1. はじめに

本会は、2001 年 11 月に公表された「タンカーの構造強度に関するガイドライン」[1] に含まれる「直接強度計算ガイドライン」に対応した計算システムとして、PrimeShip-HULL 直接強度評価システムを開発した。この論文では、この新しい直接強度計算システムの概要とガイドラインに規定する計算手法を実現するための各種機能を紹介する。最後に、造船 CAD システムで作成された船体データを FEM モデルに変換するインターフェースも開発しており、この概要についても述べるものである。

「タンカーの構造強度に関するガイドライン」は本会の技術研究所が中心となって実施してきた安全設計のための船体構造評価手法開発プロジェクト（RuleC100 プロジェクト）によりまとめられた実用的で、かつ、透明性の高い NK の新しい船体構造基準である。これには、①直接強度計算ガイドライン、②疲労強度評価ガイドライン、③縦曲げ最終強度ガイドラインの 3 つのガイドラインがある。

今回のガイドラインに採用されている直接強度計算の要件は、図面どおりの Gross 寸法でなく腐食予備厚を控除した Net 寸法で解析を実施しなければならないこと、これまでは 1 つの積付に対し山と谷の 2 ケースで済んでいた波浪荷重ケースが、設計波浪として 4 つの波浪を考慮するので、最大で 12 ケースの計算を実施する必要があるなど、従来の規定に比べると設計者にとってはかなり複雑な規定になっている。このためガイドラインの採用による設計工数の増大を防止し、設計の効率的を目指してガイドラインの要件に沿った解析を実行し強度評価を行う計算システムを開発し、設計者に提供していく必要があることが確認されていた。また、他の船級協会も自社の要件を自動計算するツールを設計者向けに開発し配布していることから、本会においても造船所の船殻設計者を対象とした外部向けの計算システムを開発し提供していくこととなった。

本システムは汎用のプリポストプロセッサ、MSC.Patran をプラットフォームに使用し、ナビゲーション機能と対話機能を有機的に組み合わせたメニューを採用しているので操作手順が明確にユーザーに示され、CAE の初心者でも容易にガイドラインが要求する船体構造強度評価を行うことが出来るようになっている。

なお、2001 年 11 月に公表されたタンカー用のガイドラインに加えて、2002 年 8 月には「ばら積貨物船の直接強度計算ガイドライン」[3] も公表されているが、この論文はタンカー版のガイドラインに基づくものである。

2. PrimeShip-HULL サービス

ここに紹介する直接強度評価システムは、本会が新に提案している「PrimeShip-HULL」サービスの一部を構成する重要な計算ツールであるので、PrimeShip-HULL サービスの概要を述べる。

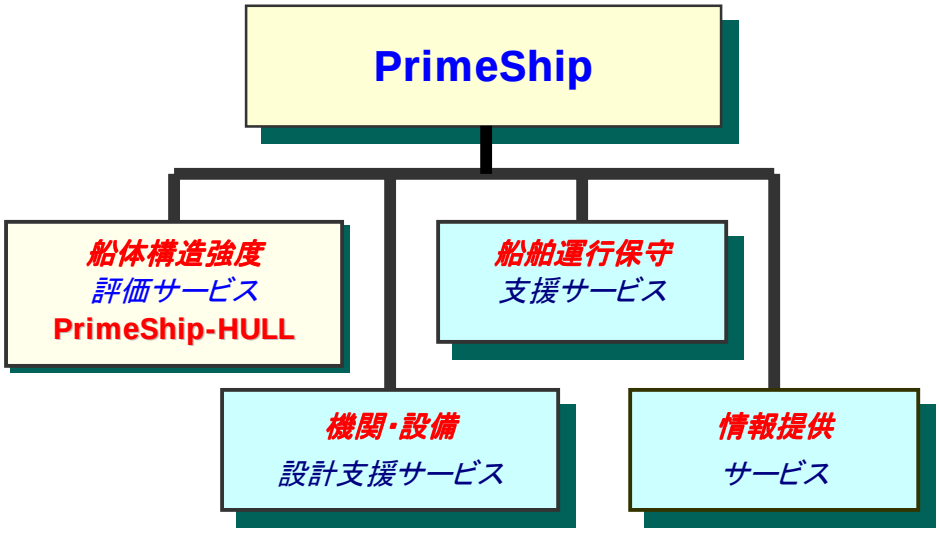

図 1　**PrimeShip**

PrimeShip は本会が提供する技術サービスの総合ブランド名称であり、その基本コンセプトは「船の一生に渡るトータルシップケア」である。PrimeShip の傘下には図 1 に見るような 4 つの大きなサービスがあり、PrimeShip-HULL は船体構造の設計評価を行う技術サービスである。

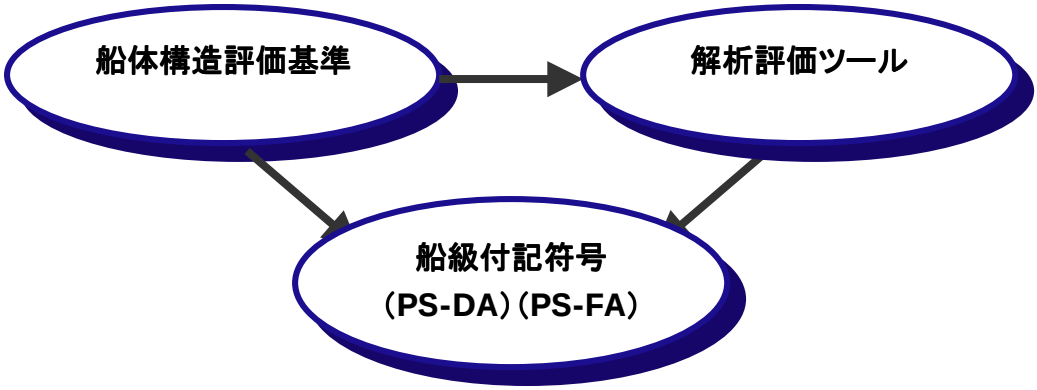

図 2　船体構造強度評価サービス：PrimeShip-HULL

PrimeShip-HULL サービスの概念図を図 2 に示す。PrimeShip-HULL サービスは、最新の技術と知見を反映した実用的で透明性の高い船体構造強度基準（ガイドライン）の基づいて、船体構造の強度評価を行う技術サービスである。そして、PrimeShip-HULL サービスにより船体の構造安全性が評価された船舶には、今回新に用意した船級付記符号が付与される。付与される符号は採用した設計手法によって（PS-DA）と（PS-FA）の 2 種類がある。PS-DA とは、PrimeShip - Direct Assessment の略であり直接強度計算に関する

ガイドラインに従って主要構造部材の降伏強度と座屈強度が評価された船舶に付与され、また、PS-FA（PrimeShip - Fatigue Assessment）は、新基準に基づいて縦通肋骨と大骨交差部の疲労強度を評価した船舶に付記するものである。これらの付記符号は単独でも、あるいは、双方組合わせ付与することが可能である。

3. 開発コンセプト

新しい直接強度計算システムは、ターゲットユーザーを造船所の船殻設計者としていることから、開発に先立ちこれらの方々に対して船級協会が提供するシステムはどのような機能を備えるべきかアンケートを実施した。その結果、次のような要望がることがわかった。

1) システム専用のモデル作成機能を有するより、自社開発の CAE システムで作成したホールドモデルを使用できるようにしてほしい。
2) 要求される設計荷重や境界条件は、自動的にモデルに設定できるようにする
3) 規定に基づいた降伏強度評価及び座屈強度評価が簡単にできる。
4) 規定された設計荷重による計算だけでなく、汎用機能も充実してほしい。
5) 新システムに対する習熟期間は、なるべく短縮したい。

これらの要望を確実に、かつ、本会としても開発費が大きく膨れないように取り入れるため、NASTASS のようにすべてをインハウスで開発するのでなく［3］、市販のプリポストプロセッサをカスタマイズしてシステムを構築していくこととした。このプリポストプロセッサとしては、アンケートの結果、多くの造船所が保有している MSC.Patran を採用することとした。

このようにして新しいシステムは、MSC.Patran をカスタマイズして次のような機能を実現するように開発していくこととした。

１） 造船所が作成した FEM モデルを読み込む。
２） ガイドラインが要求する腐食控除量や設計荷重などを自動的に負荷して解析する。
３） 解析結果に対し、ガイドラインの基準に基づいて強度評価を行う。
４） 評価結果などをレポートとして出力する。

次章以降に上記の要求を実現するために設けた各種機能を紹介する。

4. 機能説明

4.1 ナビゲーション機能

本システムの大きな特徴の一つにナビゲーション機能の採用がある。FEM 解析用のプリポストプロセッサには多くのメニューがありユーザーはこれらのメニューを順番良く、かつ、有機的に使用して解析作業を進めていくこととなる。しかしながら、初心者あるいは解析作業を頻繁に行っていないユーザーにとっては、メニューが多くあるので、どのメニューから入っていくのか、次はどのメニューを実行すべきかがわからないことがある。そ

こで本システムでは具体的な解析手順が次から次へと示されるようにナビゲーション機能を採用した。図 3 に本システムの全体画面を示す。画面左上の Window に解析ステップが表示され、その下の Window にそのステップで必要な入力項目が示されるていく。

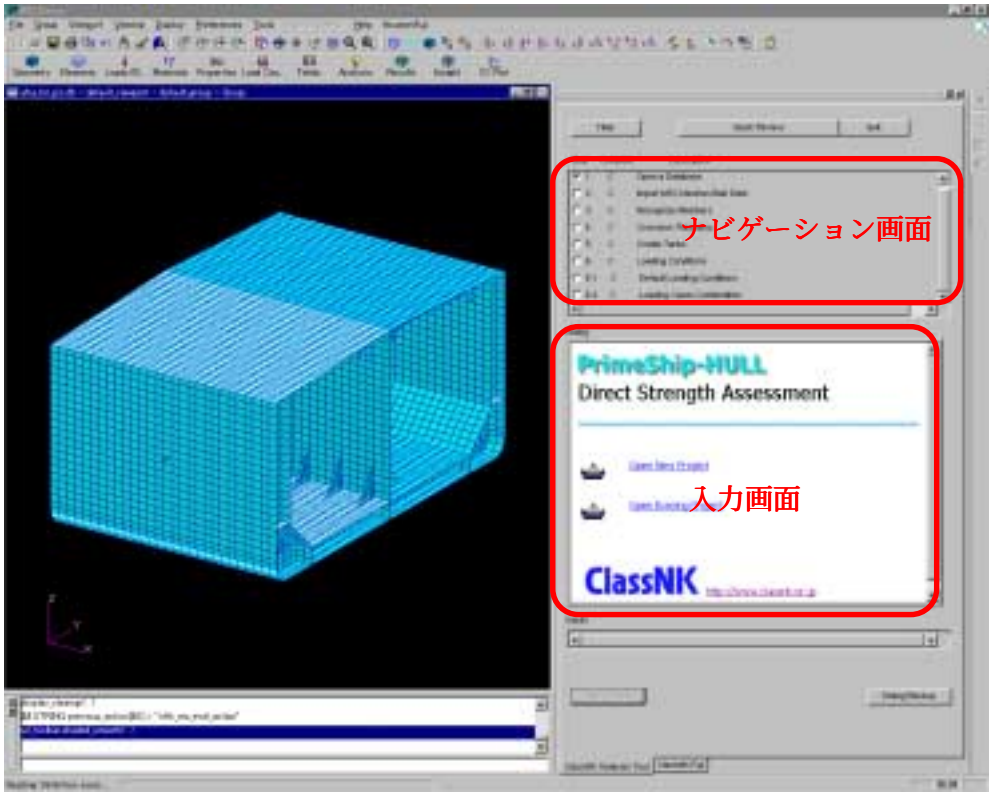

図 3　全体画面

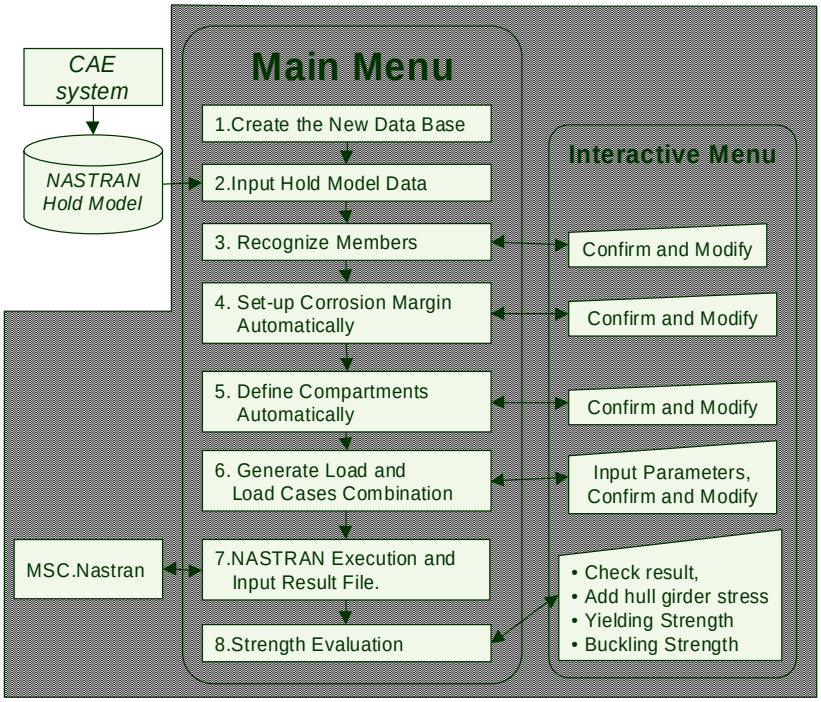

図 4　システム全体流れ図

図 2 に本システムのステップを示す。各ステップの入力画面だけではカバーできない会話形式の入力のためインターラクティブメニューも用意されている。このメニューで個船ごとに異なる積付の設定や設定状態の確認と修正など、会話形式の操作を行っていく。

4.2 部材と区画の自動認識

設計荷重を自動的に FE モデルに負荷したり、部材ごとに異なる腐食予備厚を自動的に控除するには、各構造部材はどの要素で構成されているかを特定しておく必要がある。従来のシステムでは、モデル作成の際に要素番号の振付け方を決めるなどで特定していたが、本システムではなるべくモデル作成を自由に行っていただきたいとの思想から、図 5 に示すパラメータを入力するだけで読み込んだ FE モデルを自動的に部材を分類する機能を設けた。図 6 に部材分類結果を示す。

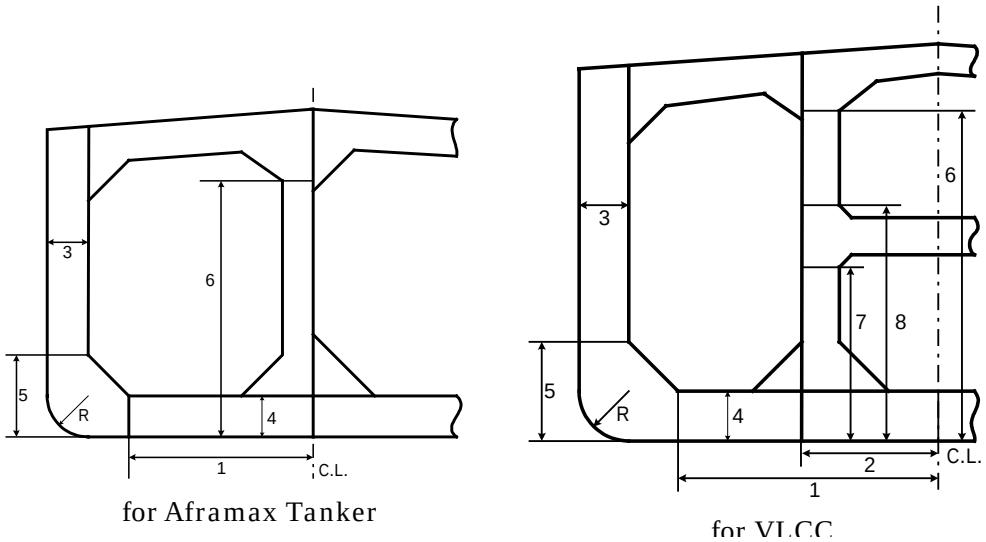

図 5　部材自動分類のためのパラメータ

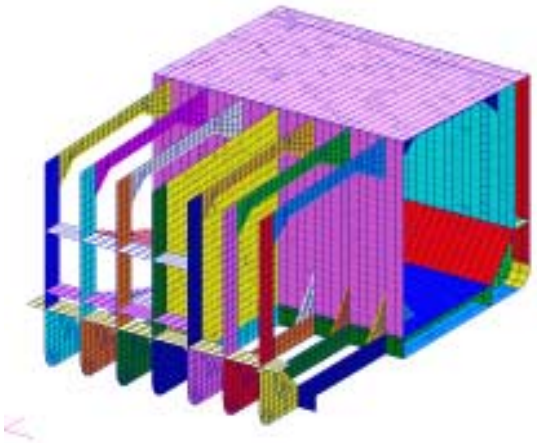

図 6　構造部材の自動分類

部材分類が行われると、隔壁などの水密部材を特定し、船側外板などの水密部材と組み合わせることで区画が定義される。図 7 にアフラマックスタンカーと VLCC の区画定義例を示す。このように区画が定義されれば、積付状態や設計荷重の自動設定が可能となる。

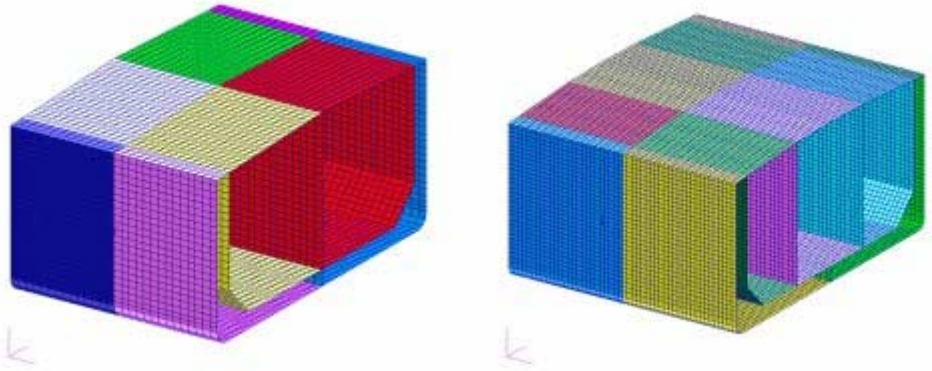

図 7　区画分類

4.3 腐食予備厚の控除

今回のガイドラインでは強度解析及び強度評価は、図面寸法から所定の腐食予備厚を引いて行うこととなっている。システムにはすでに所定の腐食予備厚が設定されているので、モデルに入力されている板厚が図面寸法のままであっても、部材認識が終了すればワンクリックで腐食予備厚を控除することができ、さらに、インターラクティブメニューにて控除量を確認・修正することができる。もちろん、腐食予備厚を控除済みのモデルの場合には、本ステップをスキップすることも可能である。図 8 に腐食予備厚分布を示す。

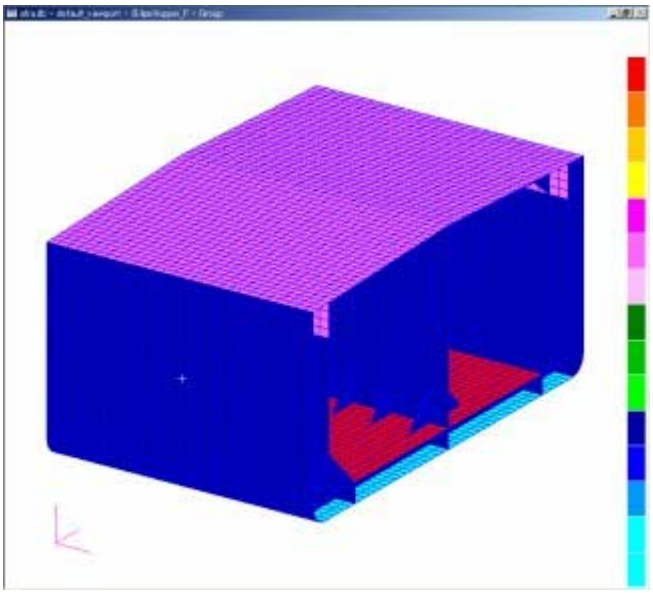

図 8　腐食予備厚分布

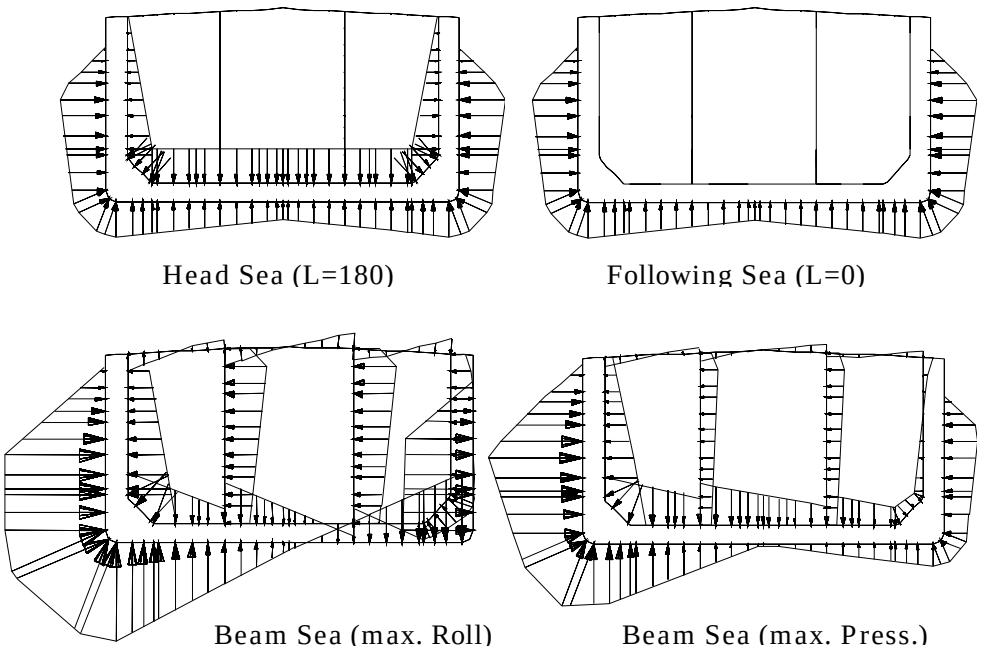

図 9　設計荷重（変動成分）

4.4 設計荷重

ガイドラインが要求する設計荷重は、次の 4 つの波を考慮して定められる。

1）向かい波（L-180）

2）追い波（L-0）

3）ロールが最大となる横波（R）

4）船側での変動圧が最大となる横波（P）

これら 4 波浪による変動圧分布を図９に示す。現行の規定と比較して特徴的なのは、横波を考慮したことと、タンク内圧の変動を考慮した点にある。特に、横波を考慮するようになったことで荷重が左右非対称となり、本システムでは両玄モデルを扱うようにしている。なお、生成する荷重は、降伏及び座屈強度評価で計算ケースの中から最大の応力を検索するため、静的荷重と組み合わせて負荷している。

また、実際に生成する計算ケースについては、図 10 に示す荷重組み合わせ表で指定できるようになっており、効率的な計算実施が可能となっている。

Sea Condition	Loading Condition				
	Full	Alt.1	Alt.2	Bal.1	Bal.2
L180/C	□	□	□	□	□
L180/T	□	□	□	□	□
L0/C	□	□	□	□	□
L0/T	□	□	□	□	□
BR/P/C	□	□	□	□	□
BR/P/T	□	□	□	□	□
BR/S/C	□	□	□	□	□
BR/S/T	□	□	□	□	□
BP/P/C	□	□	□	□	□
BP/P/T	□	□	□	□	□
BP/S/C	□	□	□	□	□
BP/S/T	□	□	□	□	□
Static	□	□	□	□	□
Tank Test	□				

C: Wave crest, T: Wave trough, P: Port, S: Starboard
BR: Beam Sea (max. Roll), BP: Beam Sea (max. Pressure)

図 10　積付と波浪荷重の組合わせ設定

4.5 境界条件

デフォルトの境界条件を次に示す。

1）前端断面及び後端断面：前後対象条件

2）横隔壁：上下及び左右方向を図 11 に示すように拘束。

横隔壁における拘束条件はホールドモデルと全船モデルとの解析結果の比較から求めた結果であり、それらの詳細については本会会誌の論文を参照されたい［4］。

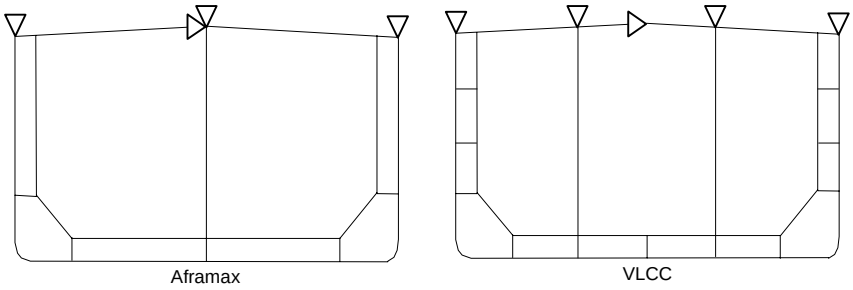

図 11　横隔壁における境界条件

4.6 強度評価

設計荷重などの設定が終了したら、MSC.Nastran による構造解析を実施する。図 12 に解析結果の例を示す。これは、ロール最大の横波を紙面手前からうけ、船体は紙面手前が下がった状態を示す。積付は Partial Loading である。

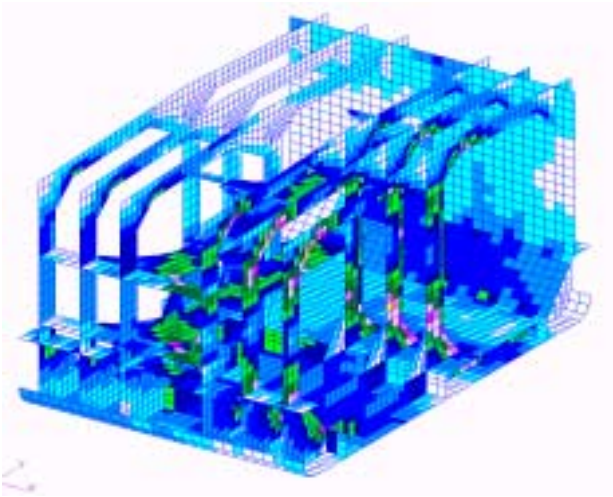

図 12　解析結果例

図 13-1 に降伏強度の評価結果を示す。降伏強度は要素毎に評価される。この強度評価は計算ケースごとに行われるのでなく、すべての計算ケースの中から各要素ごとにもっともシビアとなるケースを検索して実施される。緑は参照応力が許容値以下、黄色は許容値ぎりぎりだがクリアしているのも、赤の要素は最大応力が許容値を上回っているのもである。

図 13－2 には、座屈強度の評価結果を示す。座屈は防撓材及び他の主要構造部材で囲まれたパネルごとに行われる。ガイドラインが規定する相関関係式から当該パネルの座屈応力（σ_B）を求め、それをパネルの参照応力（σ_{ref}）と比較する。その比が規定値以上なら十分な座屈強度があると判断される。すなわち、

$$\frac{\sigma_B}{\sigma_{ref}} = \lambda$$

において、λが 1.1（水圧試験状態では 1.0）で合格となる。

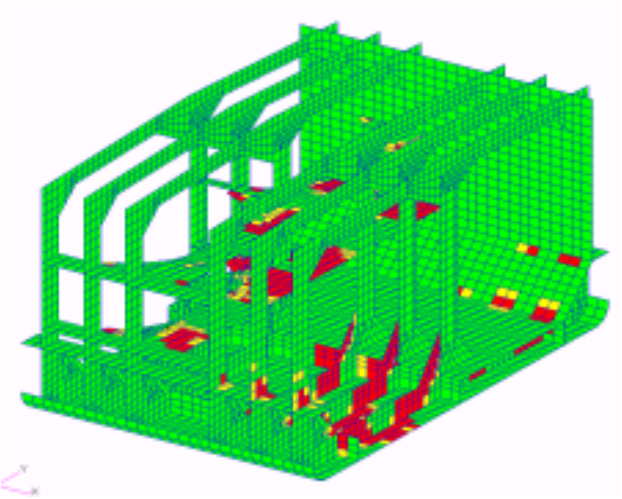

図 13－1　降伏強度評価

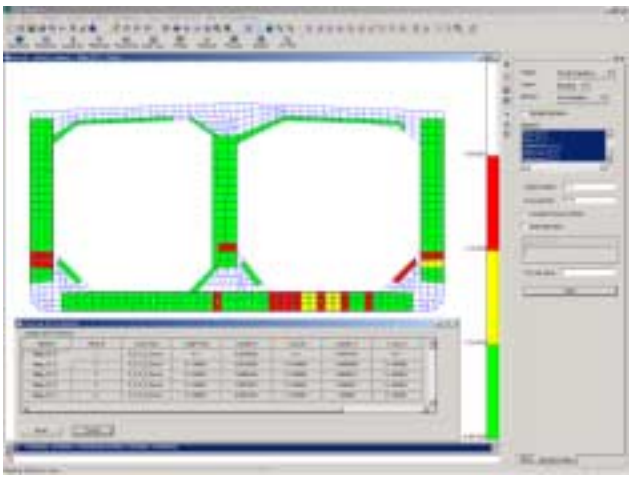

図 13－2　座屈強度評価

図 13－1 においても、緑は合格で、赤が不合格を示している。
座屈強度が不合格の場合、補強方法は単に増厚させるだけでなく、防撓材（パネルブレーカー）を追加する場合もある。画面の下の Window は各種の補強方法に対して判定値をクリアするための所要板厚が示されており、設計者はこれを参照して補強方法を選択できる。

5. システム所要環境など

PrimeShip-HULL 直接強度評価システムは、基本的に MSC.Patran2001r2 が必要である。MSC.Patran2001r2 が必要とするハードウェア環境を以下に示す。

表 1　PrimeShip-HULL 評価システムの所要環境

プラットフォーム	MSC.Patran2001r2
ソルバー	MSC.Nastran v70 以降
基本 OS	Windows NT4.0（SP6）、Windows 2000
CPU	PentiumIII（600MHz）以上
メモリ	256MB 以上
ディスプレィ	1280×1024 ドット以上の解像度
その他	３ボタンマウス

現在、試用版が適用可能であり、詳細は本会情報技術部技術システム部門に問い合わされたい。なお、正式版は来年 3 月頃に提供できる予定である。

6. CAD との連携

近年、初期設計の造船 CAD システムが多数開発され、そのうちのいくつか CAD では、船級協会のルール計算システムとインターフェースが開発されている。本会も、造船 CAD メーカーの Tribon Solutions 社と共同で本解析システムと Tribon Basic Design（TBD）とのインターフェース開発を行っている。

このインターフェースの概要を図 13 に示す。このインターフェースは 2 つのプログラム

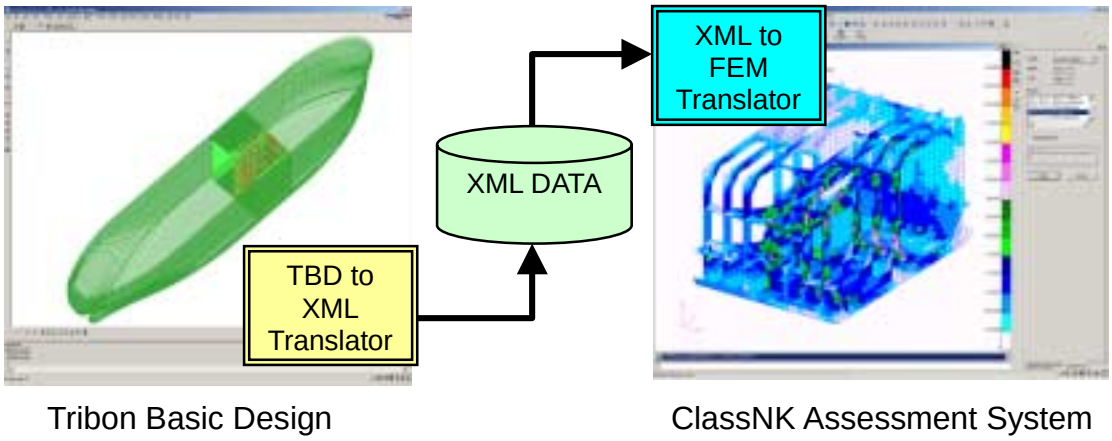

図 14　PrimeShip-HULL / Tribon インターフェース概念図

から成り立っている。1 つは TBD データを FEM で扱いやすいように細部を変更して XML フォーマットのファイルに出力し、もう一つは、出力された XML ファイルを読み込み MSC.Patran を用いてホールドモデルを作成するプログラムである。本会はこのうち後者（XML ファイルを読んで MSC.Patran に FE モデルを作成する）のプログラム開発を行っている。

変換は Tribon Panel ごとに行われる。Tribon パネルには板はもちろん防撓材、開口、面材、フランジなどで構成されている。Tribon Basic Design データの特徴的なことは、Panel の幾何形状にすでに交差する別 Panel の板厚などの情報が入っているところである。これを形状的には板厚のないシェル要素を用いる FE モデルにそのまま変換すると、パネルの交差部で板厚分のギャップでができ、FE モデルとしては要素が結合していない不完全なモデルになってしまう。そこで、Tribon 側で形状での板厚を無視し、板や防撓材をモールドラインまで延長して出力するようにした。

その結果、船体中央部構造の変換に成功した。図 14 に変換されたモデルと、その解析結果例を示す。

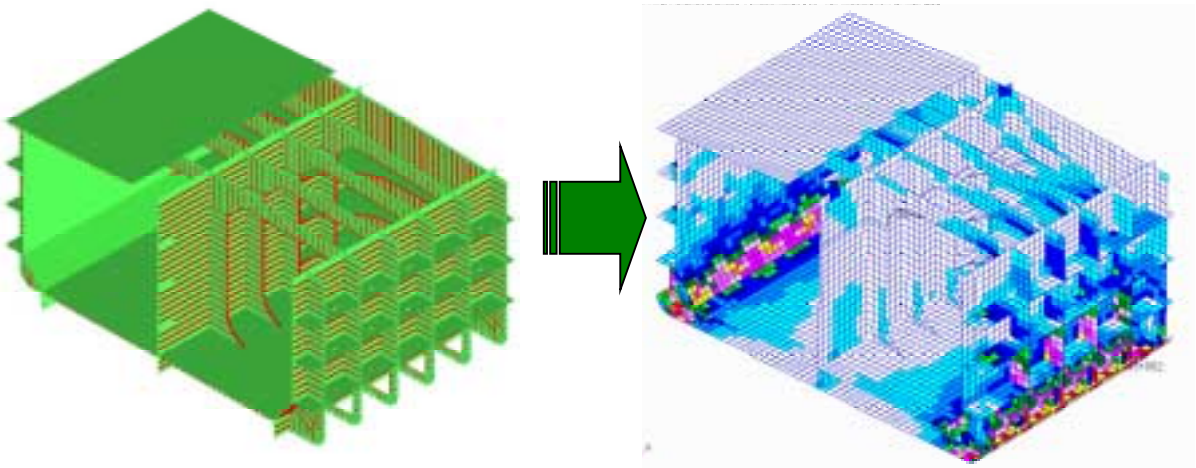

図 15　Tribon データからの変換例と解析結果

7. 終わりに

本会が今回新に公表した構造強度に関するガイドラインは、実用性と透明性で高品質な船体設計を可能にしているが、現行規則による直接計算よりは解析すべきケースが多く、また、設計荷重も複雑になっている。しかしながら、新に開発した直接強度評価システムに備えられている部材・区画認識機能、荷重自動計算機能、降伏・座屈評価機能を活用することによって、新しいガイドラインに従った直接計算が短時間で可能であり、設計評価時間をこれまでと同等かそれ以下に減らすことが出来ると考えている。さらに、汎用のプリポストプロセッサとナビゲーション機能を採用しているので、習熟期間を短縮し全体的な設計工数の削減に寄与できると考えている。

ガイドラインには主要部材交差部の疲労強度評価ガイドラインも含まれているが、この機能はレポート作成機能と共に現在開発中であり、2003 年央にはリリース予定である。

［参考文献］

［1］日本海事協会：「タンカーの構造強度に関するガイドライン」（2001 年 11 月）
［2］日本海事協会：「ばら積貨物船の構造強度に関するガイドライン」(2002 年 8 月)
［3］筒井 康治、他：「NK 汎用船体構造解析支援システム『NASTASS』について」、日本海事協会誌 No.232（1995 年）
［4］入沢真生、米家卓也：「ダブルハルタンカーの実用的構造解析手法の検討（その 1：横強度部材の評価）、日本海事協会誌 No.258（2002 年）
［5］Kobayashi, H., et al.: Development of a New Direct Strength Assessment System for Double Hull Tankers, 11th ICCAS (September 2002)

［問い合わせ先］

日本海事協会　研究センター　情報技術部（技術システム部門）
〒267-0056 千葉市緑区大野台 1-8-3
TEL:043-294-4977 FAX:043-294-6924
E-Mail: primeship-hull@classnk.or.jp