

海技研DLSAセミナー2024

NMRI-DLSAシステムの概要・適用及び 今後の展望 ～船殻設計から建造まで支援する～



構造・産業システム系 村上 睦尚

はじめに



第5期国土交通省基本計画において、
「船舶のライフサイクル全体での価値を高めるビジネスモデルへの転換を図るため、船舶をサイバー空間上に三次元で再現するデジタルツインを用いて、設計から竣工、その後の運航・メンテナンスも含めたライフサイクル全体を効率化する“DX造船所”の実現に取り組むとともに、自動運航船、ゼロエミッション船等の次世代船舶の技術研究開発支援等を進める」
ことが求められている。

構造強度の観点では、船舶の事故・損傷を防止し、かつ、省エネ化・省資源化を目指す社会ニーズに応じるため、安全性を保持しつつ余剰な強度を排除した合理的な船舶の設計・建造に資する技術開発が必要。

目標達成を目指し、第2期中長期計画では第1期以前の研究成果を活用して、**数値シミュレーション、ライフサイクルでのビッグデータ構築/利用にかかる研究開発**を行なう。

【本日の講演内容】

- ・全船荷重・構造一貫解析システムDLSAのこれまでの開発と適用
- ・第2期（今期）中長期（2023-29年度）の計画と展望

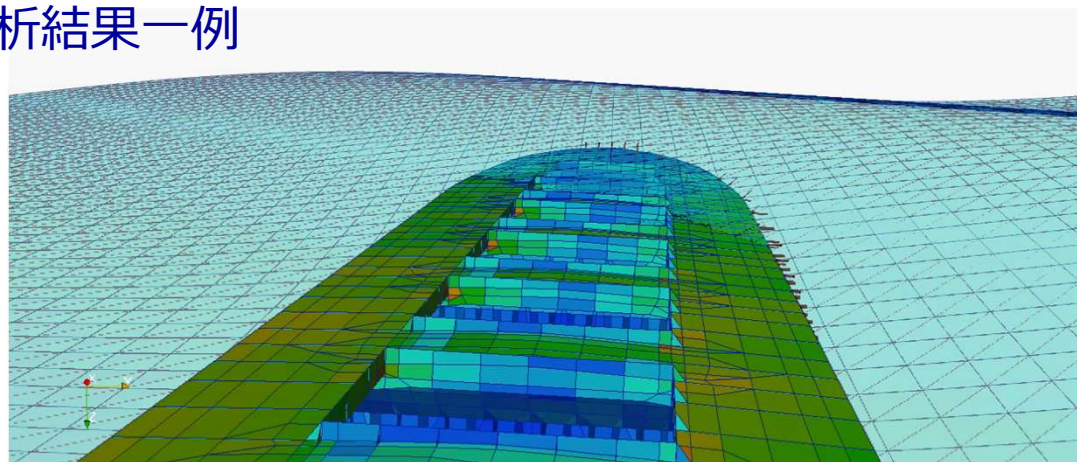
全船荷重・構造一貫解析システムNMRI-DLSAの これまでの開発と適用

- DLSA-Basic
- DLSA-Professional
- DLSA-Advanced Technology
- 船体構造デジタルツインへの適用

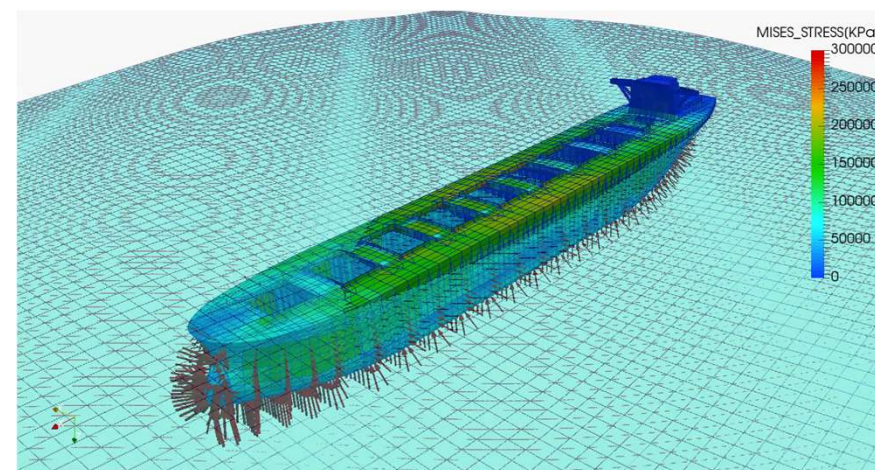
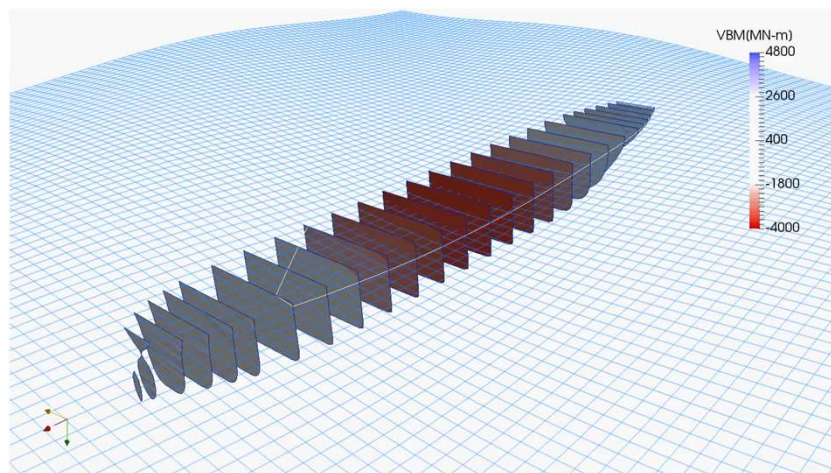
DLSA (Direct Load & Structure Analysis)システム



NMRI-DLSA 解析結果一例

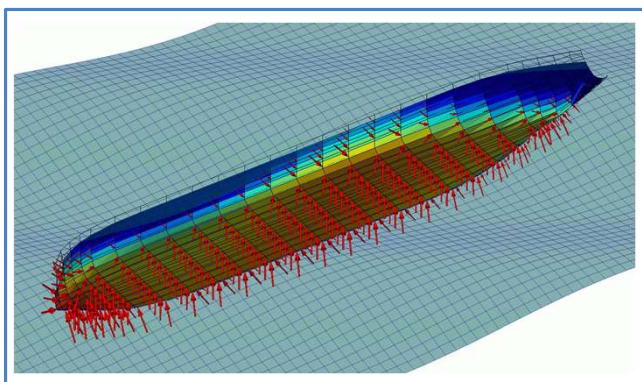


- 規則波 波向：斜め向波（135度）
- 波高：1.2m
- 船速：5.0ノット
- 積付：FULL（HOMO.）
- コンター出力：（左下）縦曲げモーメント 赤 = Sag.（右上、下）ミーゼス応力

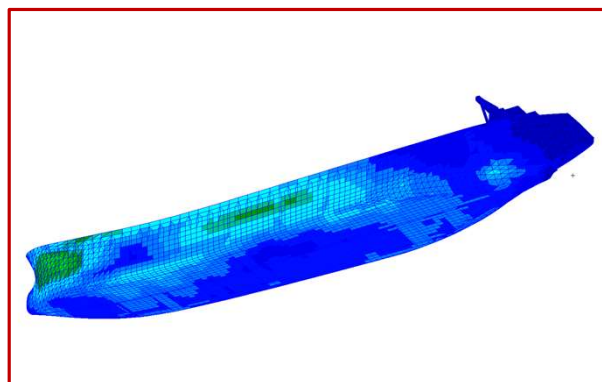


✓コンセプト： 数理に基づく**最先端の要素技術**を組み合わせた
統合的な**船体構造強度評価・設計支援システム**

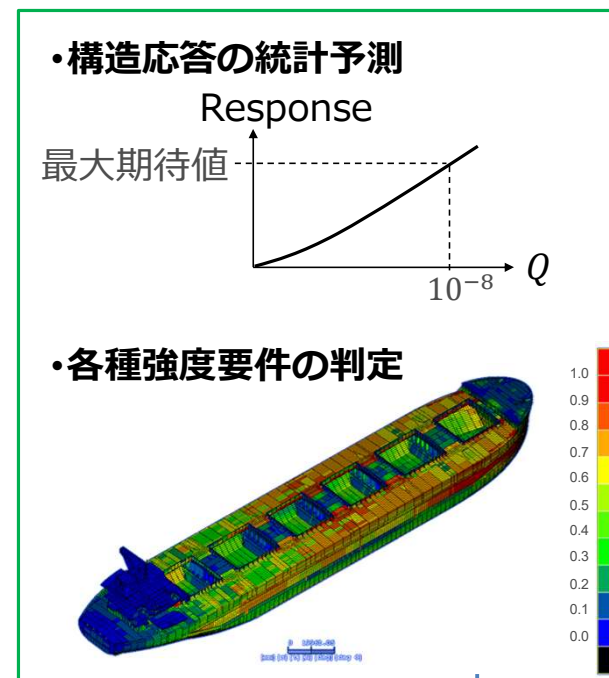
波浪荷重解析



構造解析



強度評価



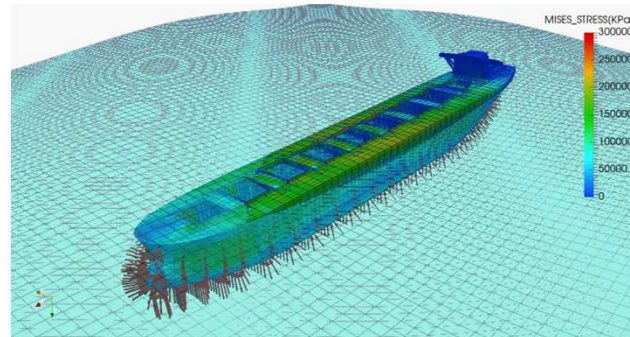
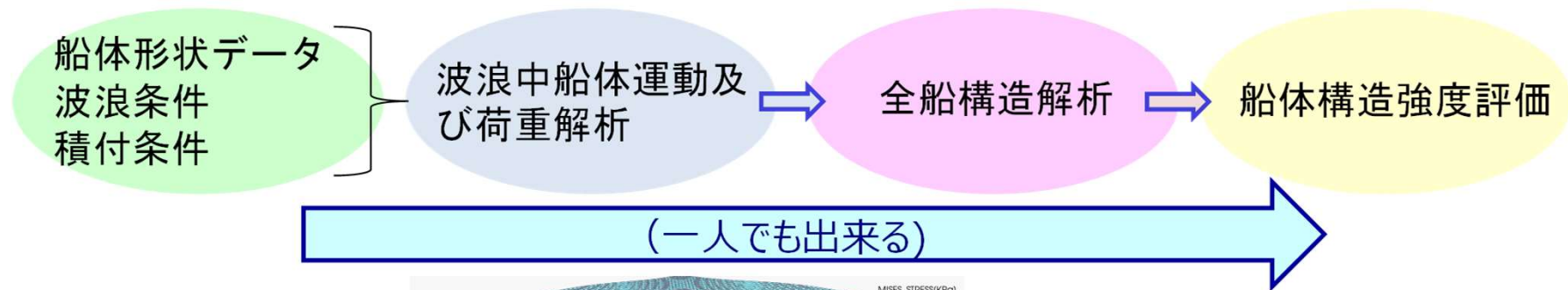
あらゆる海象 or 特定の海象での計算
充実したGUIによる操作性

全船直接荷重・構造一貫解析の従来・現状

従来、複数の設計者が分担して直接荷重・構造一貫解析を実行しているため、迅速に船体構造強度を評価することができない。



- 全船モデルを対象に運動、波浪荷重、構造解析、強度評価をシームレスに実行
 - 高度な自動化により設計に適用可能な時数を実現
 - 入力、結果の視覚的な確認が可能
 - 設計者・技術者は結果の評価、設計に集中できる
- ◎ 設計者は船体構造、波浪・荷重・強度評価に関する知見を従来以上に得ることができる



	用途・目的	作業時間
DLSA-Basic	<ul style="list-style-type: none">・ 疲労/降伏/座屈・ 船級承認, notation取得	計算時間：1日程度 (初回：1週間程度)
DLSA-Professional	<ul style="list-style-type: none">・ 最終強度・ 設計, (事故調査)	計算時間：2日程度 (初回：1週間程度)
DLSA-AT	<ul style="list-style-type: none">・ 最終強度/残存強度・ 事故調査, 研究	1か月程度

- Basic, ProはGUIを開発済
- 造船所の需要が高いのは設計に直結するBasic (現在, 7社で利用)
- 非線形ストリップ法 (現在, 5社で利用)

全船荷重・構造一貫解析システムNMRI-DLSAの これまでの開発と適用

- **DLSA-Basic**
- DLSA-Professional
- DLSA-Advanced Technology
- 船体構造デジタルツインへの適用

DLSA-BasicのGUIの紹介 (荷重解析)



✓ 波浪荷重解析のGUI



NMRW-Lite

Project Folder Setting

Set Folder

Ship Model / Weight distribution

Hull info Offset Weight Check Hull Form

Parameters of Computation

Parameters

Calculation

Strip Method 3D-Panel Method

Result

Ship Motion Point Acceleration Motion Acceleration Wave Loads

Pressure Time Series Long Term Prediction

Cancel

船体/計算条件入力



Hull Info/Offset Weight

Model No. 033

Offset - Weight Distribution

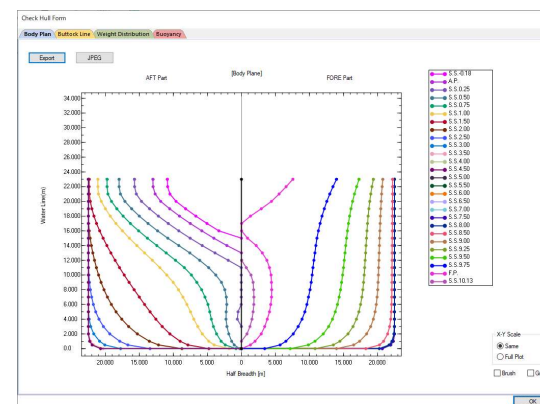
No. of Section 54

No.	Station	x coordinate	Weight Dist.	Secornerical	Gravity Cen.	chess centre	Ecw/D	Chnl	Ensl
1	5.5-0.07	-1.926	0.0076	0	0.2413	0	999	0	0
2	5.5-0.20	-1.7973	0.0633	0	0.2077	0	999	0	0
3	5.5-0.75	-1.6388	0.0897	0	0.2069	0	999	0	0
4	5.5-1.18	-1.4512	0.0561	0	0.1057	0	999	0	0
5	5.5-1.47	-1.2465	0.0497	0	0.1528	0	999	0	0
6	5.5-1.64	-1.275	0.0512	0	0.1043	0	999	0	0
7	5.5-1.89	-1.1854	0.0072	0	0.1178	0	999	0	0
8	5.5-2.14	-1.0889	0.0777	0	0.1364	0	999	0	0
9	5.5-2.44	-0.9735	0.0302	0	0.2775	0	999	0	0
10	5.5-2.60	-0.9155	0.0336	0	0.1543	0	999	0	0
11	5.5-2.73	-0.862	0.0875	0	0.108	0	999	0	0
12	5.5-2.86	-0.812	0.1239	0	0.1074	0	999	0	0
13	5.5-2.99	-0.764	0.0893	0	0.263	0	999	0	0
14	5.5-3.12	-0.716	0.0294	0	0.2629	0	999	0	0
15	5.5-3.24	-0.668	0.1102	0	0.1228	0	999	0	0
16	5.5-3.37	-0.62	0.1103	0	0.214	0	999	0	0
17	5.5-3.49	-0.572	0.1511	0	0.1454	0	999	0	0
18	5.5-3.61	-0.5	0.0791	0	0.2127	0	999	0	0
19	5.5-3.94	-0.403	0.0378	0	0.133	0	999	0	0
20	5.5-4.18	-0.307	0.0284	0	0.1328	0	999	0	0
21	5.5-4.45	-0.21	0.1333	0	0.1467	0	999	0	0
22	5.5-4.71	-0.112	0.0302	0	0.1153	0	999	0	0
23	5.5-5.00	0	0.1133	0	0.1869	0	999	0	0
24	5.5-5.22	0.088	0.1185	0	0.1622	0	999	0	0
25	5.5-5.50	0.19	0.0376	0	0.2777	0	999	0	0
26	5.5-5.79	0.3	0.113	0	0.2472	0	999	0	0
27	5.5-6.11	0.423	0.06	0	0.0727	0	999	0	0
28	5.5-6.36	0.517	0.0281	0	0.0727	0	999	0	0

Offset Setting S4 Edit

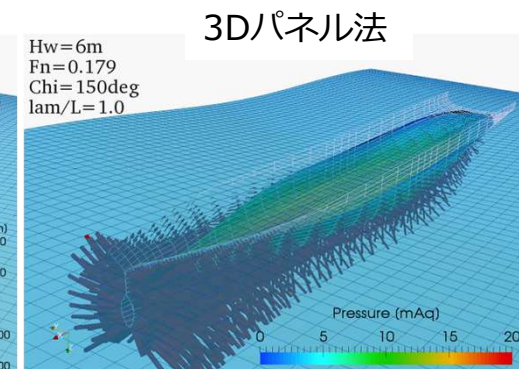
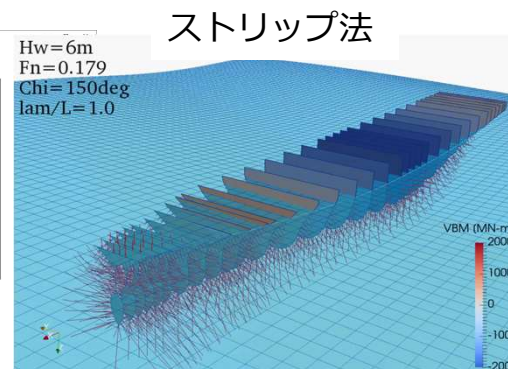
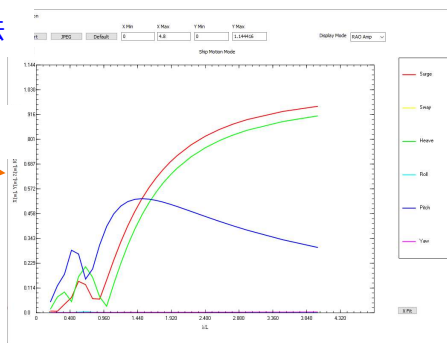
Import Offset CSV CSV Format

Apply OK Cancel



計算実行
ストリップ法/3Dパネル法

結果表示



詳細は、海上技術安全研究所ホームページをご参照ください

DLSA-BasicのGUIの紹介 (最新情報)

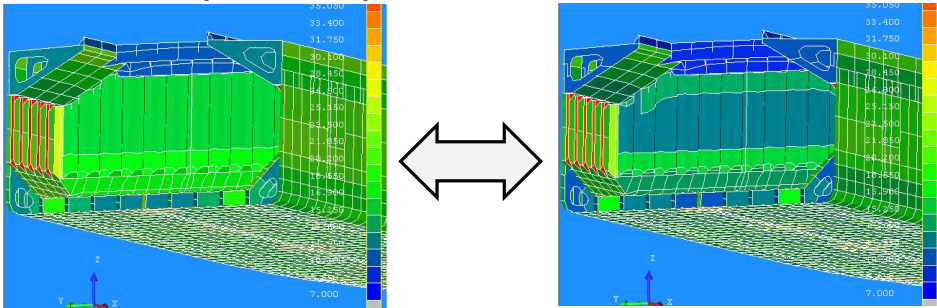


✓ 最近追加した機能

- ネット/グロス板厚自動変更機能

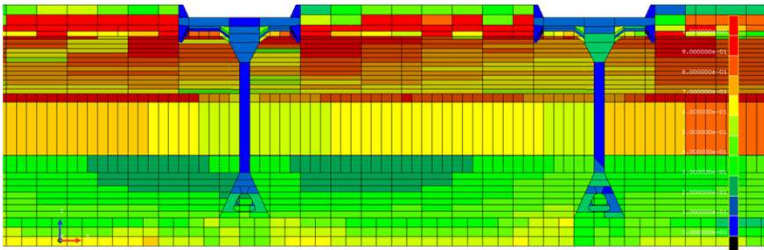
グロス寸法(建造寸法)

ネット寸法(強度評価用寸法)



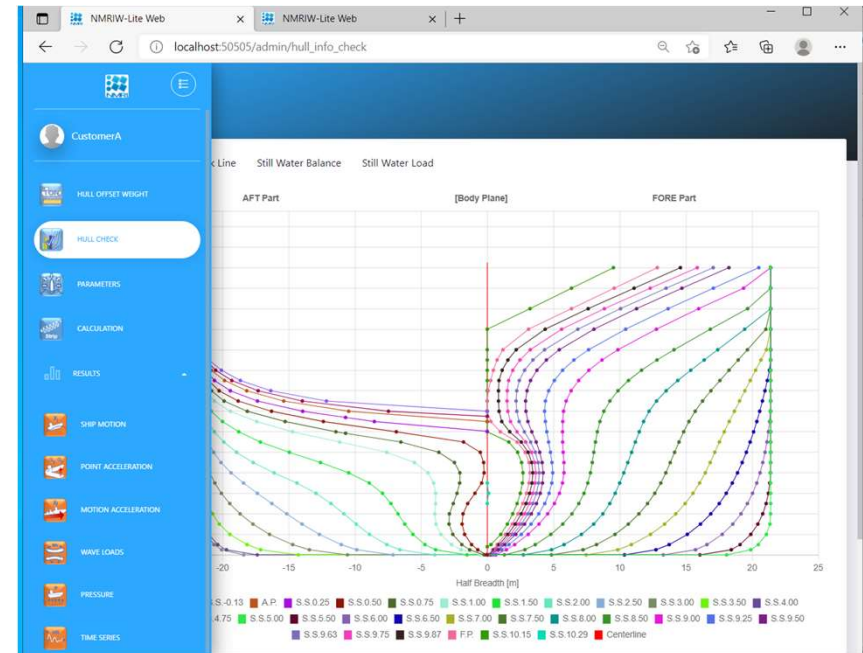
ネット寸法：設計寿命25年の腐食衰耗量を考慮した強度評価用の構造寸法

- 座屈評価用パネル抽出及び座屈評価機能



✓ 海技研クラウドに荷重解析部分を搭載

SPREME-Web (線形ストリップ法/3Dパネル法)



<https://cloud.nmri.go.jp/portal/pub/lite-web>

※名称変更 NMRIW-Lite → SPREME
: Strip/Panel-based Response Estimation Method

全船荷重・構造一貫解析システムNMRI-DLSAの これまでの開発と適用

- DLSA-Basic
- **DLSA-Professional**
- DLSA-Advanced Technology
- 船体構造デジタルツインへの適用

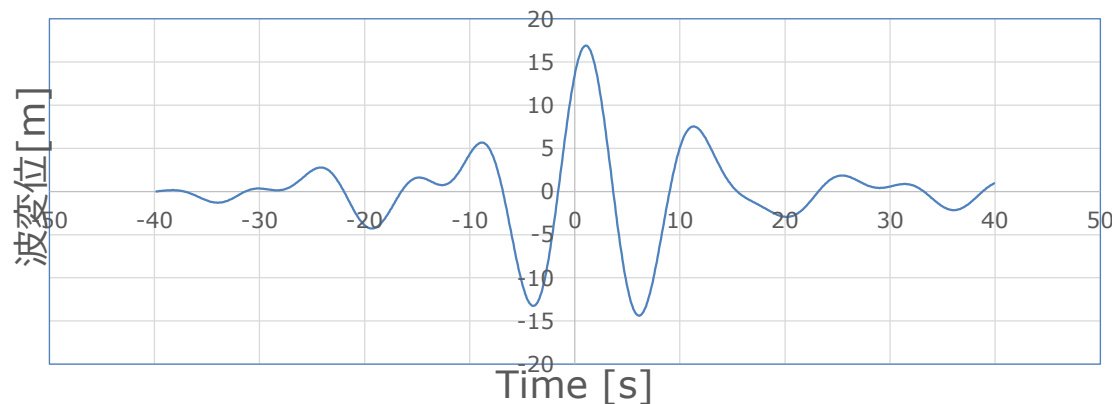
特徴

非線形の荷重／構造解析による時刻歴応答の再現

解析例

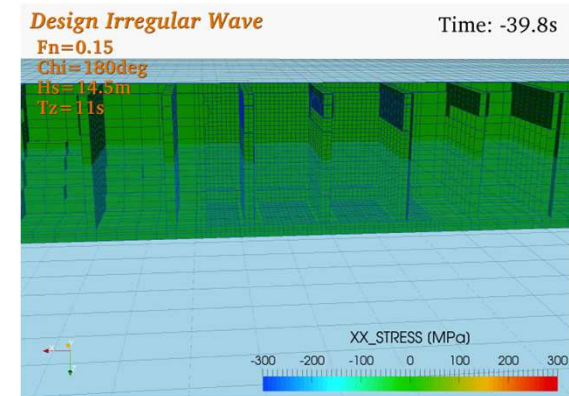
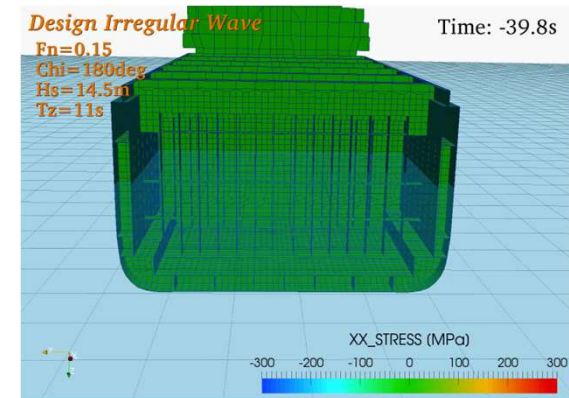
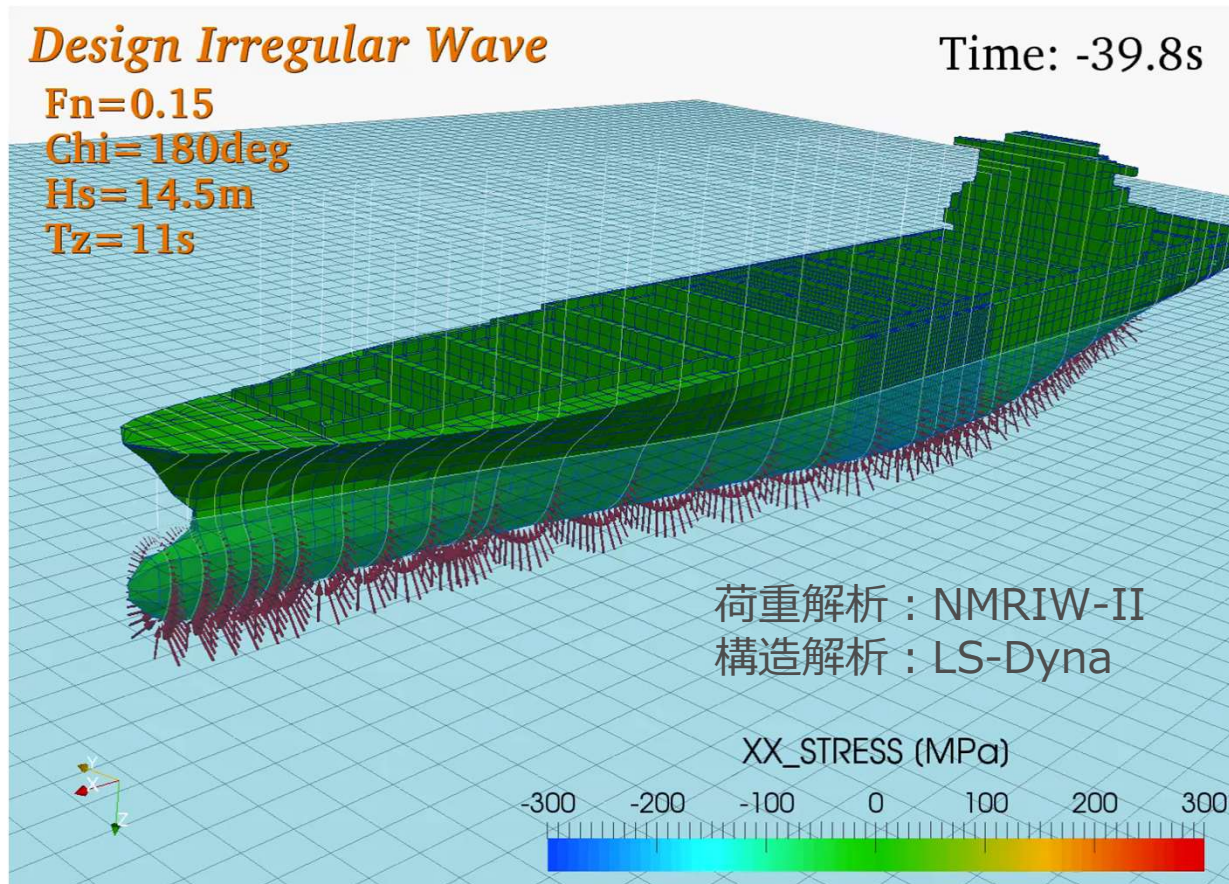
Design Irregular Wave (設計不規則波)

➤ 物理的に起こりうる，船にとって最も危険な設計用の不規則波形



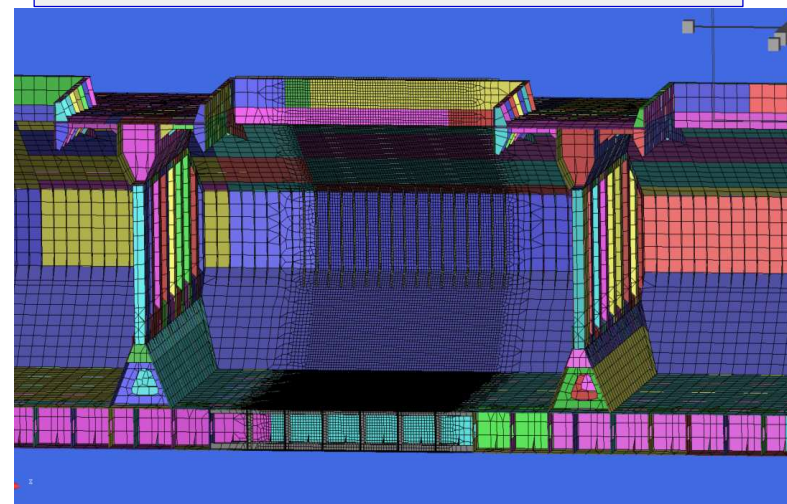
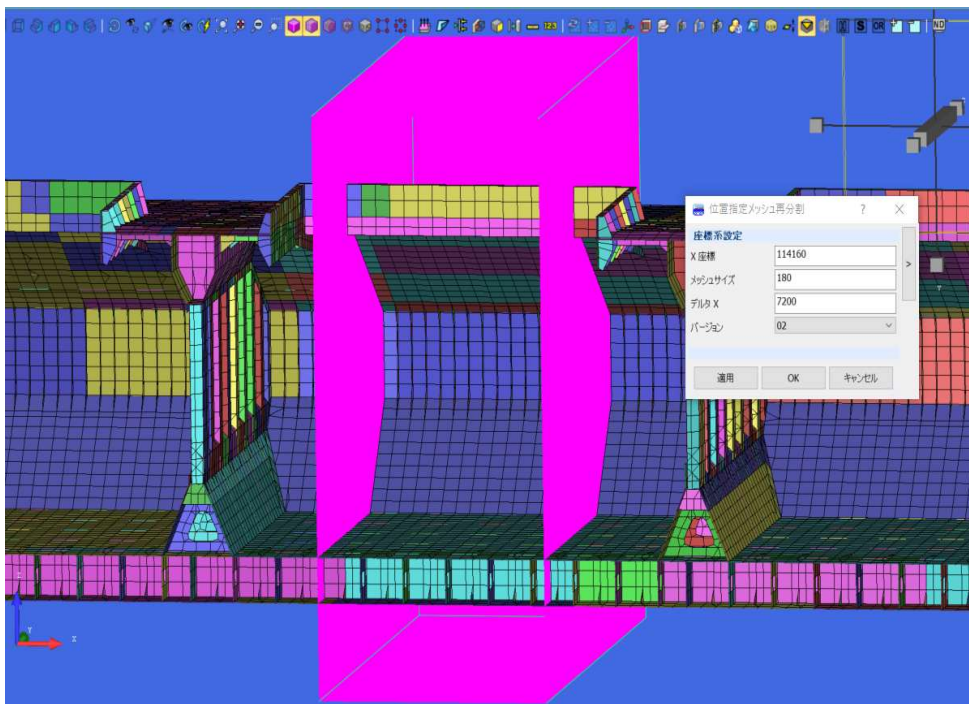
荷重解析：NMRIW-II
(非線形ストリップ法)
構造解析：LS-Dyna

DLSA-Professional (解析例)



大波高下での応力状態を可視化

DLSA-Professional (非線形構造解析用モデル修正例)



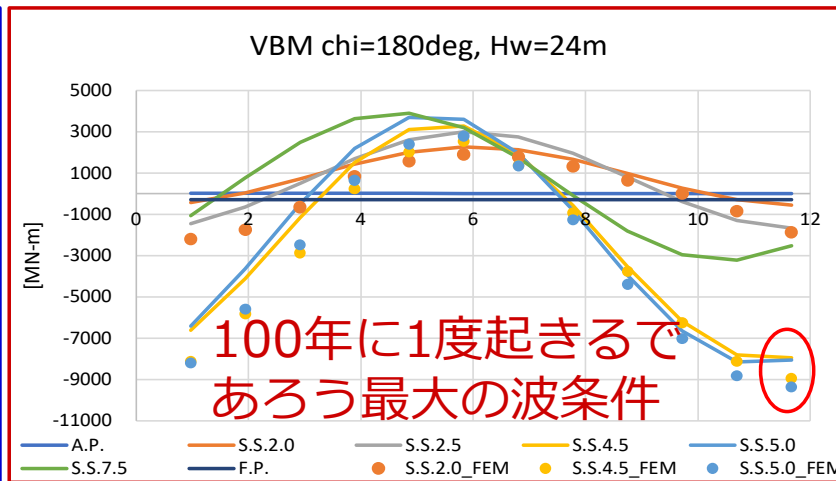
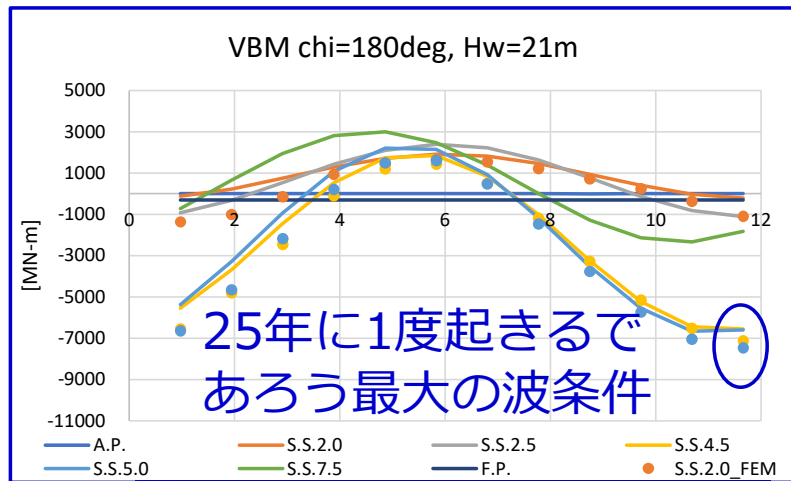
自動FEモデル修正

- ・リメッシュ : 1D要素 → 2D
要素サイズ大 → 小
- ・材料定数 : 線形 → 非線形

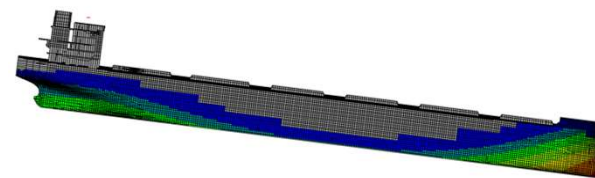
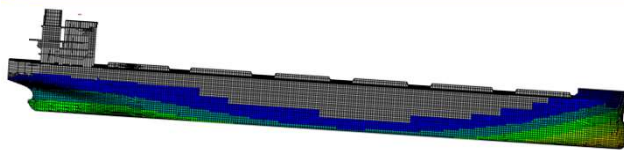
DLSA-Professional (荷重設定例)



- ◆ DLSA-BasicのDLP-Prediction又はPostやProjectionにより応答が 10^{-8} レベルとなる波及び 2×10^{-9} レベルとなる波の波条件 (波向き, 波長, 波高) を決定
- ◆ 上記波条件で荷重解析NMRIW-Lite(NMRIW-IIなら尚よい)を再計算、荷重付与
- ▶ 準静的に非線形構造解析を実施



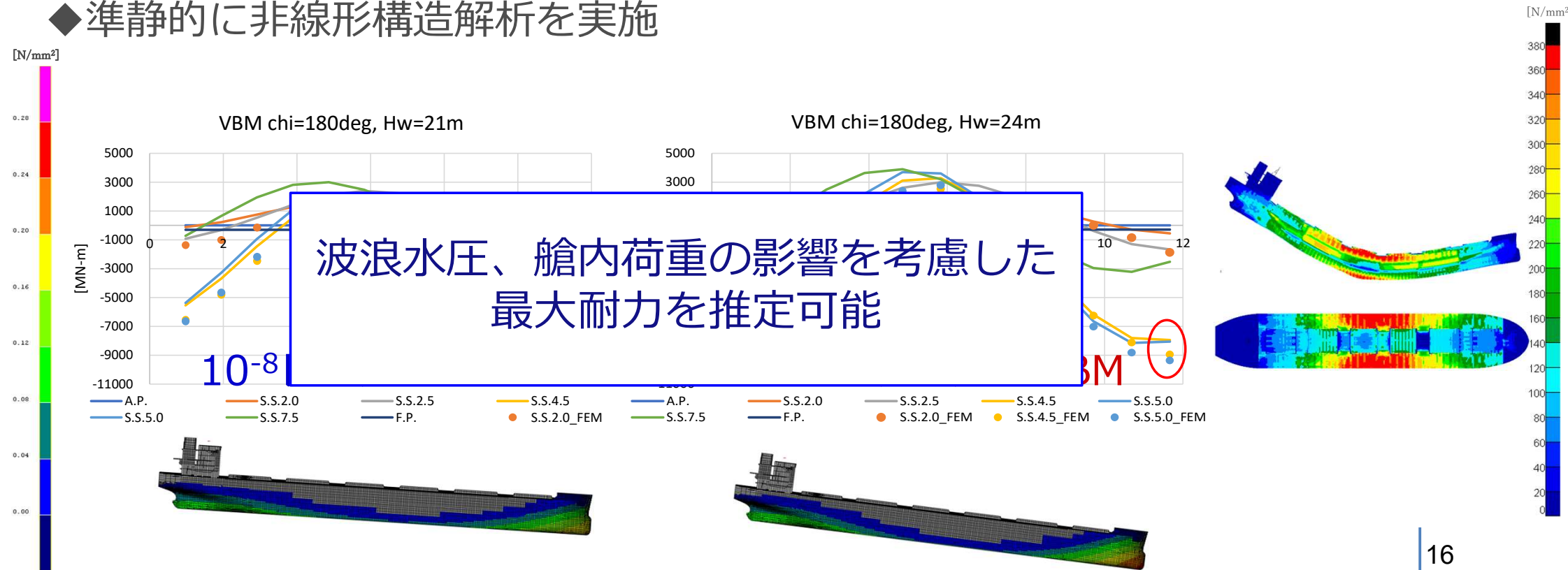
A Folder	\\allast_180deg_18m_3D	ブラウズ
B Folder	\\allast_180deg_24m_3D	ブラウズ
Load Case 1	1110112	▼
Load Case 2	1110112	▼
適用 OK キャンセル		



DLSA-Professional (荷重設定例)



- ◆ DLSA-BasicのDLP-Prediction又はPostやProjectionにより応答が 10^{-8} レベルとなる波及び 2×10^{-9} レベルとなる波の**波条件決定 (波向き, λ/L , 波高)**
- ◆ 上記波条件でNMRIW-Lite (NMRIW-IIでもよい) を再計算し、荷重付与
- ◆ 準静的に非線形構造解析を実施

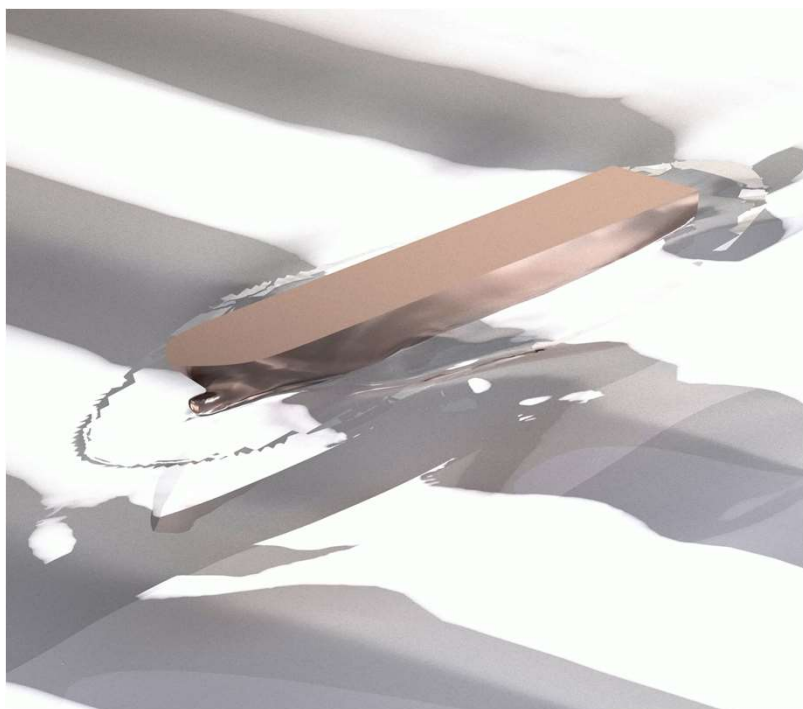


全船荷重・構造一貫解析システムNMRI-DLSAの これまでの開発と適用

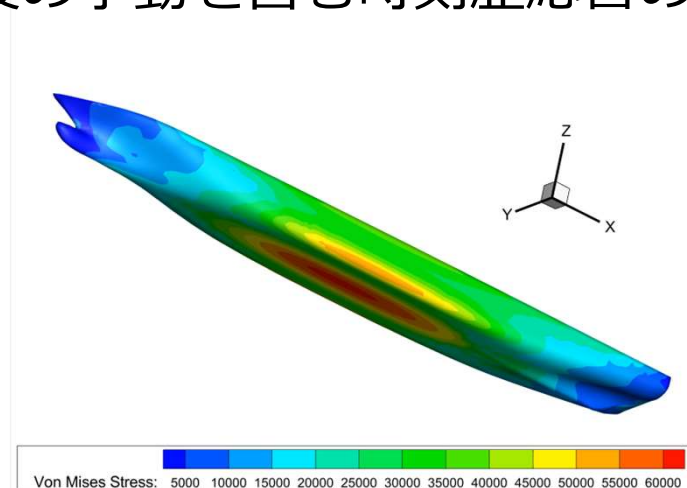
- DLSA-Basic
- DLSA-Professional
- **DLSA-Advanced Technology**
- 船体構造デジタルツインへの適用

特徴

強非線形・流体-構造連成解析による崩壊後の挙動を含む時刻歴応答の再現



NAGISA※による波浪中荷重・運動解析
※海技研で開発したCFDプログラム



双方向連成解析により取得したVonMises応力
(計算時間1日：規則波10 波；模型スケール)

荷重解析：CFD

構造解析：LS-Dyna

全船荷重・構造一貫解析システムNMRI-DLSAの これまでの開発と適用

- DLSA-Basic
- DLSA-Professional
- DLSA-Advanced Technology
- **船体構造デジタルツインへの適用**

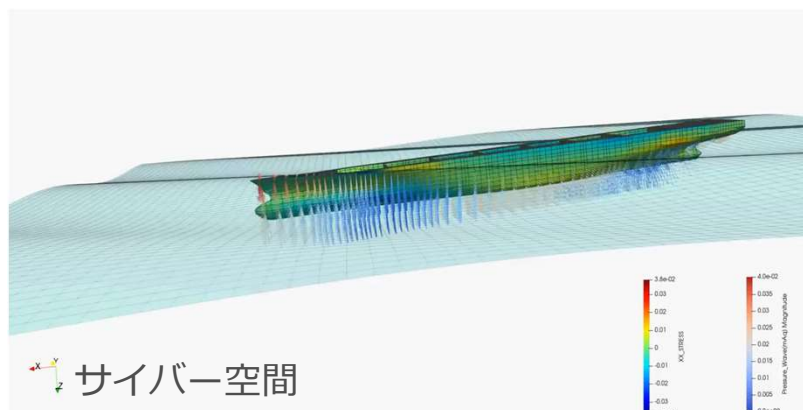
船体構造デジタルツインへの適用例



デジタルツイン：

「実空間上にある機器や設備を、センサ計測や数値シミュレーションを用いてサイバー空間上に精緻に再現する技術」※

安全運航，メンテナンス合理化，設計改善等に寄与



水槽試験用構造模型のデジタルツイン

ハルモニタリング（センシング技術） データ同化技術（波浪逆推定法）

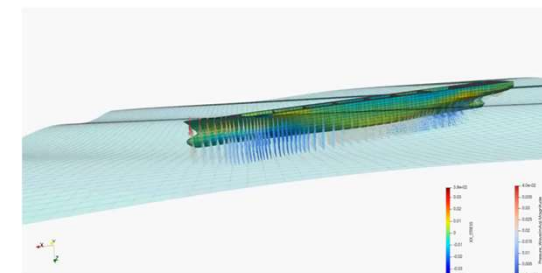


課題設定

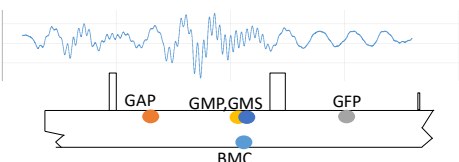
限られた計測点から船体全域の応力分布を如何にして得るか？

解決策

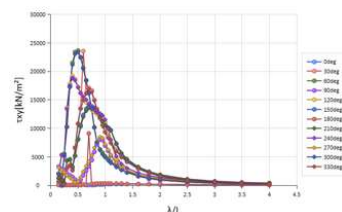
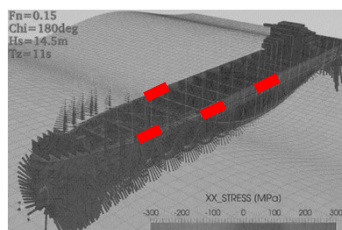
計測歪から波浪情報を推定して，荷重・構造の再解析を行なう
(波浪逆推定法)



船体構造のデジタルツイン

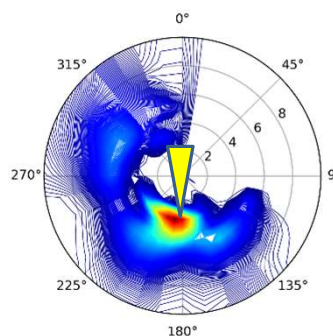


計測データ



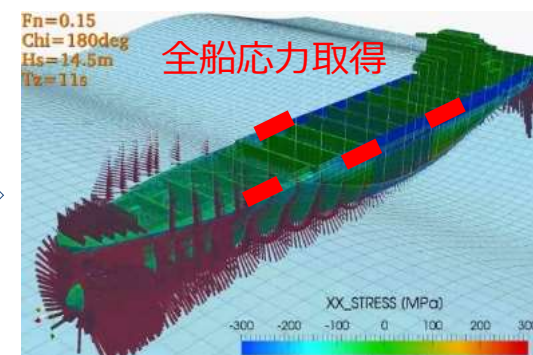
応答特性

波浪逆推定



波方向スペクトル

数値シミュレーション



第2期（今期）中長期（2023-29年度）の計画と展望

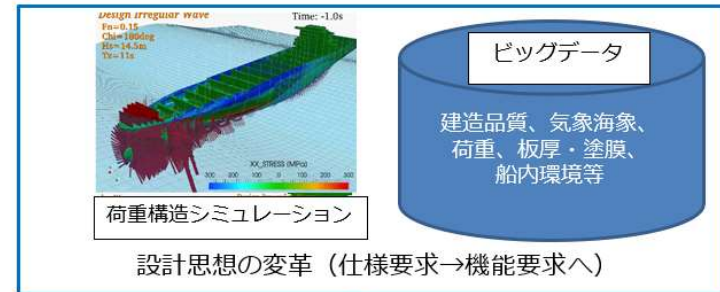
船体構造評価技術に関する研究

重点研究 1

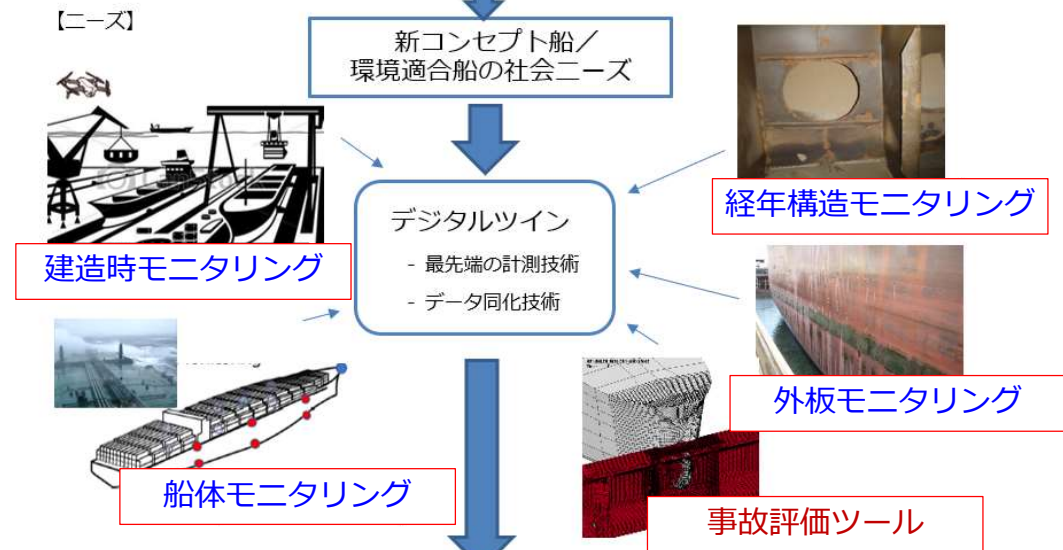
「船体構造評価技術に関する研究」

1. 建造・運航モニタリングデータによる全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システムの開発
2. 船体モニタリングに基づく非線形構造応答及び強度のデータ同化シミュレーション技術
3. 船体の環境・塗装劣化・腐食進行モニタリングによる管理・修繕支援技術
4. 船体外板のin-situモニタリングによるメンテナンスの高度化
5. 事故時の安全性評価並びに海難事故解析のための評価ツール開発に関する研究

【背景】



【ニーズ】



【開発目標】

船体ライフサイクル安全監視・支援システム
次世代構造設計手法

【効果】

次世代船舶の設計・建造
ゴールベース構造基準
長期耐用化・合理的メンテナンス

1-1 支援システムの開発 【NMRI-DLSA】

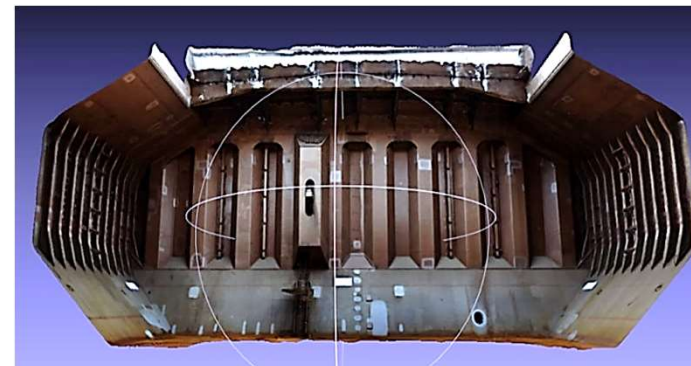


全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システムの開発を目標として研究を行なう。 【NMRI-DLSA】

- ① ライフサイクル安全性確保及び生産・作業支援のため、建造・運航モニタリングデータを活用した設計・建造・保守支援システムの開発
- ② 建造時の精度・誤差，経年劣化を考慮した降伏・座屈・疲労・最終強度を評価可能な安全設計システムの開発
- ③ リスクベースメンテナンス手法及び合理的な船体品質の保持を目指すライフサイクル評価技術の確立
- ④ 建造時や点検・修繕時における作業効率及び安全性向上に資するMR(Mixed Reality:複合現実)等を活用した作業支援システムの開発



建造時モニタリング



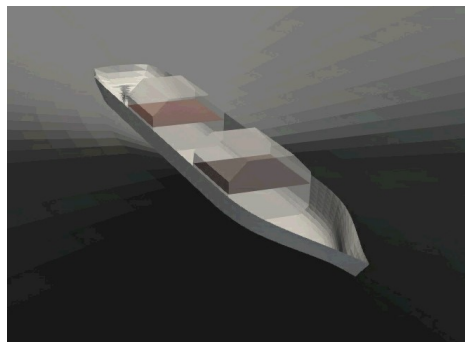
3D形状再現モデルによる工作精度の抽出
(Structure from Motion:SfMによる計測例)

1-2 応答推定

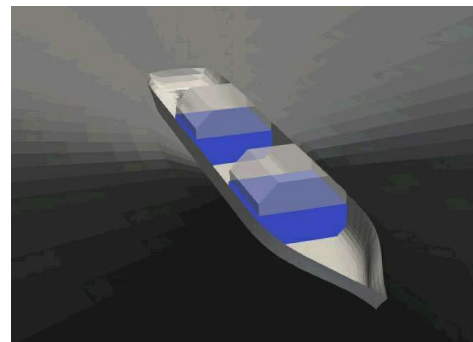


モニタリングデータ及び数値シミュレーションに基づく非線形荷重・構造応答推定及び強度評価に関する研究を行なう。

- ① 粒子法等による非線形船体応答推定手法の研究・開発
- ② オンボードにおける非線形応答及び強度の推定に向けた高速化手法の開発
- ③ データ同化技術に基づく波浪情報の不確定性解析手法の開発
- ④ 非線形統計予測法を適用した極値統計予測法の研究・開発
- ⑤ 構造模型による水槽試験及び船体モニタリングのデータを用いた検証



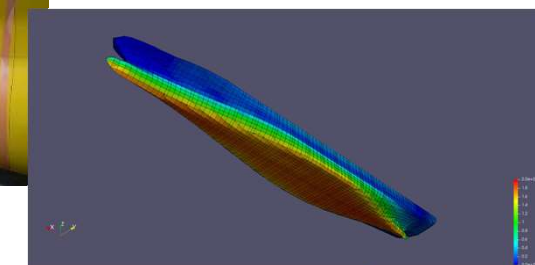
船体-タンク連成
パネル法



Hybrid法
(粒子法+パネル法)



FBG水圧計測



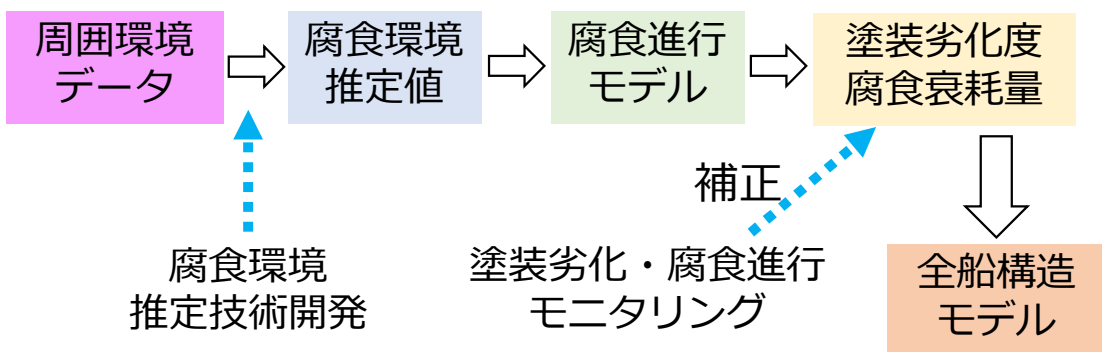
可視化した水圧分布

1-3 腐食推定



船体の環境・塗装劣化・腐食進行モニタリングによる腐食発生・進行の推定精度向上及び評価システムの開発を行なう。

- ① 腐食環境予測及びモニタリングを組み合わせた船体構造の塗装劣化・腐食進行推定プログラムの開発
- ② 船舶における腐食環境で長期耐久可能な塗装劣化・腐食進行検知センサの開発
- ③ 実船試験及び推定プログラムの適用によるモニタリング・推定システムの検証
- ④ 塗装劣化・腐食進行推定結果を全船構造解析へ反映するアプリケーション開発



塗装劣化・腐食進行推定システムの流れ

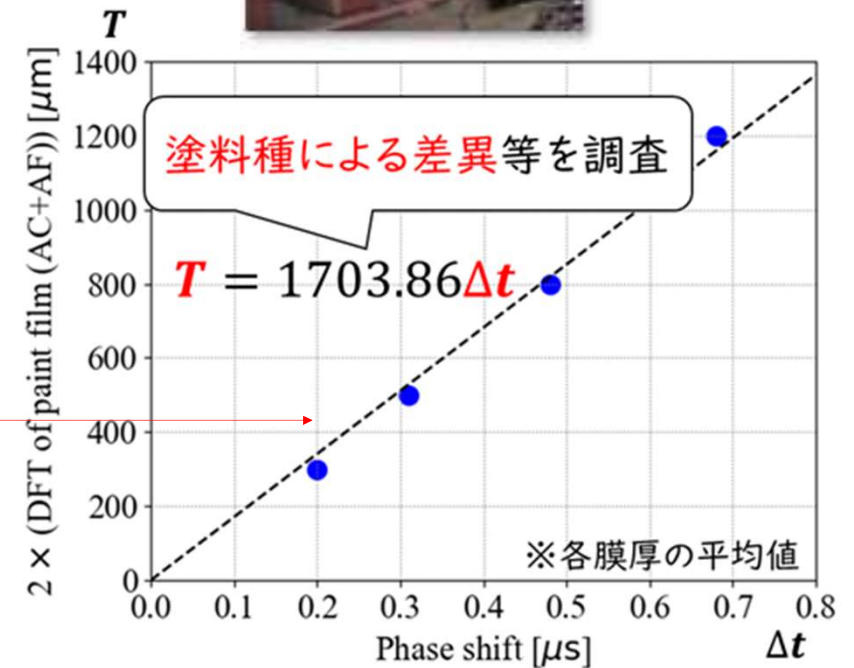
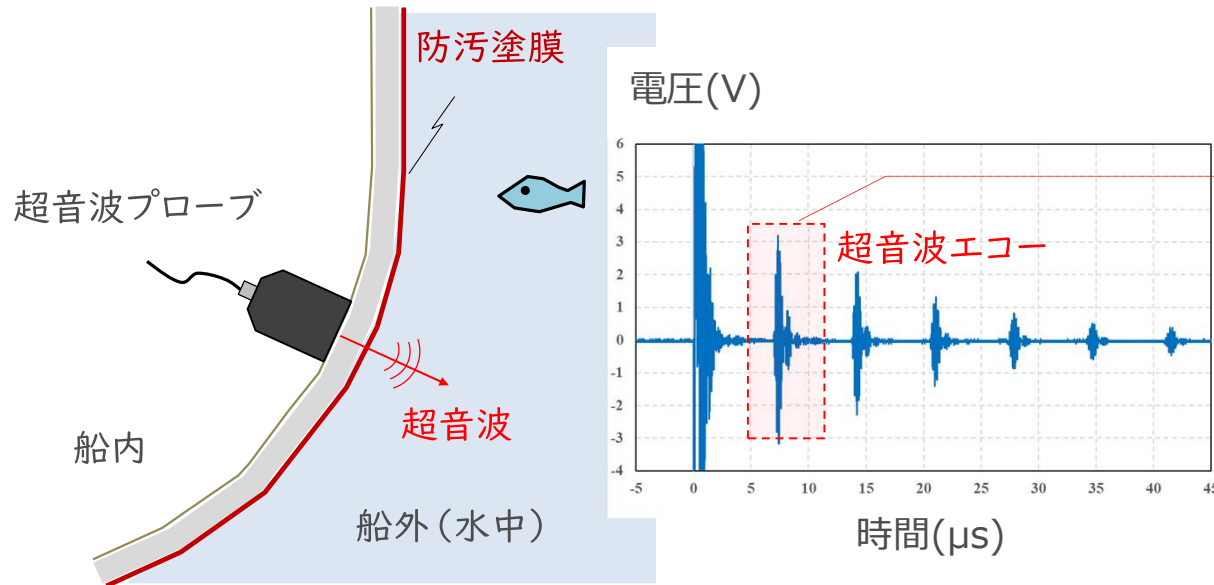


1-4 外板モニタリング



船体外板のin-situモニタリングによるメンテナンスの高度化に向けた研究を行なう。

- ① 塗膜条件の差異等が塗膜計測に及ぼす影響の調査
- ② 多波長計測等による外板表面への生物付着検出技術の検討
- ③ 実船の外板塗装表面状態等の調査



船内から計測による超音波エコーの変化と膜厚の関係

1-1 支援システムの開発 【NMRI-DLSA】

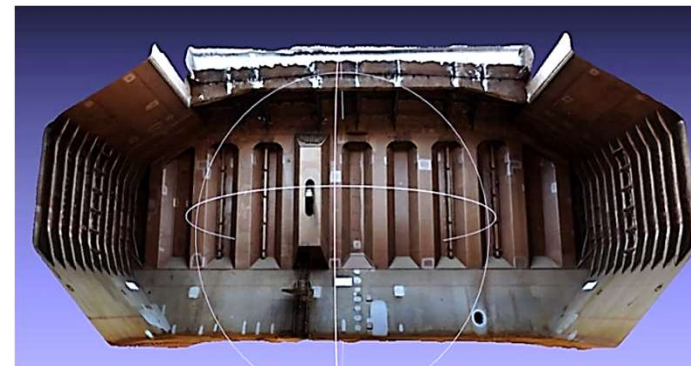


全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システムの開発を目標として研究を行なう。 【NMRI-DLSA】

- ① ライフサイクル安全性確保及び生産・作業支援のため、建造・運航モニタリングデータを活用した設計・建造・保守支援システムの開発
- ② 建造時の精度・誤差，経年劣化を考慮した降伏・座屈・疲労・最終強度を評価可能な安全設計システムの開発
- ③ リスクベースメンテナンス手法及び合理的な船体品質の保持を目指すライフサイクル評価技術の確立
- ④ 建造時や点検・修繕時における作業効率及び安全性向上に資するMR(Mixed Reality:複合現実)等を活用した作業支援システムの開発

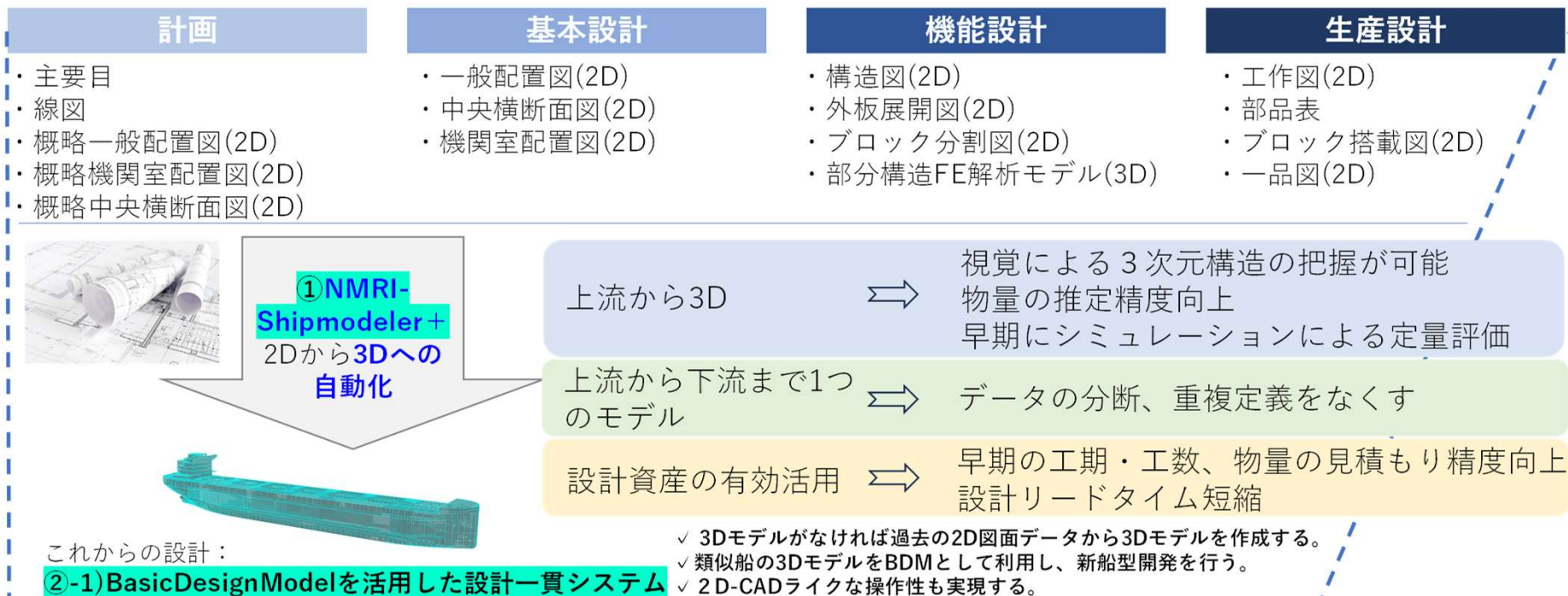


建造時モニタリング

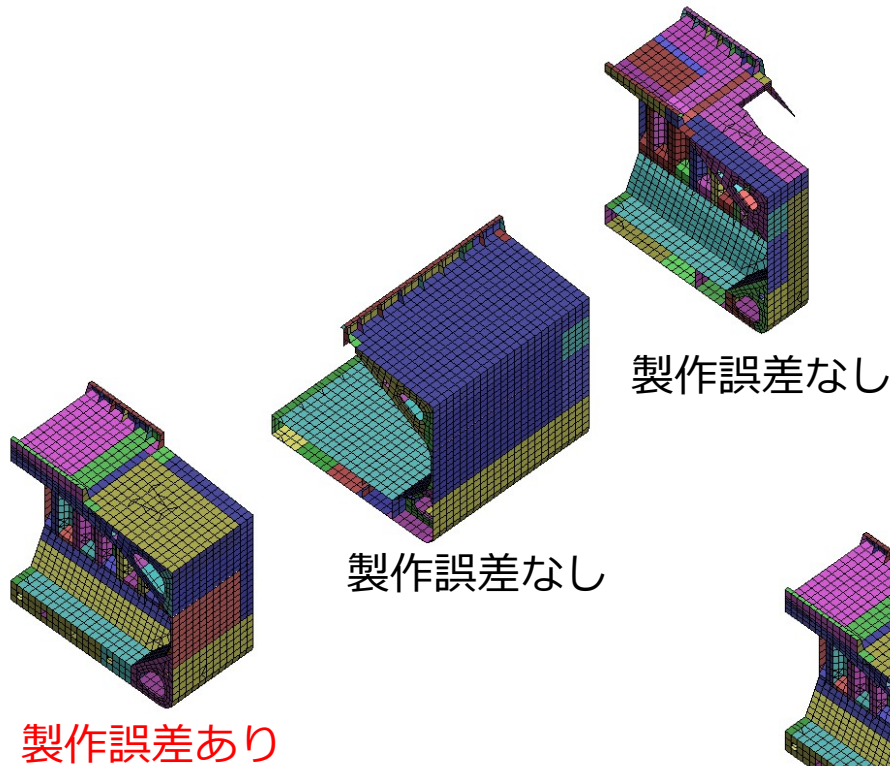


3D形状再現モデルによる工作精度の抽出
(Structure from Motion:SfMによる計測例)

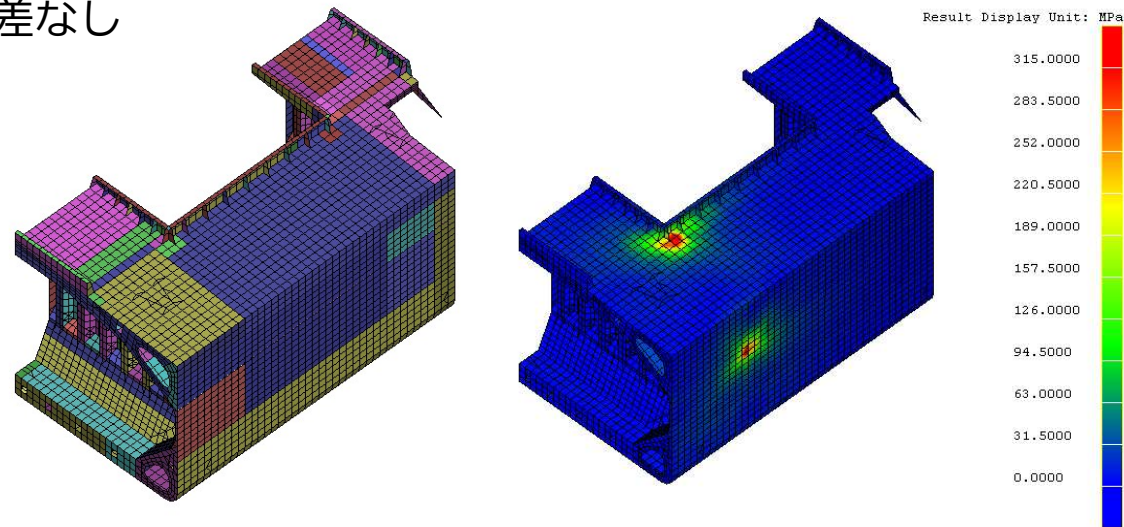
全船3次元モデル生成技術及びそれを活用した設計・建造支援システムの開発 (Small Business Innovation Research 支援事業)



ブロック搭載シミュレータ : DLSA-CONSTRUCTION (仮) : DIGITAL SHIP-STRUCTURE ASSEMBLY and CONSTRUCTION

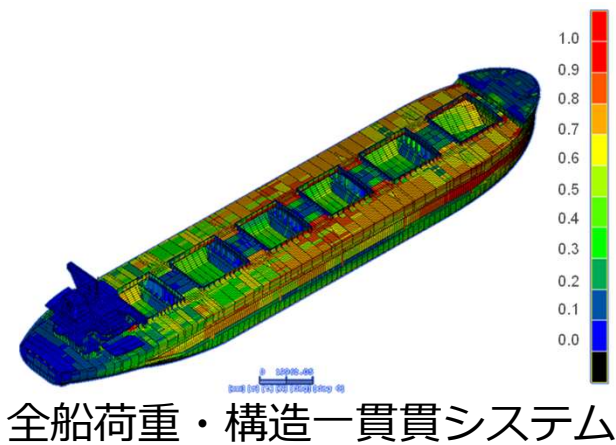


工作誤差を有するブロック搭載時の接合による残留不整
(応力、撓み) を数値計算によって再現

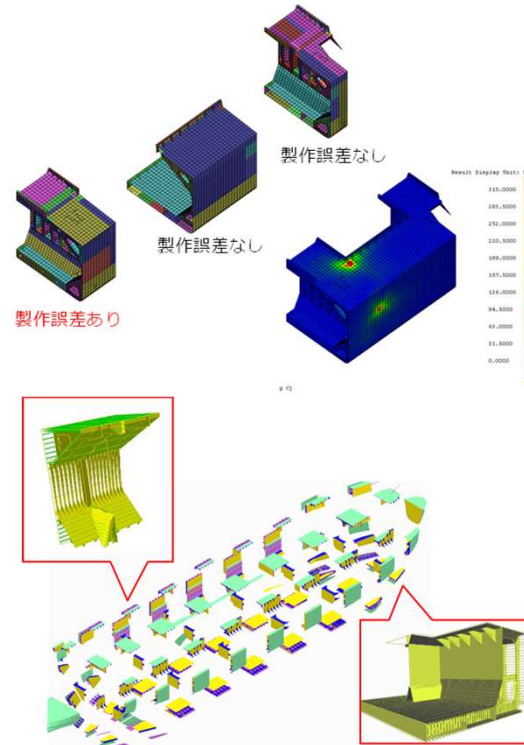


g C]

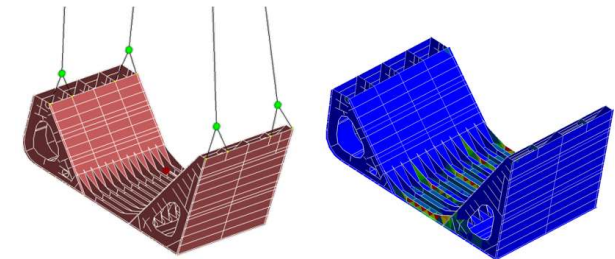
ブロック搭載シミュレータ : DLSA-CONSTRUCTION (仮) : DIGITAL SHIP-STRUCTURE ASSEMBLERY and CONSTRUCTION



全船を対象に残留不整（応力、撓み）を考慮した強度評価が可能



DLSA-CONST.



Jupiter-BLS



ヘルメット一体型MR用グラス

ブロック搭載の詳細な事前検討及び現場支援が可能

NMRI-DLSAについてのこれまでの成果，及びこれを活用・発展させ普及を目指す今後7年間の研究・開発の概要を説明した。

データ・シミュレーションのデジタル技術を基盤とした次世代構造の開発・建造・運航を支援するシステムの研究開発を行ない，成果の実用化を図る．これにより船舶の安全安定な運航・建造の実現に貢献する。

NMRI-DLSAはテクノススターが開発した純国産の汎用CAEプラットフォームJupiter上で開発されたものであり、今後も、テクノススターと海技研の強力な協力体制の下、更なる進化を続ける。



価格（税抜き）

DLSA-Basic	500万 保守20%
DLSA-Pro.	(仮) 200万 保守20%
DLSA-A.T.	非売
NMRIIW- II	300万 保守20%
SPREME-web	15~28万/年

DLSA-Basicオプション

運動・荷重解析機能（3D線形パネル法）

腐食予備厚増減機能

座屈強度評価機能

ご清聴ありがとうございました

