



第23回 海上技術安全研究所研究発表会



船舶の構造強度評価技術に関する研究の成果と 今後の研究計画

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

構造・産業システム系
海難事故解析センター

岡 正義 村上 睦尚 松井 貞興 林原 仁志 藤本 修平
山田安平

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】

- ・第1期（前期）中長期の成果報告
全船荷重・構造一貫解析システムDLSA, デジタルツインシステムi-SAS
- ・第2期（今期）中長期の計画と展望

第1期中長期の成果



全船荷重・構造一貫解析システム NMRI-DLSA

- DLSA-Basic
- DLSA-Professional
- DLSA-Advanced Technology

船体構造デジタルツイン

- ハルモニタリング
- データ同化技術
- デジタルツイン統合システム i-SAS



全船荷重・構造一貫解析システム NMRI-DLSA

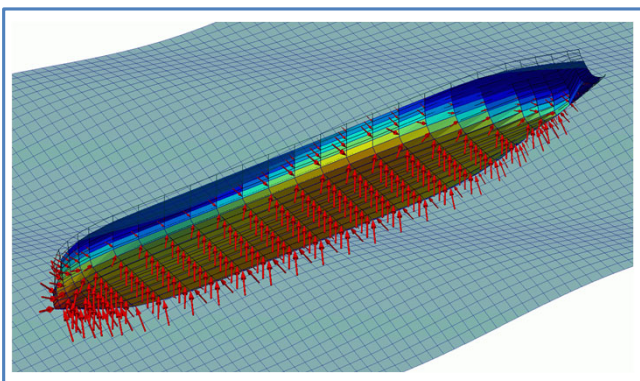
- DLSA-Basic
- DLSA-Professional
- DLSA-Advanced Technology

船体構造デジタルツイン

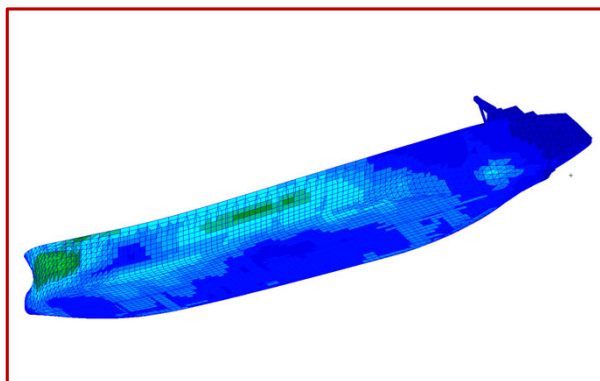
- ハルモニタリング
- データ同化技術
- デジタルツイン統合システム i-SAS

✓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**

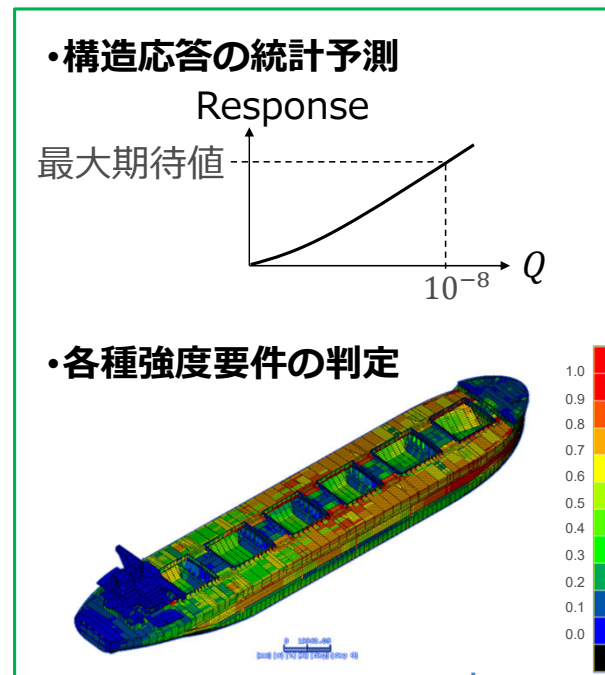
波浪荷重解析



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 (グラフィカルユーザーインターフェイス)

	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	1週間以内
DLSA-Professional	<ul style="list-style-type: none">・最終強度・設計, (事故調査)	2週間~
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~

- 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, 6社で利用)

DLSA-BasicのGUIの紹介 (荷重解析)



✓ 波浪荷重解析のGUI



NMRIW-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

Hull No. 033

Partial Level 0

Length between Perpendicular (m) 3.8

Draft at AIR 0.388

Draft at Fore 0.388

Breadth (m) 0.972

Depth 0.327

Displacement 0.25224

Block Coefficient (Cb) 0

Prismatic Coefficient (Cp) 0

Gravity Center (CG) (downward) 0.242

Metacenter Height (GM) Internal Calculation

Moment of inertia of hull

Generator Radius of Y-axis (mm) 0.239

Generator Radius of Z-axis (mm) 0

Young's Modulus 0.0781

Initial Trim 0

Initial Surge 0

Initial Heel 0

Slip lead height 0

Slip lead Start (x-coord) 0

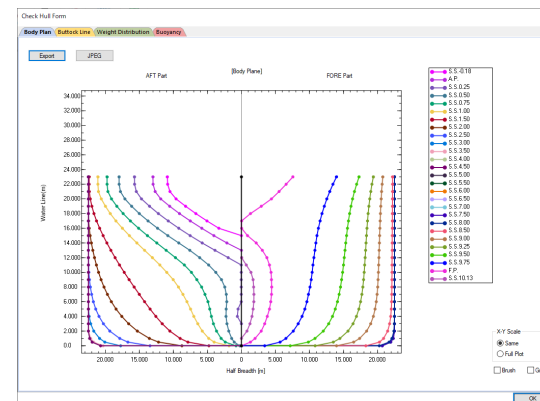
Slip lead End (x-coord) 0

Offset Setting [S4] Edit

Import Offset CSV CSV Format

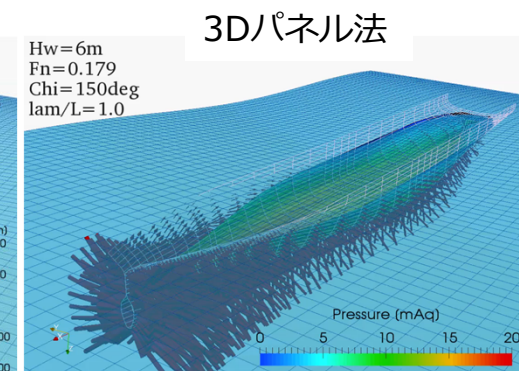
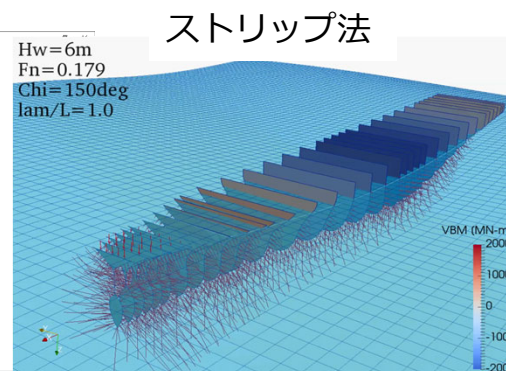
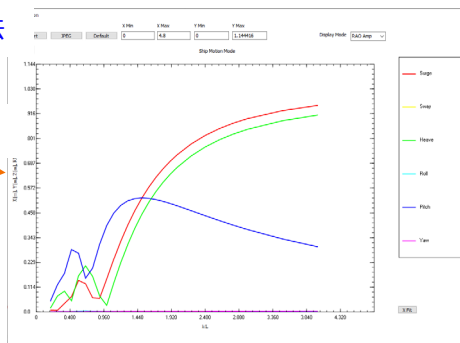
Apply OK Cancel

No.	Station	x-coord (ft)	Weight Distr.	Secentricity	Gravity Cen.	Other center	Loco/B	Extnt	Extnt2
1	5.5-0.07	-1.926	0.0076	0	0.2413	0	999	0	0
2	5.5-0.26	-1.973	0.0033	0	0.2077	0	999	0	0
3	5.5-0.75	-1.638	0.0867	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	0.0447	0	0.1028	0	999	0	0
6	5.5-1.64	-1.275	0.0212	0	0.1241	0	999	0	0
7	5.5-1.89	-1.1854	0.0872	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	0.0282	0	0.2775	0	999	0	0
10	5.5-2.60	-0.9155	0.0288	0	0.1364	0	999	0	0
11	5.5-2.73	-0.862	0.0875	0	0.1269	0	999	0	0
12	5.5-2.86	-0.813	0.1236	0	0.1274	0	999	0	0
13	5.5-2.99	-0.764	0.0893	0	0.163	0	999	0	0
14	5.5-3.12	-0.726	0.0994	0	0.2629	0	999	0	0
15	5.5-3.24	-0.688	0.1102	0	0.1274	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	0.0551	0	0.1454	0	999	0	0
18	5.5-3.68	-0.5	0.0791	0	0.2127	0	999	0	0
19	5.5-3.94	-0.402	0.0276	0	0.133	0	999	0	0
20	5.5-4.19	-0.307	0.0284	0	0.1929	0	999	0	0
21	5.5-4.45	-0.21	0.1033	0	0.1467	0	999	0	0
22	5.5-4.71	-0.112	0.0622	0	0.1123	0	999	0	0
23	5.5-5.00	0	0.1135	0	0.1589	0	999	0	0
24	5.5-5.22	0.084	0.1165	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	0.292	0	999	0	0
27	5.5-6.11	0.421	0.06	0	0.1977	0	999	0	0
28	5.5-6.36	0.517	0.0581	0	0.0727	0	999	0	0



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)

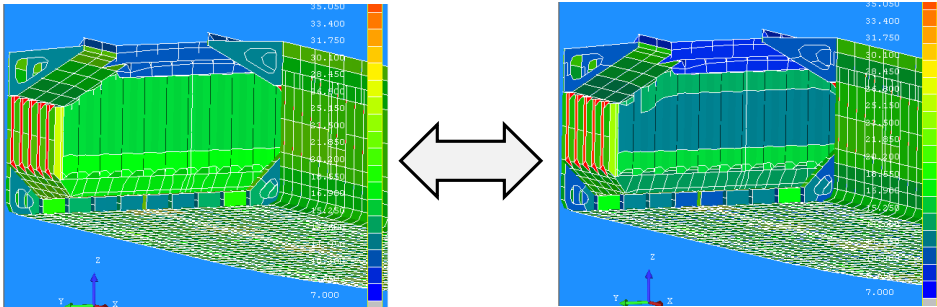


✓ 最近追加した機能

- ネット/グロス板厚自動変更機能

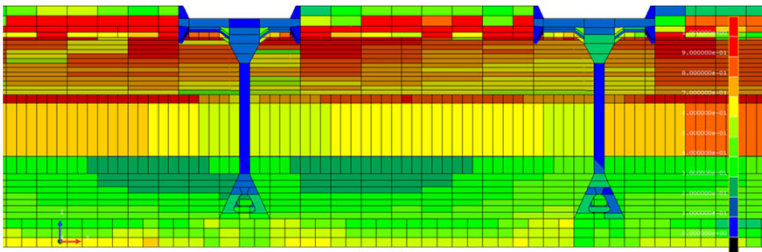
グロス寸法(建造寸法)

ネット寸法(強度評価用寸法)



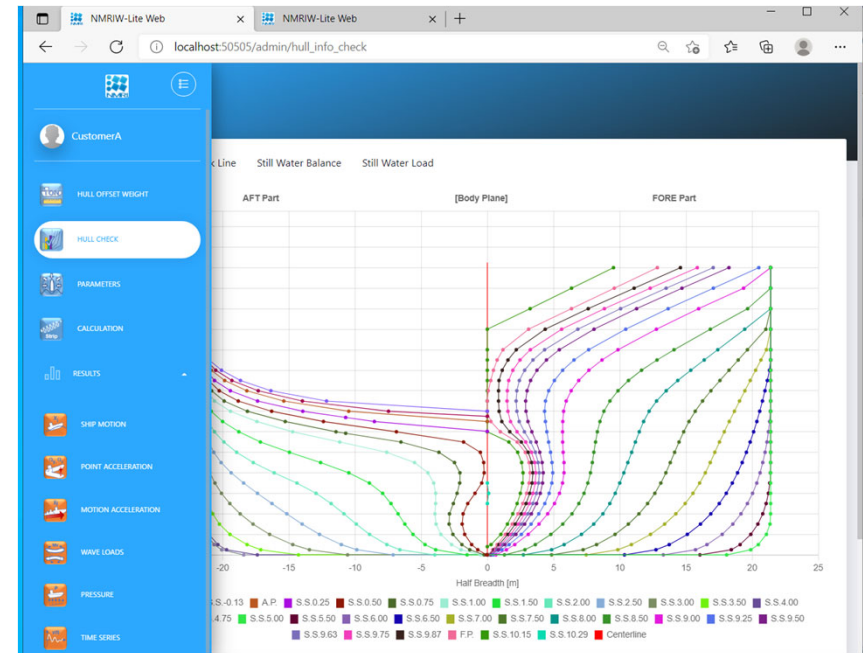
ネット寸法：設計寿命25年の腐食衰耗量を考慮した強度評価用の構造寸法

- 座屈評価用パネル抽出機能



✓ 海技研クラウドに荷重解析部分を搭載

NMRIW-Lite Web (線形ストリップ法/3Dパネル法)



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

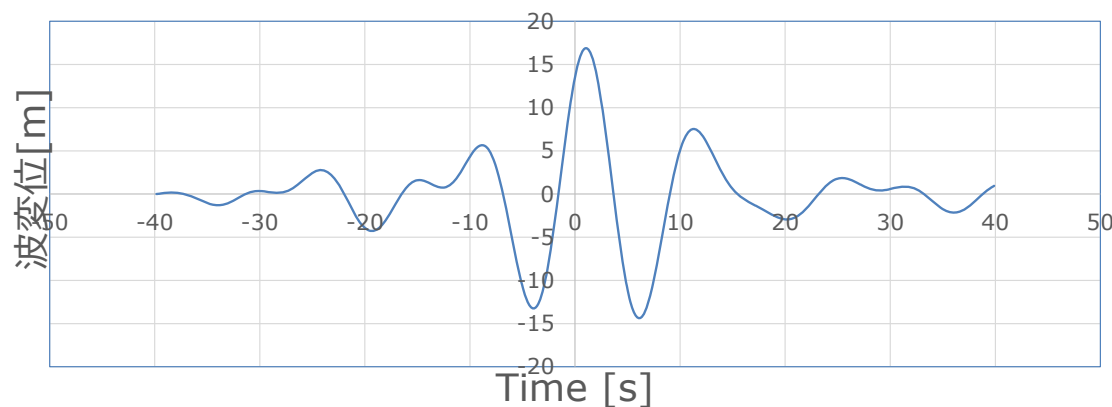
特徴

非線形の荷重／構造解析による時刻歴応答の再現

解析例

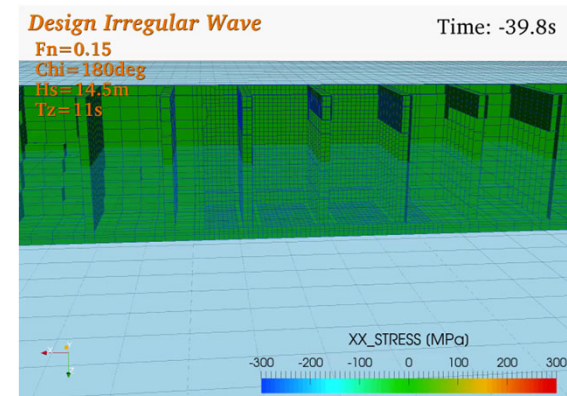
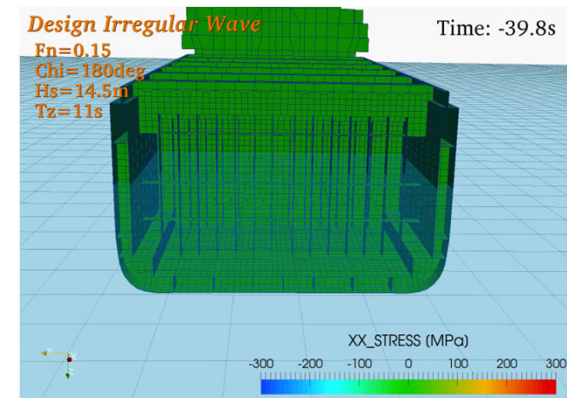
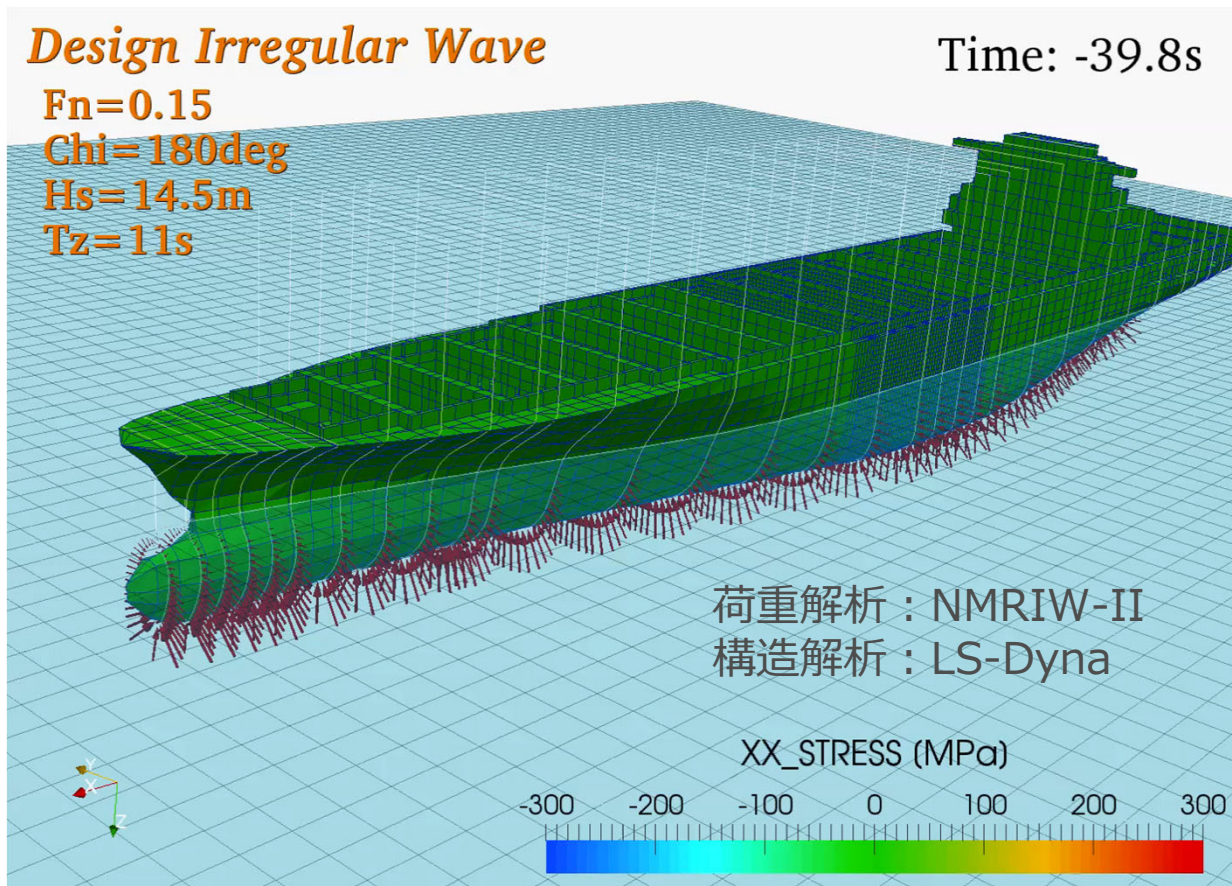
Design Irregular Wave (設計不規則波)

➤ 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

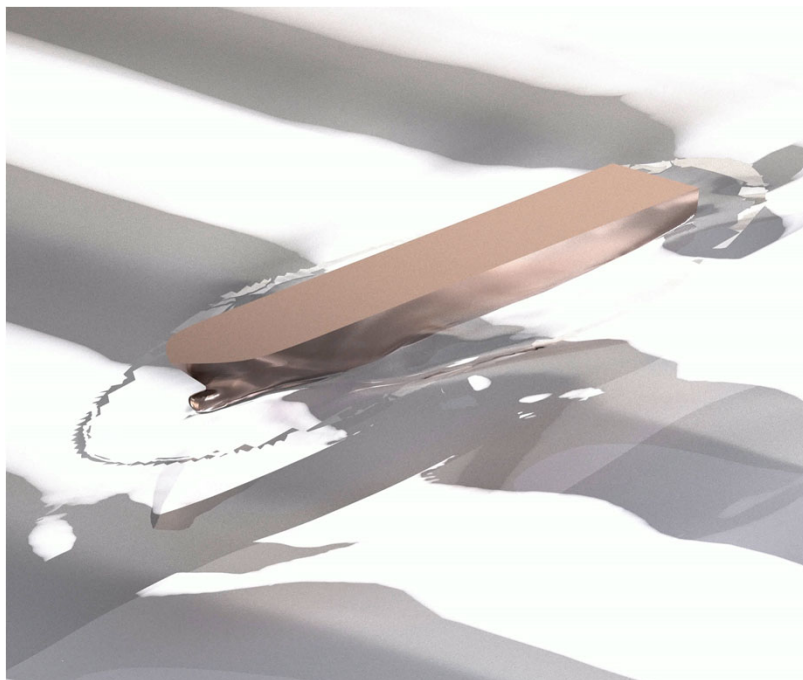
DLSA-Professional (コンテナ船の解析例)



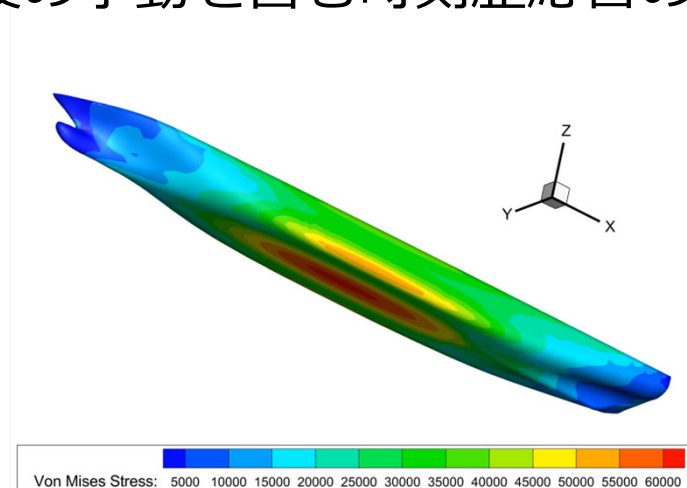
大波高下での応力状態を可視化

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

NMRI-DLSA

- DLSA-Basic
- DLSA-Professional
- DLSA-Advanced Technology

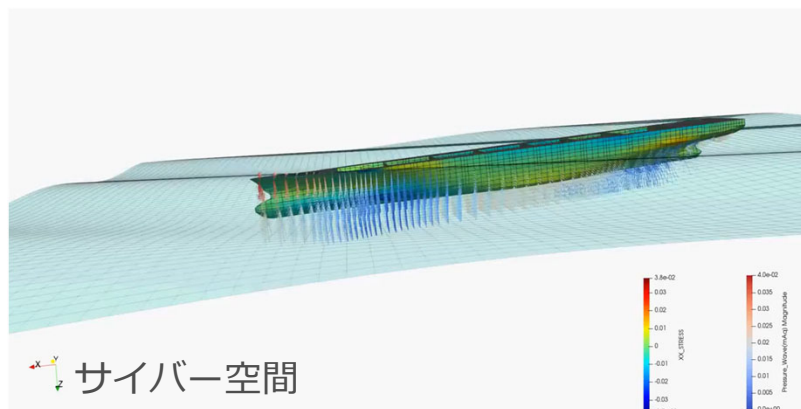
船体構造デジタルツイン

- ハルモニタリング
- データ同化手法
- デジタルツイン統合システム (i-SAS)

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



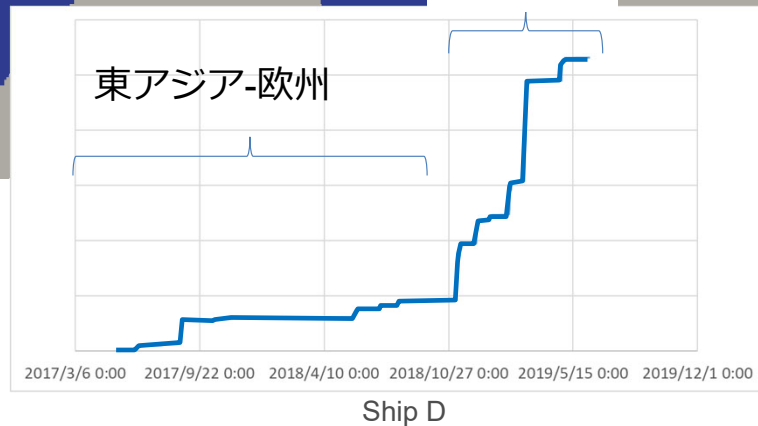
水槽試験用構造模型のデジタルツイン

※ 出典： 岡他「海事関連技術のデジタル変革に向けて」2020年度，海技研発表会

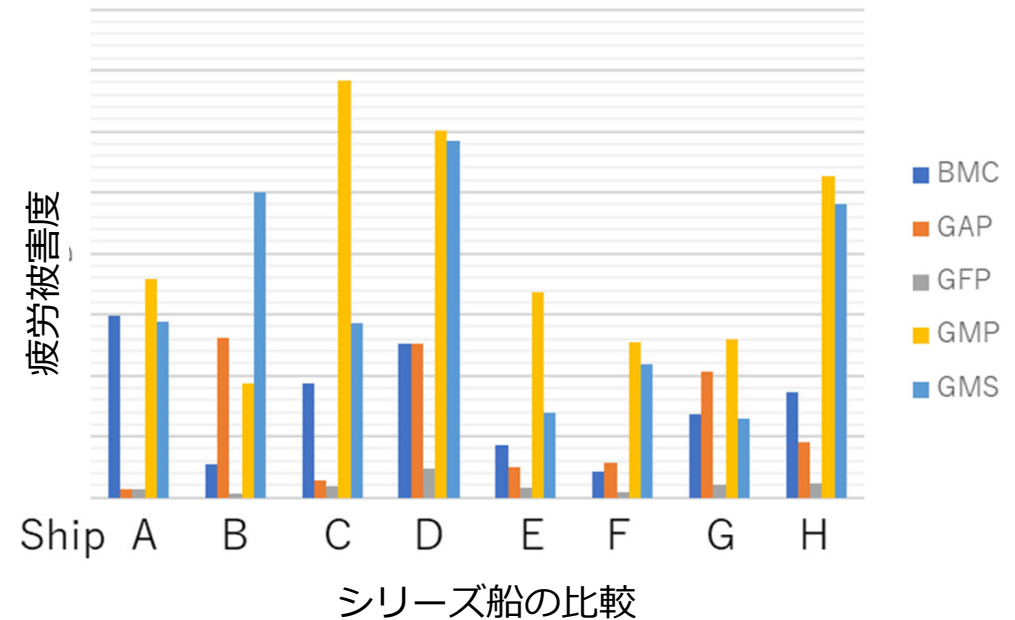
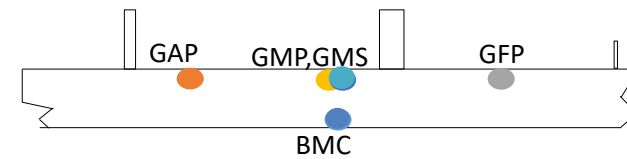
ハルモニタリング（センシング技術）



14,000TEU 型コンテナ船のハルモニタリング



疲労被害度の成長曲線（by NMRI-HMS※）



※船上モニタリング等で得られるマルチピークスペクトル型の非線形応力波形の統計解析プログラム，P第10825号-1

データ同化技術（波浪逆推定法）

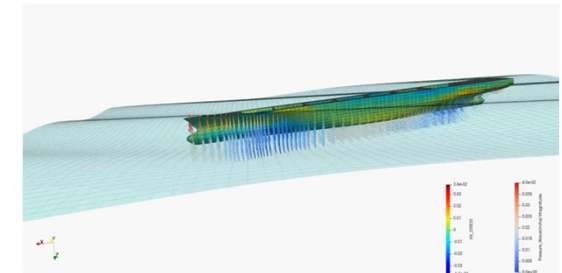


課題設定

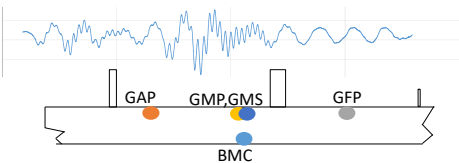
限られた計測点から船体全域の応力分布を如何にして得るか？

解決策

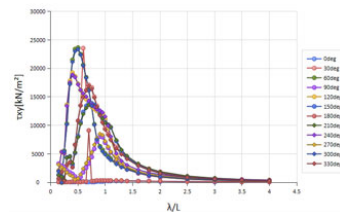
計測歪から波浪情報を推定して，荷重・構造の再解析を行なう
(波浪逆推定法)



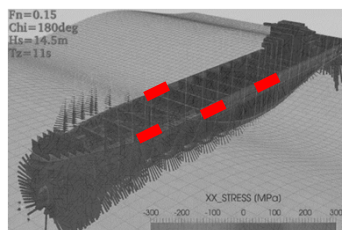
船体構造のデジタルツイン



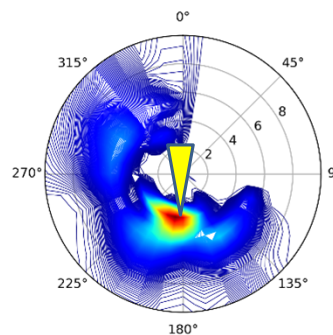
計測データ



応答特性

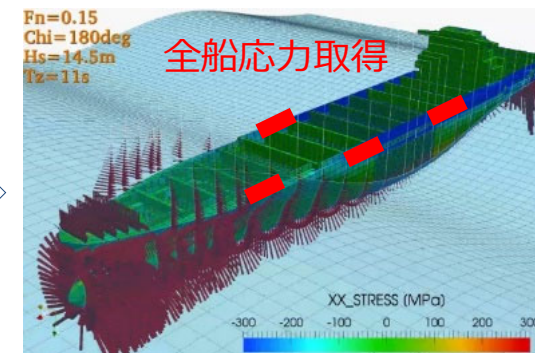


波浪逆推定

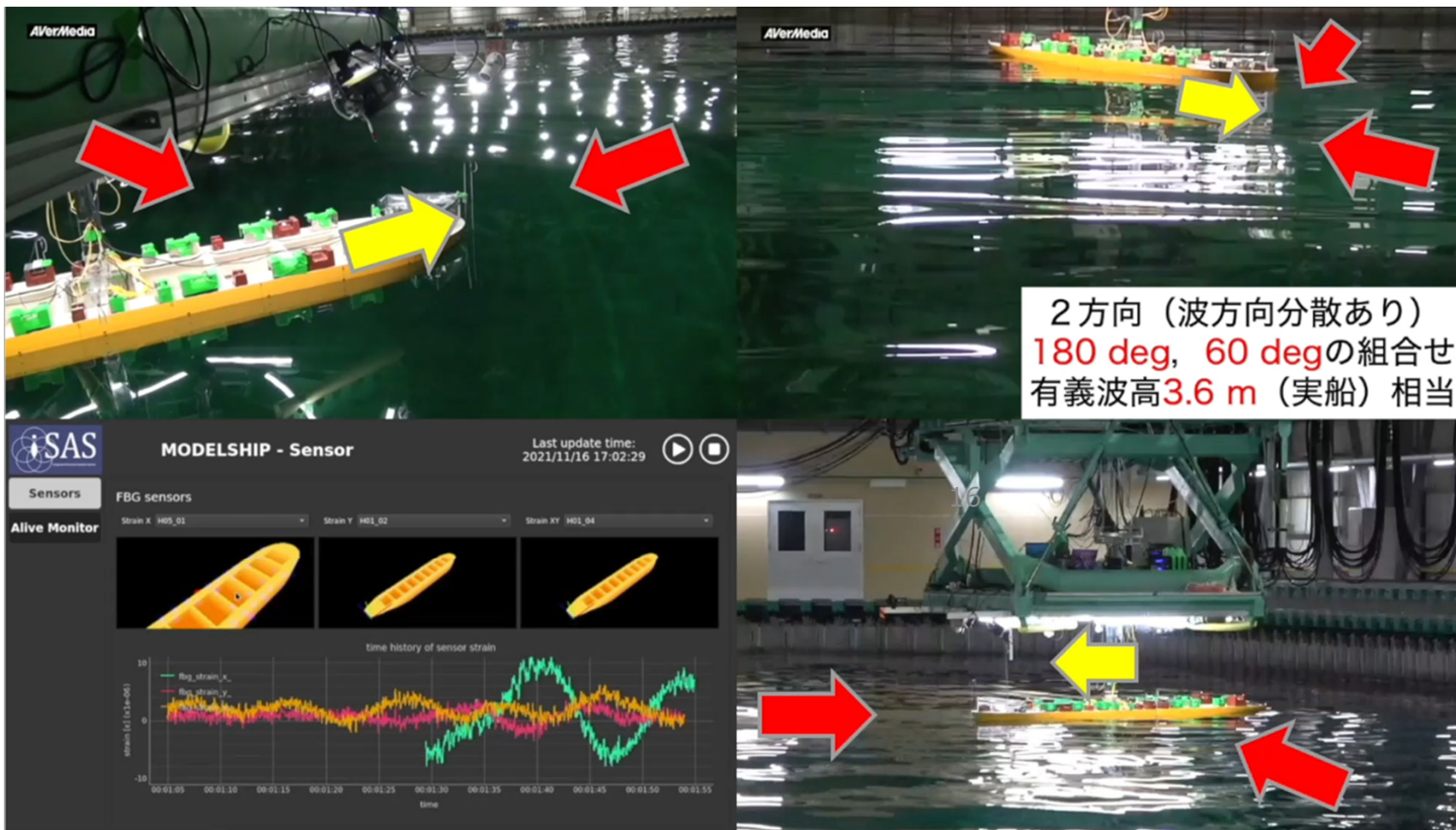


波方向スペクトル

数値シミュレーション

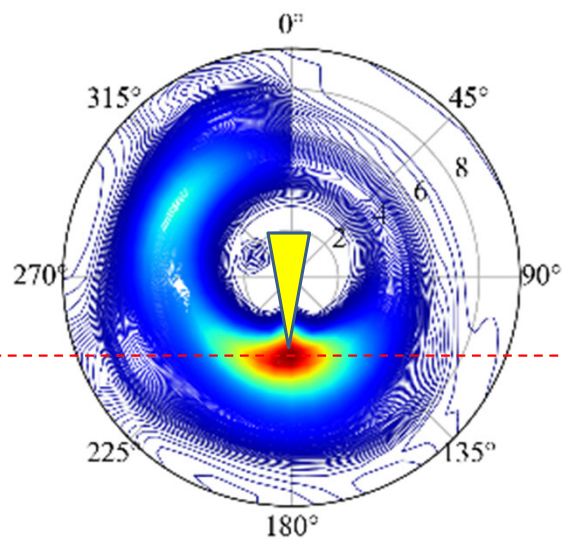


検証実験（2方向不規則波）

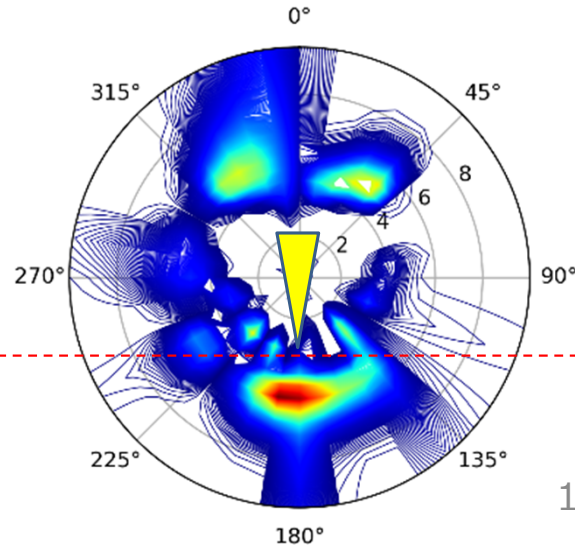


ケーブルサイズバルクキャリア（L=約280m）の構造模型による検証

造波した不規則波の方向スペクトル



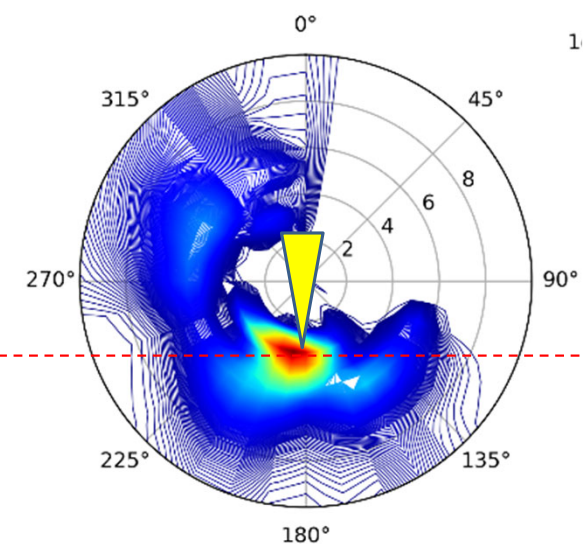
計測値 (正解)



船体運動による推定
(従来法)

推定結果1

17

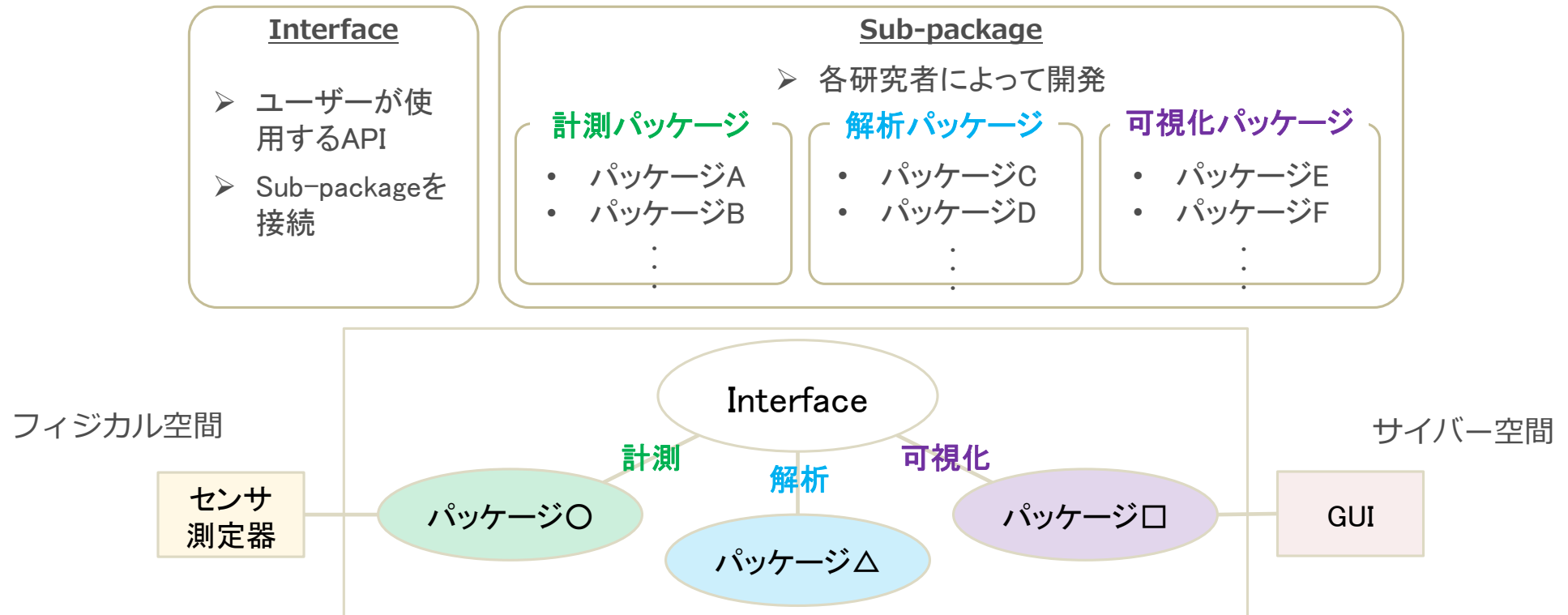


歪(デッキ4点)による推定
(提案手法)

推定結果2

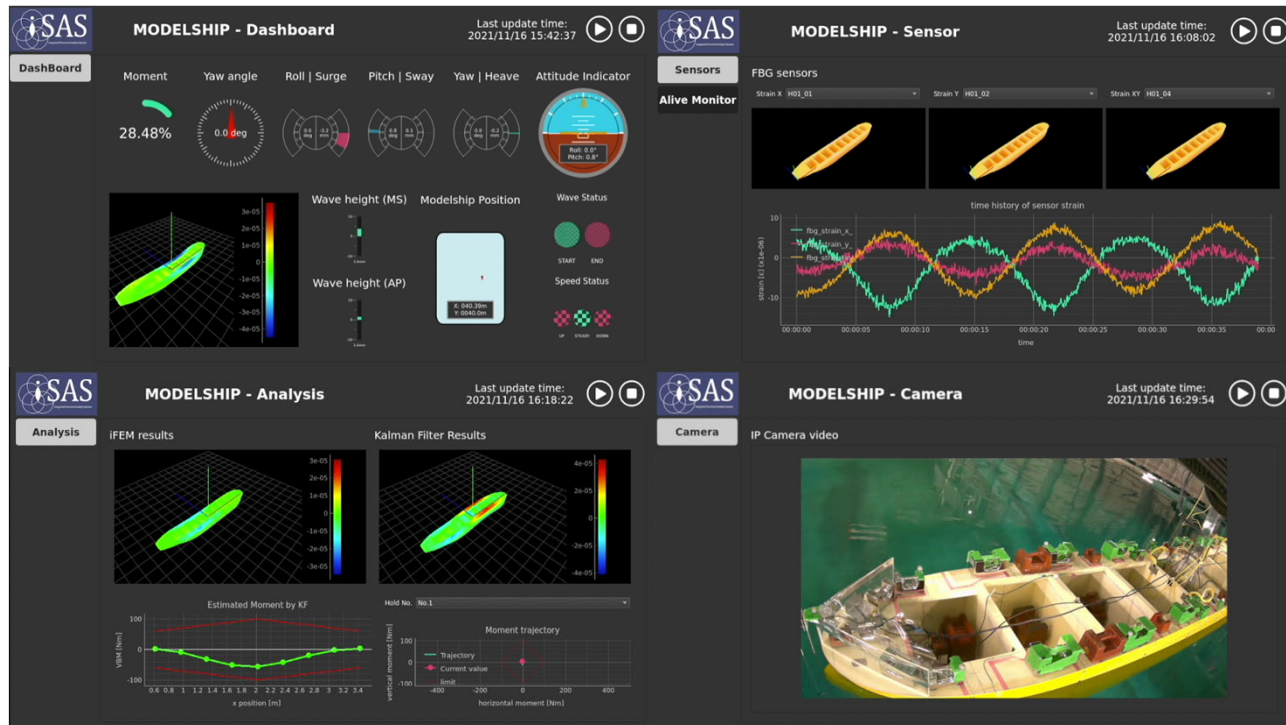
波 → 波浪荷重 → 船体への作用応力 を精度よく推定可能
船をブイとして利用することで、航路上の波浪情報を取得可能

デジタルツインシステム構築のためのプラットフォーム・ツール群を提供



- 容易かつ自由にデジタルツインシステムを構築可能

統合システム i-SAS (GUI)



水槽模型で検証済



就航船の搭載したi-SAS
(L=約320mの鉱石運搬船で検証中)

実船検証→実用化へ

第2期中長期の計画と展望

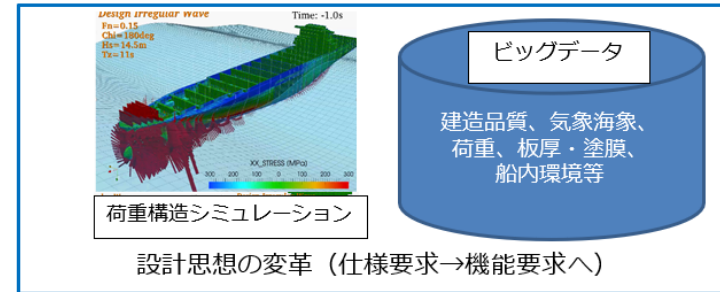
船体構造評価技術に関する研究

重点研究 1

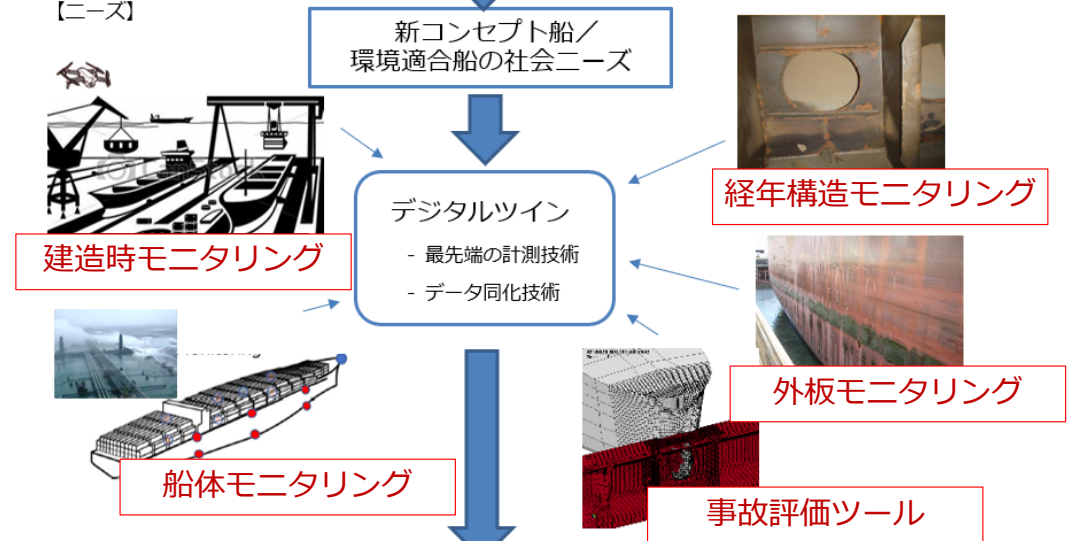
「船体構造評価技術に関する研究」

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

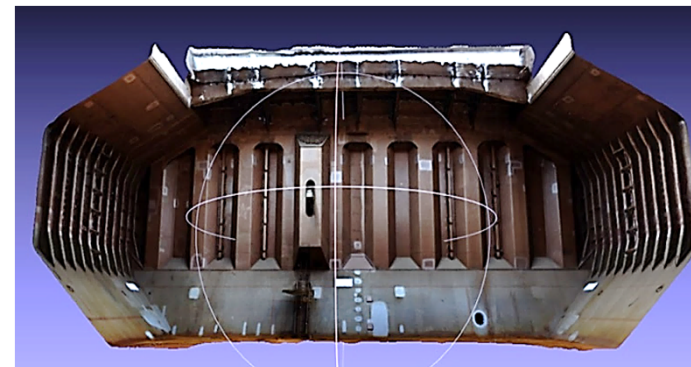


全船構造シミュレーションを活用した設計・建造・保守支援システムの開発を目標として研究を行なう。

- 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



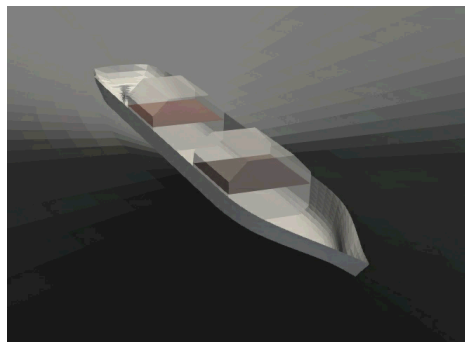
3D形状再現モデルによる工作精度の抽出
(Structure from Motion:SfMによる計測例)

1-2 応答推定

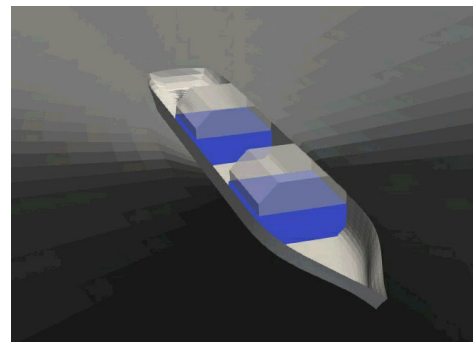


モニタリングデータ及び数値シミュレーションに基づく非線形荷重・構造応答推定及び強度評価に関する研究を行なう。

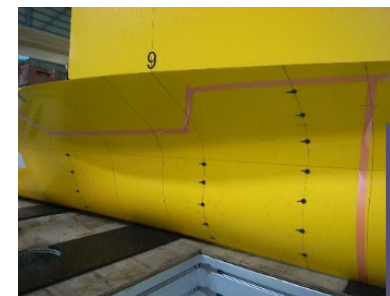
- ① 粒子法等による非線形船体応答推定手法の研究・開発
- ② オンボードにおける非線形応答及び強度の推定に向けた高速化手法の開発
- ③ データ同化技術に基づく波浪情報の不確定性解析手法の開発
- ④ 非線形統計予測法を適用した極値統計予測法の研究・開発
- ⑤ 構造模型による水槽試験及び船体モニタリングのデータを用いた検証



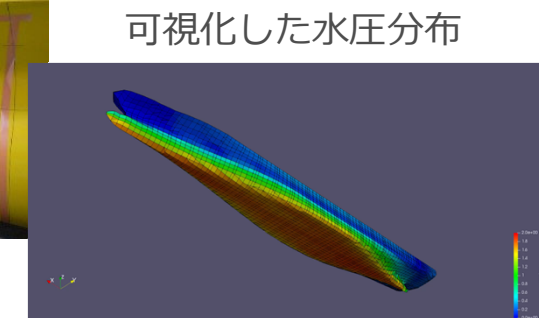
船体-タンク連成
パネル法



Hybrid法
(粒子法+パネル法)



FBG水圧計測

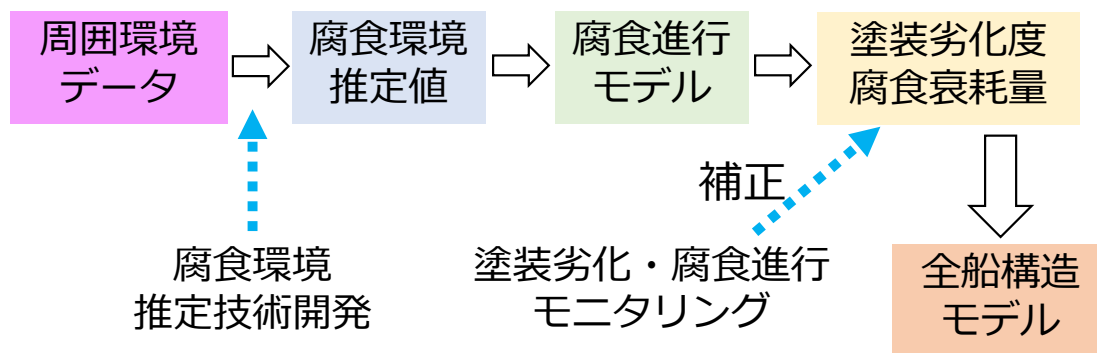


1-3 腐食推定



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

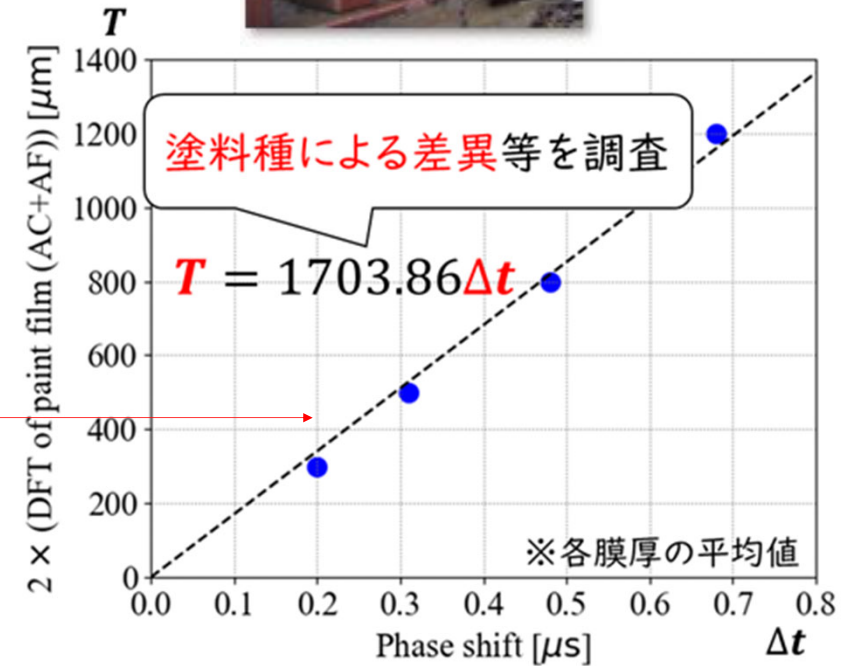
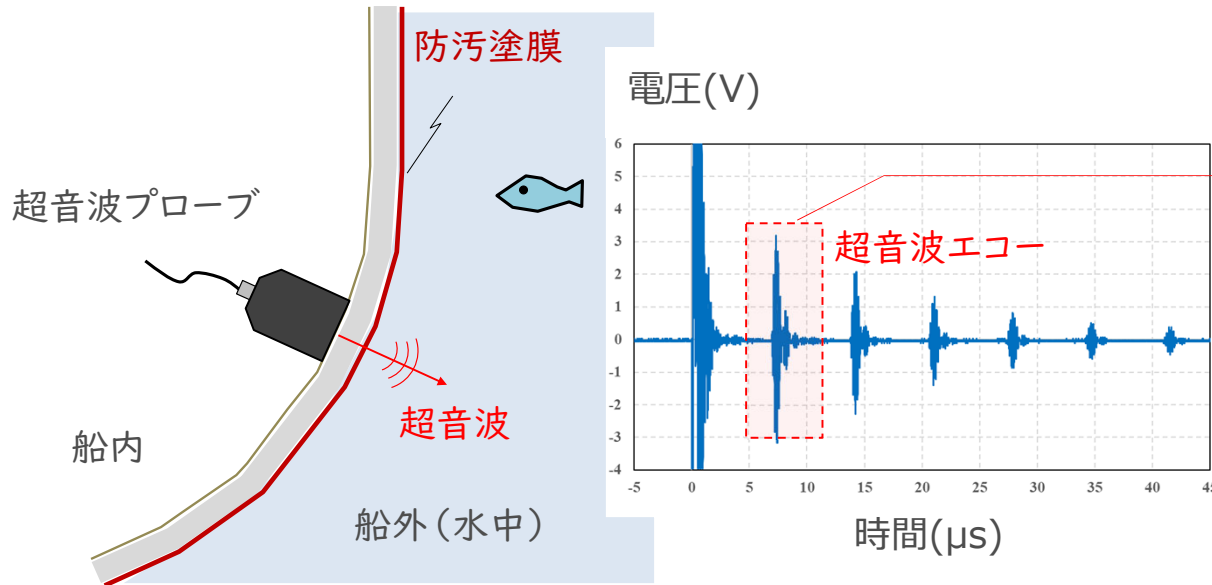


1-4 外板モニタリング



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



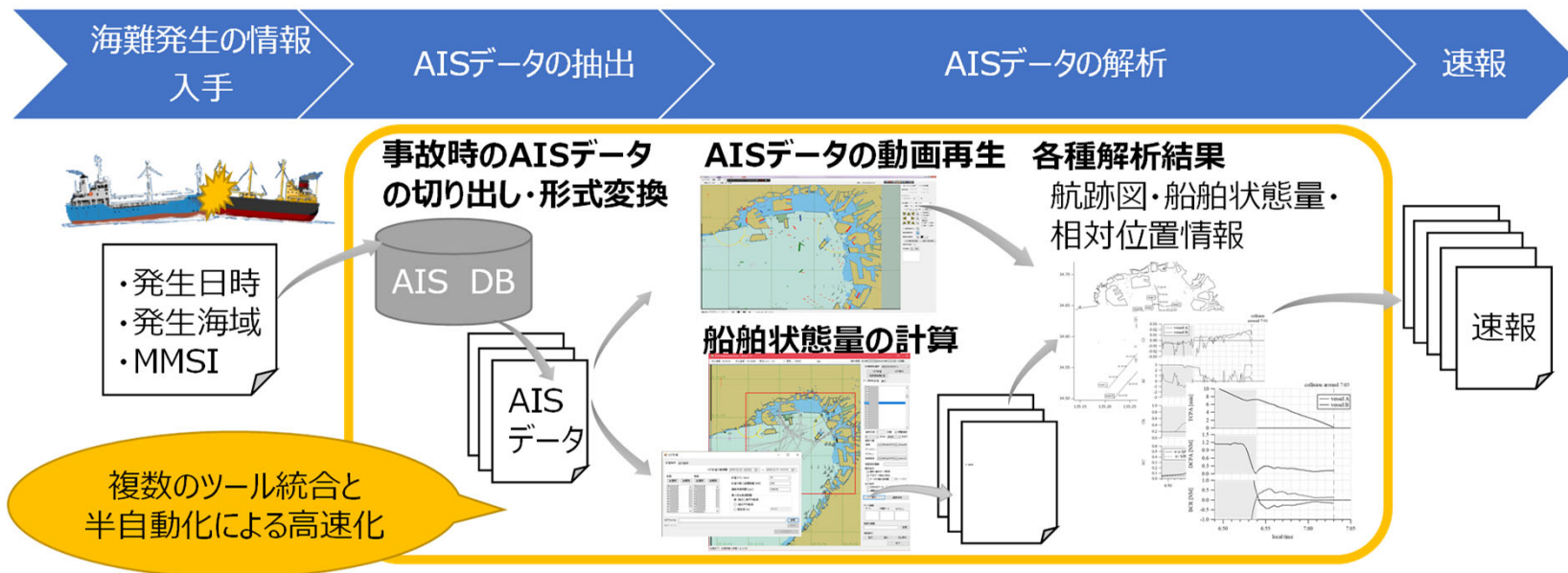
船内から計測による超音波エコーの変化と膜厚の関係

1-5 海難事故解析



海難事故解析技術の高度化・迅速化，事故時の安全性評価に資するツールの開発に関する研究を行なう。

- ① 数値水槽を用いた流体構造連成及び構造破壊を考慮した事故再現ツールの高度化，簡易推定手法の検討・開発
- ② 事故時のAIS活用技術の高度化・迅速化（衝突危険度評価技術の半自動化等）
- ③ リバースエンジニアリングを用いた事故船体及び損傷部位のデジタイジング・システムの開発
- ④ 海難事故データベース（DB）システムの構築・拡充及びその類型化



第1期中長期の成果，及びこれを活用・発展させ普及を目指す、第2期中長期の重点研究「船体構造評価技術に関する研究」の概要を説明した。

今後7年間の研究を通じて，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・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運航の実現に貢献する。

謝辞

本研究は，日本財団のご支援の下，（一財）日本船舶技術研究協会「超高精度船体構造デジタルツインの研究開発」で実施された内容を含みます。また，官民学共同研究プロジェクト「14000TEU級大型コンテナ船の船体構造ヘルスマニタリング」で実施された内容を含みます。各研究プロジェクト及び関係各位に謝意を表します。

ご清聴ありがとうございました

