SEA JAPAN 2020 海上技術安全研究所セミナー

全船直接荷重構造解析強度評価（DLSA）システムと船体構造デジタルツインの開発について

構造安全評価系
岡正義、村上睦尚、越智宏

本日の内容

- 海技研／構造安全評価系の長期ビジョン
- 数値シミュレーション（強度評価システムDLSA）
- ハルモニタリング
- 船体構造デジタルツイン
- 今後の課題とまとめ

構造安全評価系の長期ビジョン（要素研究）

研究ビジョン

★マイルストーン ■最終成果イメージ（目標） ▲検討事項 ○研究項目

2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030

①ハルモニタリング技術の確立

★センサ検証★波浪中操船シミュレータ構築★波浪逆算法 ★絶対応力計測手法 ▲AI/IoTを用いた統合型安全支援システム

横断的に対応

★データ解析・評価法 ★ハルモニタリングガイドライン提案 ▲データに基づく合理的設計法

■安全運航支援システム
■データ活用システム

○船体構造モニタリングシステムの開発 ○構造デジタルツインの開発

■船体構造デジタルツイン

②全船荷重構造一貫解析のCoE

★実船データ/水槽試験データ/シミュレーションの拠点

★DLSA-Pro.開発・実用化 ★DLSA-UI.開発・実用化 ▲DLSAと実データの検証

★高精度解析手法
CFD内外圧で崩壊強度等

横断的に対応

★ウレタン模型水槽実験 ★多方向波水槽実験 ★大型構造体実験 ★FRP模型水槽実験 ★数値水槽シミュレーション

■DLSA社会実装
■ベンチマークの拠点

○新構造基準作成に資する体系化された荷重・構造強度評価システムの開発

③合理的な規則開発に資する技術ソリューション提供

▲構造信頼・確率論に基づく規則体系構築

■合理的な構造基準

横断的に対応

★規則に資する要素抽出 ★運航/保守・検査/損傷データ解析 ▲現行規則との安全レベルの整合 ★最新技術ソリューションの提供

★実データに基づく基準の策定方法についてIMOに提案

○新構造基準作成に資する先進的な荷重・構造強度評価の開発

④厳しい海象下の構造安全性評価技術の構築

★厳しい海象における応答再現実験 ★厳しい海象の定義と発生確率 ★遭遇確率 ▲最大応答波浪

★荷重作用時間と損傷 ▲最終強度評価 ▲崩壊シナリオ ★時刻歴動的崩壊シミュレーション ★構造模型水槽実験

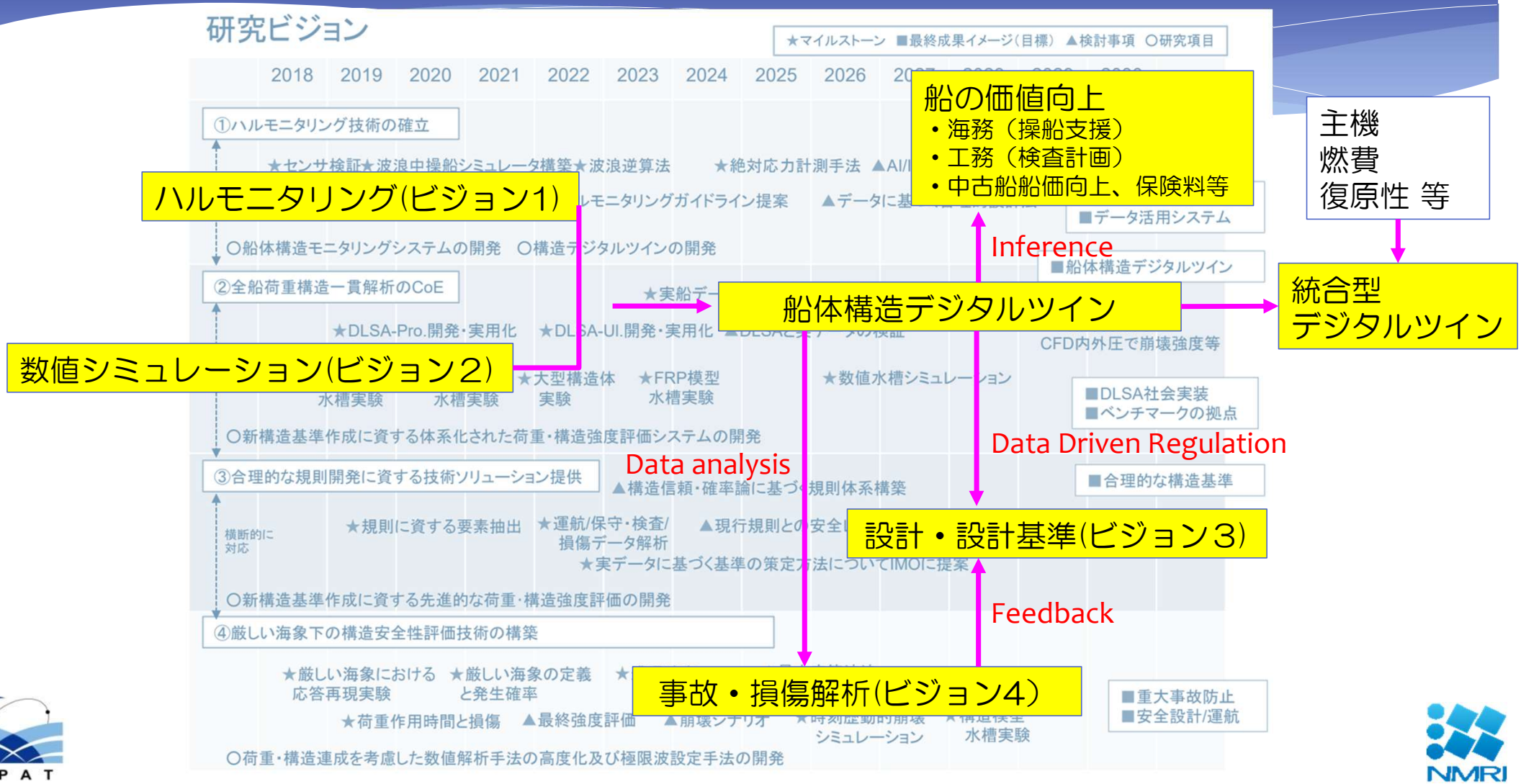
■重大事故防止
■安全設計/運航

○荷重・構造連成を考慮した数値解析手法の高度化及び極限波設定手法の開発

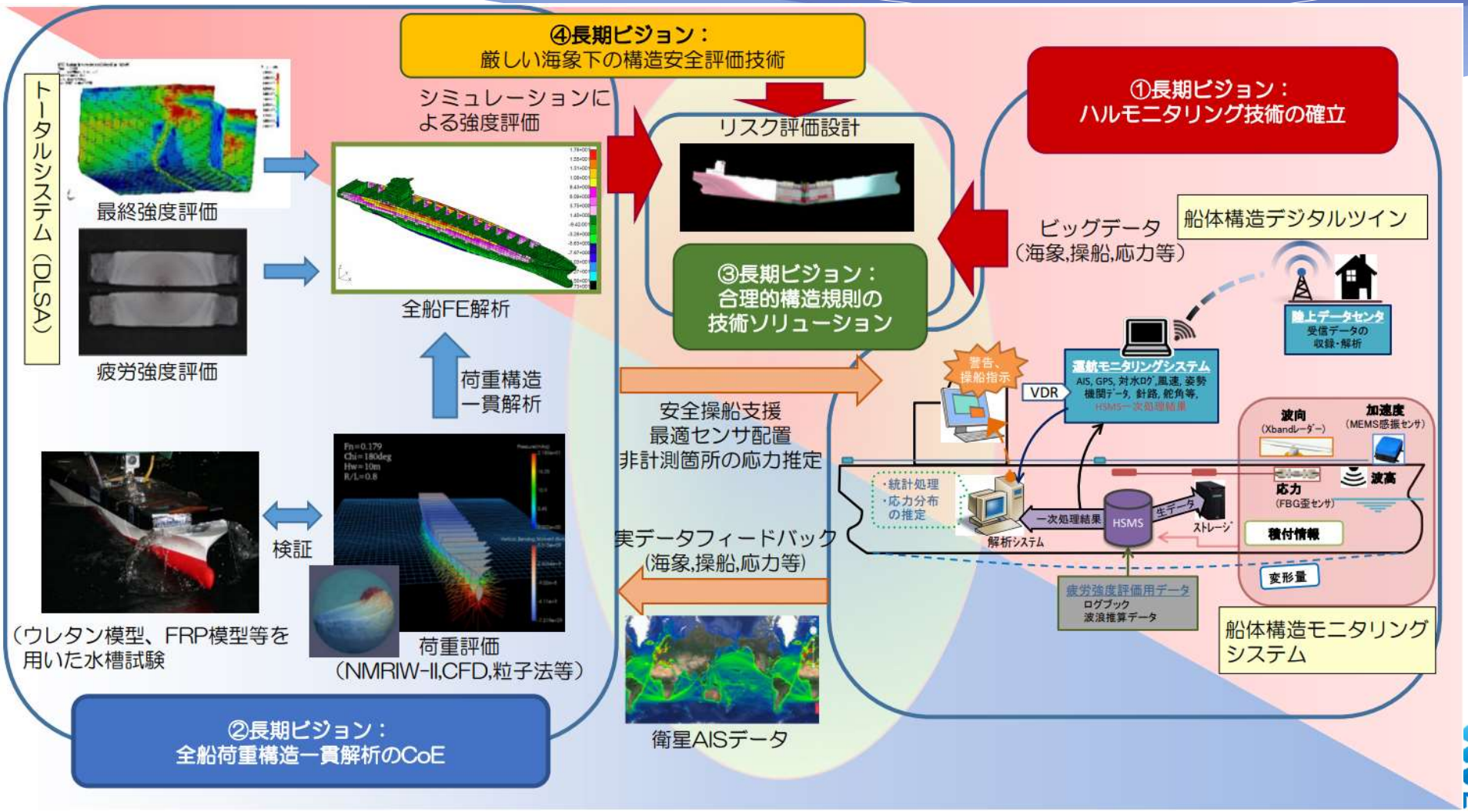
MPAT

NMRI

構造安全評価系の長期ビジョン（ロードマップ）



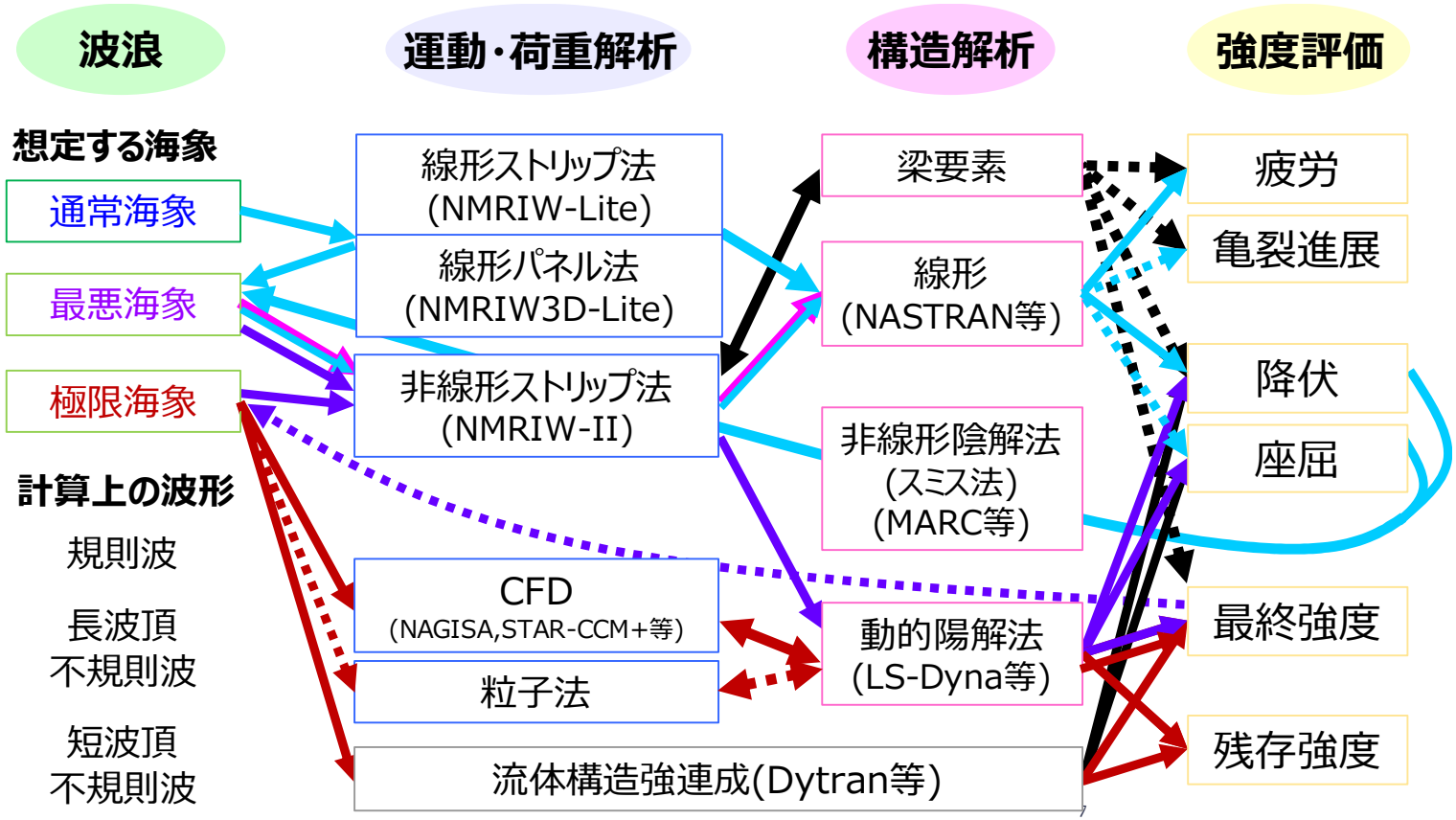
構造安全評価系の長期ビジョン（要素研究）



数値シミュレーション
（DLSA；Direct Load and Structural Analysis system）

NMRI-DLSAの概要

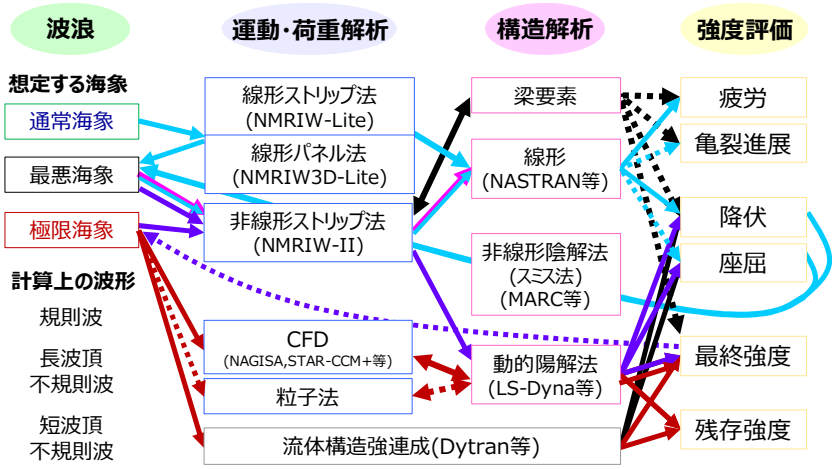
・一貫解析をシームレスに行える一連のプラットフォームを用意、解析手順を提示
・大型船型、新形式船型の設計における**標準プログラム化**を目指す



NMRI-DLSAの概要

【新設計・初期設計、不具合検証】		
DLSA-Basic	降伏・疲労（・座屈）を網羅的に実施 →設計海象から最悪海象を特定	1日
DLSA-BasicW	最悪海象での強度評価	0.5日
DLSA-Professional	最終強度（極限海象・設計不規則波）	1.5日
【事故調査、研究】		
DLSA-Ultimate	事故時残存強度・最終強度	20日～

◆一貫解析をシームレスに行える一連のプラットフォームを用意、解析手順を提示
◆大型船型、新形式船型の設計における**標準プログラム化**を目指す



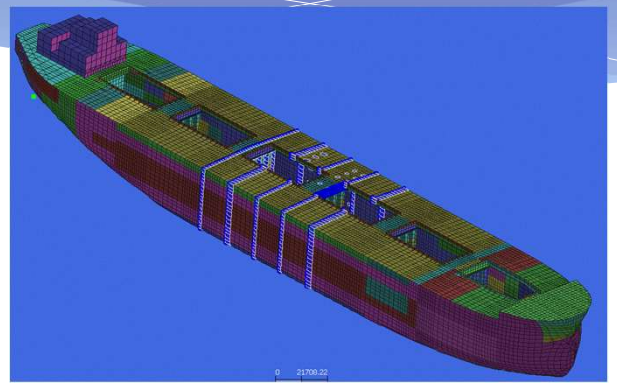
DLSA-Basicの適用例

全船荷重構造一貫解析のリードタイム

NMRIW-Lite 計算準備 → 4H

オフセット、喫水、慣動半径、重量分布

DLSA-Jupiter
全船FEM計算準備 → 1day



全船FEモデル（総要素数507,548、総節点数269,008）、タンクFEモデルの境界要素抽出

今後1／3の時数に改良

NMRIW → Lite：5min / 3D-Lite: 3H

DLSA-Basic Bridge → 15min

NASTRAN → 6H
- 1ケースあたり30秒

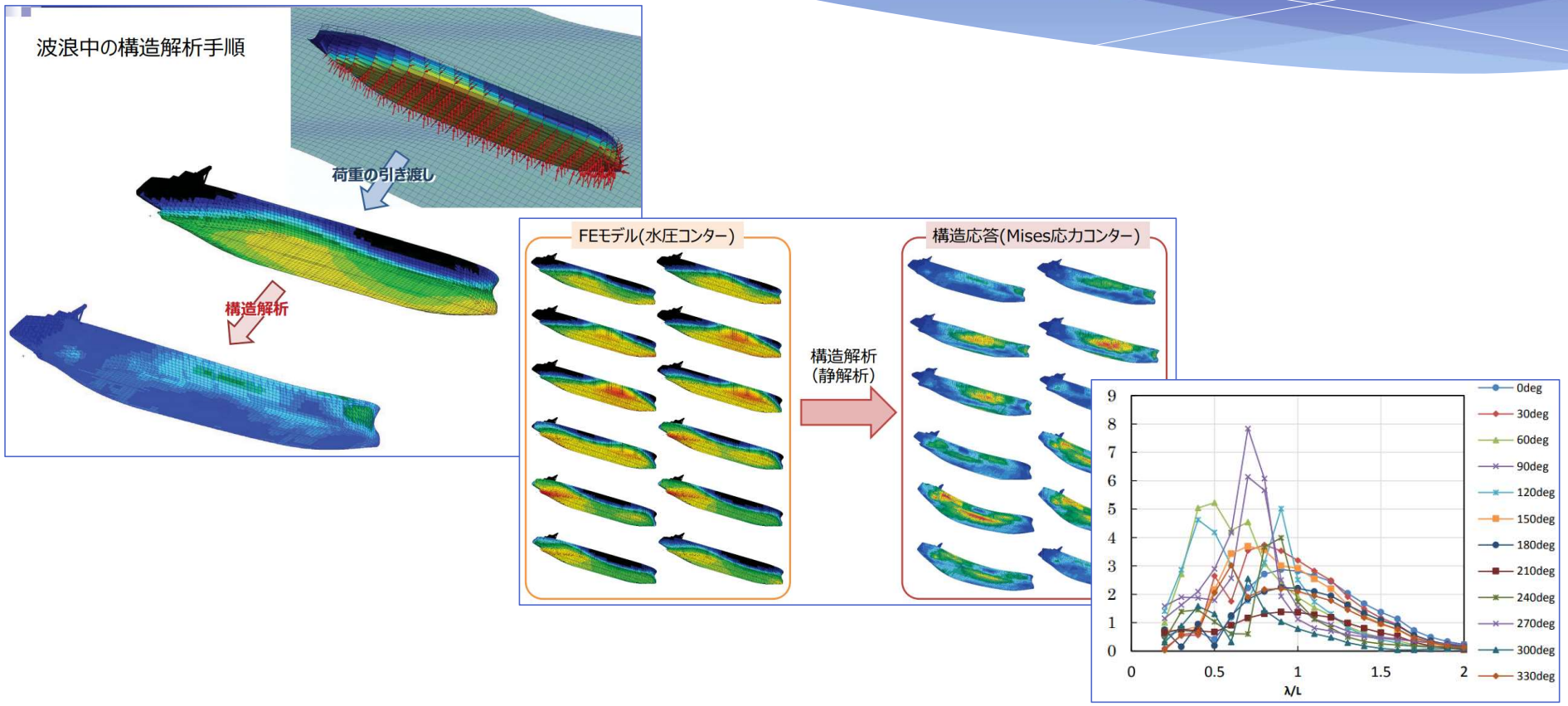
DLSA-Basic
Projection & POST → Projection : 5H / POST : 5min

1コンディション（960ケース）あたりの計算時間

解析条件（1コンディション）

- ✓ 波高：2ケース
- ✓ 波長：40ケース
- ✓ 波向き：12ケース
- ✓ 船速：2ケース
- ✓ 積付状態：1ケース

DLSA－Basic



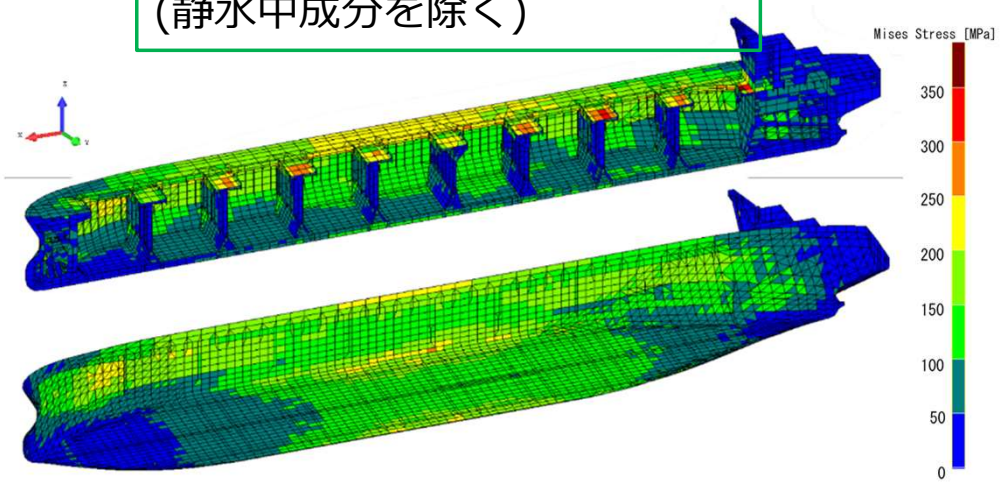
応力の応答関数

海技研DLSAセミナー2019開催報告（https://www.nmri.go.jp/news/another_news/news191115.html）

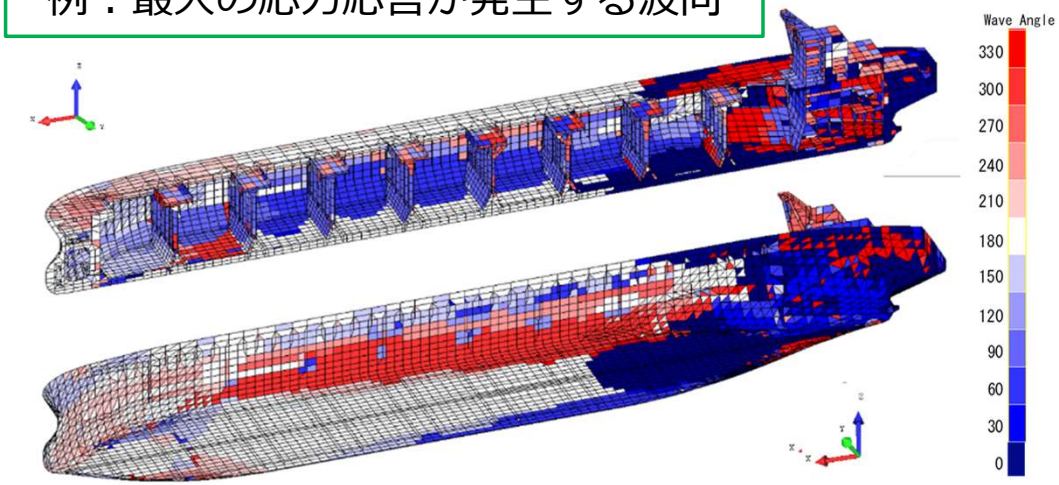
DLSA-Basic Projection

・統計予測(各要素毎)結果を船体モデル上に表示
※GUI上で操作可能
各応力成分及びvon-Mises応力: 最悪海象, 10^{-8}最大期待値, 疲労被害度etc

例：Mises応力10^{-8}最大期待値
(静水中成分を除く)



例：最大の応力応答が発生する波向

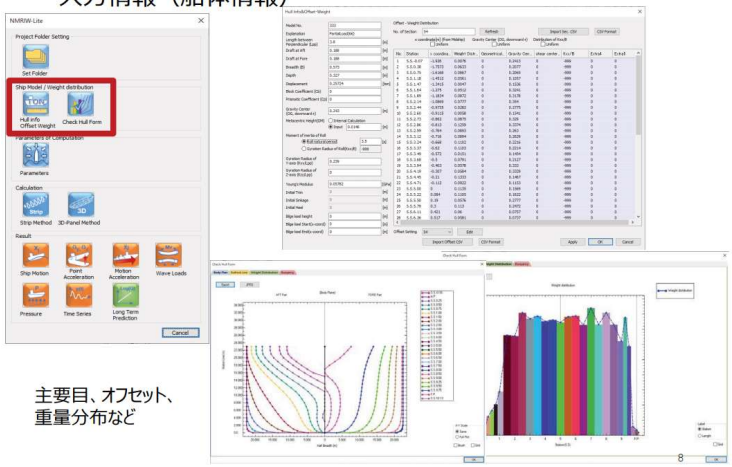


・統計予測結果を視覚的・総合的に把握
→ 部位毎に支配的な条件の特定,
より詳細に評価すべき部位の検討

海技研DLSAセミナー2019開催報告(https://www.nmri.go.jp/news/another_news/news191115.html)

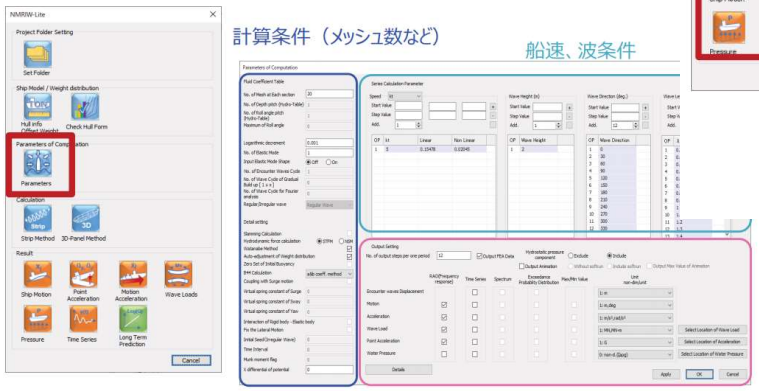
DLSA－Basic(GUI)

入力情報（船体情報）

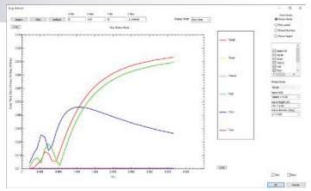


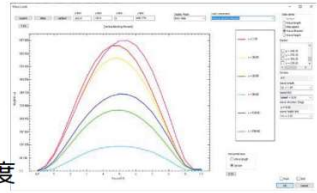
主要目、オフセット、
重量分布など

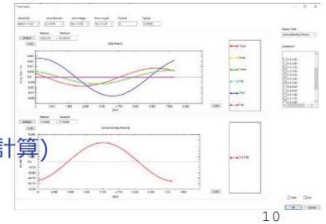
入力情報（船速、波条件、出力条件など）



出力情報







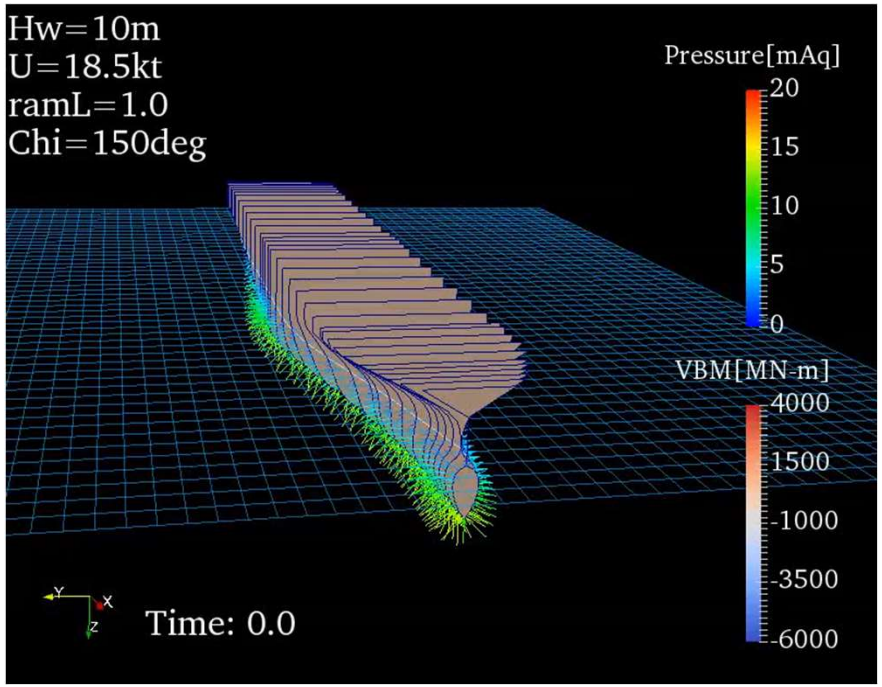
- ・6自由度運動＋弾性運動
- ・運動加速度
- ・ハルガーダ断面力分布
  - ├軸力
  - ├水平せん断力
  - ├垂直せん断力
  - ├水平曲げモーメント
  - ├垂直曲げモーメント
  - └捩りモーメント
- ・任意箇所の上下・左右加速度
- ・水圧（任意箇所、成分毎出力可）
- ・流体力

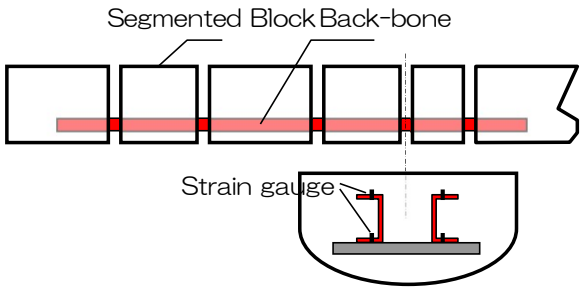
＜出力形式＞

- ・応答関数
- ・模擬時系列(振幅と位相から計算)
- ・アニメーション

検証実験

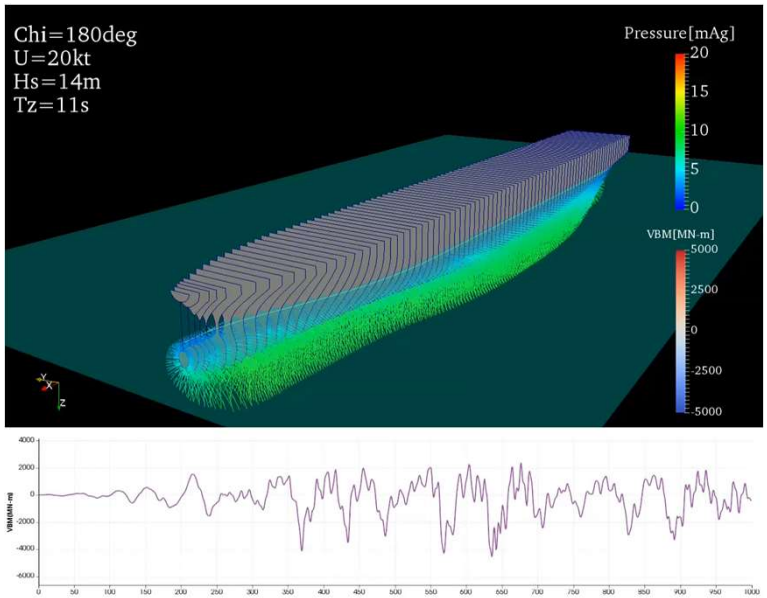
バックボーン模型を用いた
斜浪中曳航試験



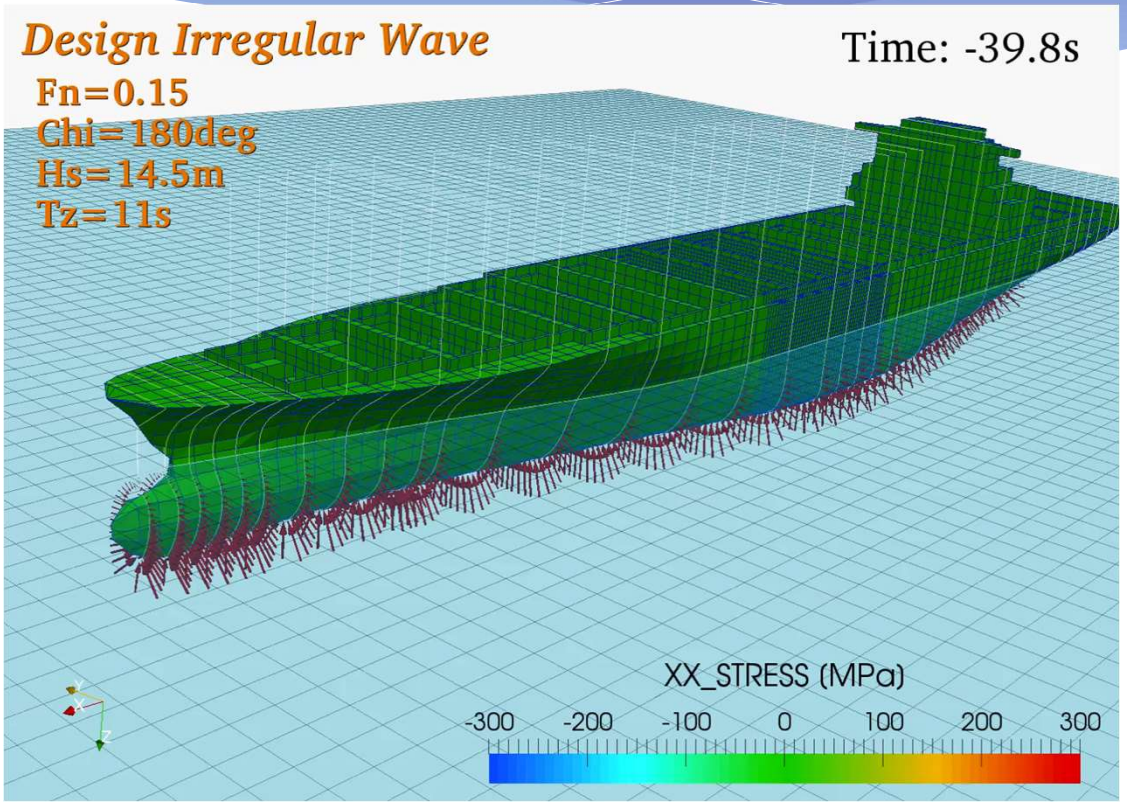


バックボーン型分割模型

DLSA-Professional



短波長不規則波（実海面）に対応

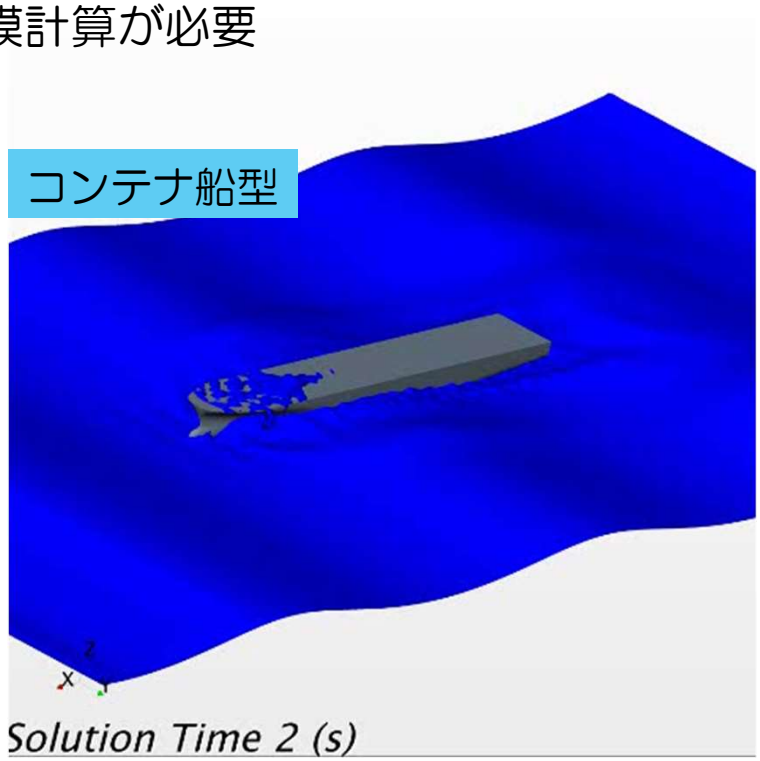


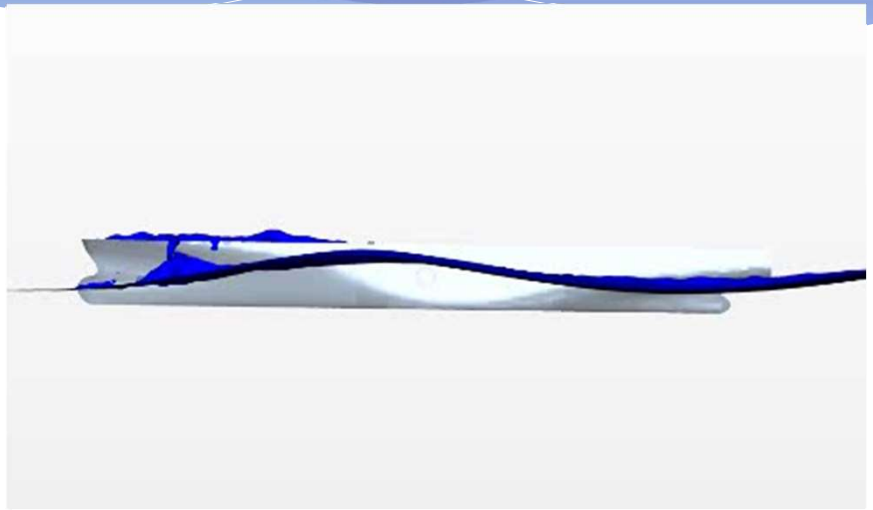
波浪・船体運動・応力分布を同時に可視化

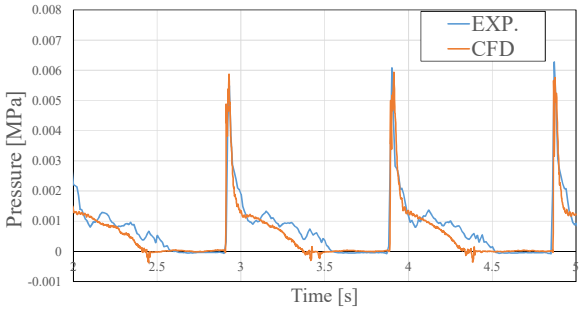
DLSA-Ultimate（開発中）

CFD（STAR-CCM+）：非線形荷重シミュレーション

- 非線形荷重（スラミング、海水打込み）を再現
- 空気圧縮スラミングのスケール影響の評価のため大規模計算が必要





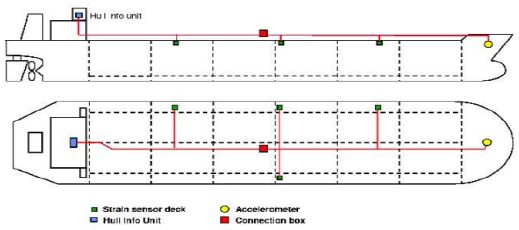


フレアスラミング水圧

ハルモニタリングシステム

ハルモニタリングシステムの普及

実船応力計測
→　ハルモニタリング
（商品化）



HMSの例（ LightStructure社）

System Name	Vendor	Location	Instrolations	Approved
HMS Hull Monitoring System	MCA Consultants	Newport Beach,CA,USA		
HULLFIB	Micron Optics, Inc Global Maritime Engineering	Atlanta, GA, USA Busan, Korea		ABS, BV, DNV, LRS, etc
HULLMOS	Rouvari Oy Sirehna HMC	Helsinki,Finland NANTES, France Almere-Stad, Netherlands	20+	LRS,DNV,ABS,BV
Hull Stress Monitoring System	CPE System	Abbotsford, VIC,Australia		DNV
Naviscan HSMS	Korea Marine Technotogy Sea Structue Technology	Ulsan, Korea Daejeon, Korea	40 (2001-2008)	DNV, LRS,ABS,KR, BV,NK
Scimar	BMT Scientific Marine	Escondido, CA, USA		ABS
SENSFIB	Light Structure	Oslo, Norway	Over 100 (since 2002 claimed)	DNV, LRS, BV, ABS, RINA
Sh.A.M.An (Ship Advanced Monitoring and Analysis	CETENA	GENOA, Italy		RINA
SMART^STRESS	BMT SeaTech	Southampton, UK		(All major class society)
StressAlert	Strainstall	Isle of Wight, UK	Over 100	LRS,DNV,ABS,etc

（出典）　Austratian Government Department of Defence, Review of Hull Structural Monitoring Systems for Navy Ship(2013)

ハルモニタリングシステムの普及の背景

① 光ファイバ型センサへの転換

電気ノイズ及び電気的ドリフト
が少なく安定した計測が可能

溶接型歪みゲージ

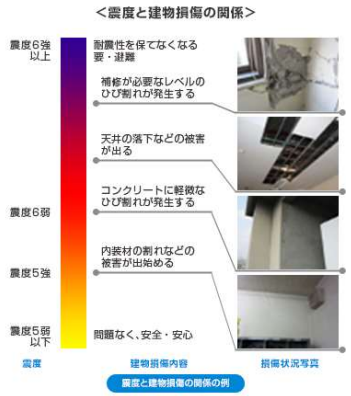
Fiber optic short-base sensor
Maker: Light Structures AS
Approvals/testing: DNV type approval

光ファイバセンサ（FBG；Fiber Bragg Gratings）
（Light structure 社、シミウス社）

② 異常検出デバイスとしてのニーズ

MEMS加速度計

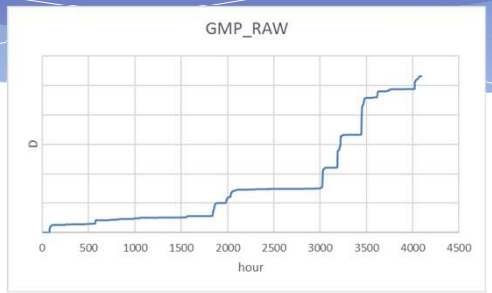
地震発生時の表示例
※建物に応じて表示画面はアレンジ可能



建物のヘルスモニタリングの例（富士電機ホームページより）

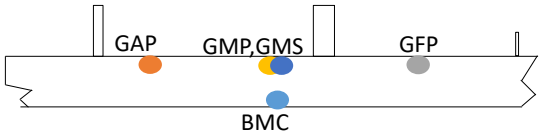
（研究事例紹介）14000TEU型コンテナ船のヘルスモニタリングプロジェクト

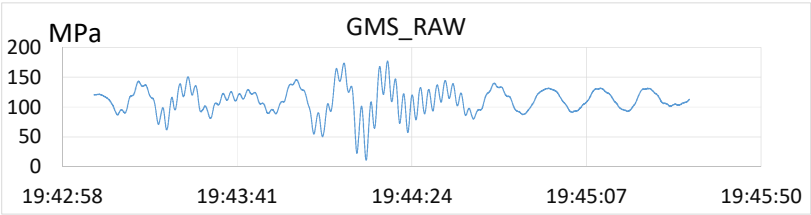
シリーズ船（10隻）でモニタリングを実施



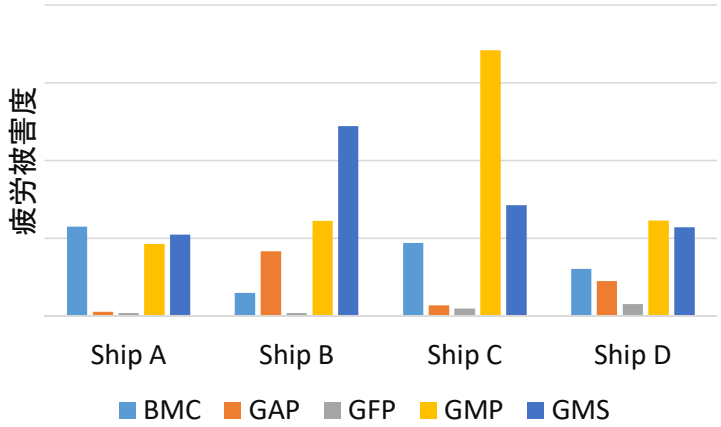
疲労被害度の成長曲線

（出典：米澤他,Monohakobi Techno Forum 2017）





縦曲げ応力波形

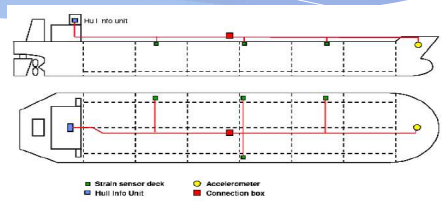


個船の疲労被害度の違い

出典：平成30年度国土交通省 先進安全船舶技術研究開発補助事業「大型コンテナ船における船体構造ヘルスモニタリングに関する研究開発」

ハルモニタリングシステム普及の課題

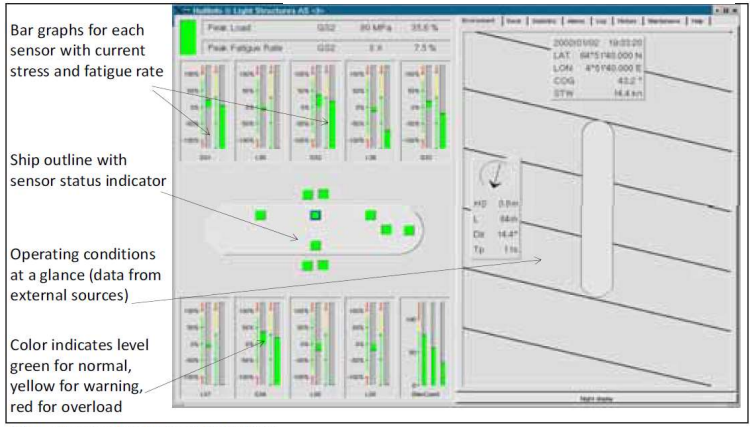
ハルモニタリングの主体が、建造者から運航者へ移ったことが大きな変革
→　安全装置としての活用、寿命評価としての効果を期待



【課題】

（ユーザの声）装置搭載の効果が少ない

- データの信頼性不足
- 情報量の不足（応力は1隻につき4～5点が標準）



Hull info graphical user interface.

HMSを安全装置として利用した例
出典：ノルウェー Light Structure 社

【解決策】

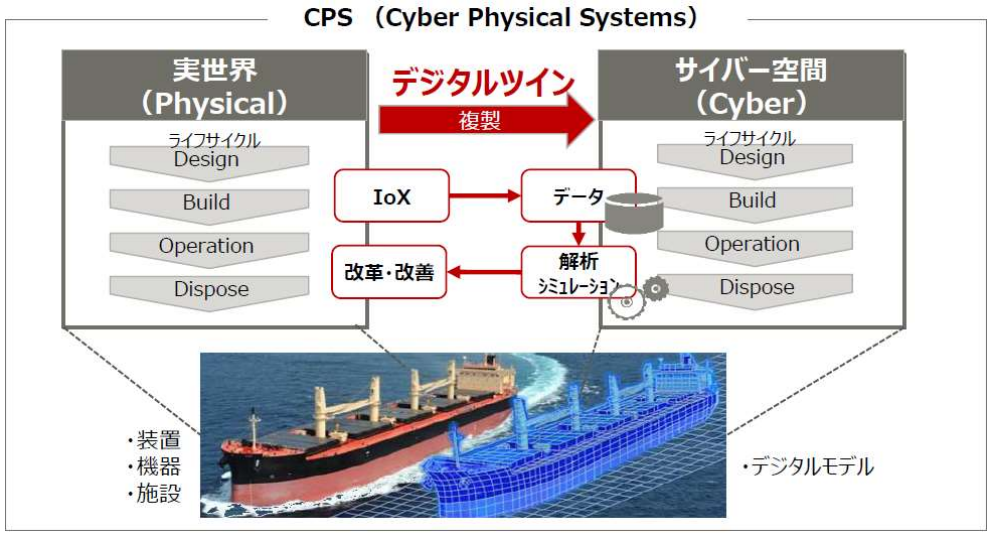
CAE（DLSA）の活用

ハルモニタリング → 船体構造デジタルツインへ

船体構造デジタルツイン

次世代モニタリング技術：デジタルツイン

「デジタルツイン」とは；
現実空間の乗り物や機器の環境と状態を、応答のモニタリングや数値解析技術をもとに、あたかも双子（”ツイン”）のようにサイバー空間上に”デジタル”で再現するという技術
→デジタルで再現した環境や状態を解析・分析して活用するシステムを作ることが肝要



出典：ClassNK HP

船体構造デジタルツインに期待すること

船の価値向上
- 安全操船支援（荒天中操船）
- 最適航路支援（ウェザールーティング）
- 検査計画支援
- 中古船船価向上、保険料　等

DLSAをベースとしたデジタルツイン

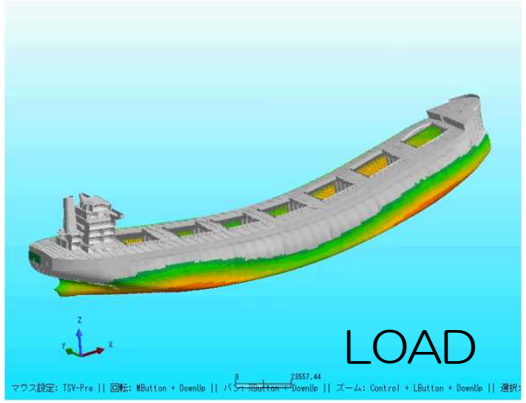
* 船体構造デジタルツインの実現のため、
  応力の計測データの信頼性向上
  非計測点の応力推定
  が重要。

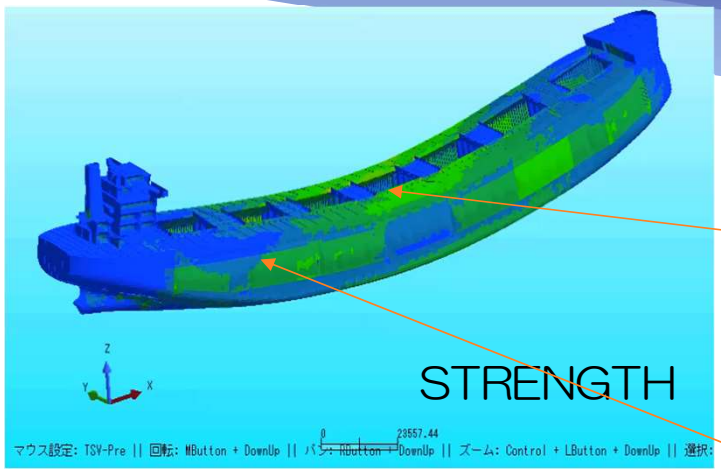
* 海技研では、上記の課題に応じるため、応力RAOより非計測点の応力を推定する機能を持つ「DLSAをベースとしたデジタルツイン」を開発中

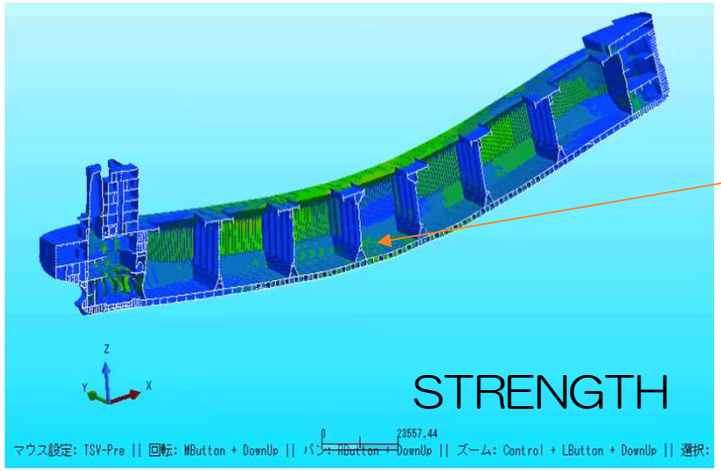
* 本日は、
  推定精度検証のための水槽試験
  AISデータを用いた実船への適用検討

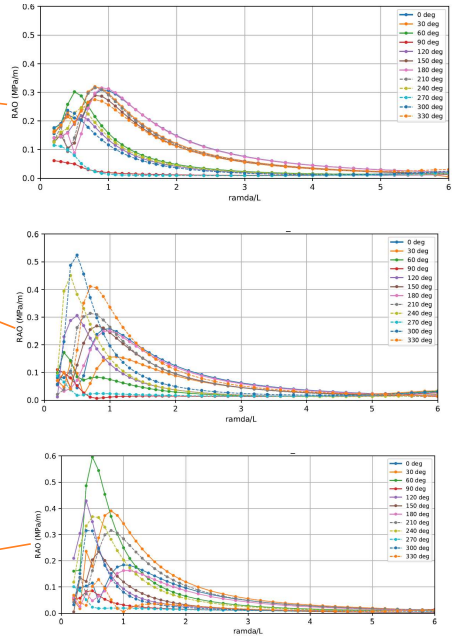
  について紹介する。

DLSAをベースとしたデジタルツイン









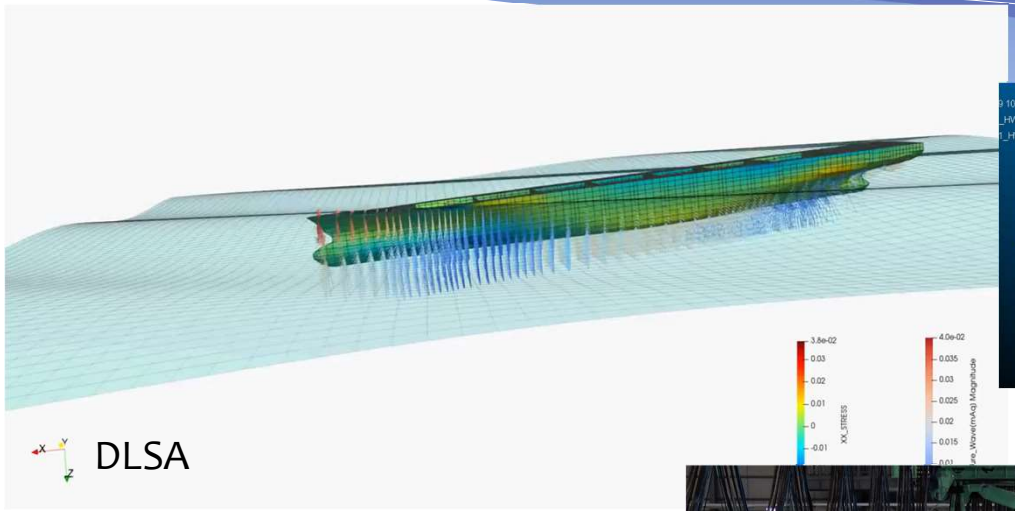
Stress RAO
（Calculate by DLSA）

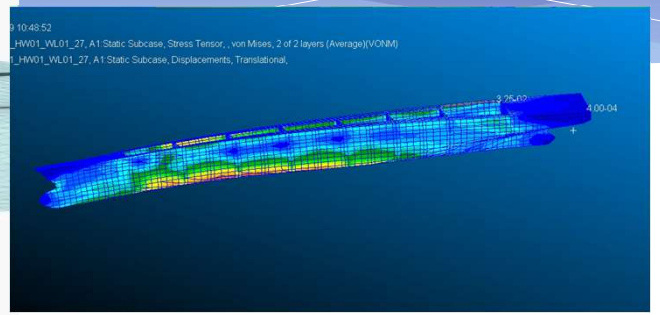
実船へ搭載

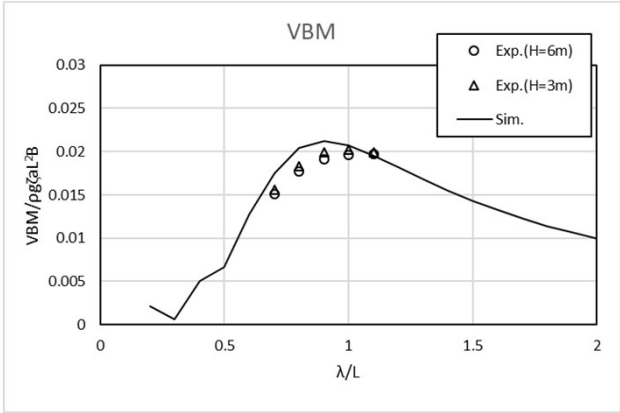
モニタリングデータ
の同化技術

状態量推定

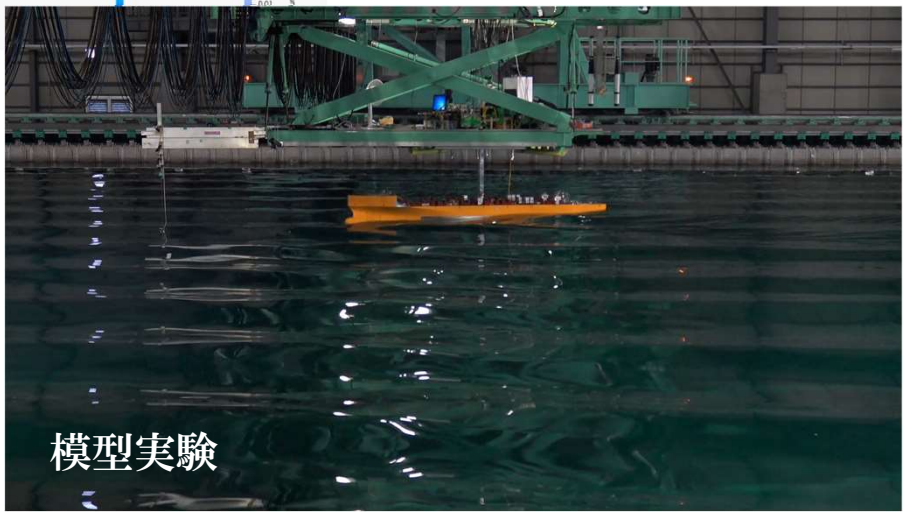
水槽模型のデジタルツイン（応力）



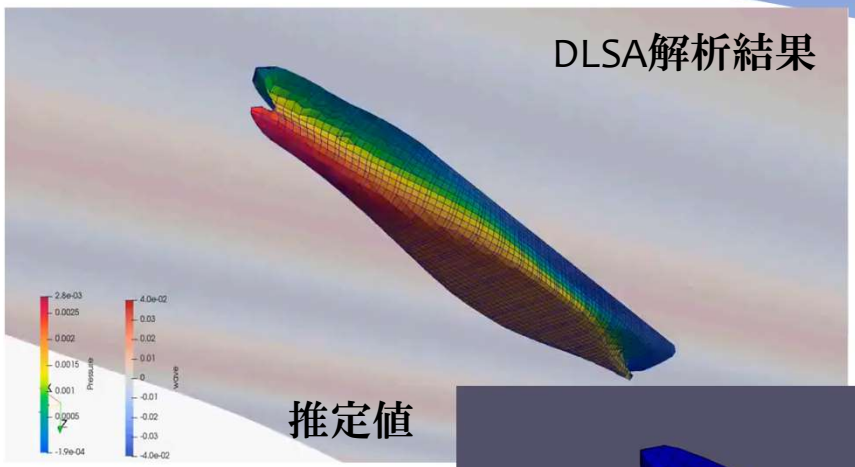




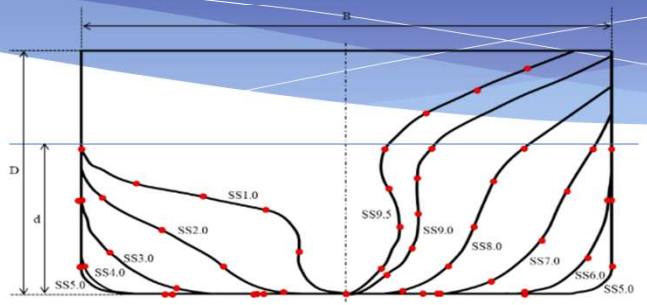
検証の結果
（縦曲げモーメント）



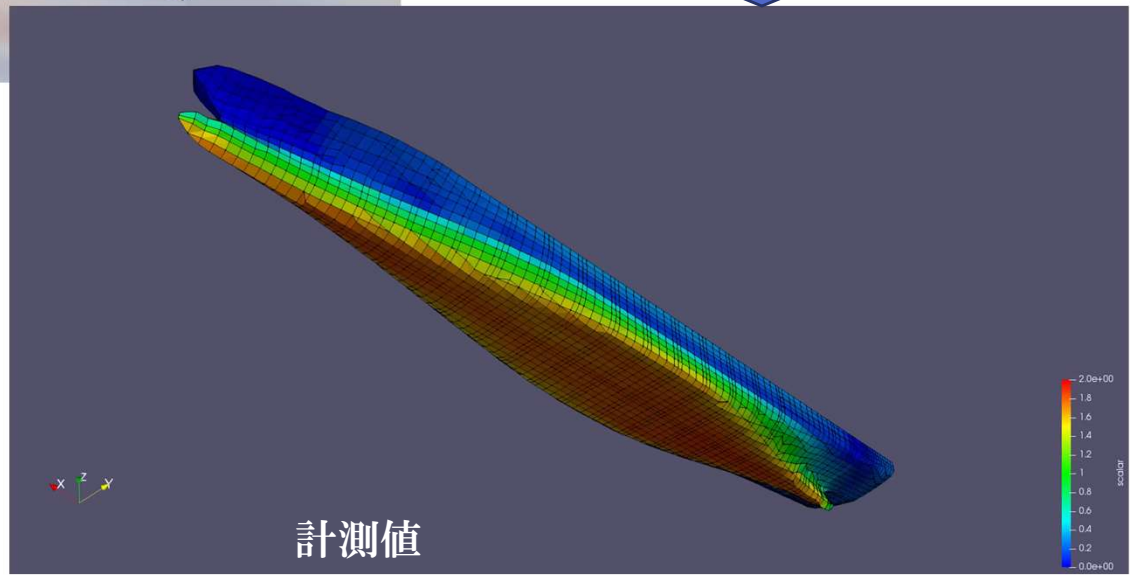
水槽模型のデジタルツイン（水圧）



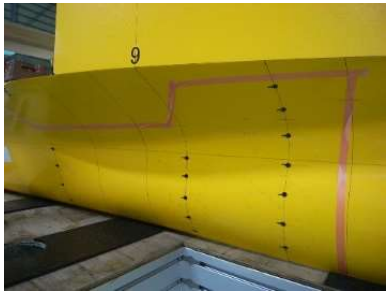
サイバー



可視化プログラム



フィジカル



光ファイバ水圧計

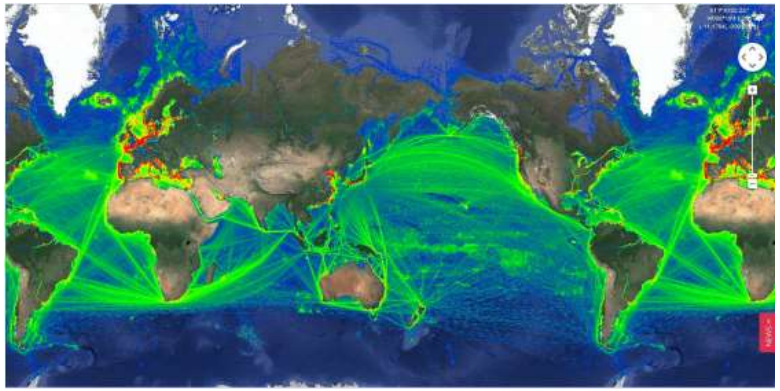
139点

AISデータを用いた実船への適用検討

* 数値シミュレーションをベースに、実船データとの同化・更新を行なうことによって、デジタルツインは実現できると考えられる。

* ここでは、デジタルツインの普及に先駆け、既存のAISデータを用いて「DLSAをベースとしたデジタルツイン」の適用を検討した。

AISデータ及び波浪データ



Marine Traffic社ホームページより

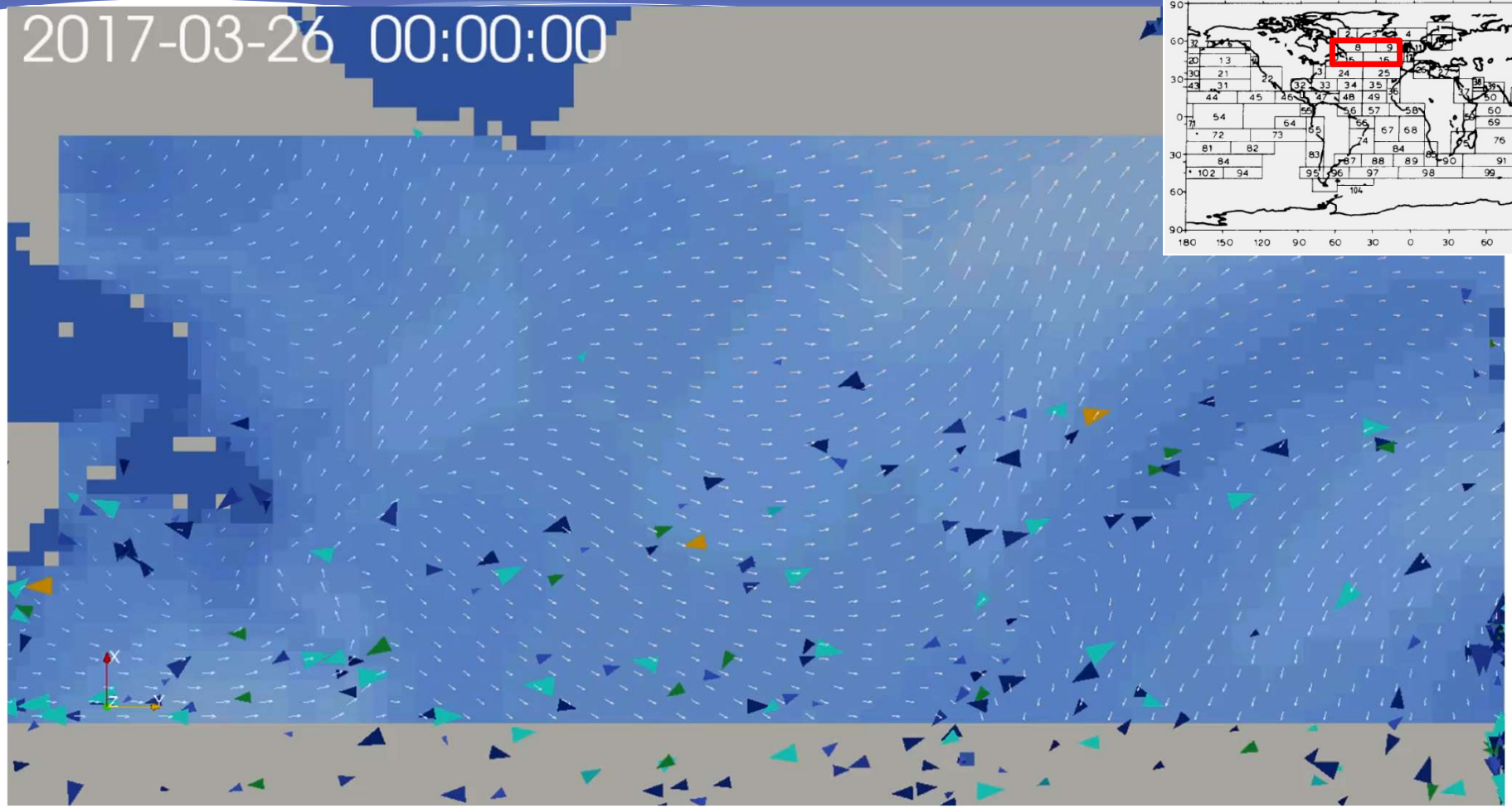
AISデータ

図１　波浪メッシュ図

波浪追算データ

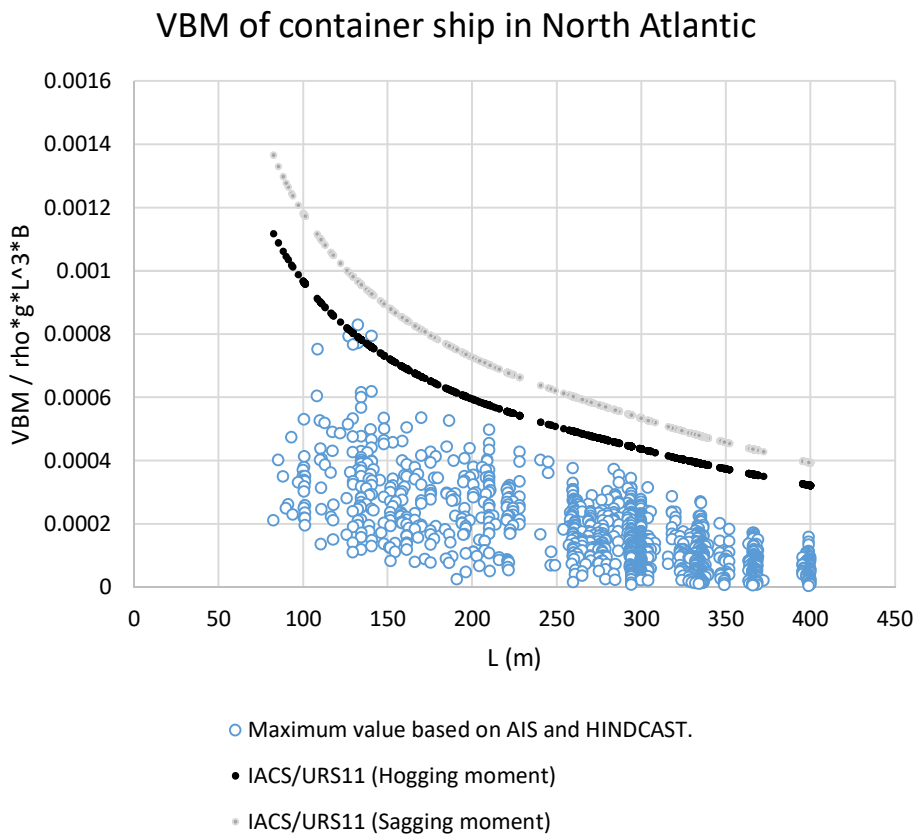
松倉洋史他：AISデータを用いた海上貨物量の推定，海上技術安全研究所研究発表会講演集16 巻，pp.224 - 225，2016
松浦邦明他：気象海象の推算とその精度，日本船舶海洋工学会誌　第77号，pp.6-10, 2018

フリートの遭遇海象



北大西洋

フリートの波浪荷重の評価



コンテナ船（1184隻）の波浪中縦曲げモーメントの最大値の分布

安全性の相対評価を実現

疲労寿命への応用も可能

岡 正義 他：AIS データに基づく実運航船の波浪荷重推定，日本船舶海洋工学会論文集第28号pp.89 - 97, 2018.12

今後の課題

・センシング技術の更なる向上（精度向上、最小限のモニタリングで最大限の結果取得）
・センシング数を補う数値シミュレーション技術の更なる向上
・センシング数及び解析時間要素を考慮に入れた推定技術

即時的（現在～2時間後程度）：
迅速な船長支援を可能とする、船上における船体強度評価システムの開発
（主に座屈・最終強度）

短期的未来利用（2時間後～1週間程度（一航海））：
最適航路設定を可能とする、船上/陸上における船体強度評価システムの開発
（気象予測や運航モニタリング結果を考慮した、座屈・最終強度）

長期的未来利用（就航から現在、就航から未来（最長で解撤まで）：
疲労強度を低減する操船、メンテナンス計画立案、残存価値向上を可能とする陸上における
構造寿命評価システムの開発

→これらを可能とする次世代システムの構築
既存のモニタリングシステムとの連携することで普及

おわりに

海技研の数値シミュレーションシステム及びこれをベースとした「船体構造デジタルツイン」開発の概要と研究進捗を紹介しました.

今後の造船、船舶管理、船舶運航、規則開発等において，新しい変革をもたらす可能性と新しいビジネスモデルへの展開が期待されているところ、船体構造デジタルツインの社会実装に向け計測技術やシミュレーション技術等、各要素技術の開発を行い、将来の「統合型デジタルツイン」の社会実装に向け研究を加速します。

ご清聴ありがとうございました。