

(7) 船体構造デジタルツインの開発に向けた取組み

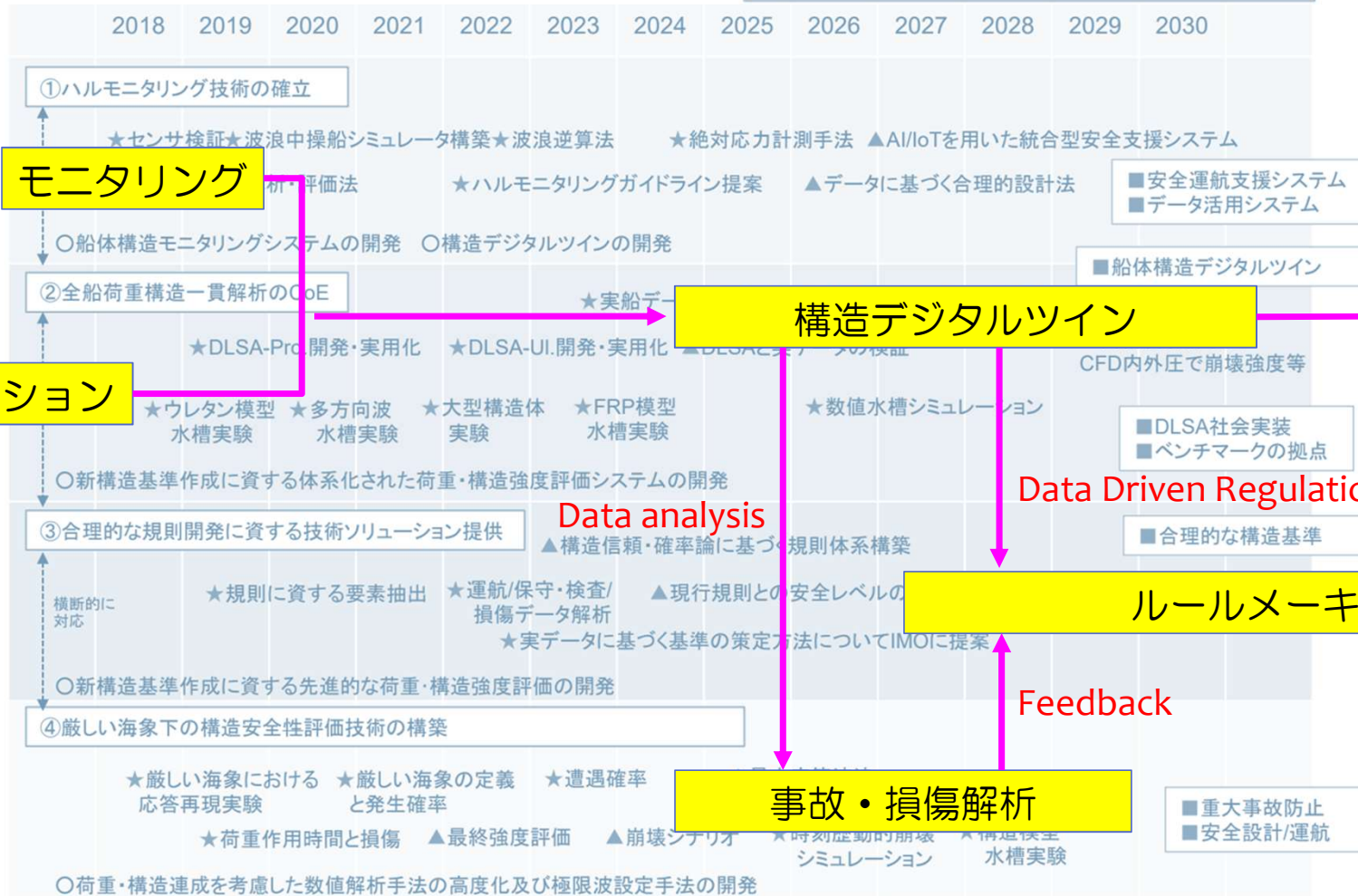
構造安全評価系 構造解析研究グループ長 岡 正義
基準開発グループ長 村上 睦尚
系長 越智 宏

- 構造安全評価系の長期ビジョンについて
- 船体構造デジタルツイン開発の背景
- デジタルツインからみた荷重構造解析プログラム
DLSAの開発状況等
- 研究事例の紹介
14000TEU型コンテナ船のヘルスマニタリング
「超高精度船体構造デジタルツインの研究開発」プロジェクト

構造安全評価系の長期ビジョン（ロードマップ）

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



モニタリング

シミュレーション

構造デジタルツイン

統合型デジタルツイン

ルールメイキング

事故・損傷解析

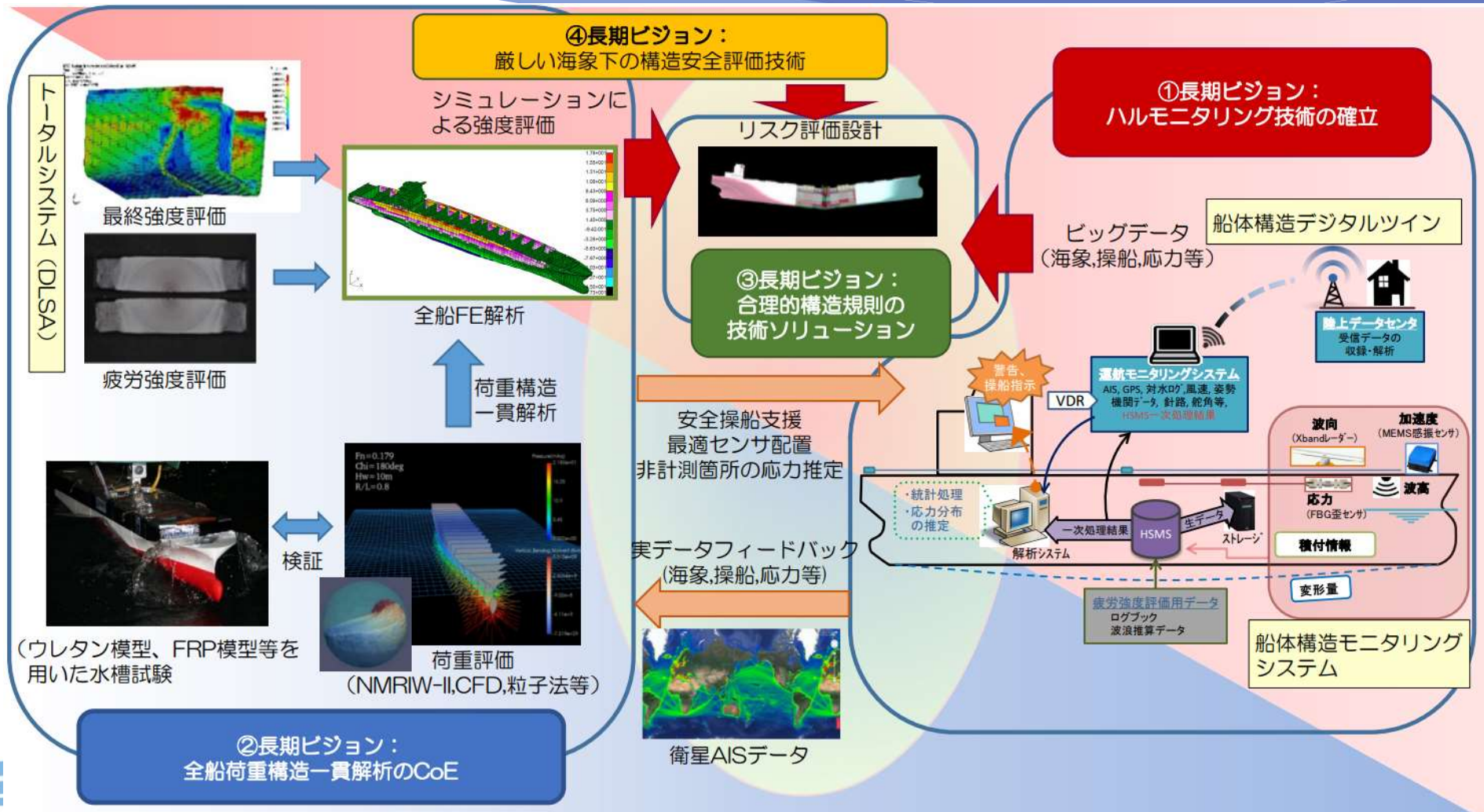
主機
燃費
復原性等

Data Driven Regulation

Feedback



構造安全評価系の長期ビジョン（要素研究）



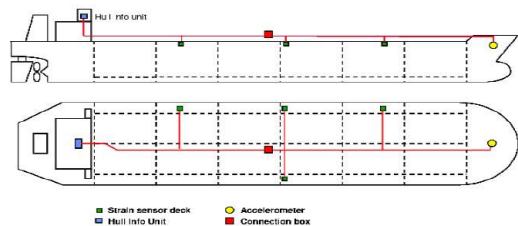
船体構造デジタルツイン開発の背景

ハルモニタリングシステムの普及

実船計測

→ ハルモニタリング
(商品化)

→ デジタルツイン



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

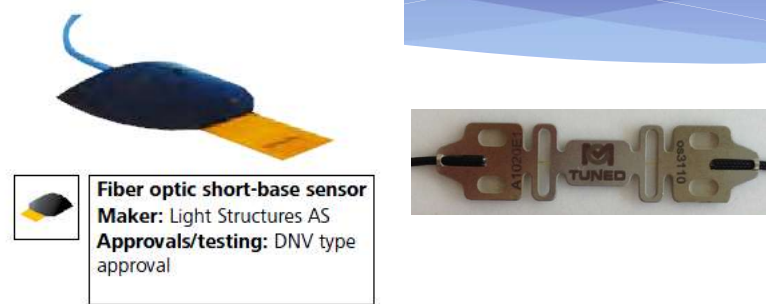


(出典) Austratian Government Department of Defence, Review of Hull Structural Monitoring Systems for Navy Ship(2013)



HMS普及のきっかけ

- ① 光ファイバ型センサへの転換
電気ノイズ及び電氣的ドリフト
が少なく安定した計測が可能



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

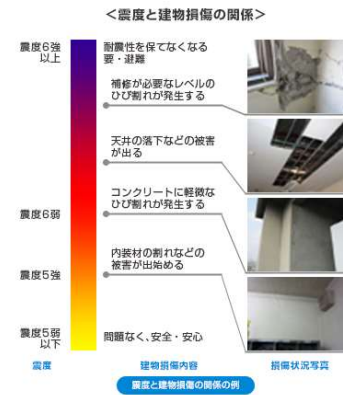


MEMS加速度計



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



建物のヘルスマonitoringの例 (富士電機ホームページより)

HMSの効果と課題

8

【効果】

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
複数の船で、運航情報を含むデータが収集されるようになった。

→ 設計へのフィードバックが現実的に

【課題】

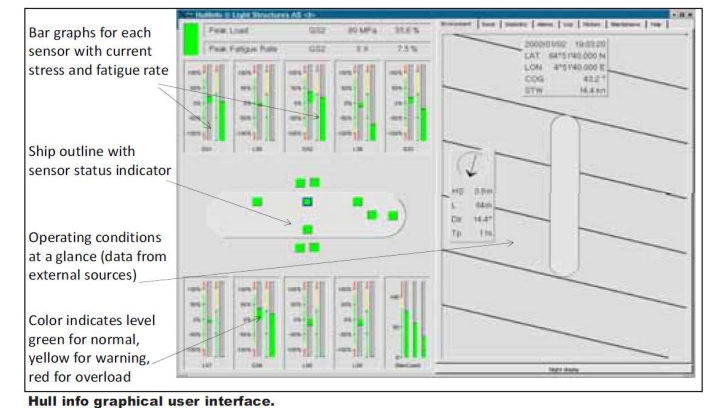
(ユーザの声) 装置搭載の効果が少ない

- 安全装置としての活用
- 効果的な保守
- 船の付加価値向上

等に期待しているが利益を得ていない

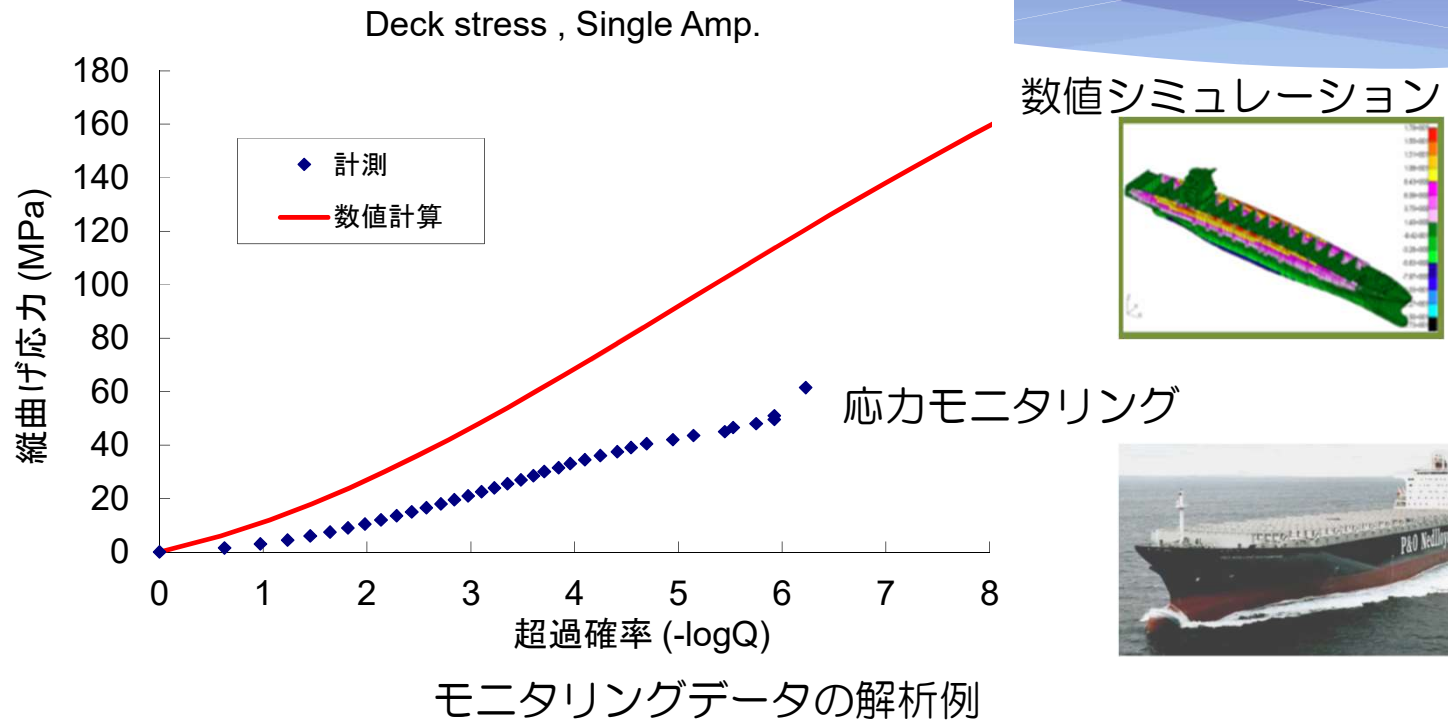
理由

- データの信頼性不足
- 不十分なデータ利用



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

HMSの課題 (データ利用の観点から)

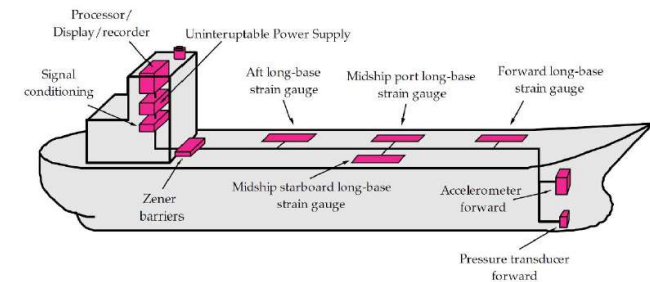


モニタリングデータの解析例

この船の応力は予想より低く、安全であることは分かるが、、、
他船と比べて、強度性能上優れた船であることは示せていない。

ハルモニタリングの課題

- データの信頼性
- データ利用
 - ・計測データの不足（状態量の精度が得られない）
 - ・計測隻数の不足（相対評価ができない）



(ソリューション)

CAEの活用 →

直接荷重構造解析プログラム（**NMRI/DLSA**）のハイブリッド利用

- 1 計測データの信頼性／状態量の推定精度の向上
- システム普及 → 2 強度性能の相対評価へ

デジタルツインからみた荷重構造解析プログラム

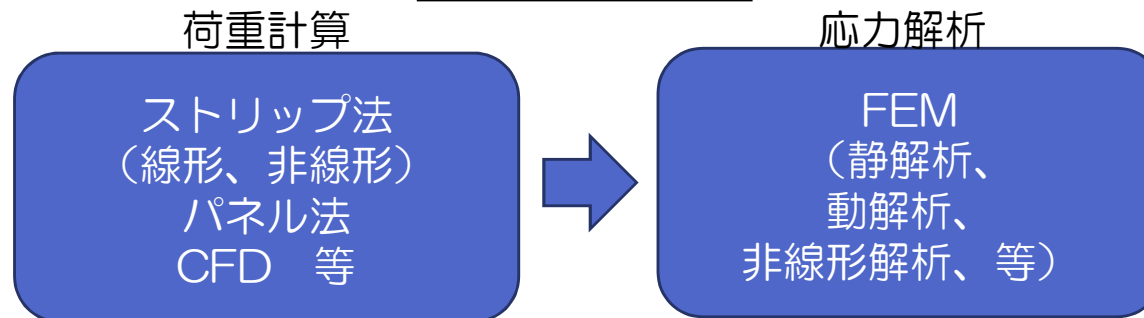
NMRI/DLSA (Direct Load and Strength Analysis) ¹²

開発・整備状況

(プログラム名, 評価項目, 評価に必要な日数)

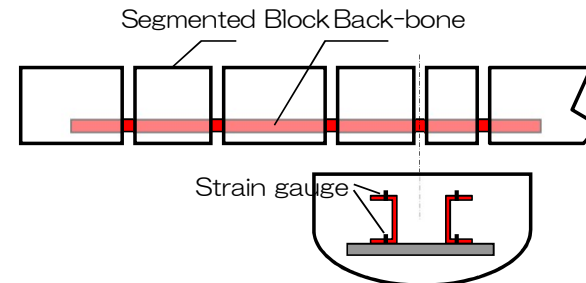
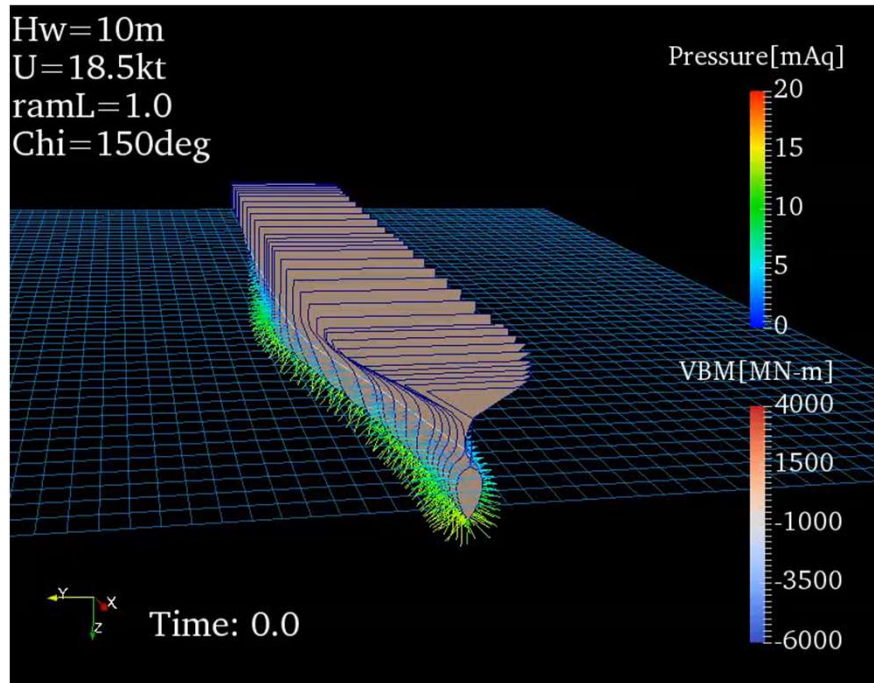
【新設計・初期設計、不具合検証】		
DLSA-Basic	降伏・疲労(・座屈)を網羅的に実施 →設計海象から最悪海象を特定	1日
DLSA-BasicW	最悪海象での強度評価	0.5日
DLSA-Professional	最終強度(極限海象・設計不規則波)	1.5日
【事故調査、研究】		
DLSA-Ultimate	事故時残存強度・最終強度	20日~

DLSAの構成



模型実験による検証

バックボーン模型を用いた
斜浪中曳航試験

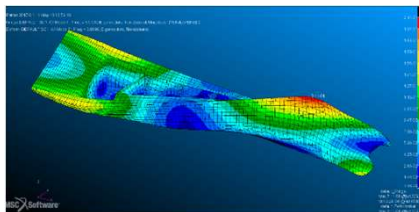
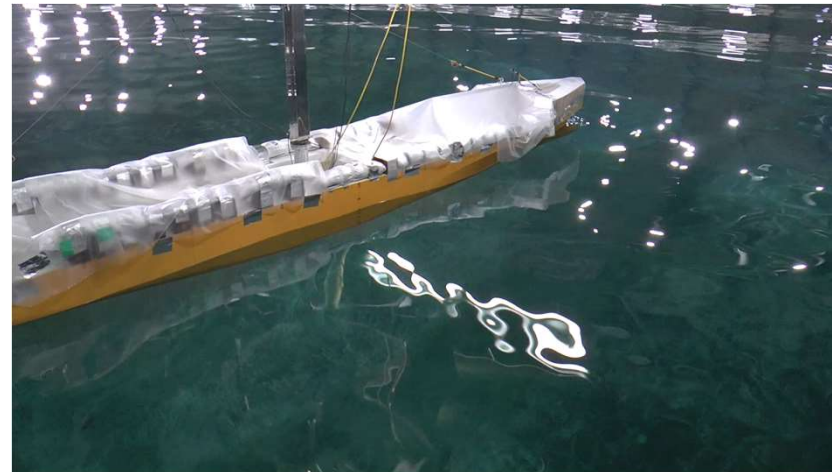


バックボーン型分割模型

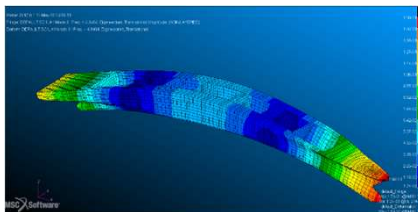


実海域再現試験水槽

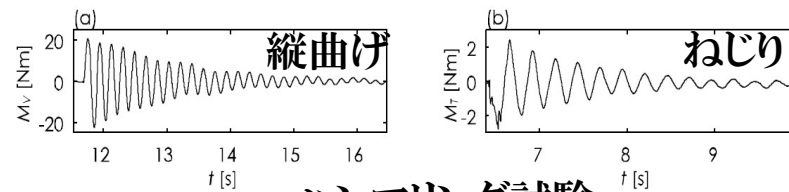
実海域再現水槽による実海面での試験
ウレタン型模型による縦曲げ・ねじり振動の再現
FEMによる模型の設計（詳細はポスターセッションにて）



FE固有値解析結果（1節ねじりモード）



FE固有値解析結果（2節縦曲げモード）



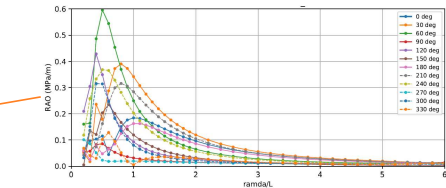
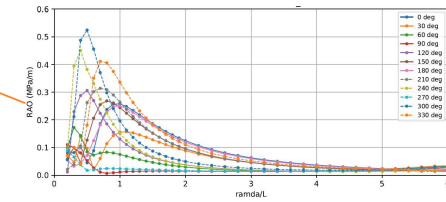
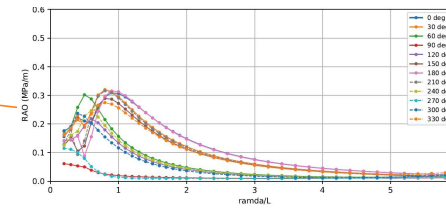
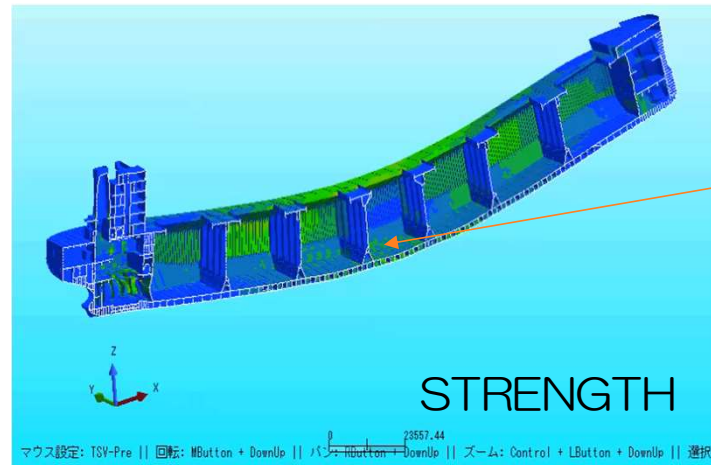
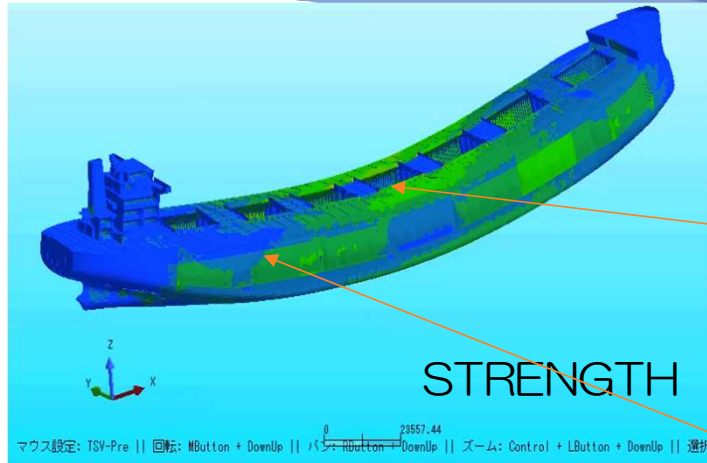
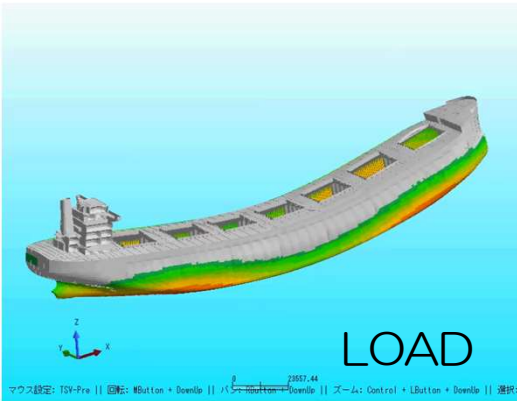
ハンマリング試験



H. Houtani, Y. Komoriyama, S. Matsui, M. Oka, H. Sawada, Y. Tanaka and K. Tanizawa: Designing a hydro-structural ship model to experimentally measure its vertical bending and torsional vibrations, Journal of Advanced Research in Ocean Engineering, 4(4), pp.174-184 (2018)



応力RAOの取得とデジタルツインへの利用



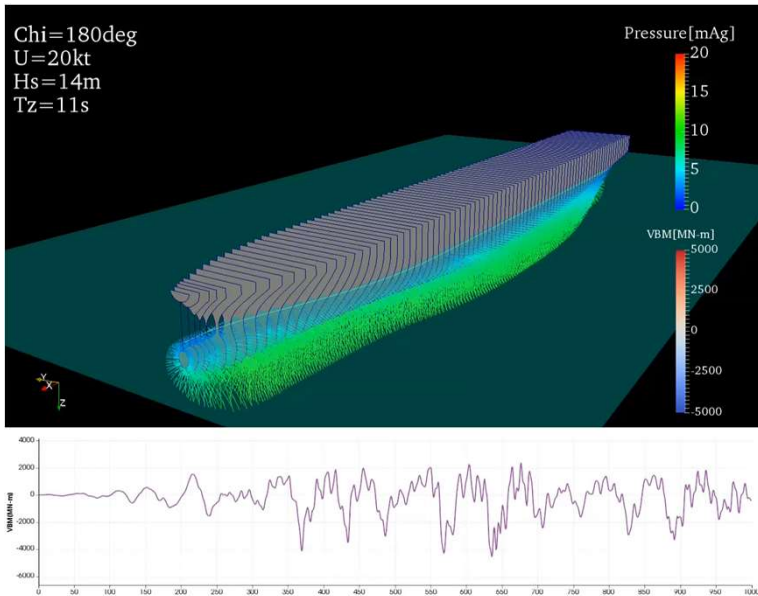
応力RAO
(DLISAの出力)

実船へ搭載



モニタリングデータ
との融合

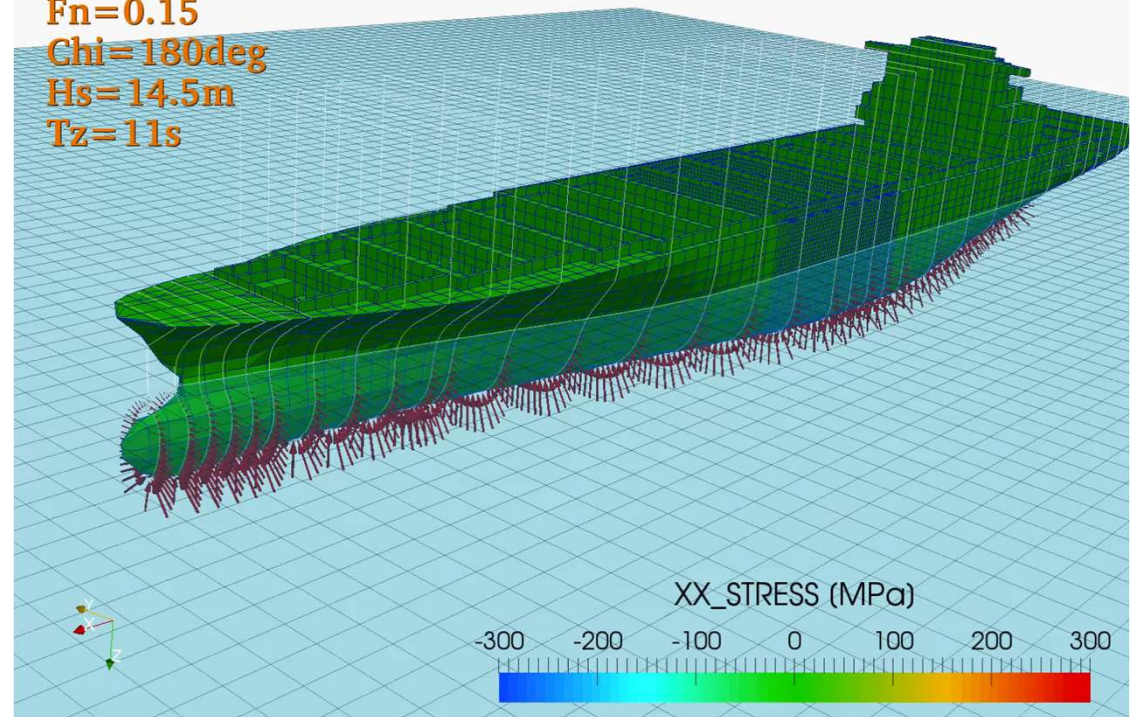
状態量推定



Design Irregular Wave

Time: -39.8s

Fn=0.15
Chi=180deg
Hs=14.5m
Tz=11s



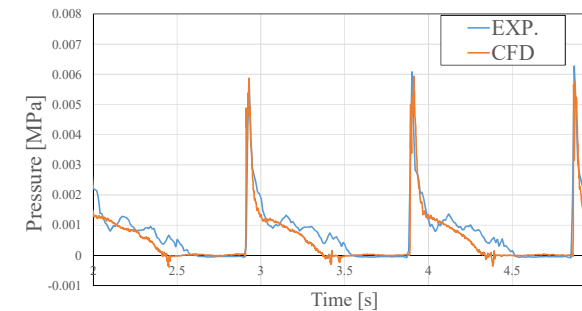
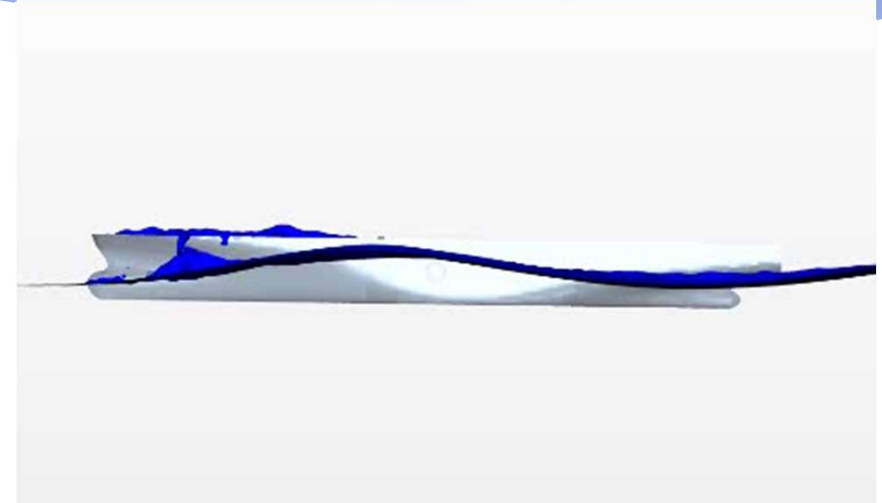
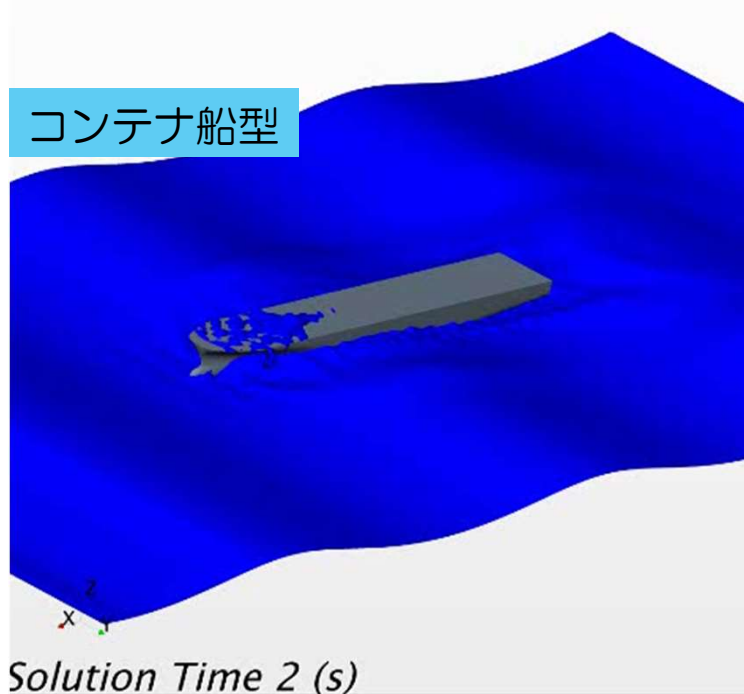
波浪・船体運動・応力分布を同時に可視化

DLSA-Ultimate (開発中) 1/2

17

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



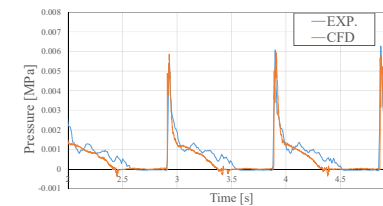
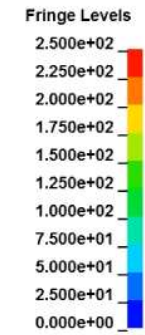
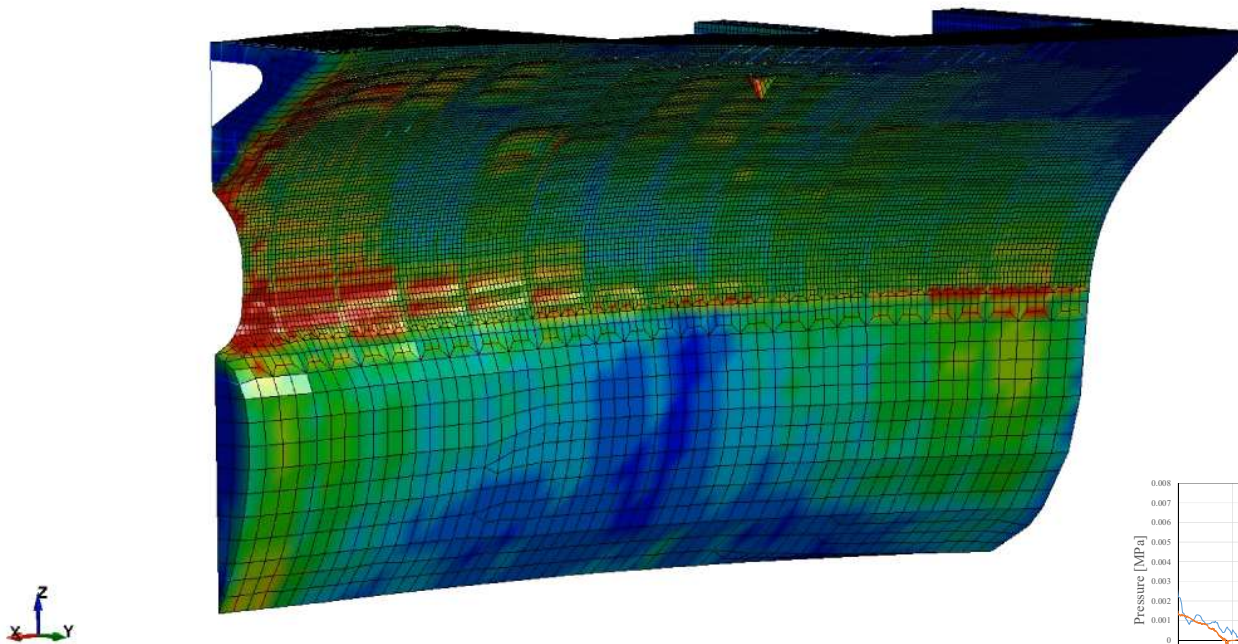
フレアスラミング水圧

DLSA-Ultimate (開発中) 1/2

18

CFDとLS-DYNAの連成解析

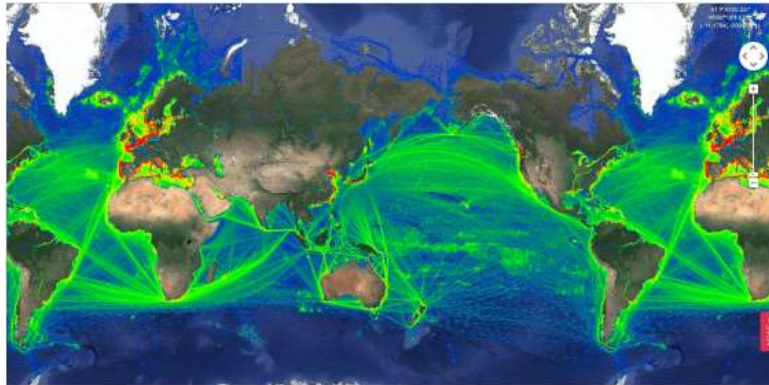
max displacement factor=20



非モニタリング船の応力推定

19

- * 将来的には、ハルモニタリングを必要としないシミュレーションベースでの全船応力推定の実現を目指す（モニタリングは検証の位置づけ）
- * これにより、多数の船での相対評価が可能に
- * ここでは、AISデータを用いた遭遇波浪及び波浪荷重の推定に関する研究について紹介する。



Marine Traffic社ホームページより

AISデータ

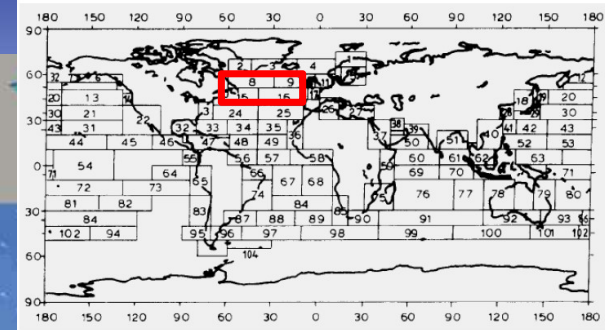
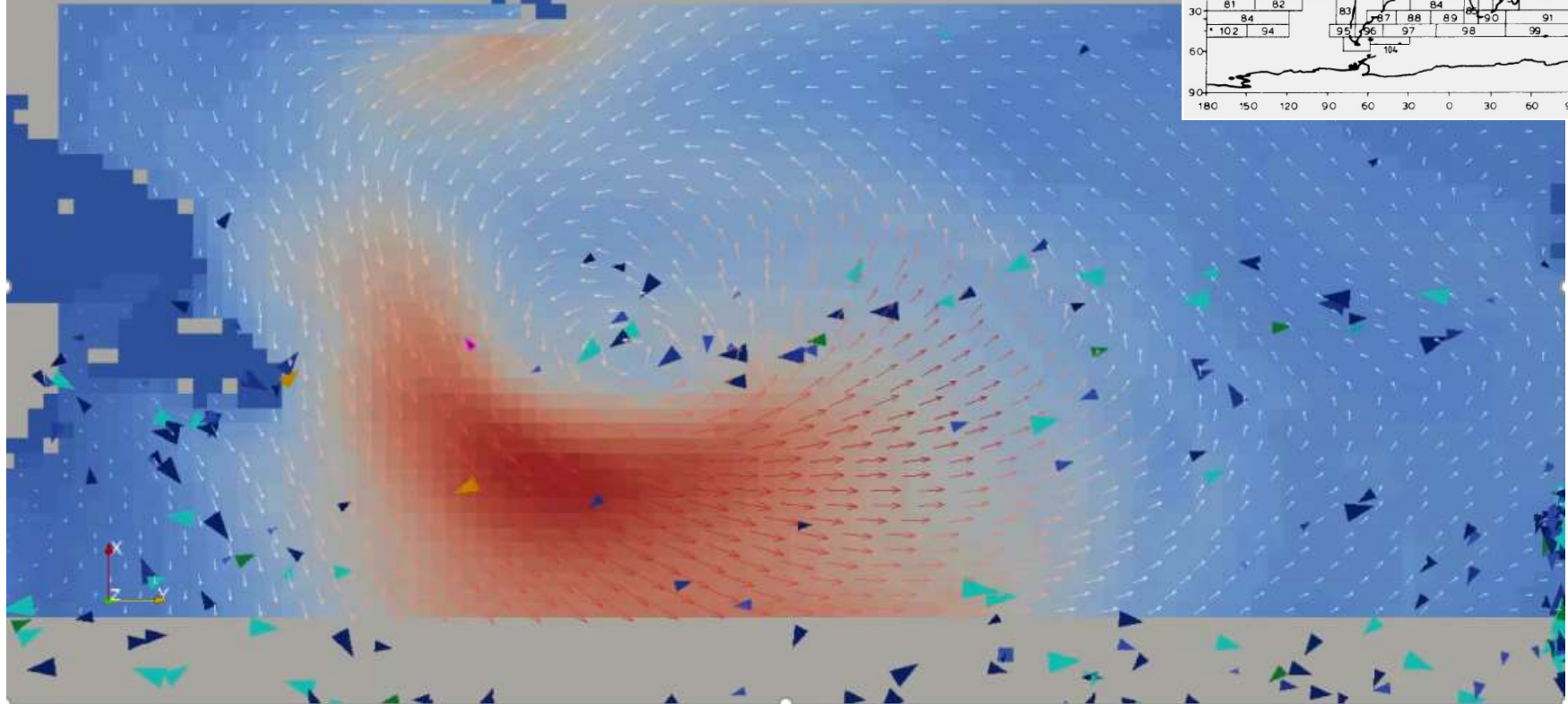


図1 波浪メッシュ図

波浪追算データ

フリートの遭遇海象

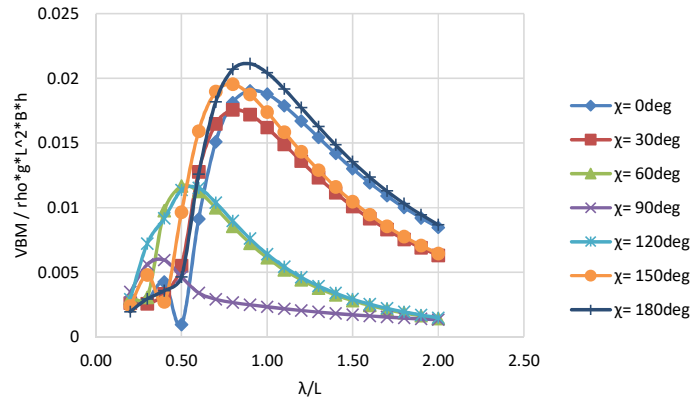
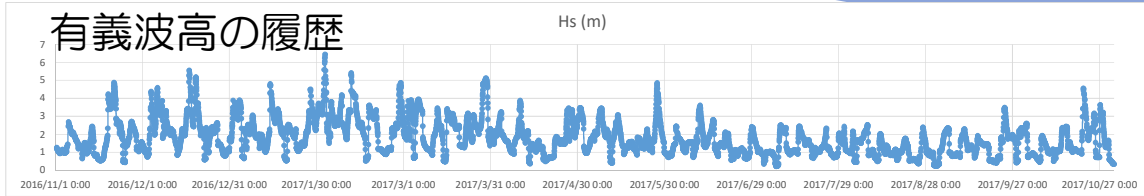
2017-03-28 01:00:00



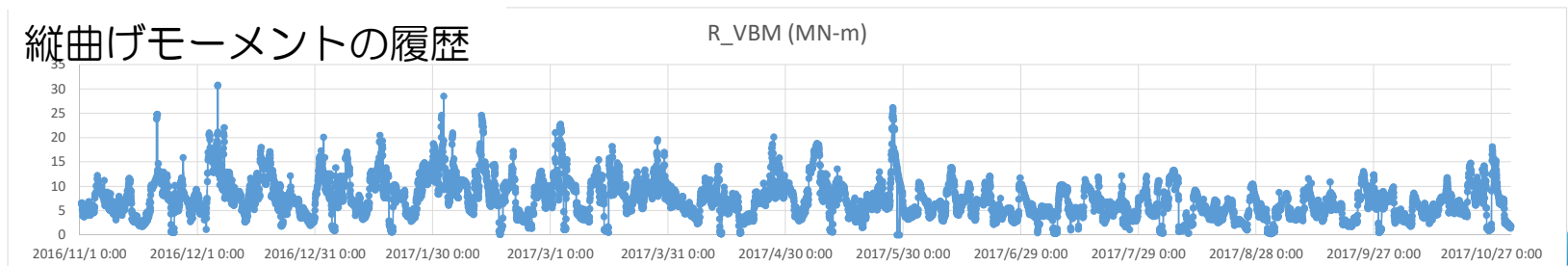
北大西洋

詳細はポスターセッションにて

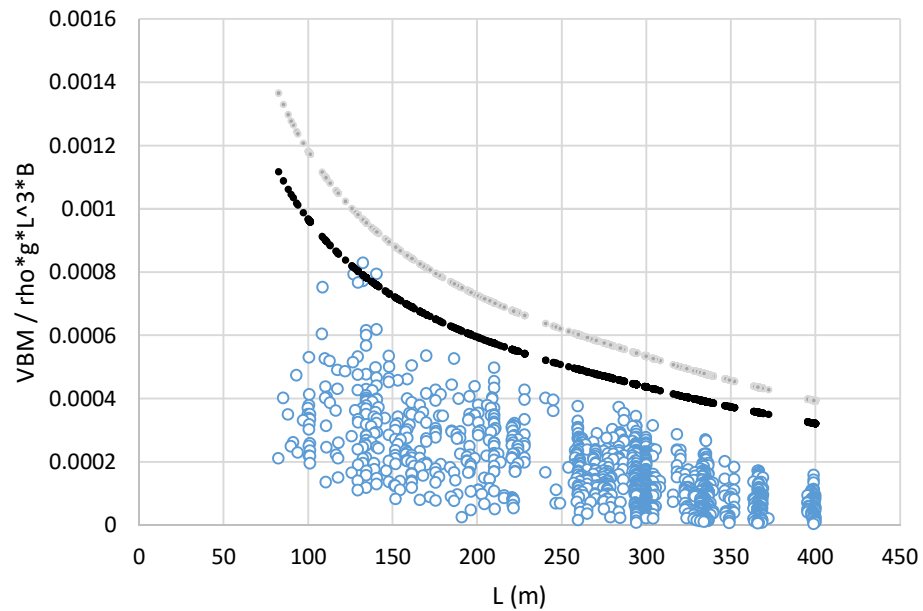




DLSAで得られた縦曲げモーメントのRAO



VBM of container ship in North Atlantic



- Maximum value based on AIS and HINDCAST.
- IACS/URS11 (Hogging moment)
- ⋄ IACS/URS11 (Sagging moment)

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
（波浪荷重を相対評価した例）

研究事例の紹介

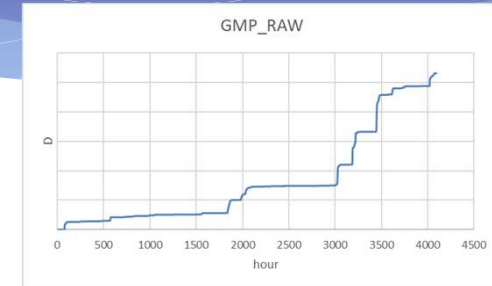
14000TEU型コンテナ船のヘルスマonitoringプロジェクト(H28-H32) ²⁵

気象・海象 センサー 積付情報



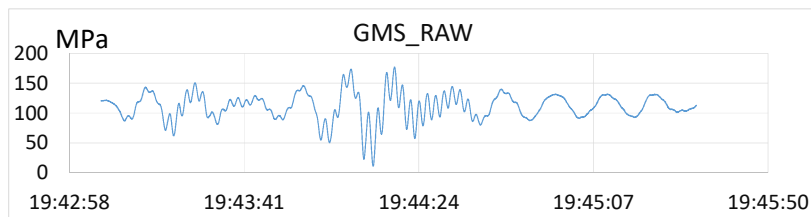
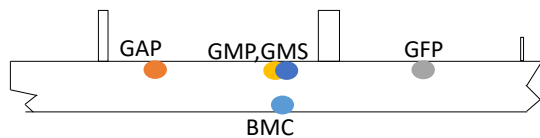
設計情報 航海情報

シリーズ船（10隻）でモニタリングを実施

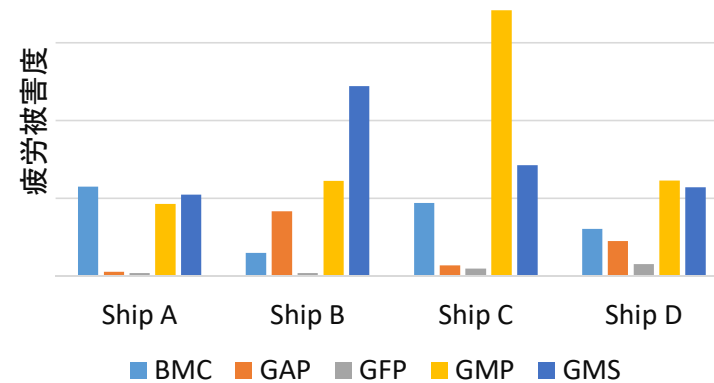


疲労被害度の成長曲線

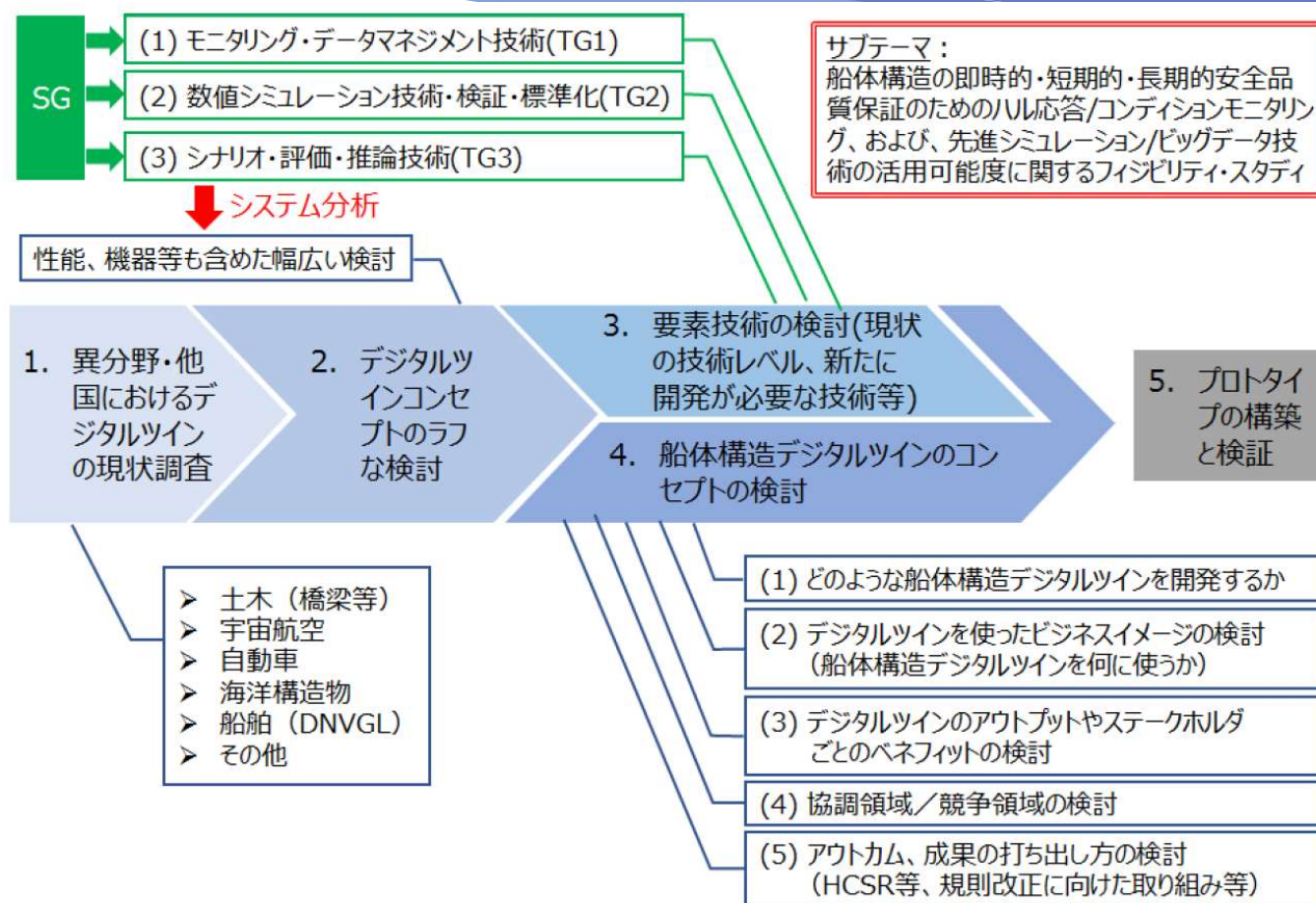
(出典：米澤他, Monohakobi Techno Forum 2017)



縦曲げ応力波形



個船の遭遇環境による被害度の違いを示した



Item	展望・方向性
ハルモニタリング	他の船種への展開 センサ/システムの信頼性向上・低コスト化
数値シミュレーション	リアルタイムシミュレーション（簡易化） 非線形への挑戦（高度化） 模型実験の高度化
構造デジタルツイン	統合型デジタルツイン（主機、性能・燃費） 推論（未来予測）・データマネジメントを含むシステム設計 健全性指標の開発（標準化、ビッグデータ解析）

ハルモニタリングシステムに数値シミュレーション技術を組み合わせた「船体構造デジタルツイン」の開発に向けた取り組み及び最新動向について紹介した。

今後、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、各要素技術の高度化を行い、各ステークホルダとの連携を図ることで、有効でかつ利用価値の高いシステムの実現を目指す。

本研究は、

- 先進船舶技術の研究開発に対する国土交通省の支援のもと、ジャパンマリユナイテッド株式会社、日本海事協会、日本気象協会、横浜国立大学、東京大学、海上技術安全研究所、日本郵船株式会社および株式会社MTI の共同研究「大型コンテナ船における船体構造ヘルスマモニタリングに関する研究開発」で実施された内容を含みます。
 - 日本財団の助成事業である（一財）日本船舶技術研究協会の「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。
- 関係各位に謝意を表します。