

船体構造デジタルツインの開発について

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 デジタルトランスフォーメーションプロジェクトチーム

チームリーダー 岡 正義

はじめに（DXPTについて）

*海技研では、2020年3月に4つのプロジェクトチーム（PT）が設置された。そのうちの
一つが、**デジタルトランスフォーメーションPT（DXPT）**である。

（参考）

GHG削減PT

自動運航船PT

洋上風力発電PT

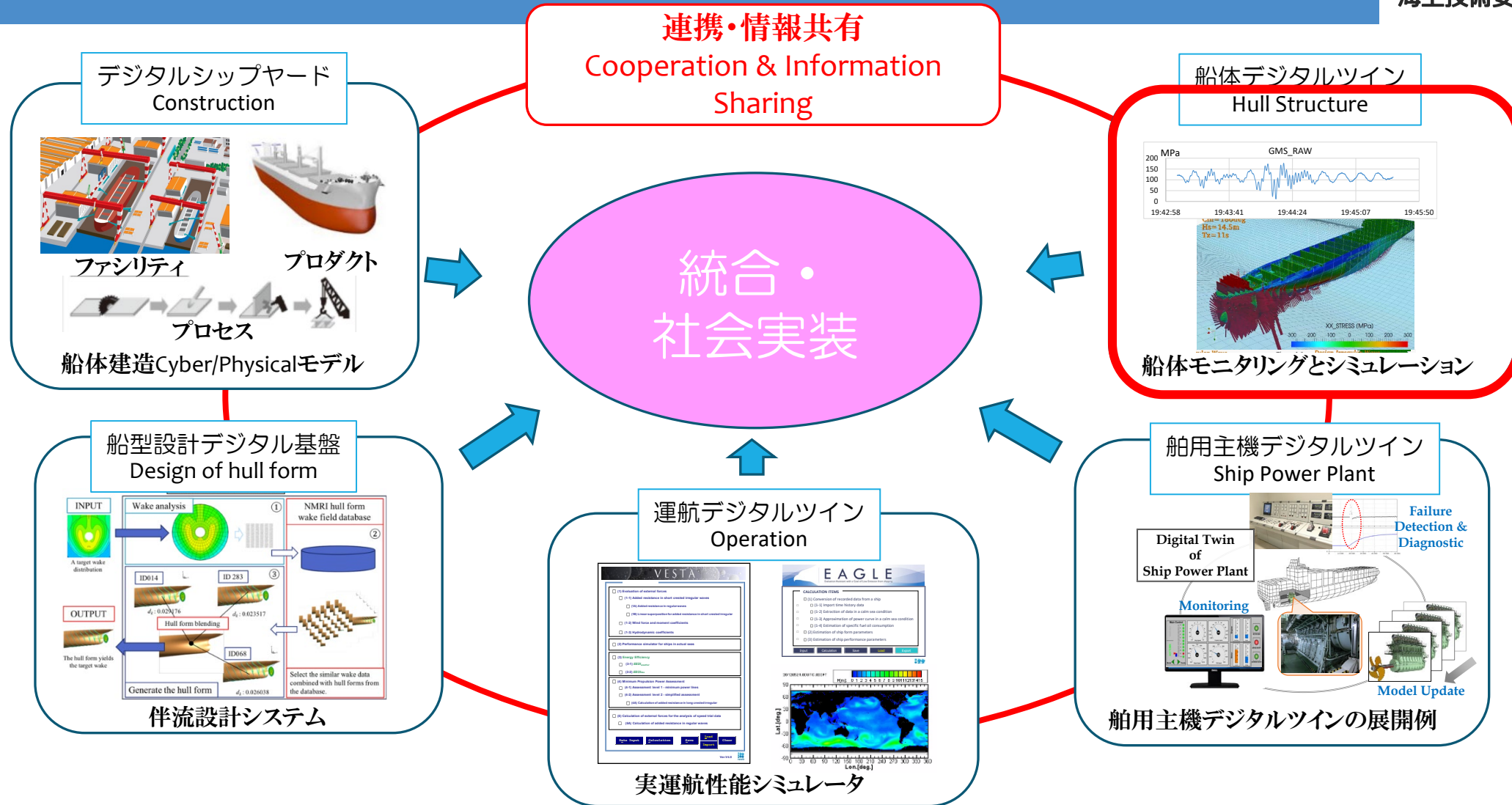
*DXPTの任務は、

海事産業の発展と競争力強化を後押しするため、

「海事関連技術のデジタル変革を実現する上でのキーテクノロジーとなるデジタルツイン技術・デジタル情報基盤技術を開発し社会実装に繋げること」

にある。

海技研が進めるデジタル化研究



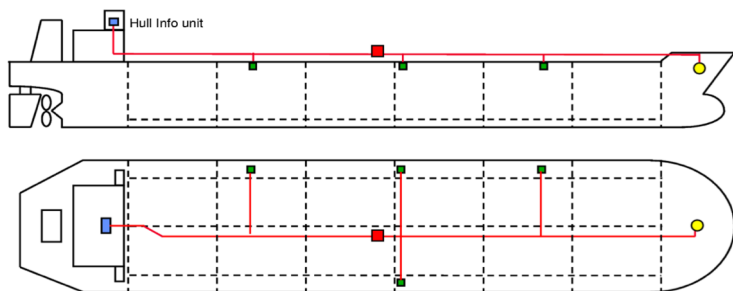
開発—設計—建造—運航 全域にわたる高度なデジタル化を通じて海事産業に貢献する！

船体構造デジタルツイン

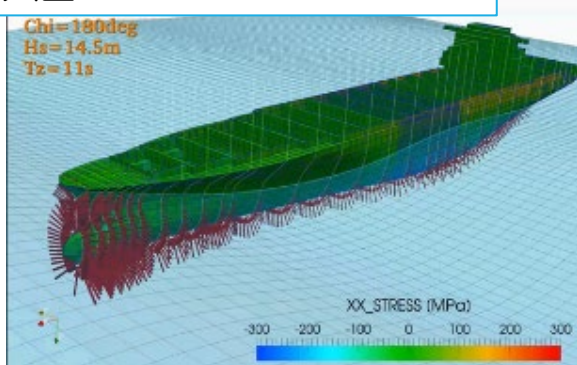
船体構造デジタルツイン

船体のツインをサイバー空間に構築して運航や設計に利用

ハルモニタリング

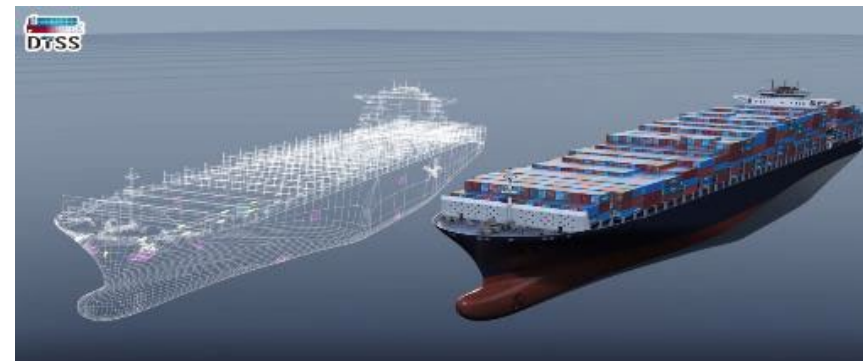


数値シミュレーション



デジタルツイン

船体や波浪をリアルタイム・短期・長期に再現
デジタルデータの蓄積・活用



出典：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」

安全な運航・操船のための支援
合理的メンテナンス
設計/規則改善

研究開発の課題

- 数値シミュレーションの開発・検証
- センシング技術とデータ同化技術
- （意思決定のための推論技術の開発）

研究開発プロジェクトを始動して検討

研究成果

要素技術を集約したデジタルツインシステムを構築

設計、運航、主機等、他のデジタルツインを統合可能なプラットフォーム（i-SAS）を開発して提供

日本船舶技術研究協会 船体構造デジタルツイン委員会

Supported by

THE NIPPON
FOUNDATION

委員長 : 大阪大学 藤久保教授

 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
National Maritime Research Institute NMRI

YNU 横浜国立大学
YOKOHAMA National University



広島大学

 東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

 九州大学
KYUSHU UNIVERSITY

 大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

 三菱造船

ClassNK

K"K" LINE
川崎汽船株式会社

MOL 商船三井
Mitsui O.S.K. Lines

 日本郵船

 **IMABARI SHIPBUILDING CO., LTD.**
現在は日本シッパード株式会社として参加

 株式会社 大島造船所

 **サノヤス造船株式会社**
現在は株式会社新来島サノヤス造船

JMU

ジャパン マリンユナイテッド 株式会社
現在は日本シッパード株式会社として参加

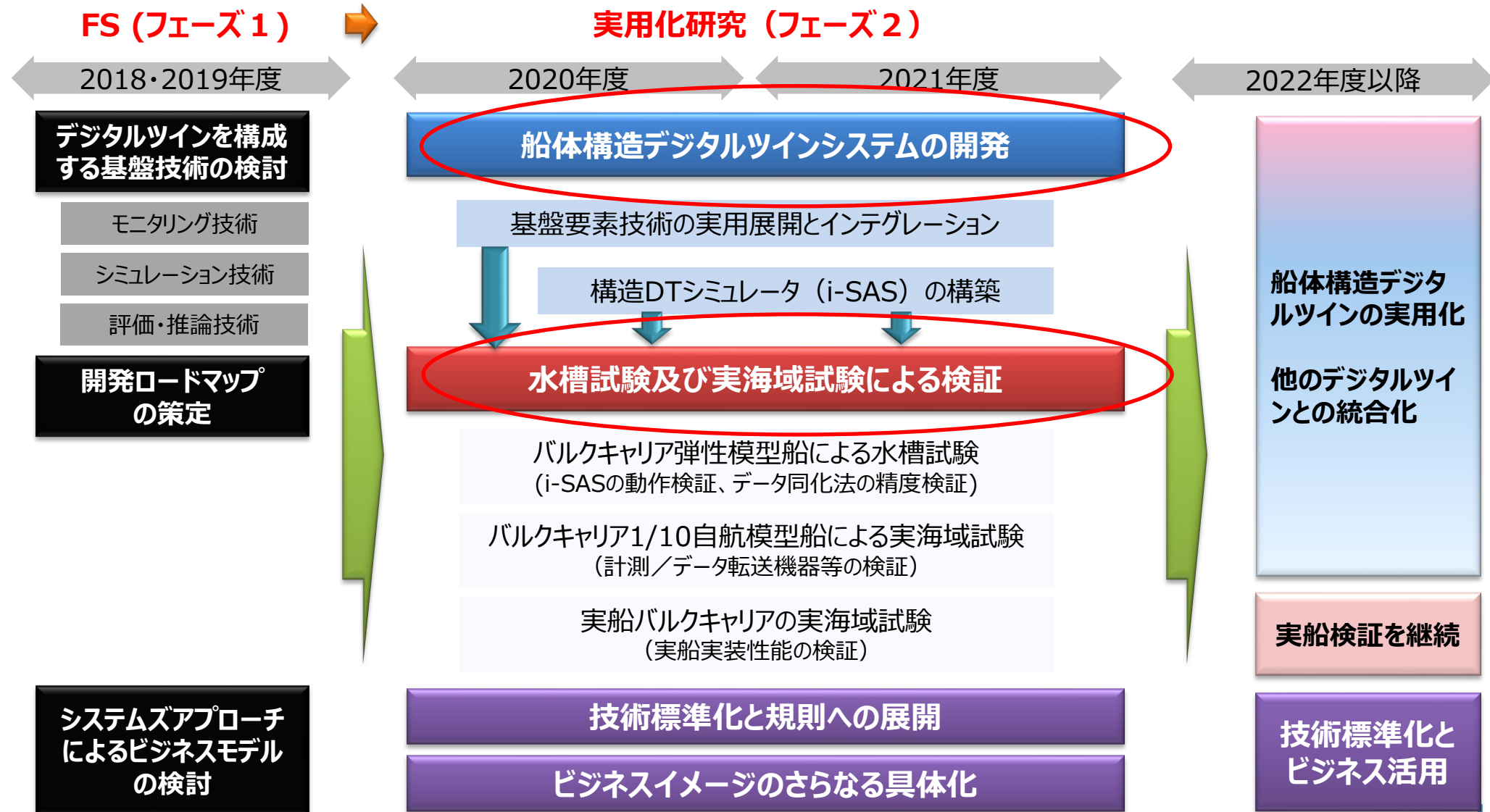
株式会社
 新来島どつく

Digital Twin for Ship Structures

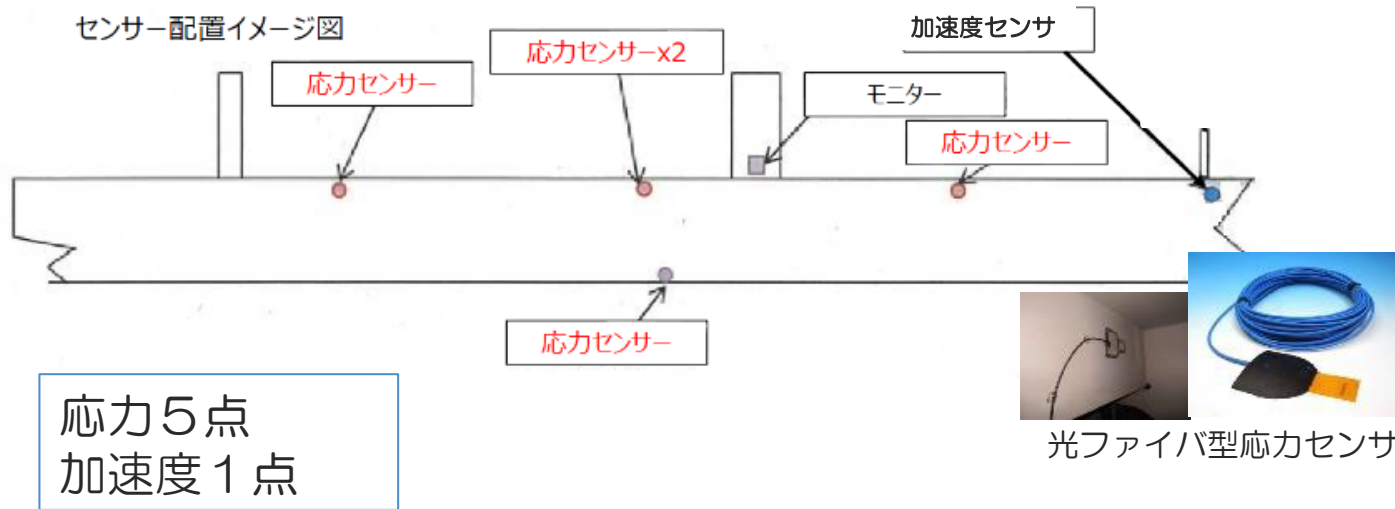


一般財団法人 日本船舶技術研究協会
JAPAN SHIP TECHNOLOGY RESEARCH ASSOCIATION

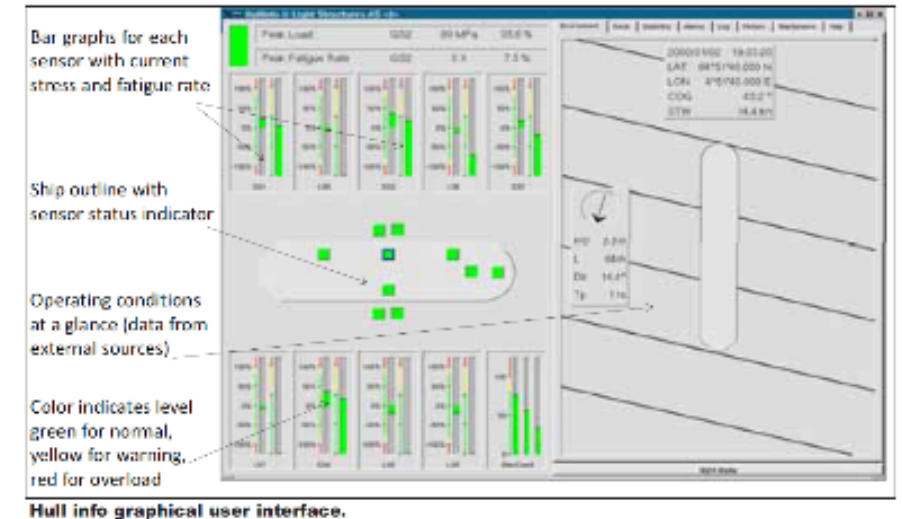
日本船舶技術研究協会 船体構造デジタルツイン委員会



ハルモニタリングシステム



(出典：米澤他、Monohakobi Techno Forum 2017)



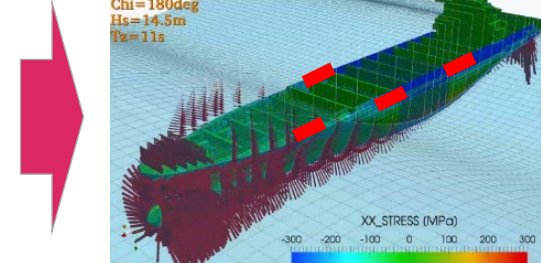
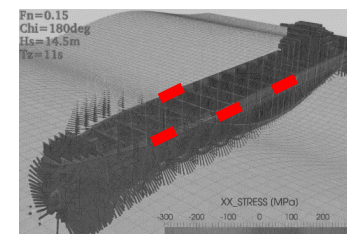
ユーザ支援ツールの例

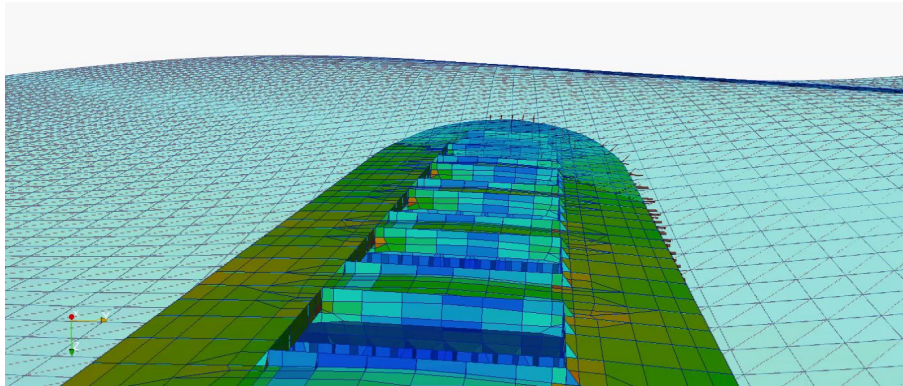
(出典：ノルウェー Light Structure 社)

搭載実績が増えているが費用に見合う情報が得られない。

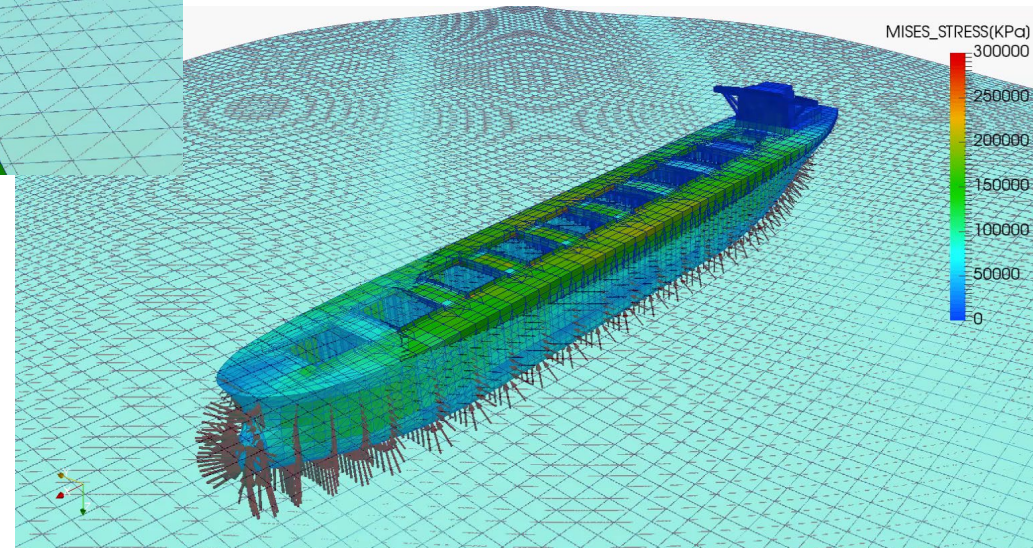


数値シミュレーションの融合によって有益な情報を提供





- 規則波 波向：斜め向波 (135度)
- 波高：12m
- 船速：5.0ノット



実スケールバルクキャリアの解析例

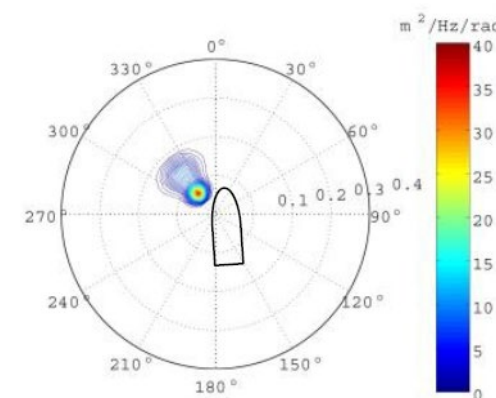
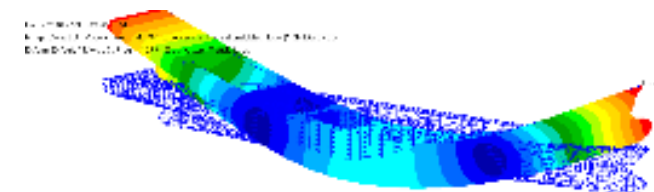
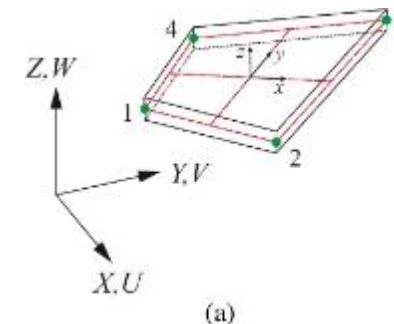
全船荷重構造一貫解析システム

(NMRI/DLSA : Direct Load and Structural Analysis System)

「数点の計測データを元に全船応力を推定するための手法」と定義

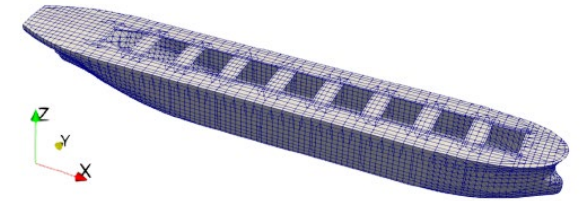
- iFEM (inverse Finite Element Method)
ひずみ情報からひずみ～変位 関係に基づいて節点変位を得る逆解析手法
- カルマンフィルタ法
モード形状と観測値を基に、弾性振動を含む応答をリアルタイムで得る手法
- 波浪逆推定法
船体を波浪計とみなして波浪場を把握して、波浪を基に応力再解析を行うことで船体のあらゆる箇所の応力を求める手法

これらを集約して利用できるシステムを開発



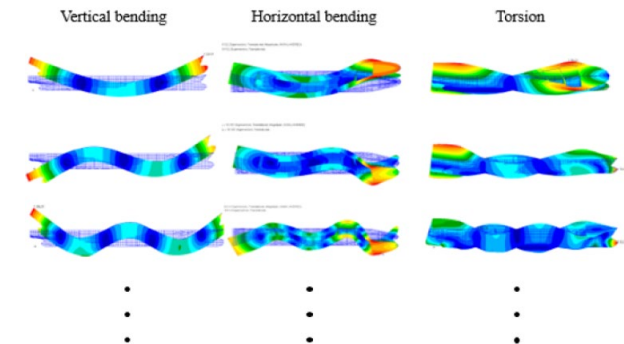
- iFEM

- 形状情報のみで計算可能（簡便）、即時性
- △相対的に多くのひずみ情報が必要



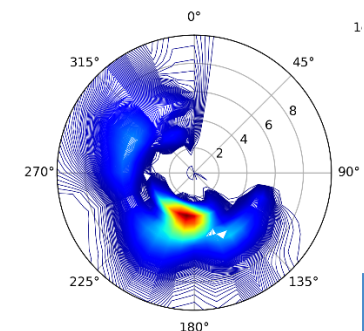
- カルマンフィルタ法

- 即時性、低コスト
- △モード形状・固有値データが必要



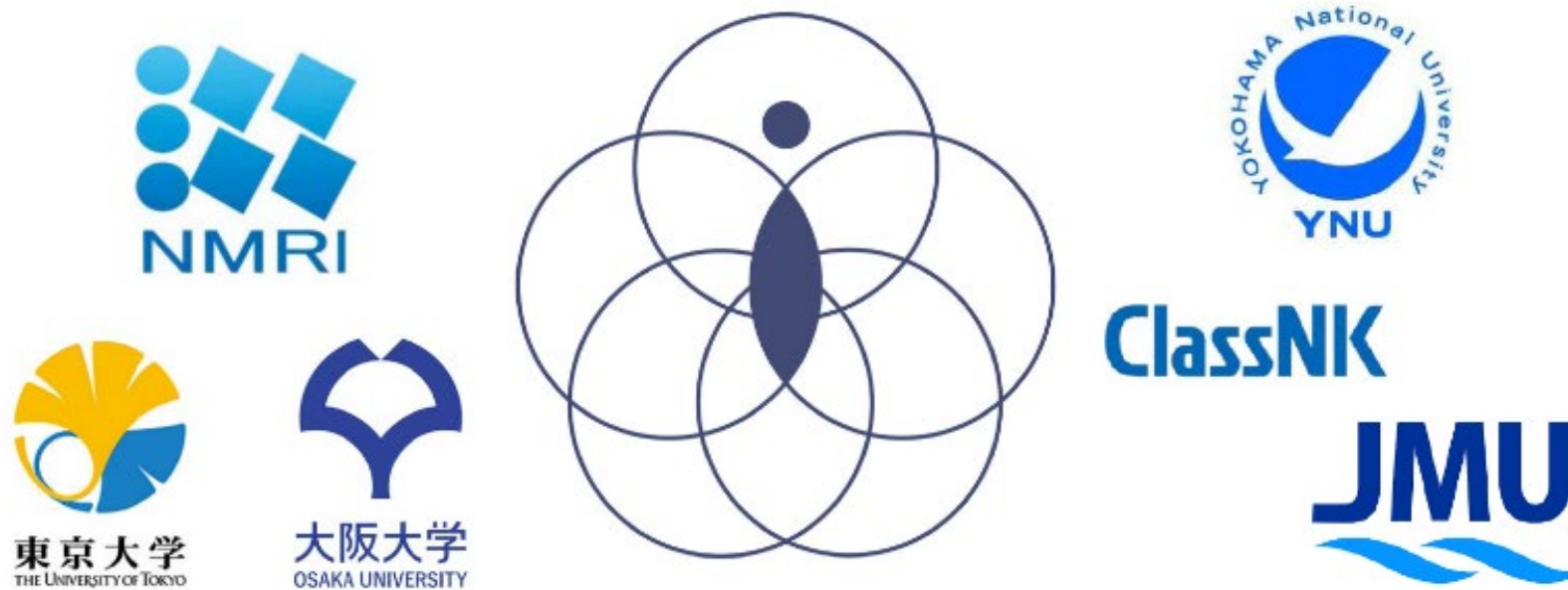
- 波浪逆推定法

- 低コスト、波浪と波浪中応答を取得可能
- △応力特性データが必要、波浪応答に特化



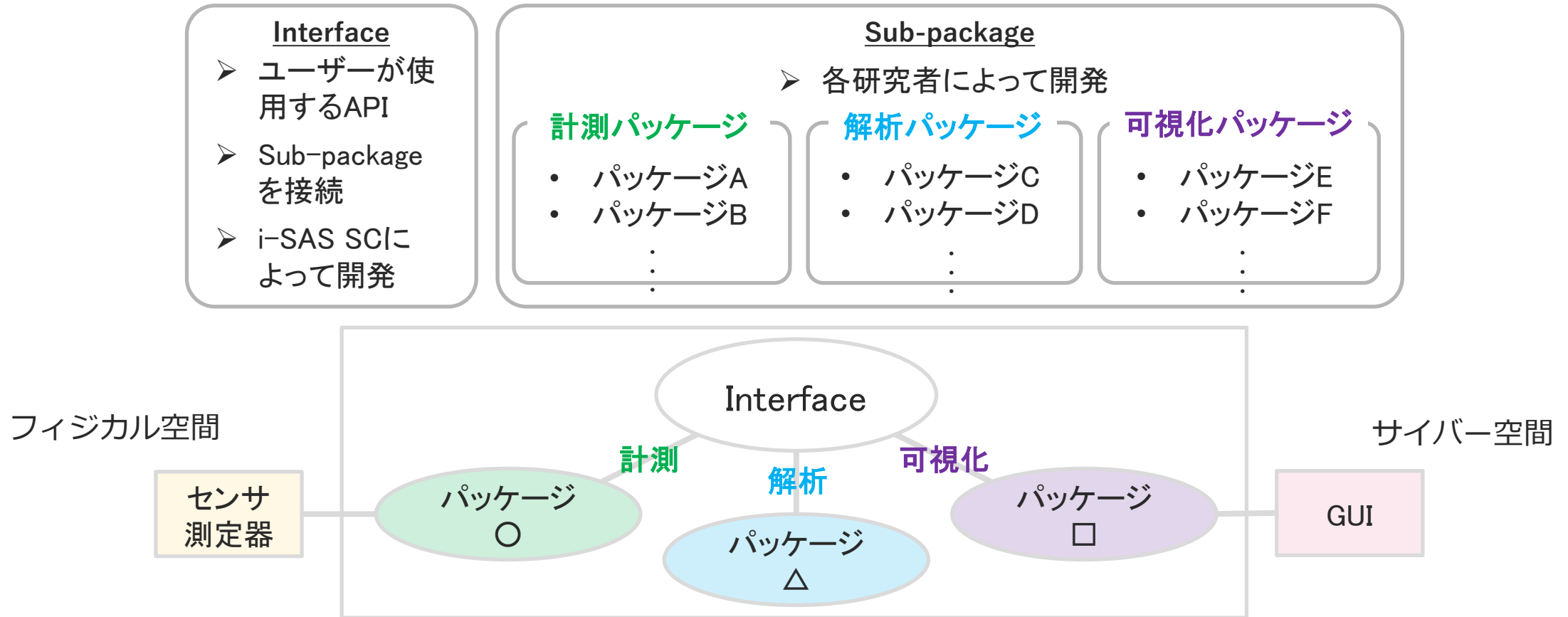
デジタルツインオープンプラットフォーム i-SAS

i-SAS : Integrated Structural Analysis System



海技研、大学、造船所、船級協会、の共同開発

デジタルツインシステムを構築するためのプラットフォームおよびツール群を提供



- ・規格の統一によりプログラムの再利用性向上
- ・容易かつ自由にデジタルツインシステムを構築可能

i-SAS (開発したツール群)

NMRI SensorController

光ファイバ(FBG)センサの計測器から測定値を取得する



Data Logger

データロガー(e.g. Keyence)から測定値を取得する



水槽模型でシステム検証した結果を報告

iFEM

逆有限要素法によって、計測ひずみから変位・応力等を逆推定する



Response KalmanFilter

カルマンフィルタ法によって、計測ひずみから変位・断面力等を逆推定する



Basic Visualizer

計測・解析結果を可視化するためのウィジェットを提供する



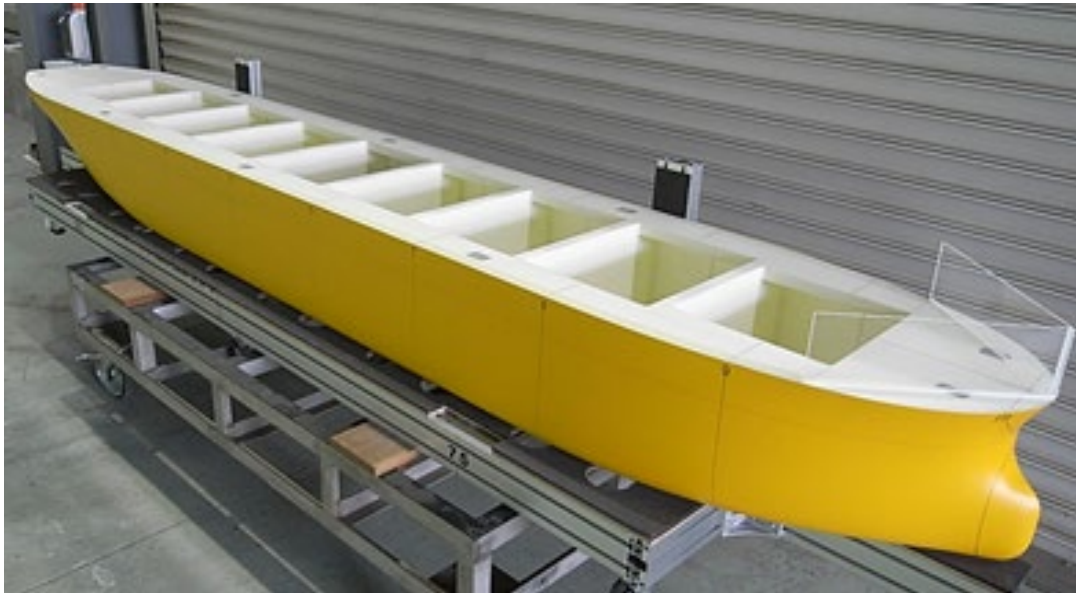
Basic GUI Controller

可視化ウィジェットをインタラクティブに操作するためのウィジェットを提供する



GFRPサンドイッチパネル製弾性模型

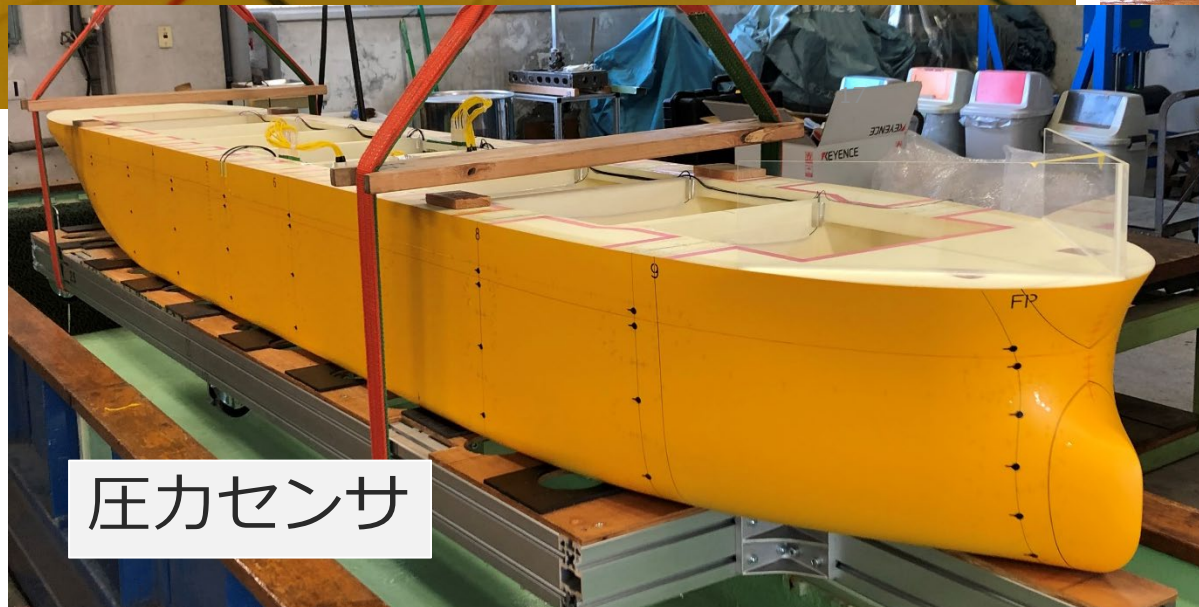
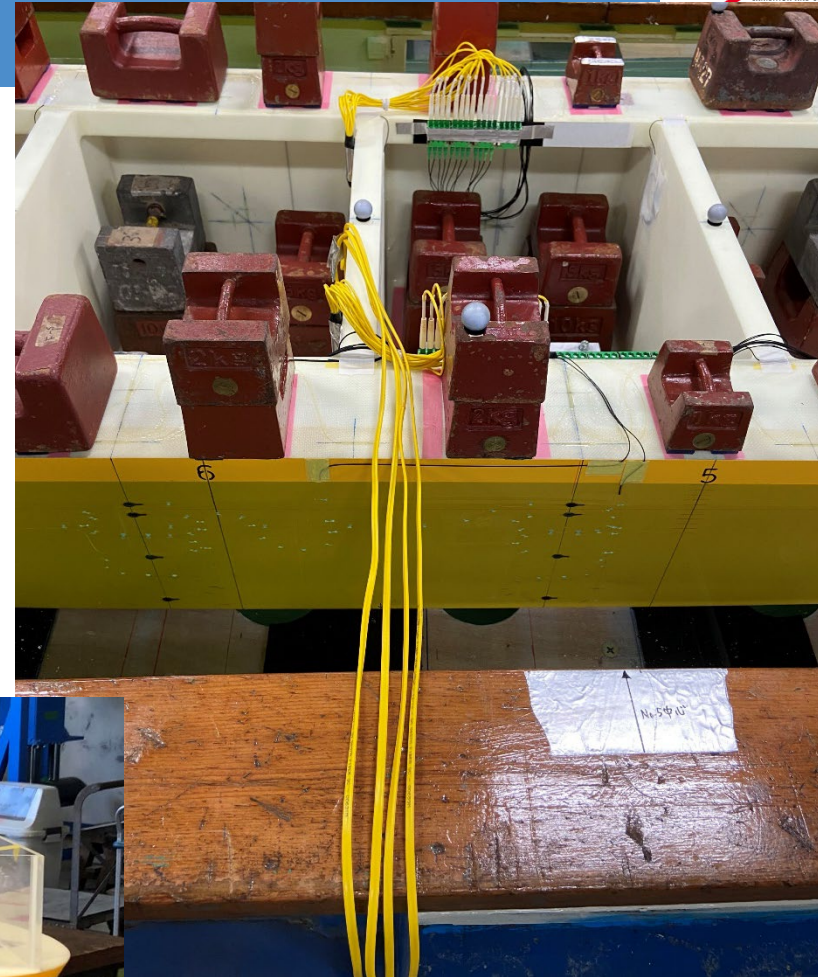
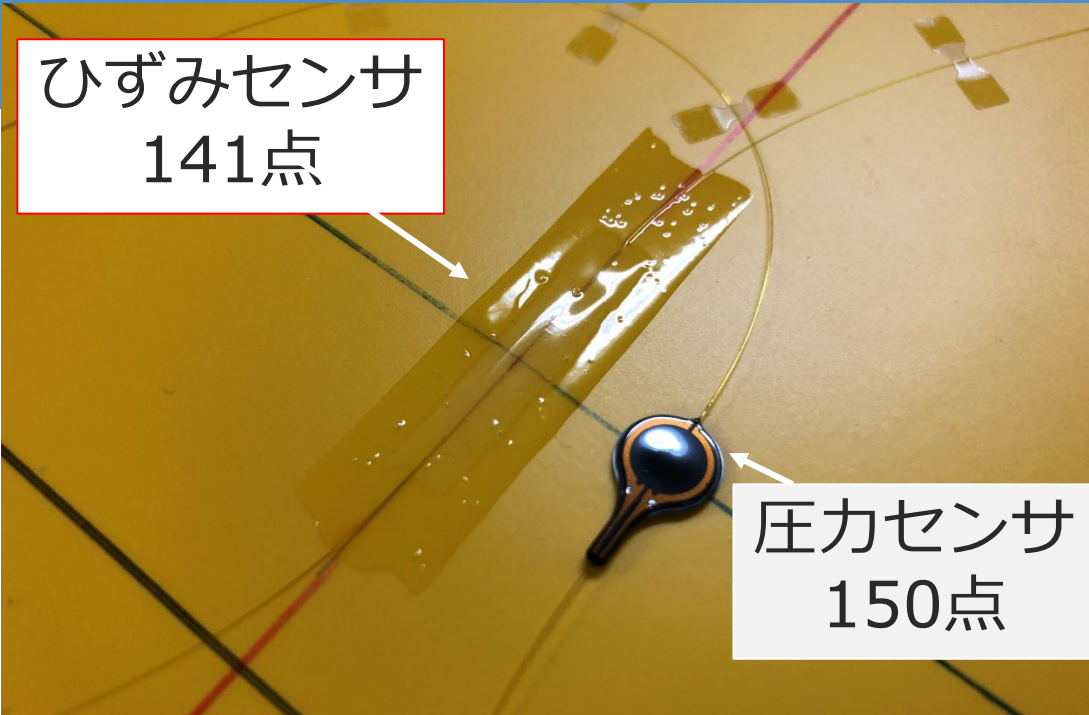
- ケープサイズバルクキャリアの構造を模擬した弾性模型
- 縦曲げ変形だけでなく、ローカル構造（例；二重底）の変形を再現

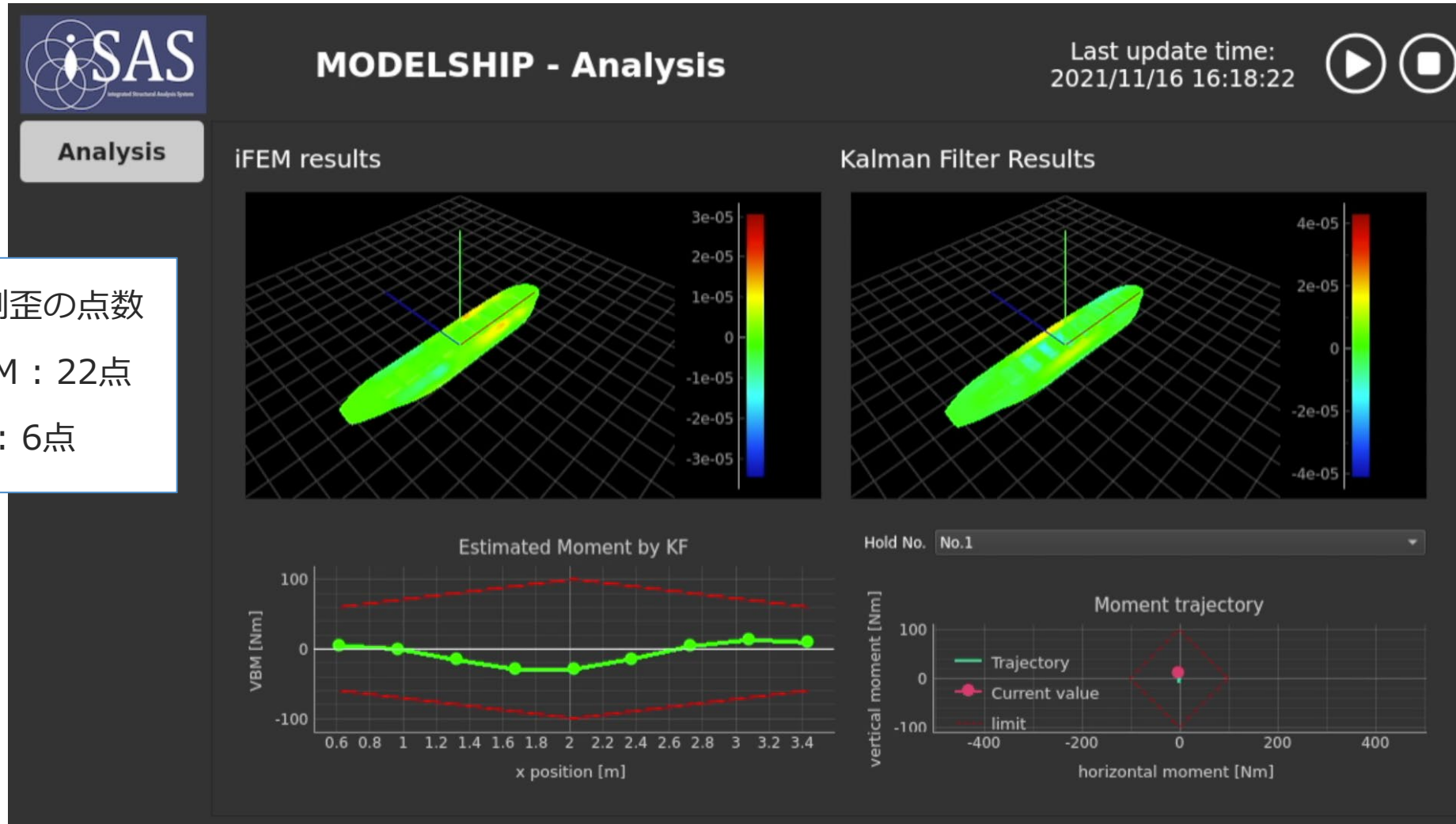


展示ブースにて公開

出典：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」
ウェビナー資料、宝谷他（2022/3）

構造応答計測用のセンサ





計測歪の点数

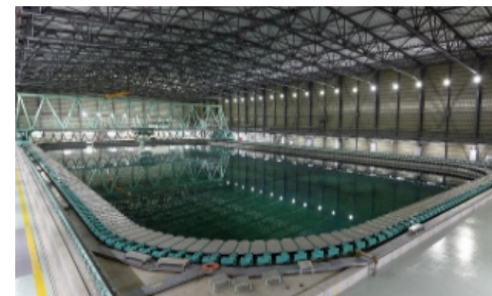
iFEM : 22点

KF : 6点

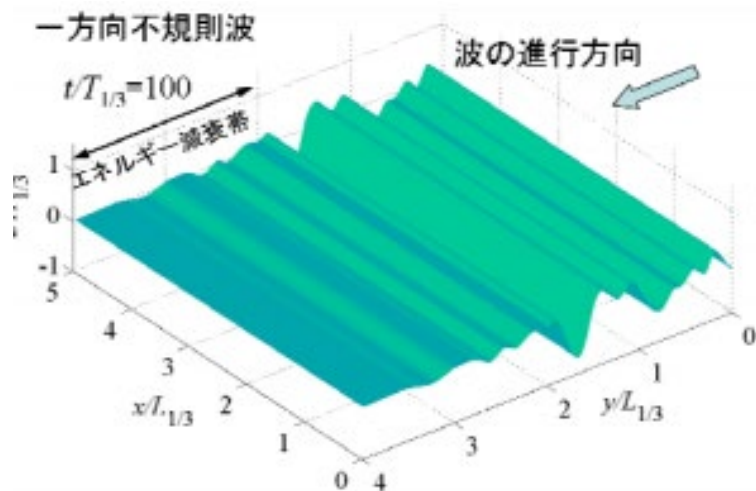
展示ブースでデモを実施中

2 方向波

正面向波（180度）＋斜め追波（60度）
有義波高3.6m、船速5knot 相当

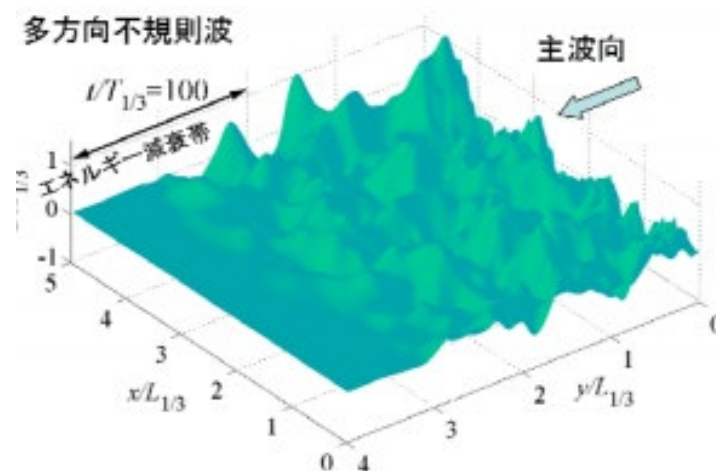


実海域再現試験水槽@海技研



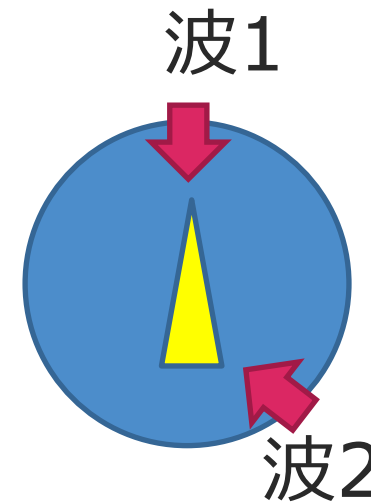
1方向波

(従来)

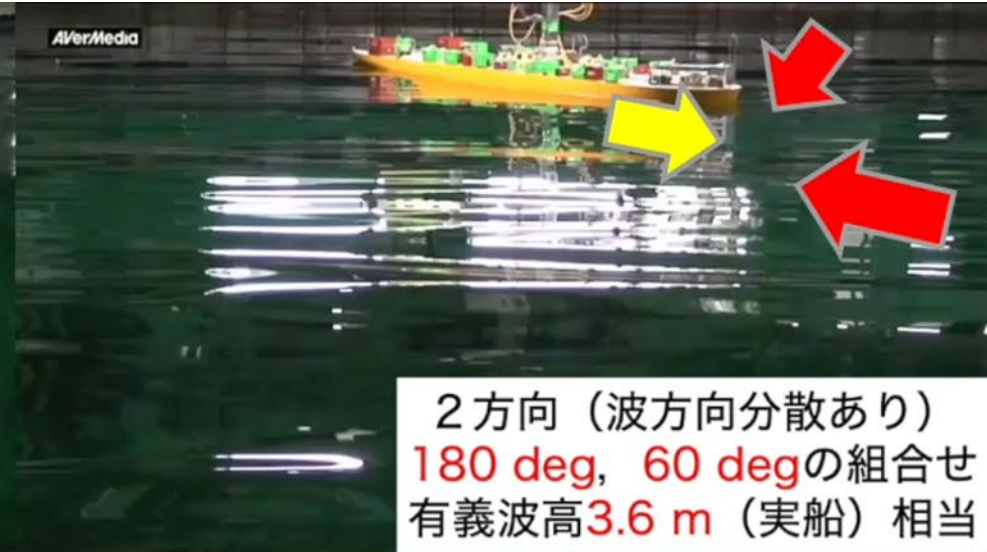
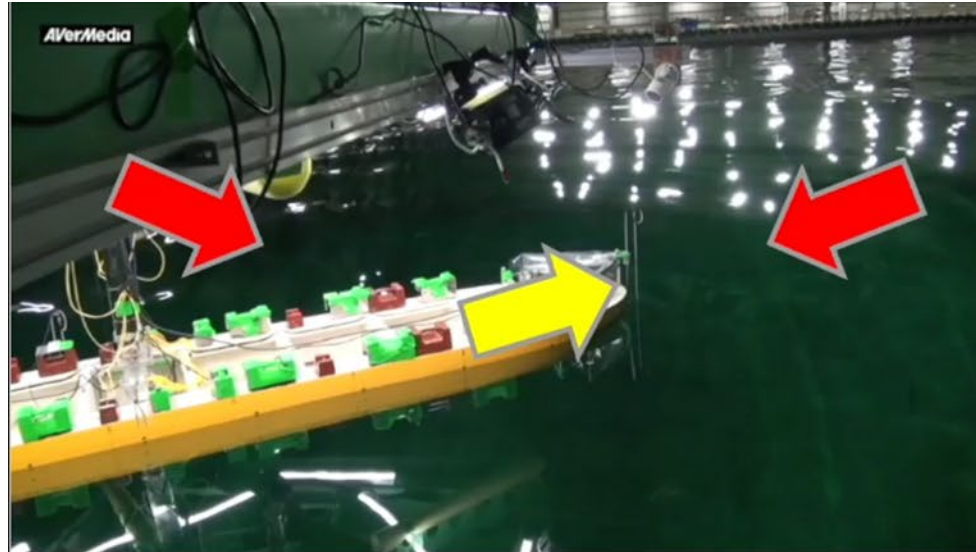


2 方向波（多方向波）

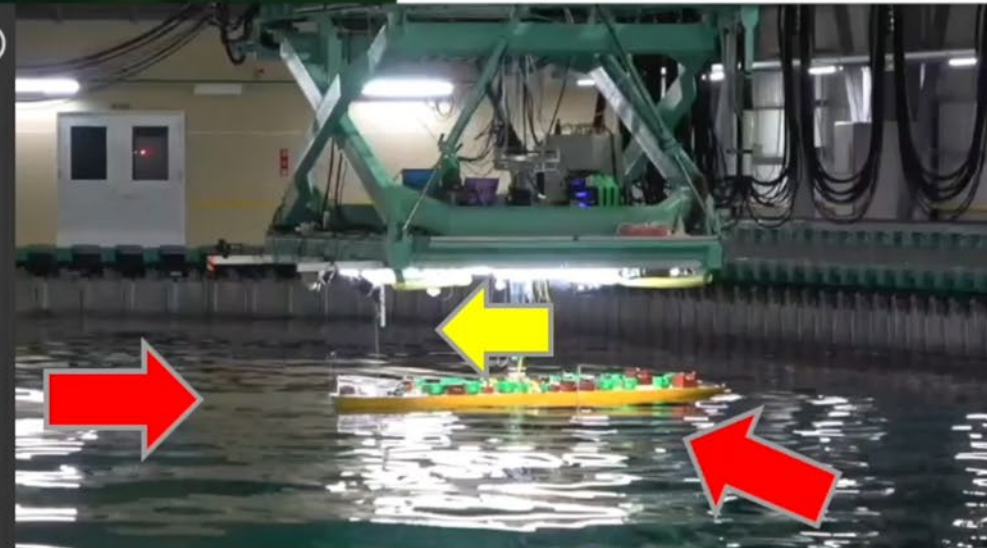
(今回の検証用)



2方向不規則波中水槽実験

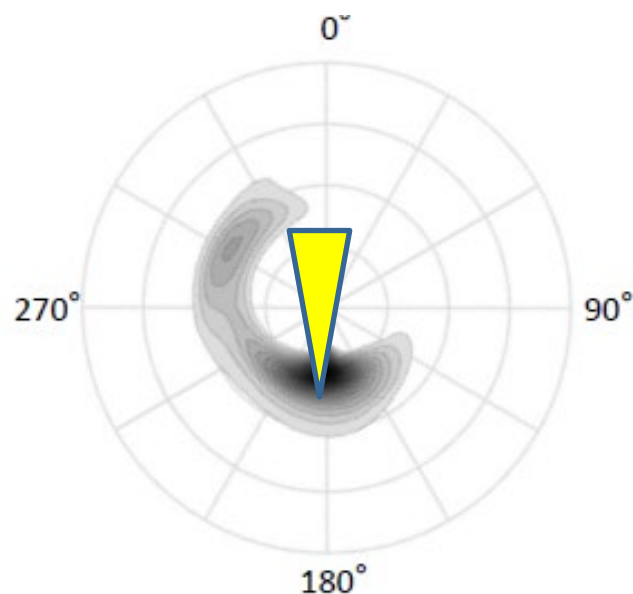


2方向（波方向分散あり）
180 deg, 60 degの組合せ
有義波高3.6 m（実船）相当

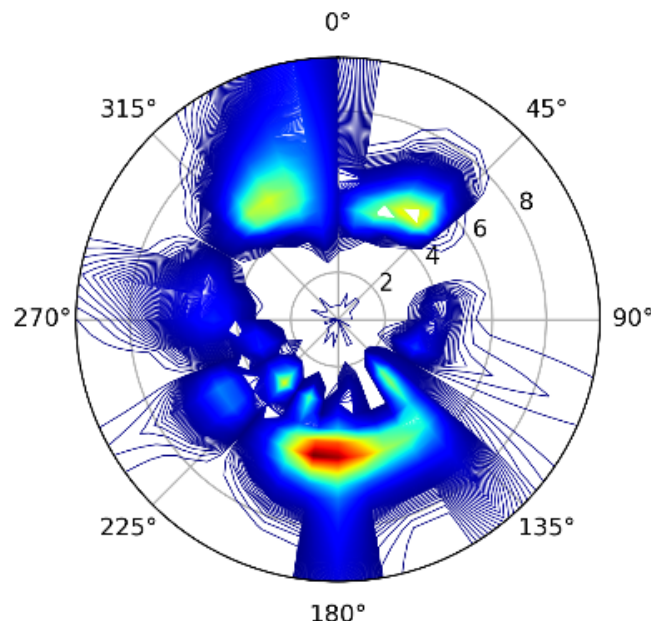


波スペクトル法

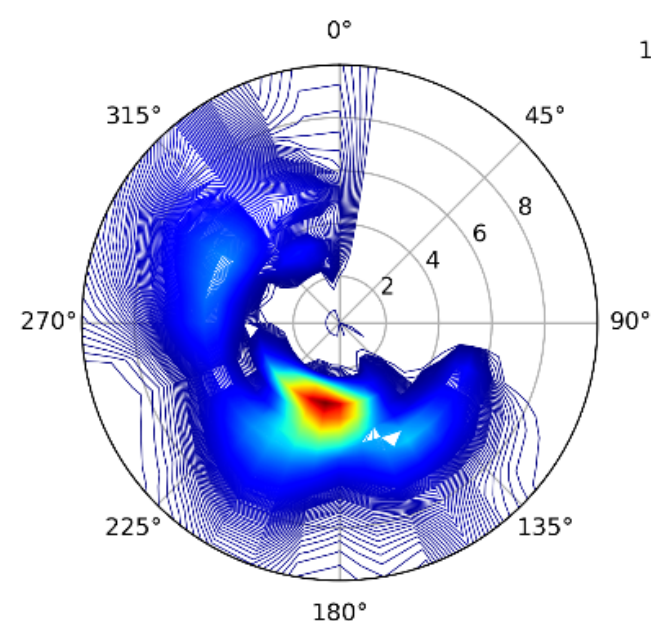
2 方向波（向波＋斜め追波）



波浪場（計測値）



船体運動による推定（従来法）

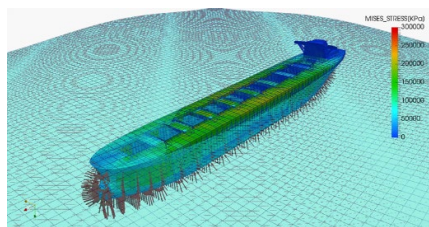


甲板歪(4点)による推定（新手法）

波スペクトル（推定値）

→船体の歪情報から精度良く、波・荷重を知ることができる。

低燃費操船や船体揺れの予測にも有効



- 船体構造デジタルツインプロジェクトの一貫で、大学等と連携して、船舶のデジタルツインに関連するオープンプラットフォーム「i-SAS」を開発した。
- i-SAS及びi-SASの主要部となるデータ同化法を、水槽試験及び実海域試験で検証した。（本日は水槽試験の結果を報告した）
- i-SASを実船搭載することにより、従来のハルモニタリングを越えた船体全域の応力分布や波浪スペクトル、作用荷重を得ることができ、さらにこれらデータの可視化、解析、評価推論によって安全運航に資する情報を、ユーザはリアルタイムで取得することができる。
- デジタルデータの蓄積と活用によって船体保守管理や設計改善を図る。
- 将来、船体構造他のデジタルツインを統合した、船舶デジタルツイン統合システムの構築を目指す。

展示ブースで公開中

謝辞

本研究は、日本財団の助成を受け日本船舶技術研究協会が実施した「超高精度船体構造デジタルツインの研究開発（フェーズ2）」の成果の一部を含みます。関係各位に謝意を表します。



船体構造デジタルツインの開発について



ご清聴ありがとうございました。