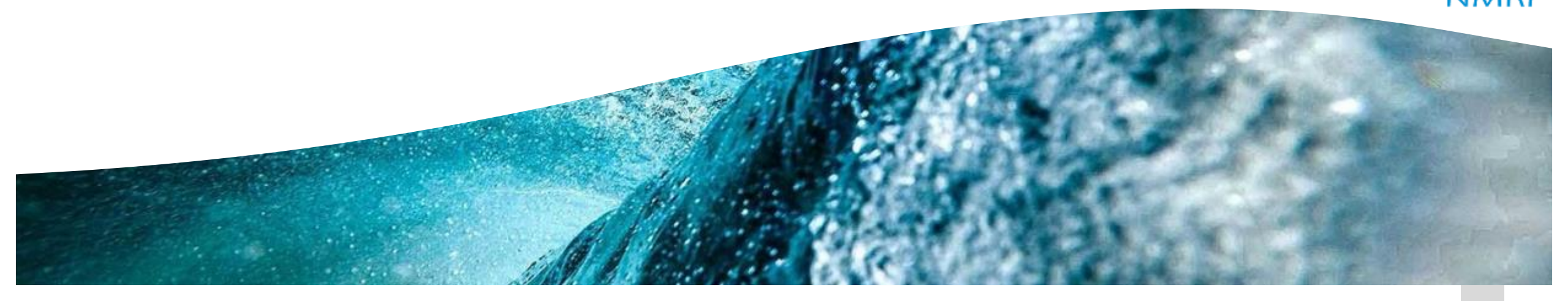


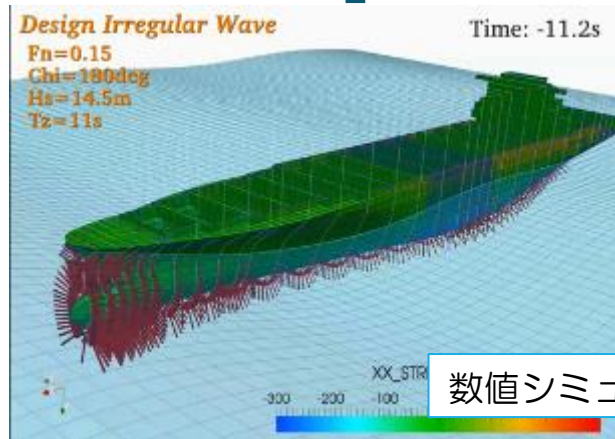
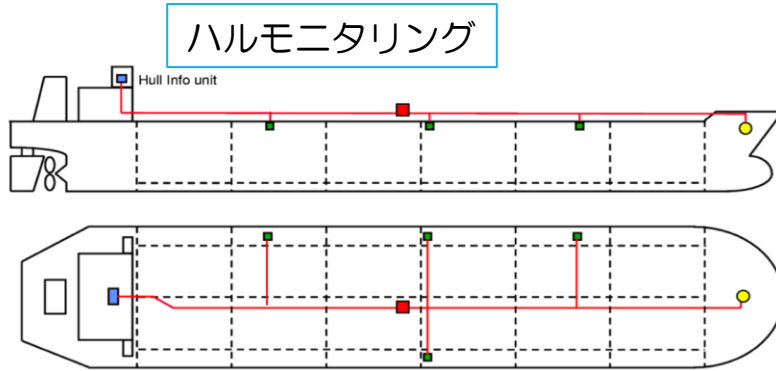
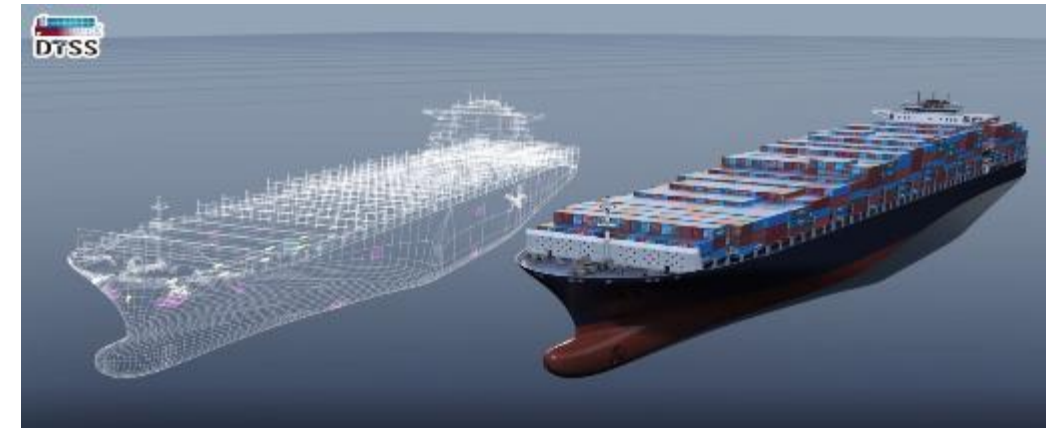
船体構造デジタルツイン統合システム の開発

超高精度船体構造デジタルツインの研究開発委員会 テクニカルグループ主査
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
岡 正義



船体構造デジタルツイン

Digital Twin for Ship Structures (DTSS)



船体や波浪の状態をリアルタイム・短期・長期に再現
デジタルデータを蓄積して活用

安全運航支援
合理的メンテナンス
設計/規則改善

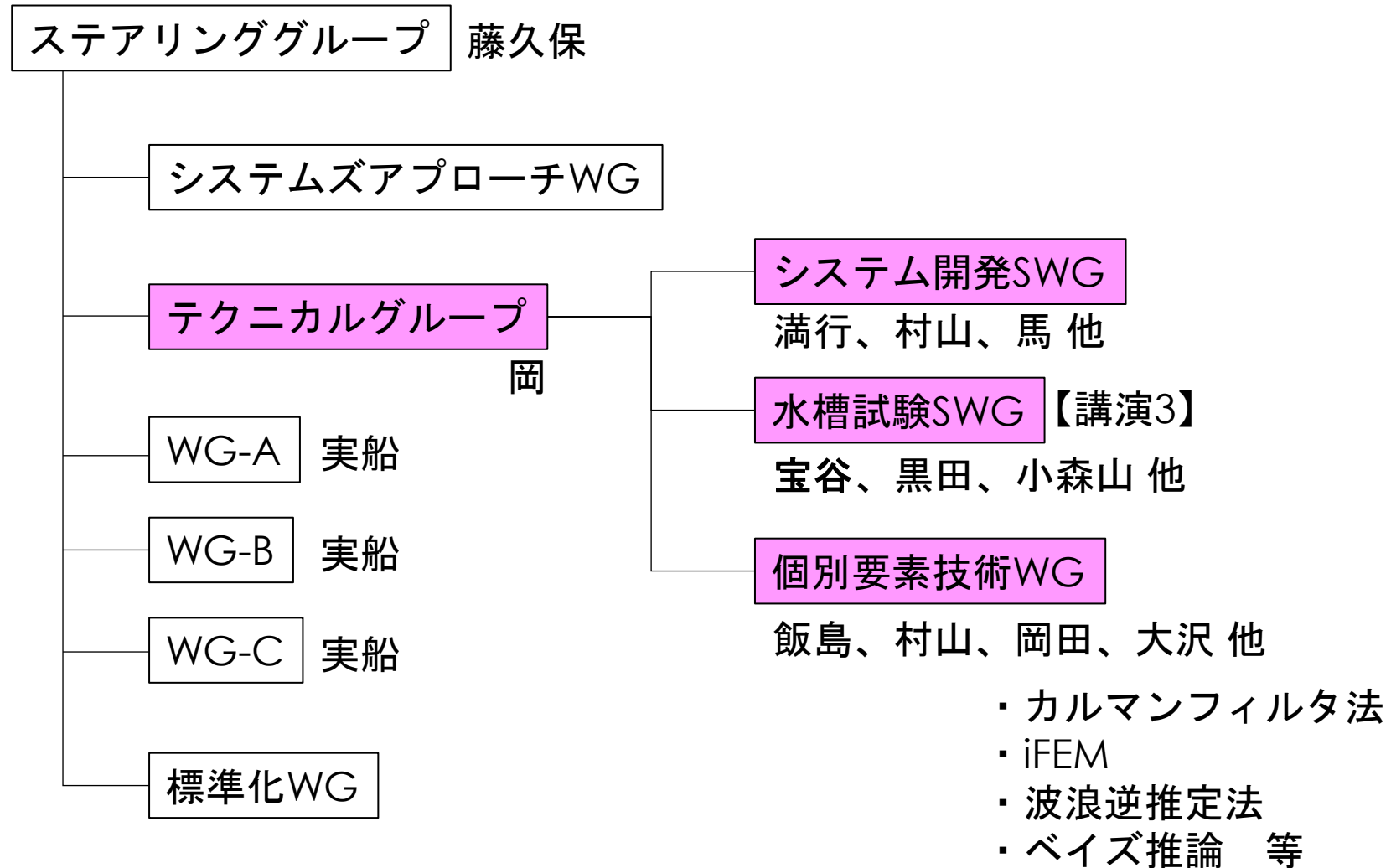
デジタルツイン技術により、船体安全レベルを向上

船体構造デジタルツイン（船体構造DT）

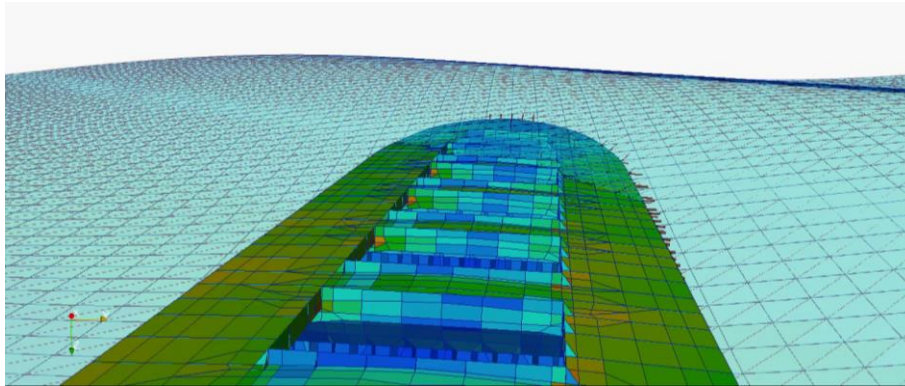
研究開発の課題

- 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
 - これらの技術を集約したデジタルツインシステムを構築
 - 設計DT、運航DT、主機DT等、他のDTを統合可能なプラットフォーム（i-SAS）を開発

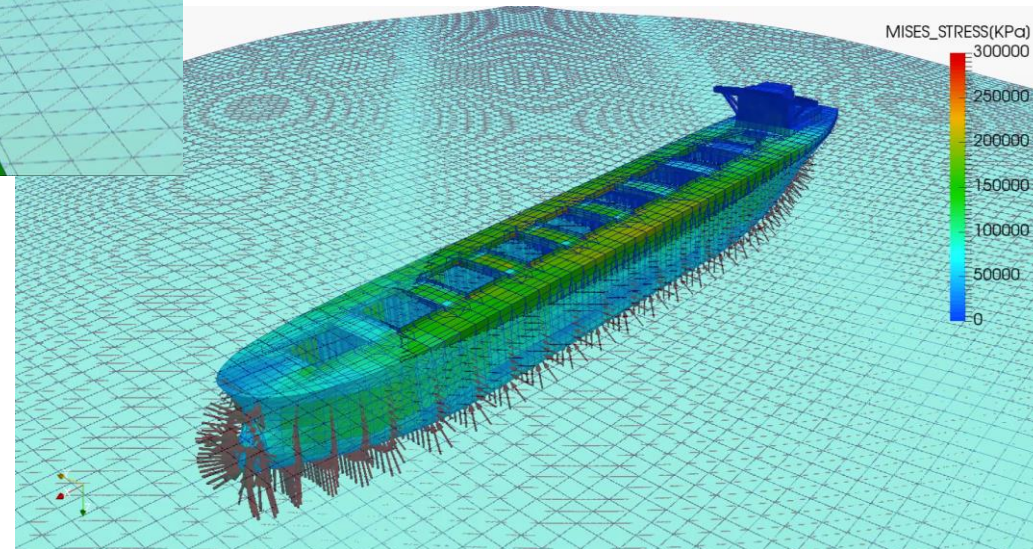
実施体制（フェーズ2；FY2020-2021）



デジタルツインシステムに組み込む数値シミュレーション

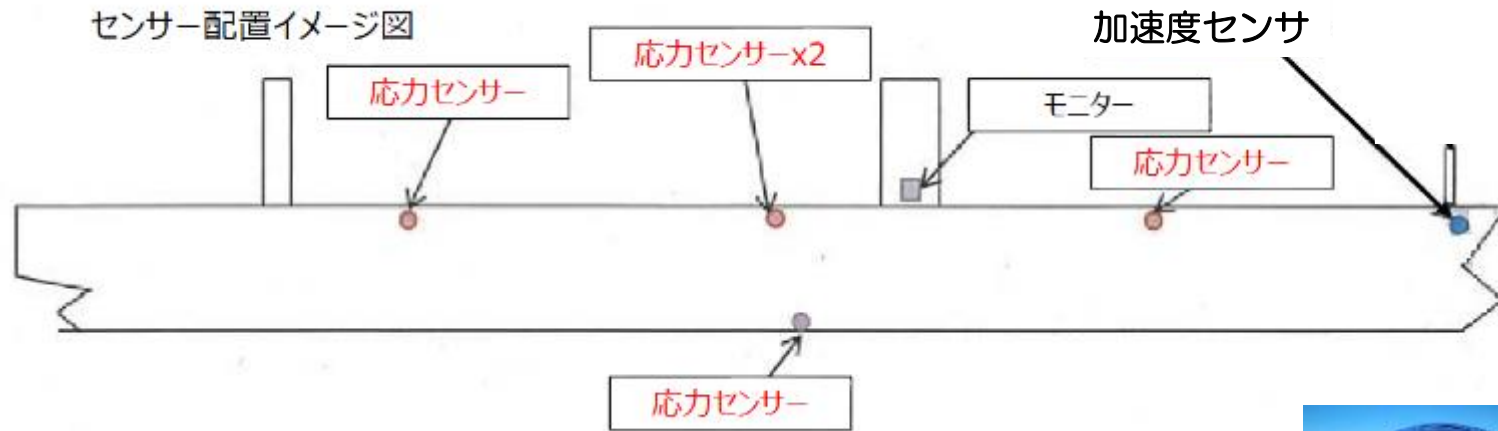


- ・規則波 波向：斜め向波 (135度)
- ・波高：12m
- ・船速：5.0ノット



実スケールバルクキャリアの解析例

ハルモニタリングシステム

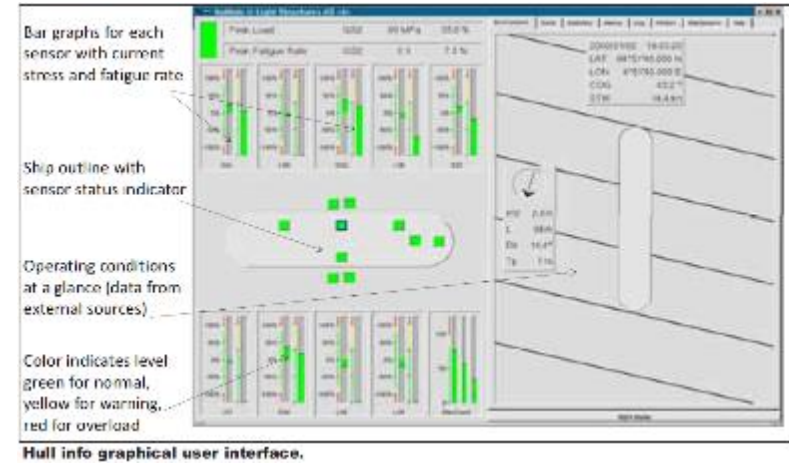


(出典：米澤他、Monohakobi Techno Forum 2017)

応力5点
加速度1点



光ファイバ型応力センサ



ユーザ支援ツールの例

出典：ノルウェー Light Structure 社

計測した箇所の情報しか分からない。

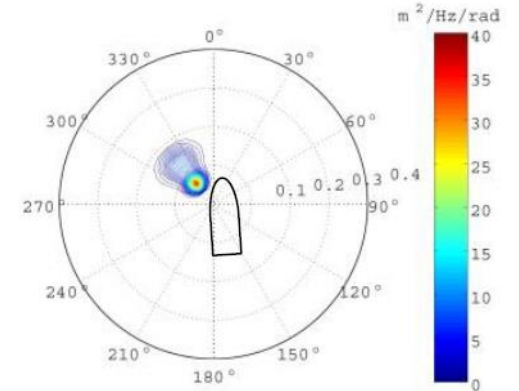
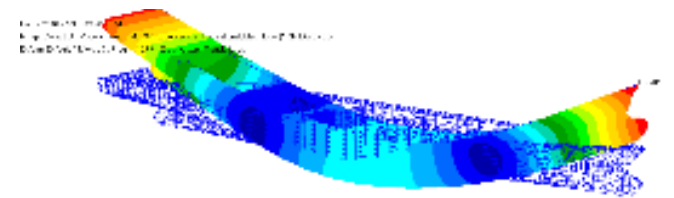
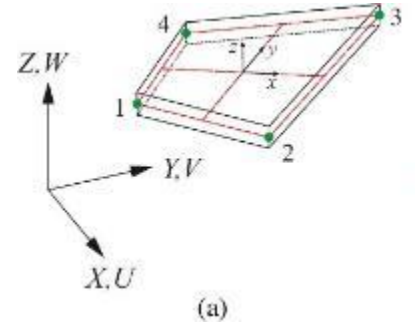


計測技術とCAEを融合させたデジタルツイン
/ データ同化技術の開発へ

データ同化手法

「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

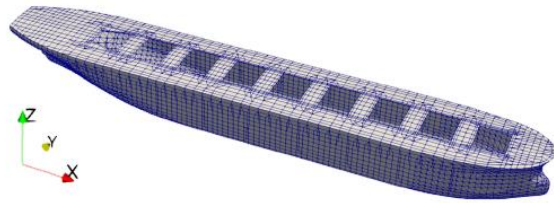
- iFEM
ひずみ情報からひずみ～変位 関係に基づいて節点変位を得る
逆解析手法
- カルマンフィルタ法
モード形状と観測値を基に、弾性振動を含む応答をリアルタイムで得る手法
- 波浪逆推定法
船体を波浪計とみなして波スペクトルを把握して、波スペクトルを基に船体のあらゆる箇所の応力を求める手法



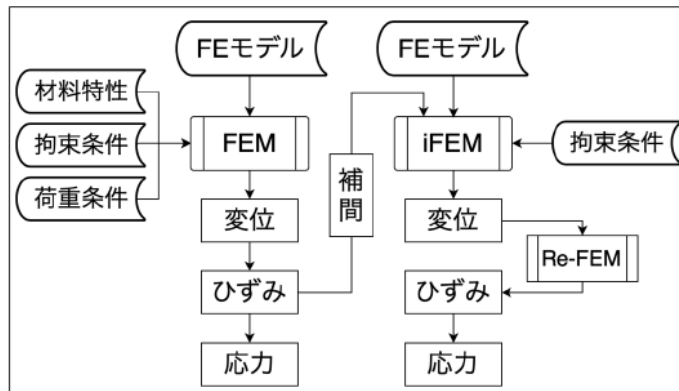
これら要素技術を統合したシステムを開発

iFEM

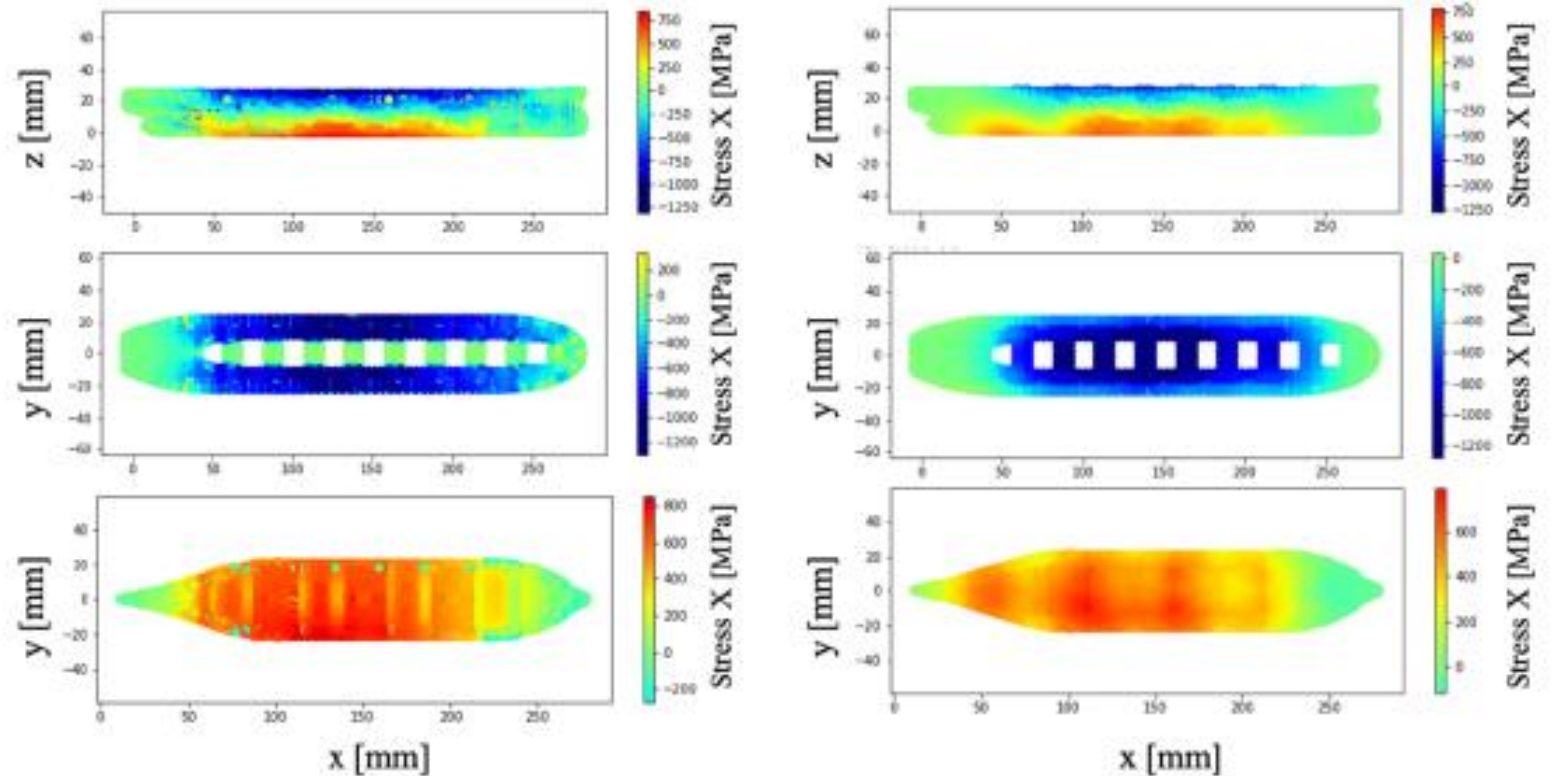
双子実験での検証例



FEモデル



解析の流れ

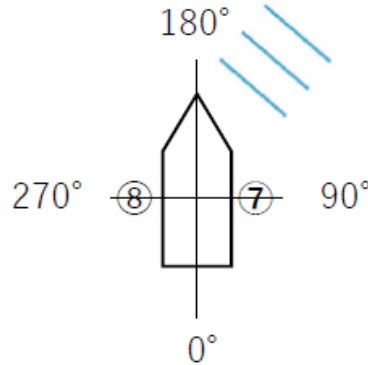
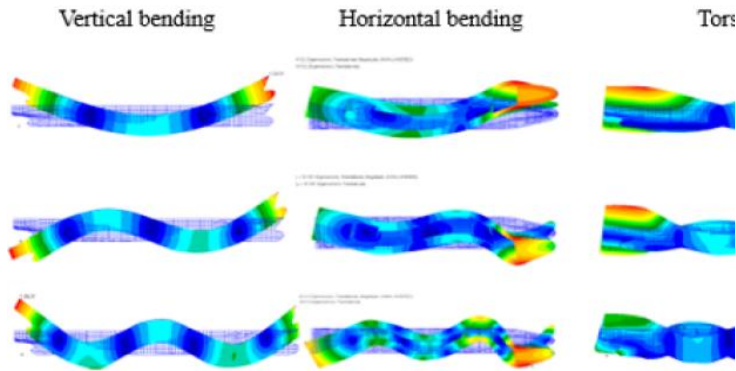


斜め向波（120 deg）における長手方向応力コンター図
（左：FEM，右：30点の歪情報によるiFEM）

30点ほどの歪情報から、船体全域の応力を精度良く取得できる
水槽実験で検証【講演3】

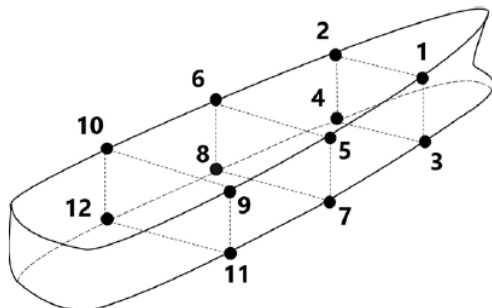
カルマンフィルタ法

実コンテナ船での検証例



⋮
⋮
⋮

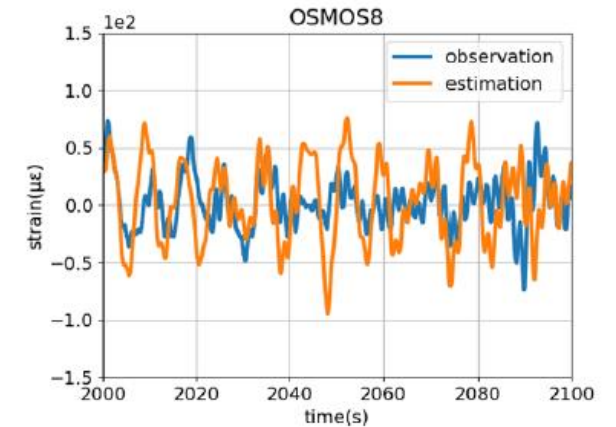
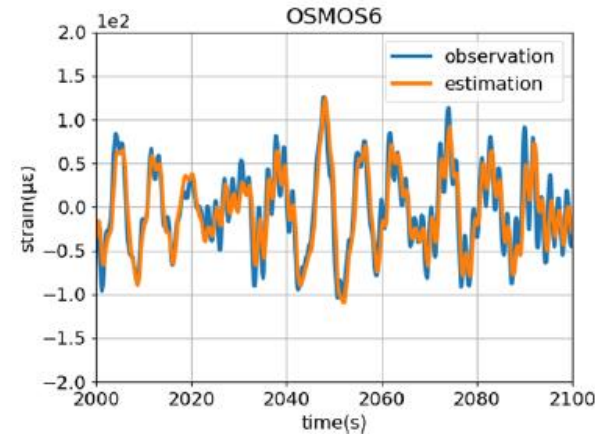
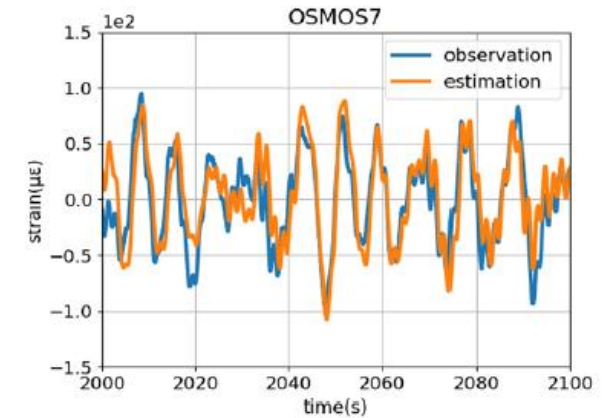
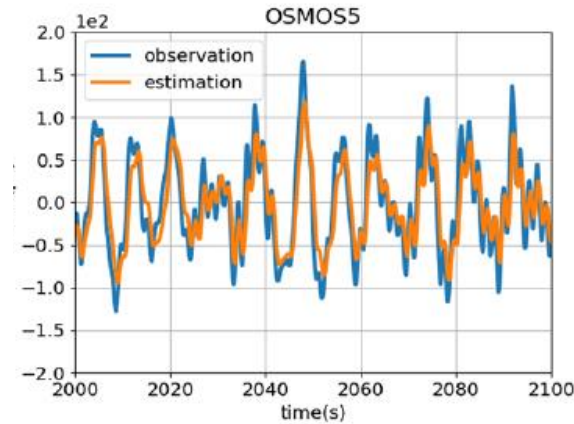
モード重ね合わせ法



デッキ部の6点の歪からボトム部の歪を推定

デッキ6点の歪情報から全船域の縦曲げ応答が取得可能【講演3】

- ボトム6点追加をすれば振りや水平曲げも取得可能
- さらに、静荷重にも応用可能【講演5】



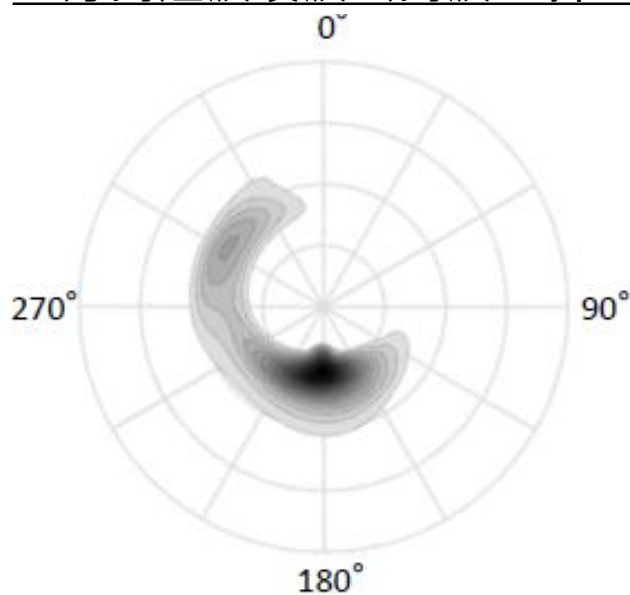
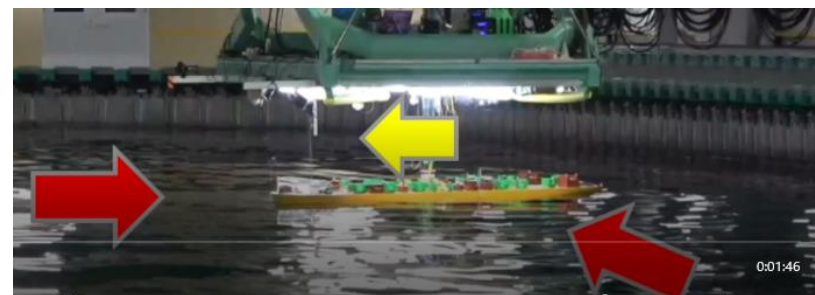
デッキ部歪の推定結果

ボトム部歪の推定結果

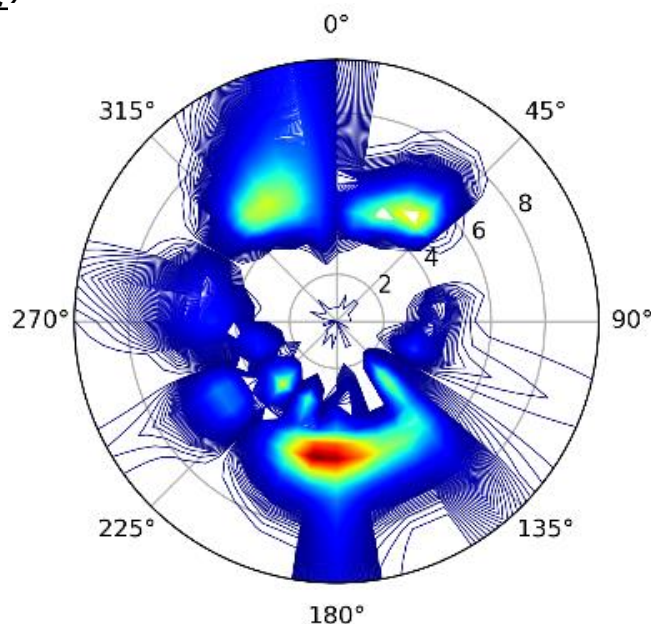
波スペクトル法

不規則波中実験で検証【講演3, 5】

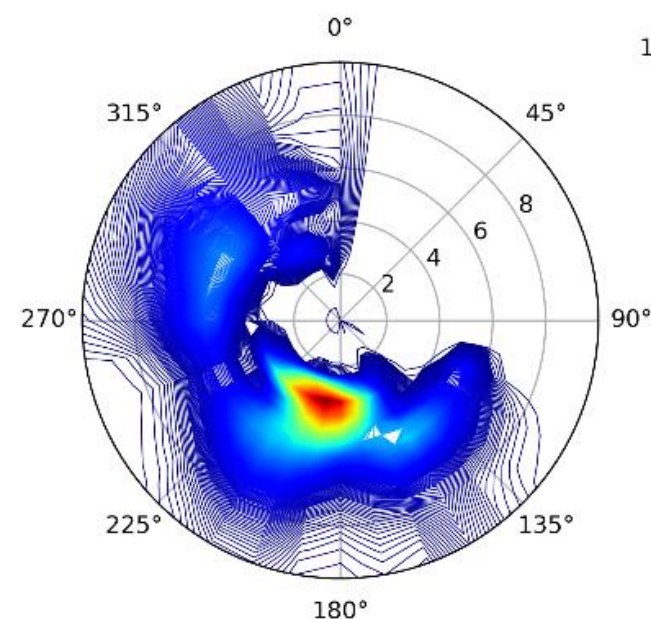
2方向短波頂波（向波+斜め追波）



波浪場（計測値）

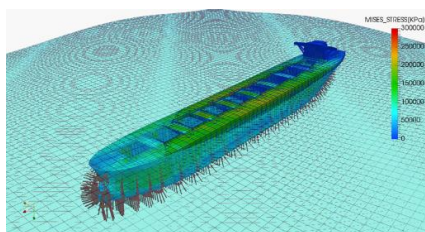


船体運動による推定



甲板歪(4点)による推定

波スペクトル（推定値）

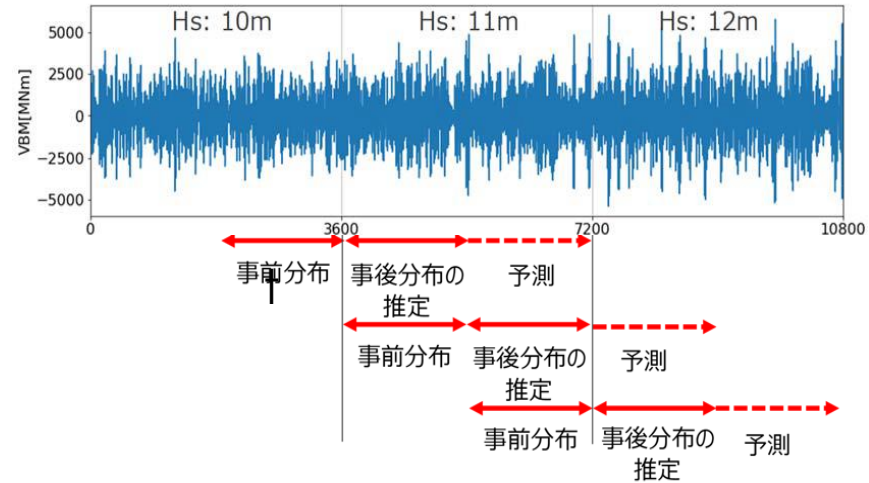
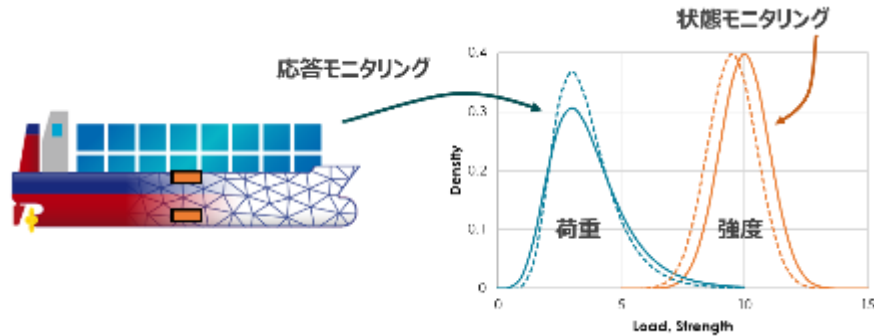


歪情報を利用することで、実海域の波スペクトルを高精度に取得可能
特に、船体運動では得られない短波長の波の推定が可能【講演3,5】

→ 歪情報から精度良く、波と荷重を知ることができる。

意思決定のための推論技術

縦曲げ崩壊危険度



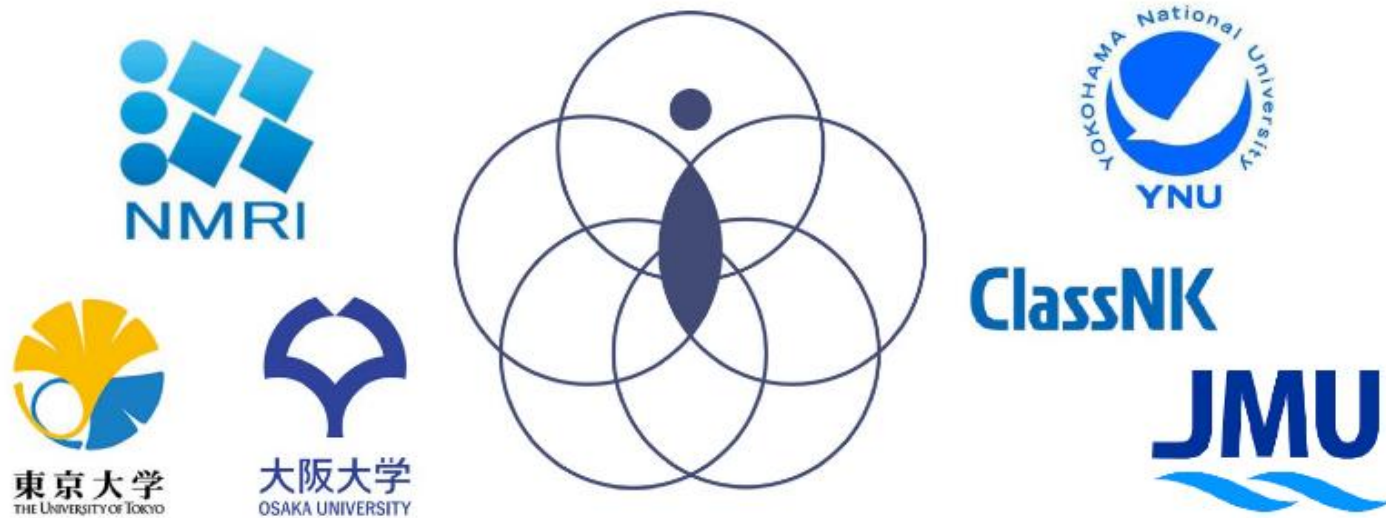
デジタルツインによる縦曲げモーメントをベイズ推論と組み合わせて、遭遇海象における最大縦曲げモーメントの確率分布を推定し、崩壊危険度を予測【講演6】

長期疲労被害度

デジタルツインによる局部応力値をベイズ推論と組み合わせて、疲労寿命を予測。さらにベイズ推定により得られた「等価波浪発現頻度分布」により、任意箇所の疲労予測が可能。【講演6】

船舶のデジタルツインに関するオープンプラットフォーム i-SAS

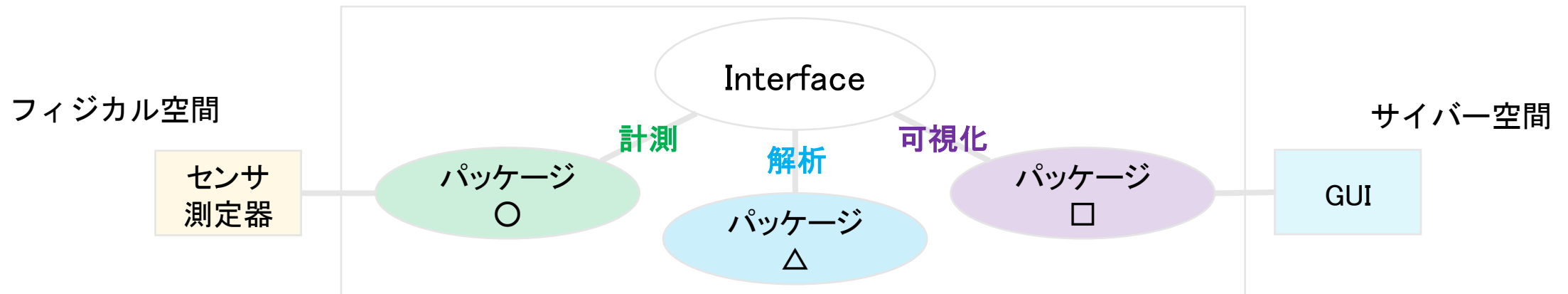
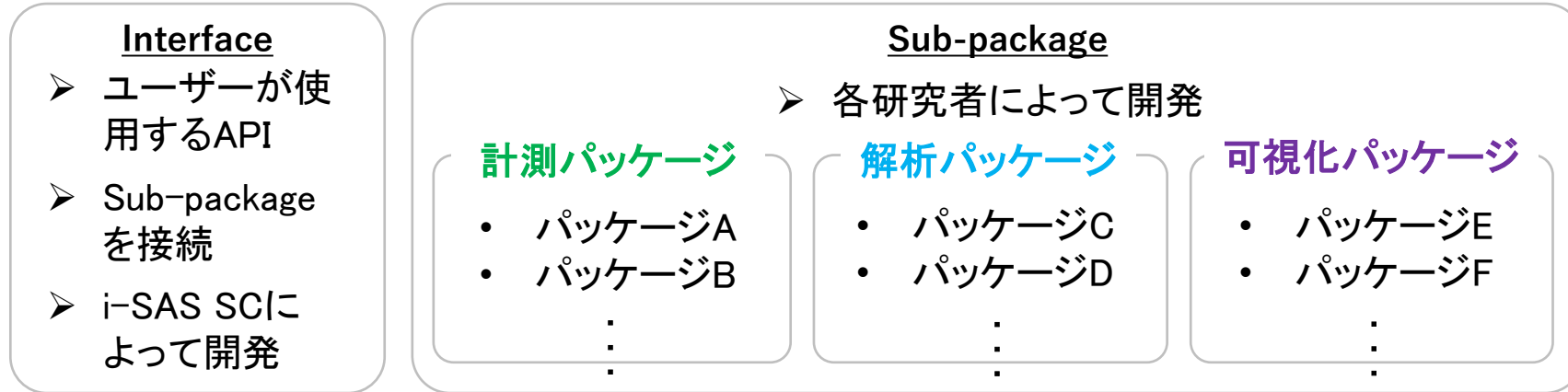
i-SAS : Integrated Structural Analysis System



海技研、大学、造船所、船級協会、の共同開発

i-SAS (integrated Structural Analysis System)

計測・解析・可視化をリアルタイムに接続した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 (Interface) およびツール群 (Sub-package) を提供



規格の統一されたSub-packageとして開発することで**プログラムの再利用性向上**
Sub-packageを選択・新規作成してInterfaceによって接続することで容易かつ
自由にDTシステムを構築可能

Examples of implemented sub-packages

船体構造デジタルツインシステム

NMRISensorController

光ファイバ(FBG)センサの計測器から測定値を取得する



DataLogger

データロガー(e.g. Keyence)から測定値を取得する



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



ResponseKalmanFilter

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



BasicVisualizer

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



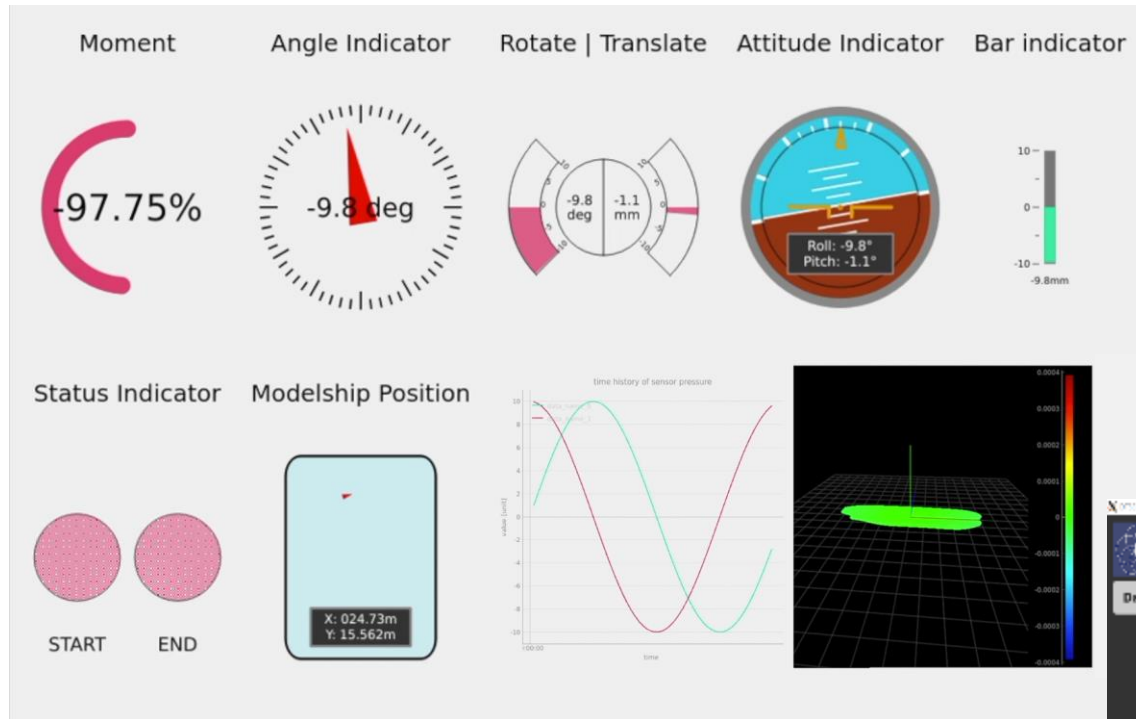
BasicGUIController

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



Graphical User Interface

VisualizerやGUIControllerに用意されたウィジェットを自由に配置することで**インタラクティブなGUI**を構成可能

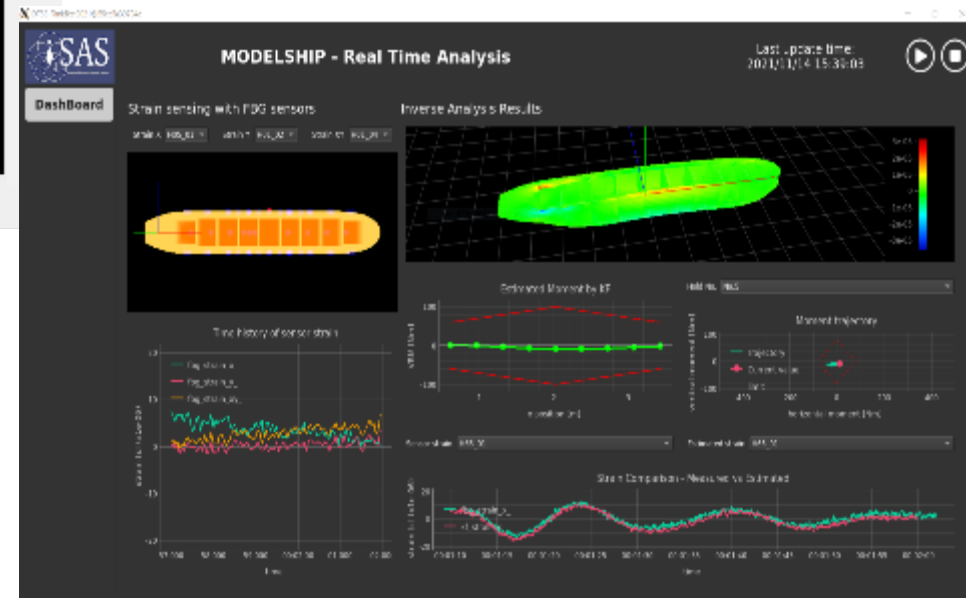


← 利用可能なウィジェットの一例

- configファイルで詳細に設定可能
- 新しいウィジェットも作成可能

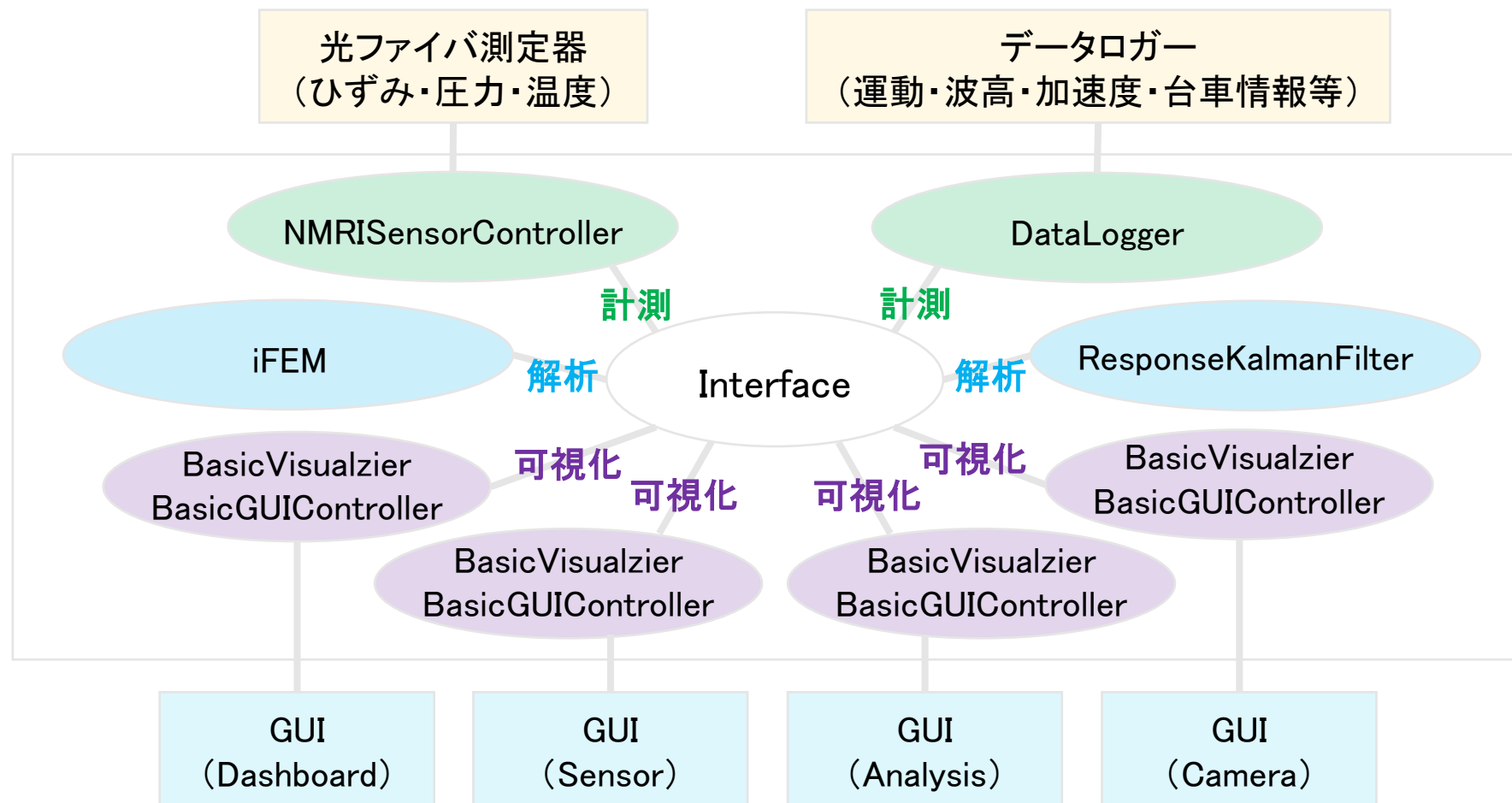
構成されたGUI画面の例 →

- 複数タブや複数ウィンドウにも対応
- マウスによる操作にも対応可能






Demonstration of TankTest DT system

i-SASを用いて水槽試験・模型船を対象としたデジタルツインシステムを構築




計測・解析結果を可視化し、意思決定に役立つ情報をフィードバック

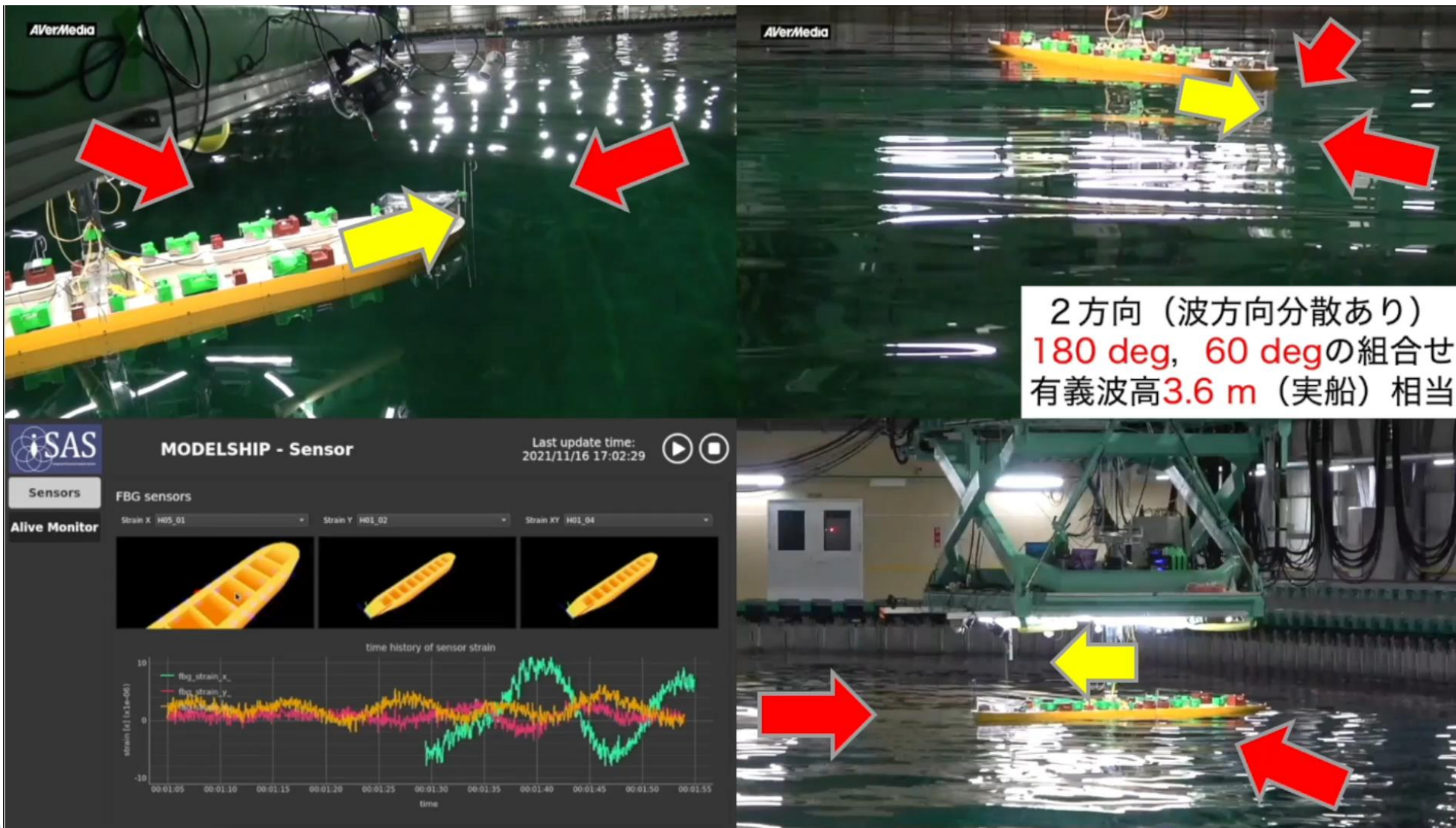
i-SAS (GUI)

 **MODELSHIP - Camera** Last update time: 2021/11/16 16:30:04  

Camera IP Camera video



2方向不規則波の実験映像



4映像を同時に表示

結果は【講演3】でご報告

統合システムに含まれる手法とベネフィット

手法	データ同化法			評価・推論
	iFEM	カルマンフィルタ法	波スペクトル法	
特徴・機能	汎用性・利便性	即時性・拡張性	波浪情報を介することで波浪中船体応答を取得可能	データ同化による応力分布を利用した推論評価
入力データ（計測）	歪（数10点）	歪（数点）	歪（数点）	
使用するデータベース	FEモデル	FE固有値解析による変形モードと固有値	FE応力解析による波浪中応答関数	
推定項目	船体全域の変形・応力分布	船体全域の断面力分布ならびに応力分布	応力分布等を含む波浪中船体応答 波浪スペクトル	縦曲げ荷重 疲労被害度 等
対象とする時間スケールと目的	即時（アラート）	即時（アラート）	短期（安全運航支援）	予測 短期（安全運航支援） 長期（疲労評価）
水槽試験等による検証結果	- リアルタイム機能を検証(データサンプリング10Hz) - 約20点の歪計測値から船体全域の変形・応力分布の推定が可能	- リアルタイム機能を検証(データサンプリング10Hz) - 6点程度の歪計測値から船体全域の応力分布の推定が可能	- 規則波及び多方向不規則波中において、甲板部4点の歪計測値を元に船底部位等局部応力を推定可能	—
ベネフィット	- 静荷重等を含む任意の周波数成分の船体全域の変形・応力応答の再現 - 形状情報のみで計算可能	- 静荷重等を含む任意の周波数成分の船体全域断面力・応力応答の再現 - 低コスト・リアルタイム性に優れる	- 船体全域の応力分布等を含む波浪中船体応答の再現 - 波スペクトルの取得 - 低コスト性に優れる	- 安全支援及び疲労予測 - 危険部位の推定 - 等価波浪発現頻度表の取得
	船体構造検査の合理化（板厚計測の緩和、リスクベース検査） 運航支援システムや自動運航船への利用（デジタルツイン統合システム） フロントローディング設計（模擬実験、モデルベース開発、IGA (Isogometric analysis)) データドリブン設計基準			

まとめ

- プロジェクトで開発した、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」の機能を紹介した。
- i-SAS及びi-SASの主要部となるデータ同化法を、水槽実験及び実海域試験で検証した。（詳細は本日の講演にて紹介）
- 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。