

ケーブサイズばら積み貨物船の 静水中・波浪中応答評価

超高精度船体構造デジタルツインの研究開発委員会 WG-B副主査

日本シップヤード（株）基本設計部構造グループ

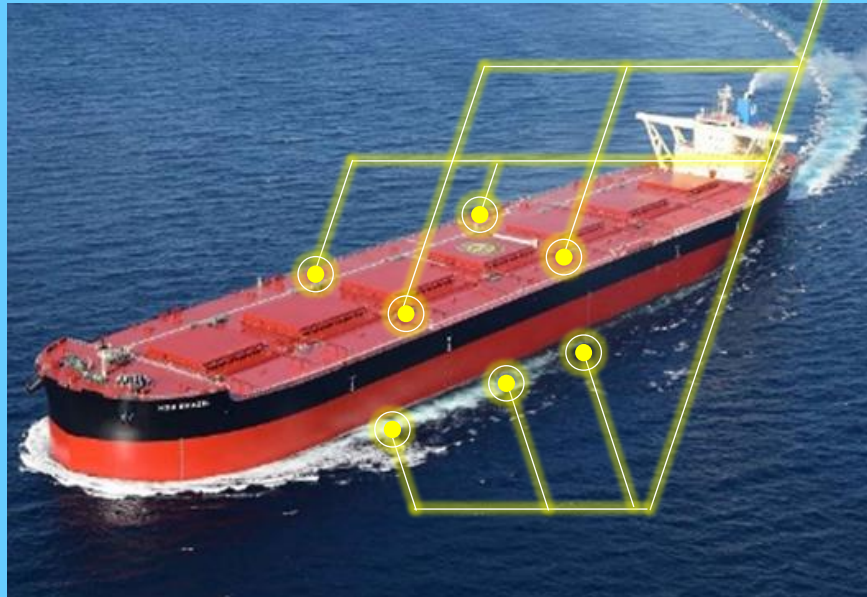
平川 真一



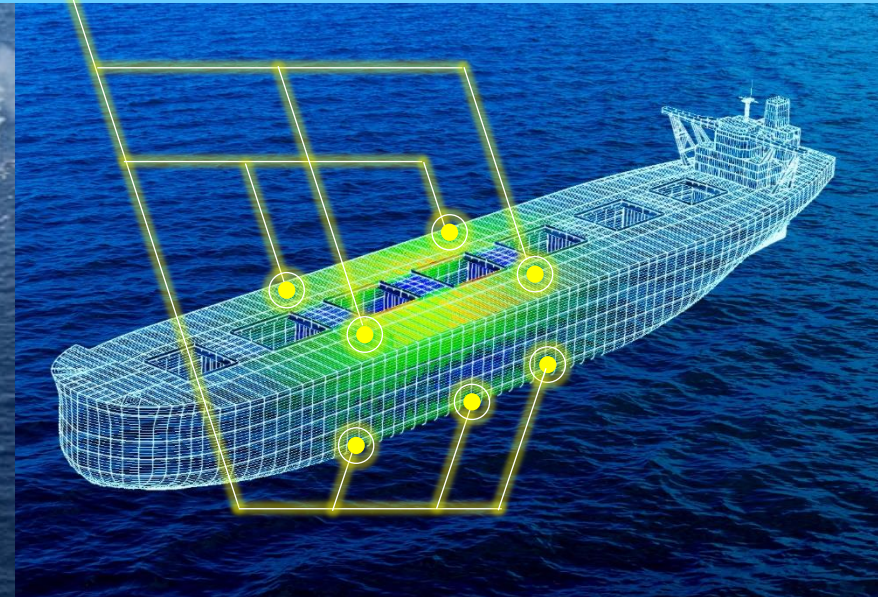
船体構造デジタルツインのイメージ

船体構造デジタルツインシステム

データ同化



モニタリング



シミュレーション

デジタルツインの実現 = **船体全体の構造応答が正確に把握できる**
→これを何に使うかを各ステークホルダ自らが考え, 新たなビジネスチャンスを狙う

実船検証ワーキンググループB（WG-B）のタスク

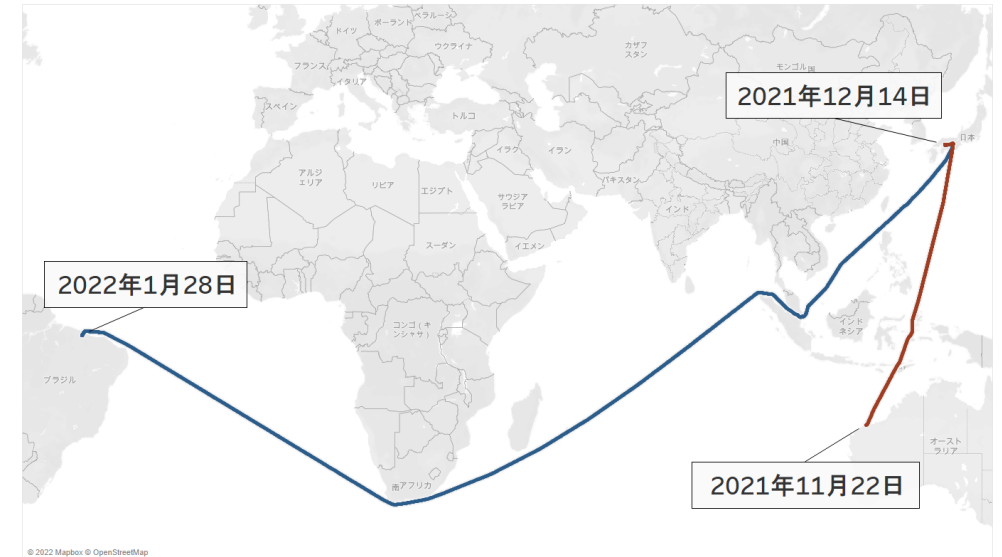
	実船計測	シミュレーション	データ同化手法
波浪中応答	ハルモニタリング	DLSA	スペクトル法
静水中応答	ハルモニタリング 船体変形計測 温度計測	梁計算 トリム計算 FEM	カルマンフィルタ法

- ・ 実船計測 vs シミュレーション
 - ・ 実船計測 vs デジタルツイン（実船計測 + シミュレーション + データ同化）
- を通じて、**シミュレーション単体（従来法）よりデジタルツインが優れていることを検証**する

メンバー（敬称略）

岡田主査・川村・満行（横国大），藤久保（阪大），村山（東大），柳原・藤（九大），山本（日本郵船），越智（NK）
岡・馬・小森山・陳（海技研），平川副主査・関・吉田（NSY）

供試船（ケーブサイズばら積み貨物船）の概要



航路例

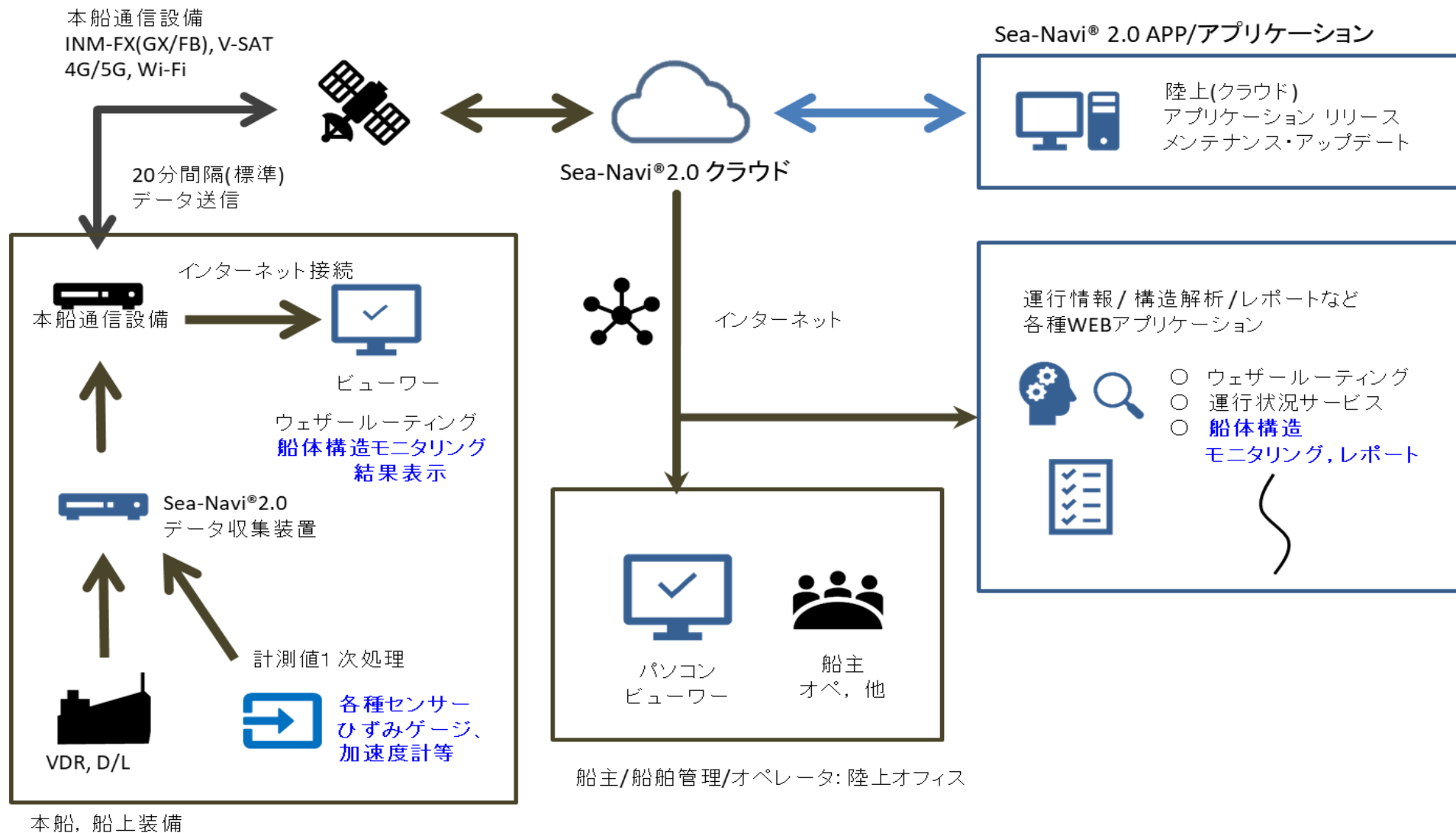
主要寸法：全長約300m x 幅50m x 深さ25m x 喫水18.4m

載貨重量：212,078トン

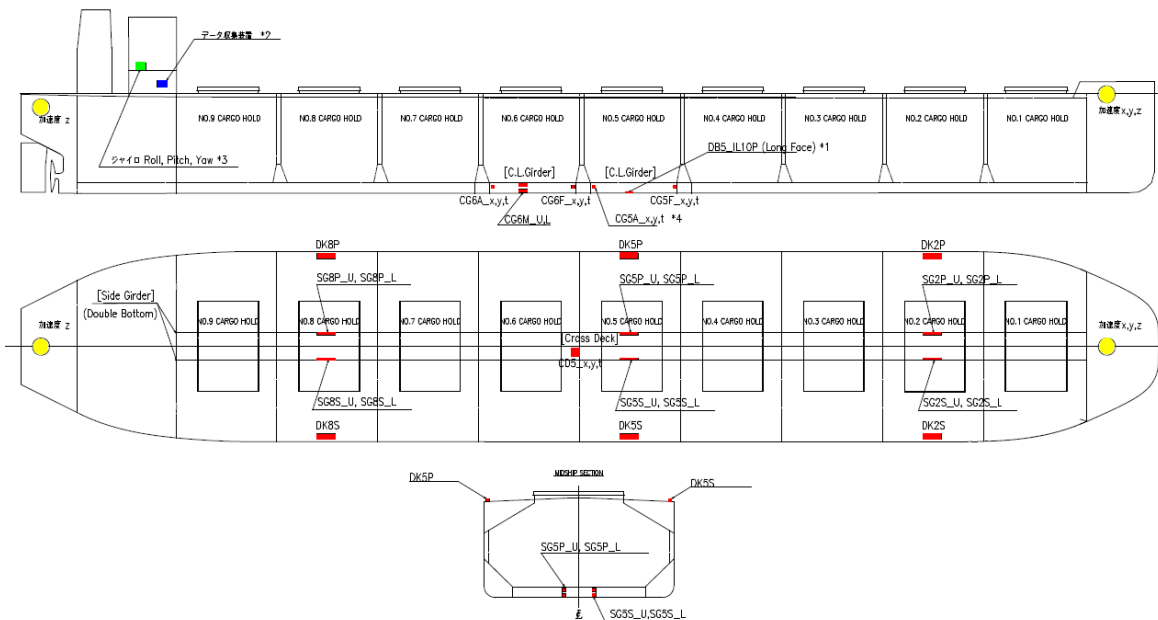
航海速力：14.50ノット

※日本海事協会より“DSS（HM（F+LS,O））”及び、“DSS（EE）”を付与

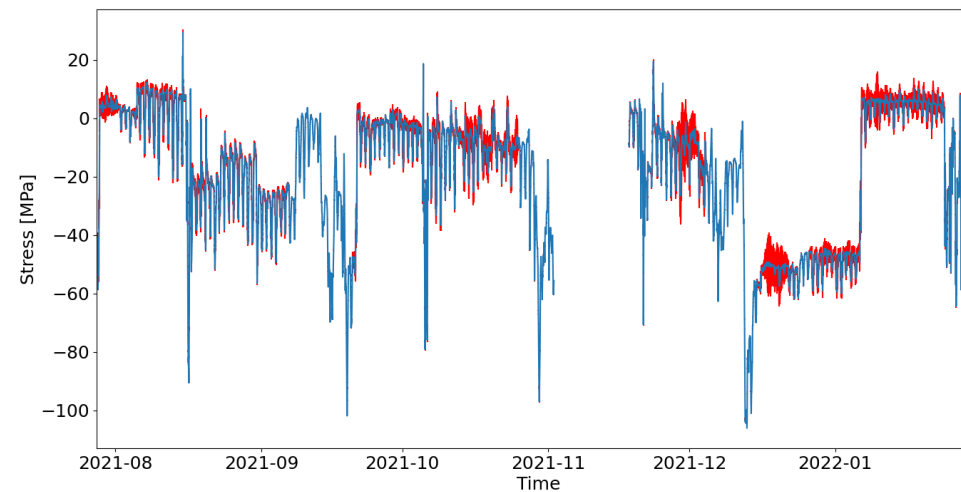
ハルモニタリングシステム ; Sea-Navi® 2.0



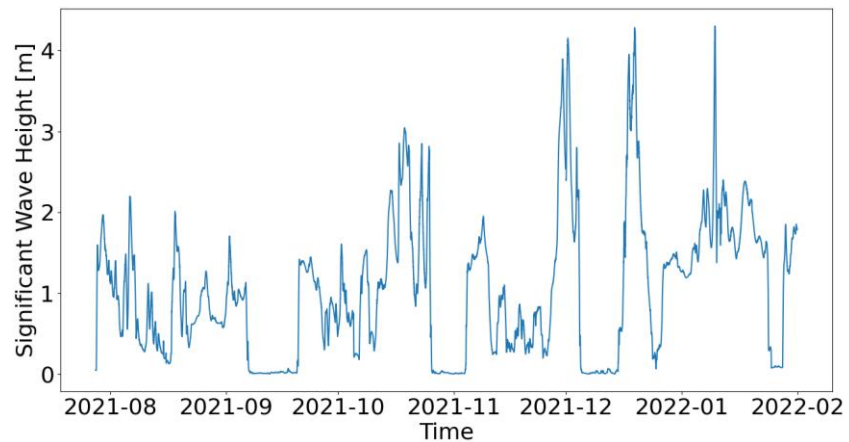
ハルモニタリング結果例



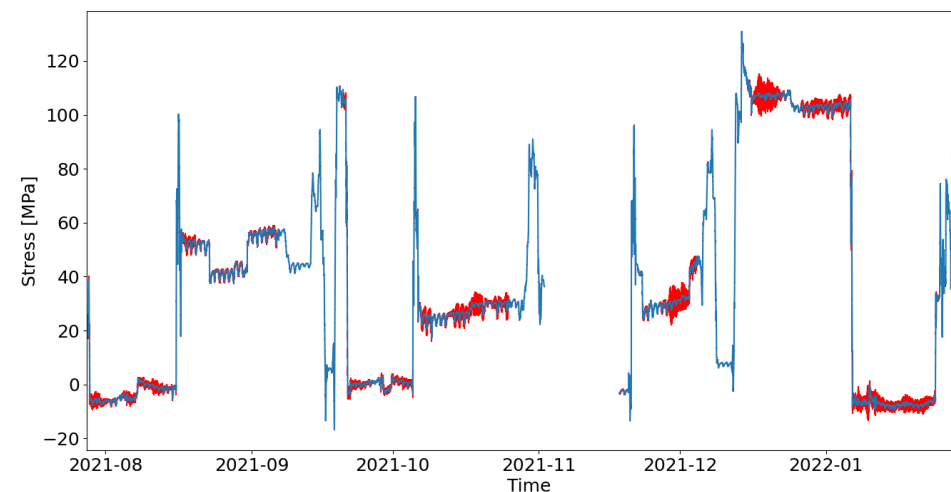
— 平均値 — 平均値 + 標準偏差



Deck応力



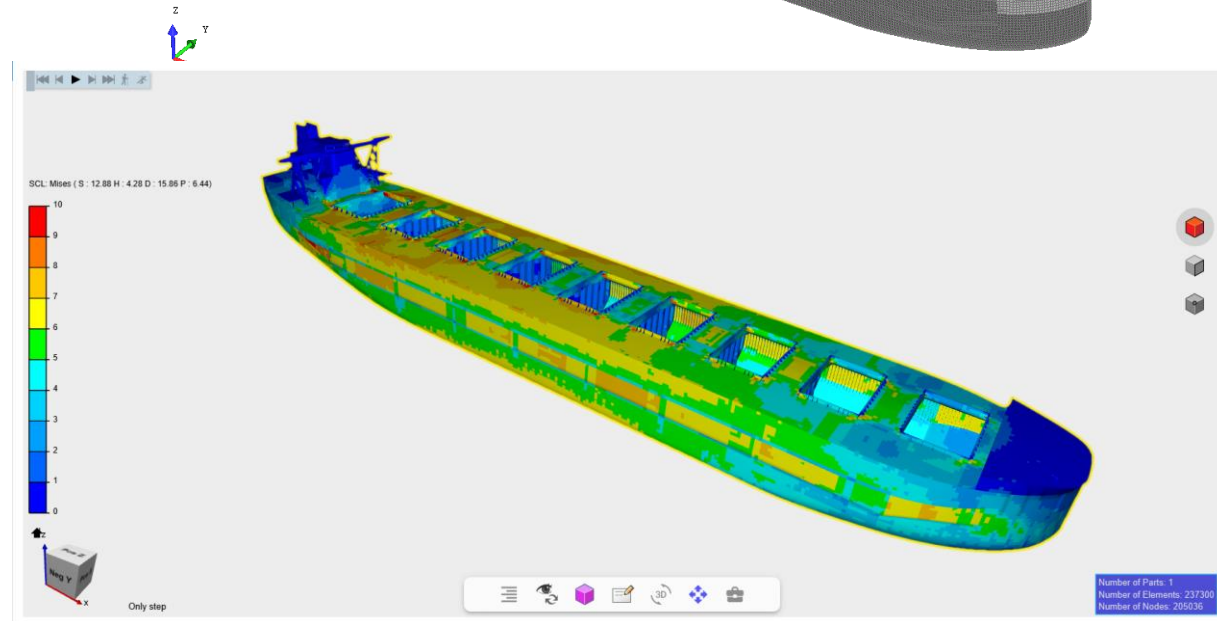
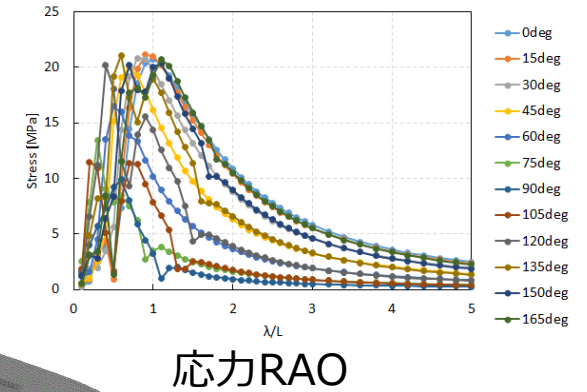
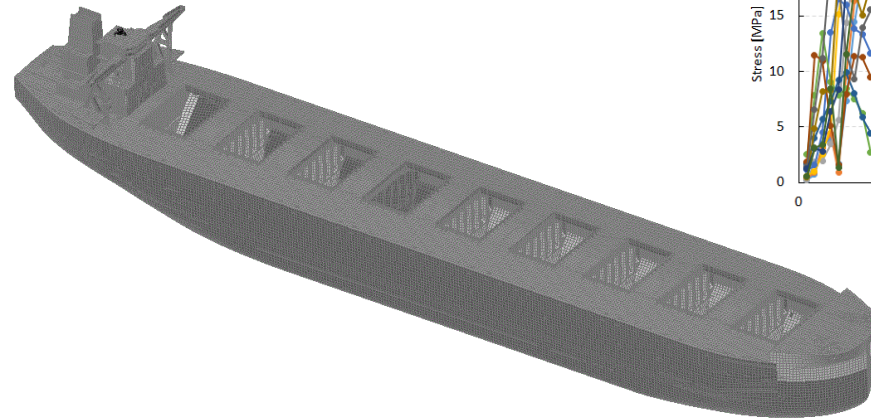
有義波高



Bottom girder応力

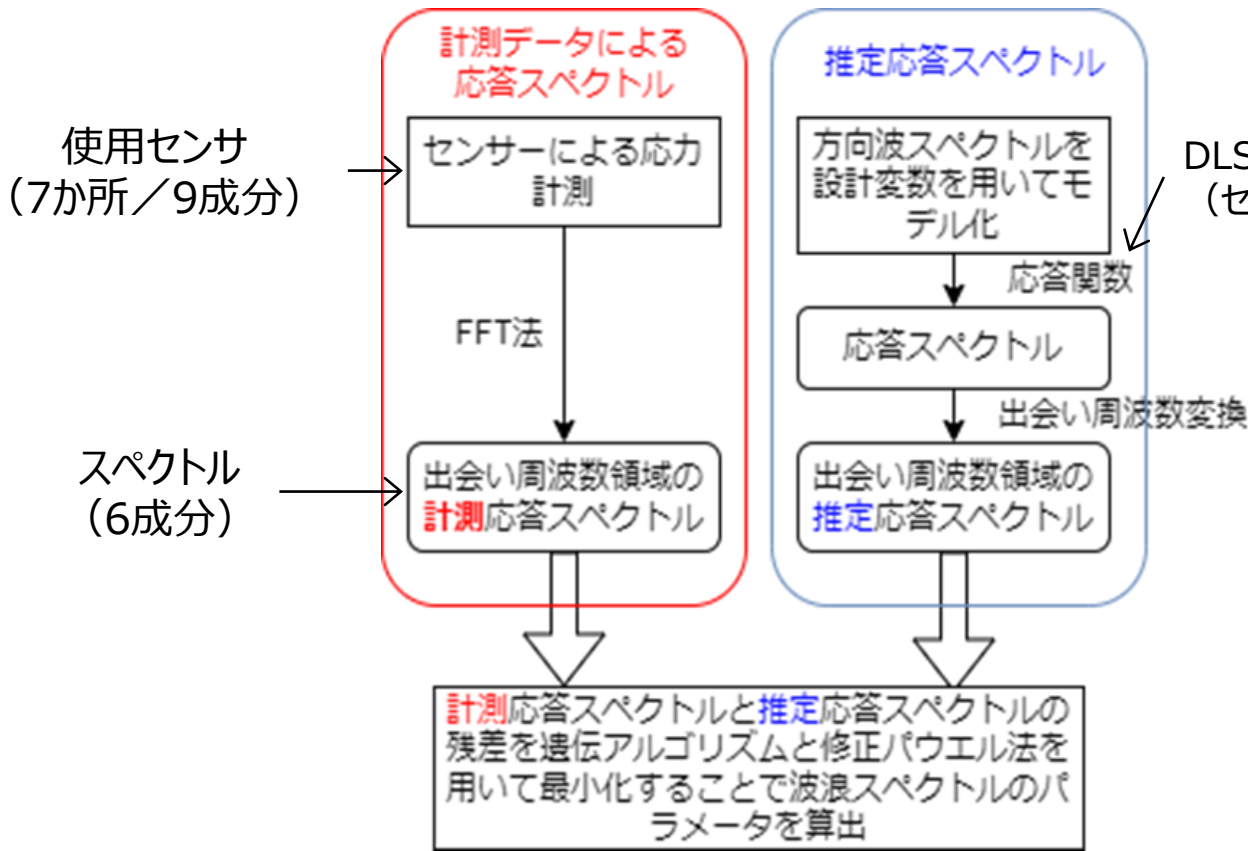
DLSA（直接荷重構造解析）の概要

RAO
(任意の位置)
×
遭遇波浪
スペクトル
||
応答スペクトル
↓
応力標準偏差

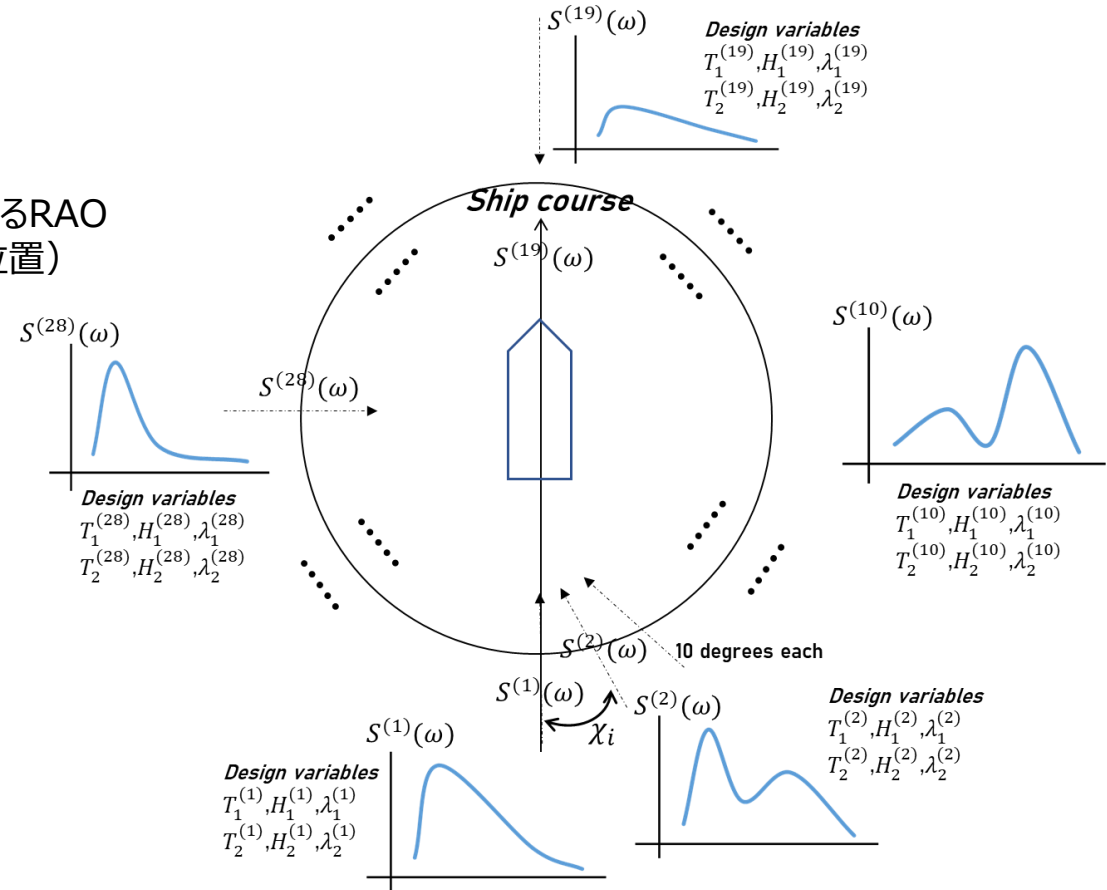


ある遭遇波浪における応力標準偏差分布

スペクトル法による波浪逆推定

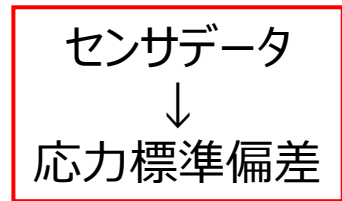


スペクトル法による波浪逆推定フロー

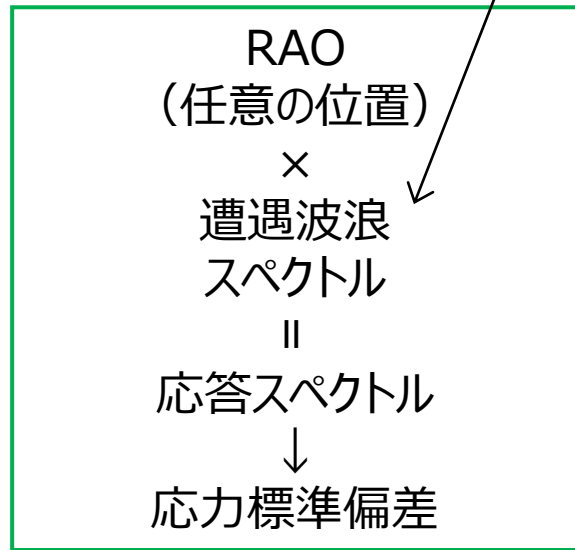


方向波スペクトルモデル

応力評価フロー



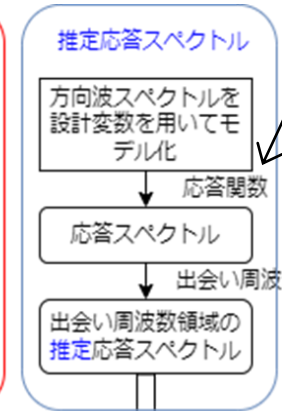
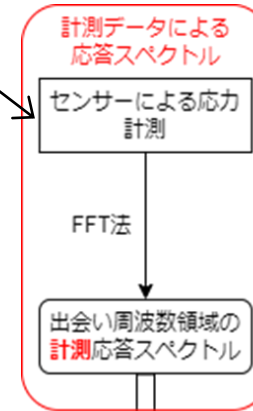
計測単体



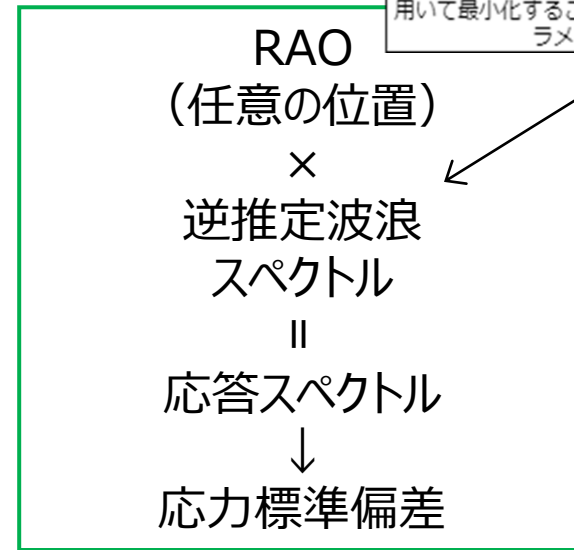
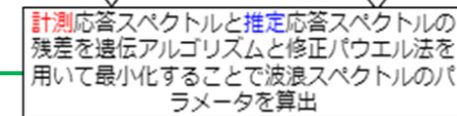
シミュレーション単体

波浪推算値など

7か所/9成分の
センサデータ

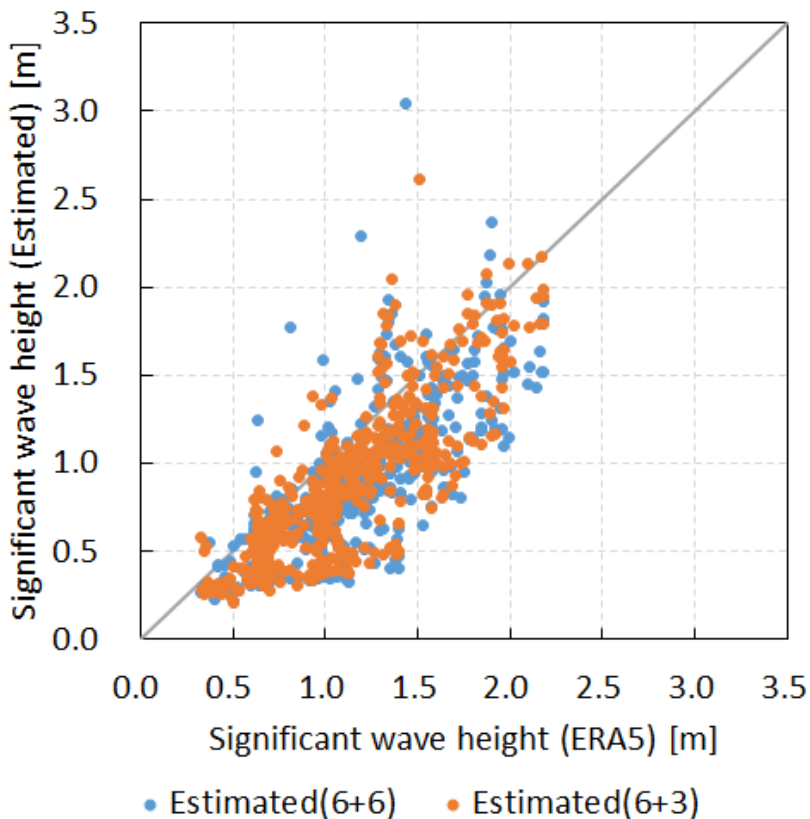


DLSAによるRAO
(センサ位置)

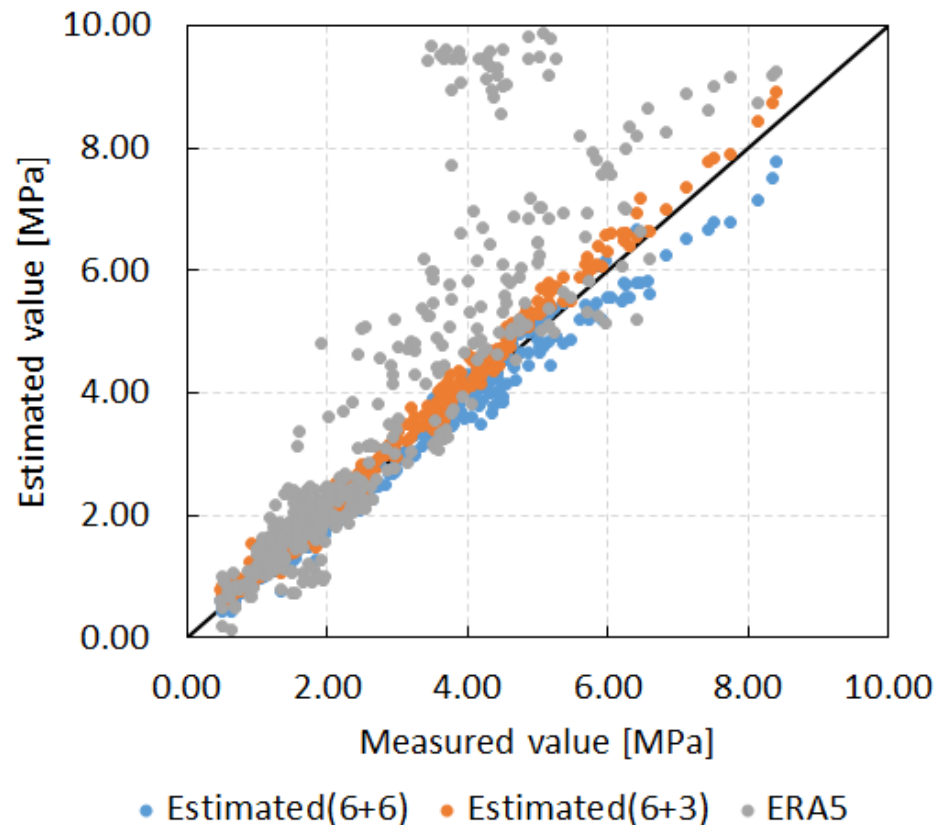


デジタルツイン

波浪逆推定の検証

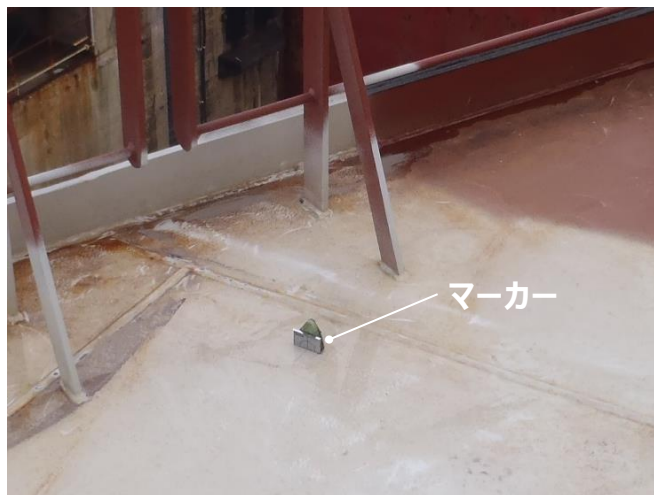


有義波高
(ERA5 vs 逆推定波浪)



応力有義値
(計測 vs RAO + 遭遇波浪 vs RAO + 逆推定波浪)

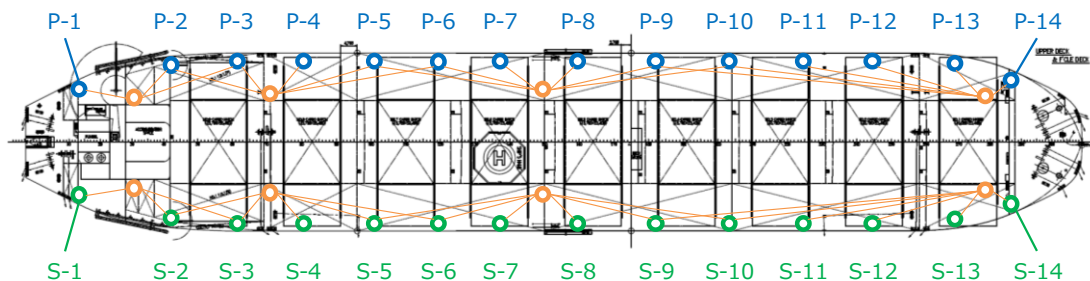
船体変形，温度計測の概要



マーカー

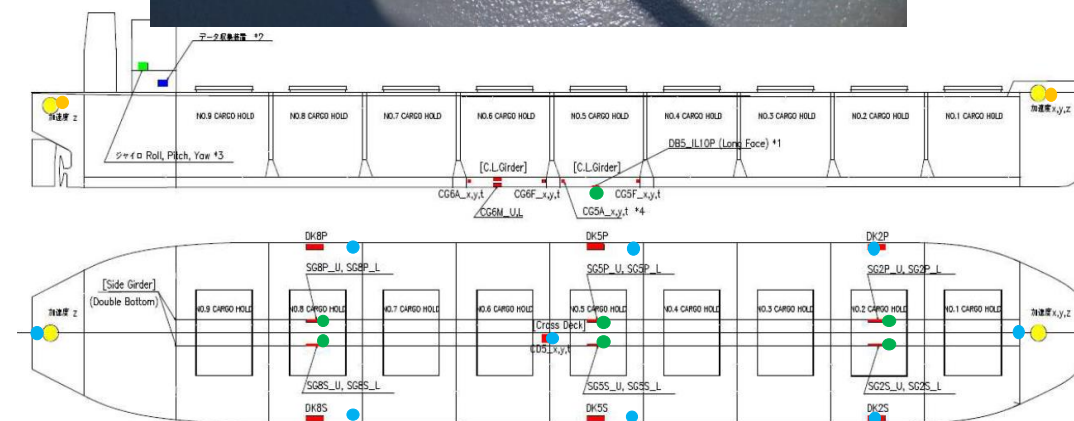


温度ロガー



● ● 計測点 ● 撮影位置

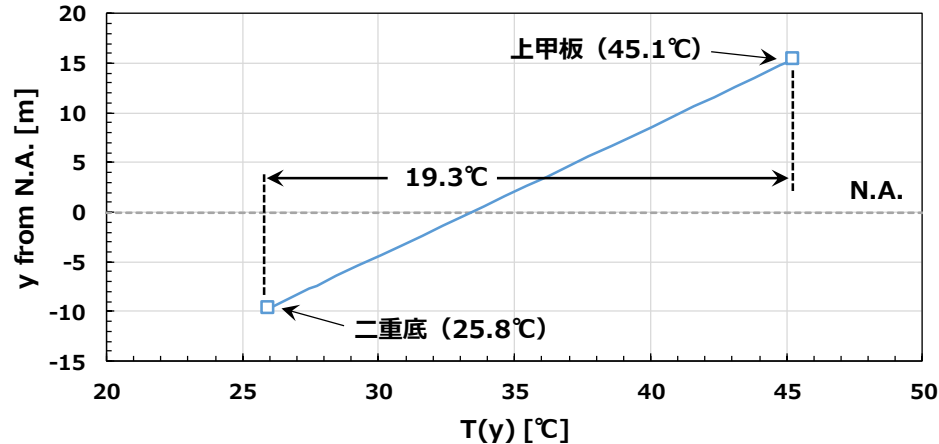
変形計測点



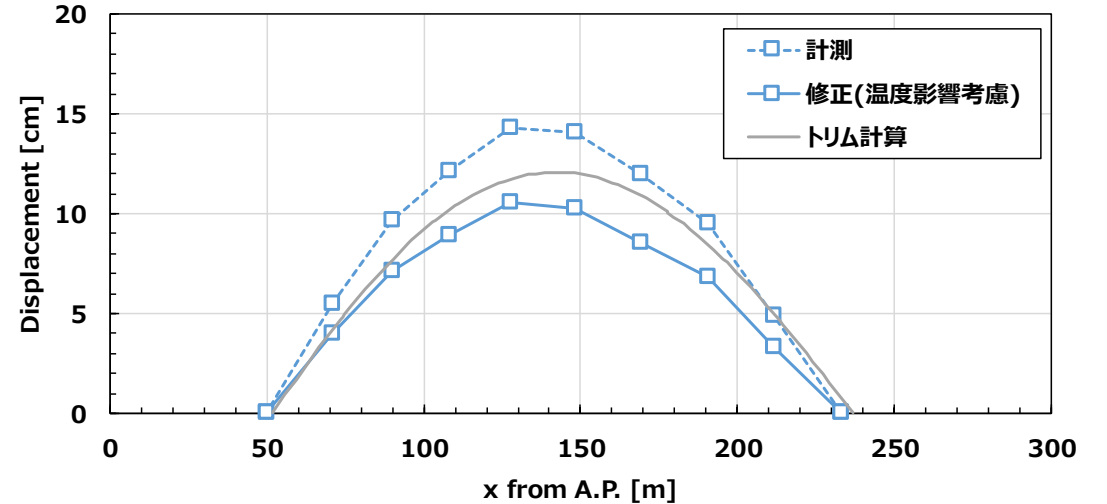
● 上甲板(計10点) ● 二重底(計7点) ● その他(計2点)

温度計測点

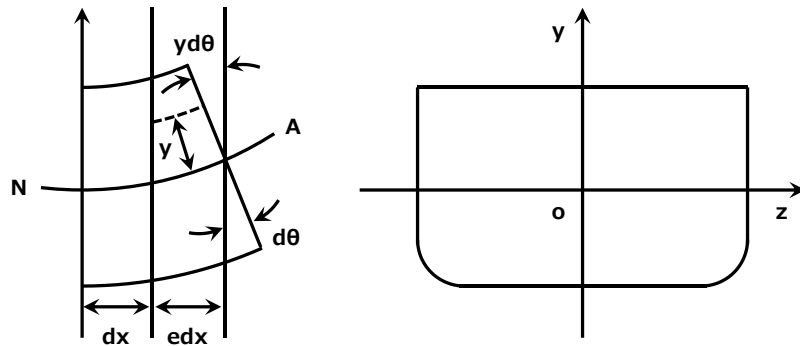
船体変形，温度計測結果の評価



上甲板と二重底の温度差



船体変形の船長方向分布

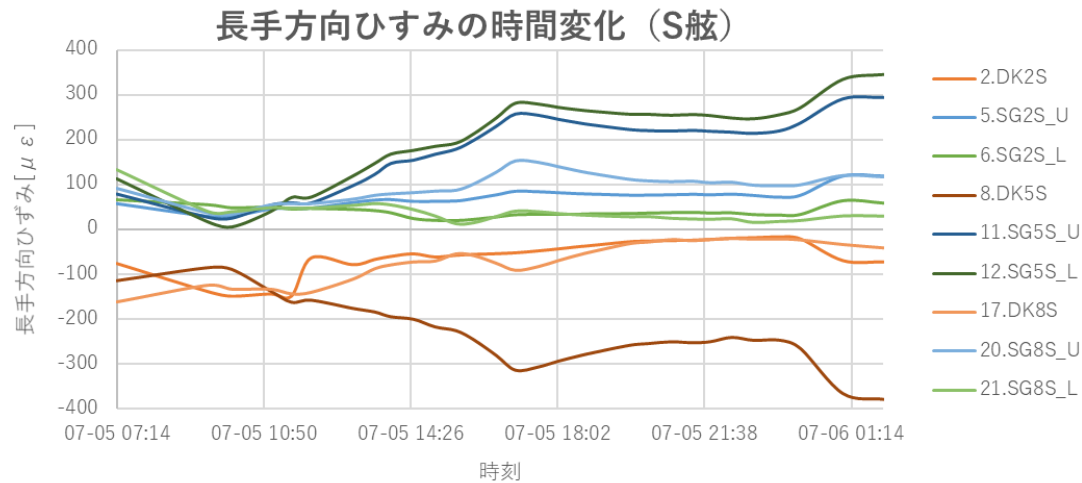
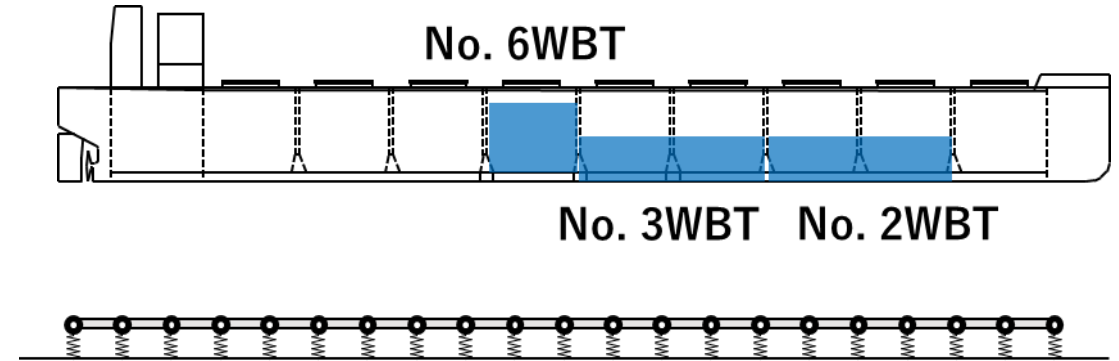
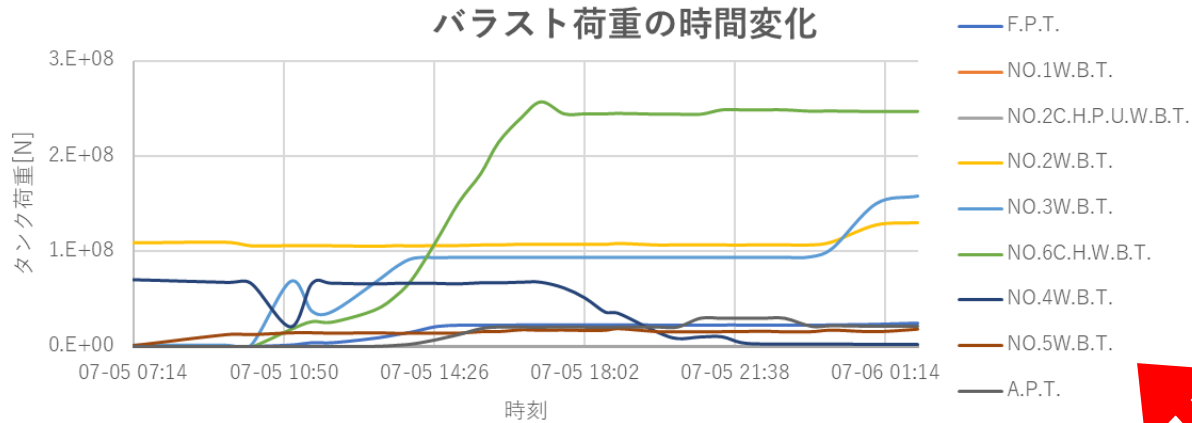


断面内の不均質な温度分布による撓みを理論的に算出

- ・上甲板と二重底温度差は約20度
- ・上記の熱影響の船体変形への影響は理論式ベースで約25%

→通常，FEM解析などでは日照による温度影響は未考慮だが，Total Capacityを評価する場合には無視できない可能性

アンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)による積付荷重逆推定

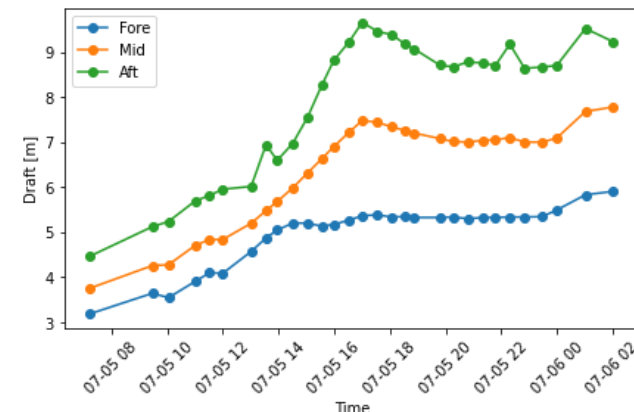


梁FEM + EnKFで 逆推定

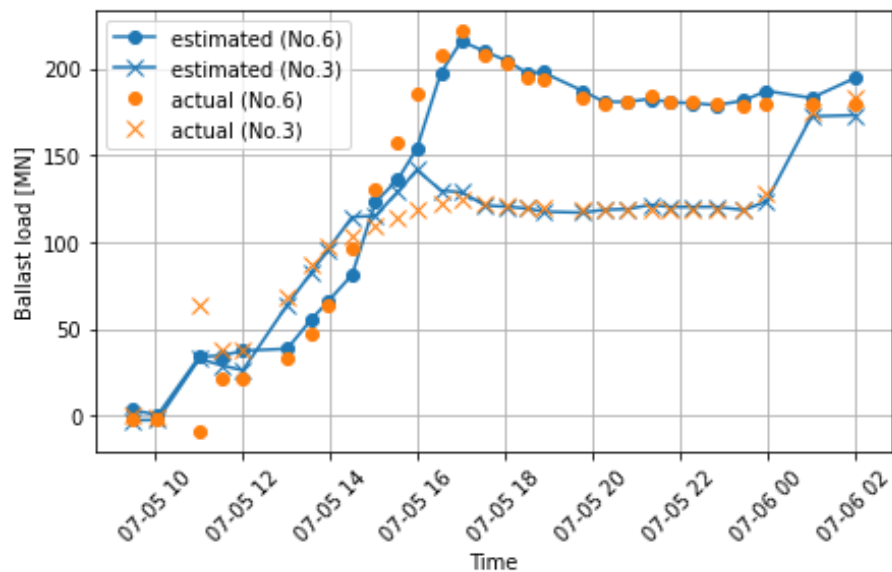
- 梁FEMとアンサンブルカルマンフィルタを組み合わせたデータ同化手法
- ひずみからバラスト荷重を逆推定
- **水槽模型で妥当性を検証済み**
- **実船での適用可能性を検証**

積付荷重逆推定の検証

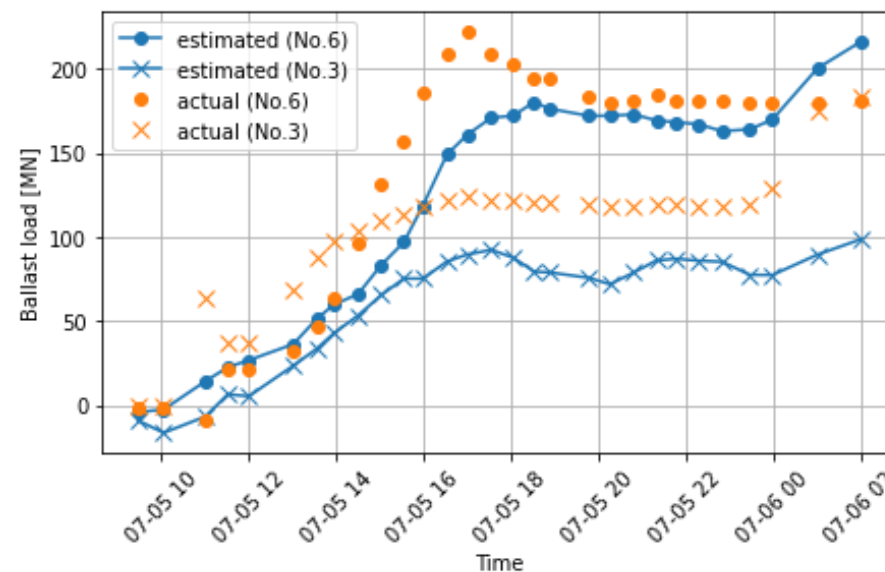
- 船尾, 中央, 船首の喫水を観測データに追加
- 喫水とひずみからバラスト荷重を逆推定
- 推定精度が大きく改善



喫水変化



喫水と梁FEMから得たひずみを使用 (双子実験)



喫水と計測されたひずみを使用

- **実船における基本的な適用可能性を確認**
- さらなる改善には, シミュレーションモデルの改良が必要 (二重底変形, 熱変形, etc.)

まとめ

1. スペクトル法による波浪逆推定機能をモニタリングシステム（Sea-Navi[®]2.0）に実装。
2. 岸壁係留～試運転～実運航時の供試船の各種データ（運航データ，船体運動データ，応力・加速度など40chのセンサデータ）を船陸間通信でリアルタイムに取得できることを確認。
3. 岸壁係留時の船体変形および温度計測を実施し，荷重と船体変形の関係・温度影響を評価．温度影響が大きい上甲板と影響が小さい二重底の温度差は約20度で，約25%の船体変形影響があることを確認。
4. デジタルツインの一構成要素であるDLISAを実施し，各種条件下のRAOを算出。
5. スペクトル法による波浪逆推定結果を用いたデジタルツインシステムは，シミュレーション単体よりも高精度な応力推定が可能であることを確認．本手法に用いた計測データは7か所（9成分）の応力であり，最小計測データ数は今後も検討継続。
6. EnKF法による積付荷重逆推定の検証結果から，計測ひずみ・喫水を用いて積付荷重を逆推定できる可能性を示した．計測点の船長方向の点数増加や二重底変形の影響考慮などのモデル改良が必要。
7. 最新のモニタリングシステムを搭載した供試船は，日本海事協会より“DSS（HM（F+LS,O））”及び、“DSS（EE）”を付与された。