

船体構造モニタリング技術と 1/10模型船による実海域試験

超高精度船体構造デジタルツインの研究開発委員会 WG-A主査
東京大学大学院新領域創成科学研究科 海洋技術環境学専攻
村山 英晶



WG-Aの活動

背景

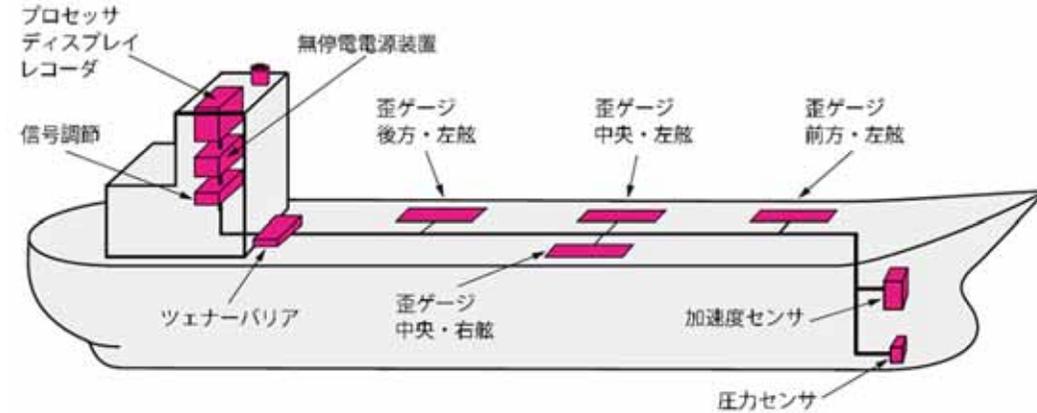
- デジタルツインの基盤技術としての船体構造モニタリング/ハルモニタリングシステム（HMS）
- 光ファイバセンサ、画像処理、RTK-GNSS、5G/6Gなどの新技術

目的

- 国産HMSの構築
- 新技術の実装・検証

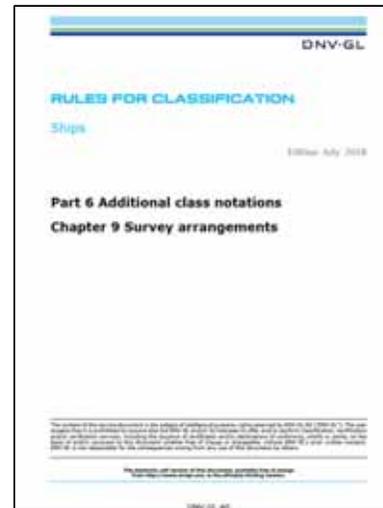
体制

- 東大/九大/海技研
- シミウス/長野計器/OKI/古野電気/本郷開発局
- 常石造船/日本シップヤード
- NK



典型的なHMSのシステム構成

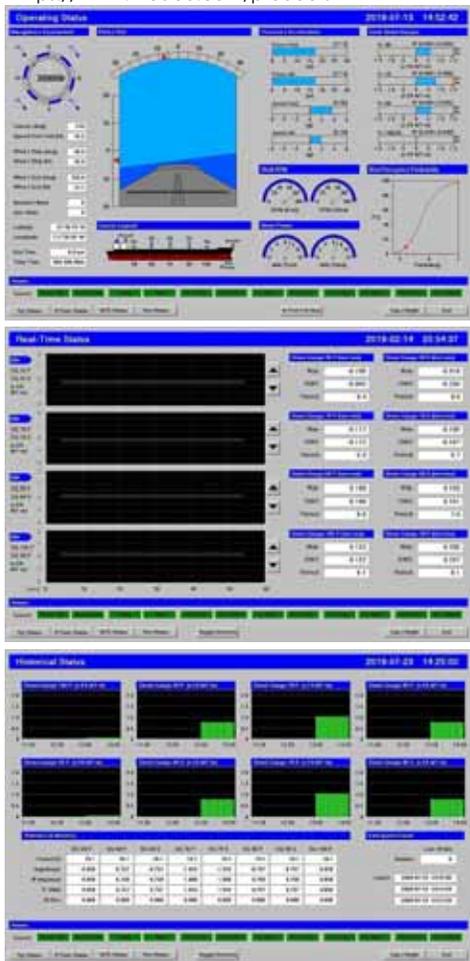
Lloyd's Register, Ship Right Ship Event Analysis (2012)を参考に村山が作成



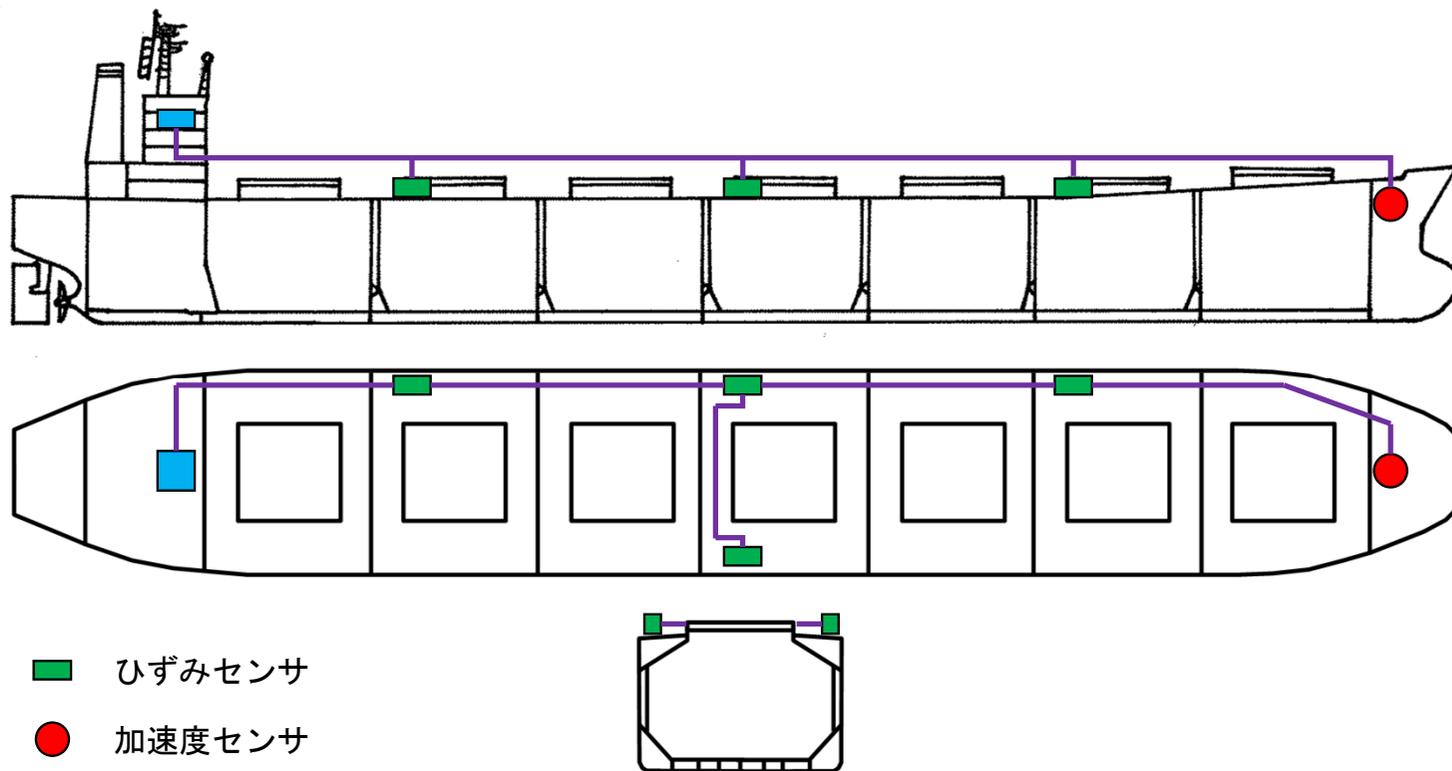
船級	DNV	ABS	NK
付記	HMON	HM2	DSS(HM(**))
年度	2018	2020	2021

ハルモニタリングシステム HMS

<https://www.mcaco.com/products>



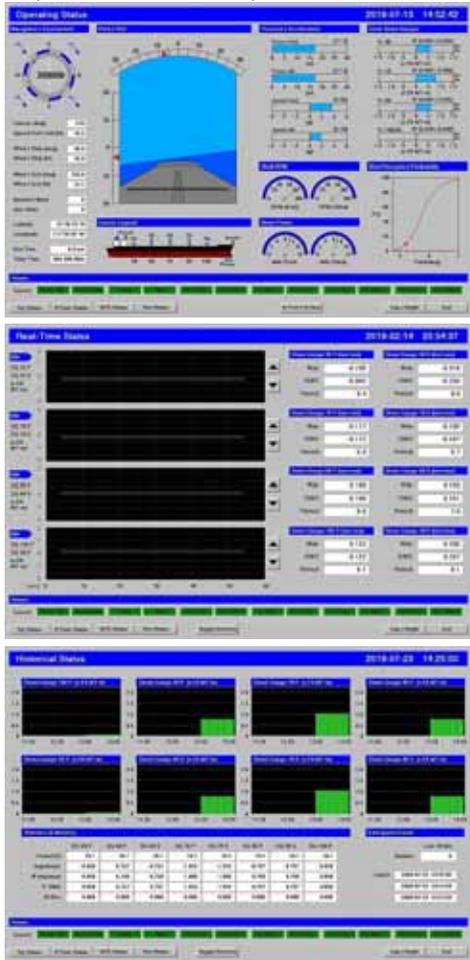
リアルタイム・オンボード表示器



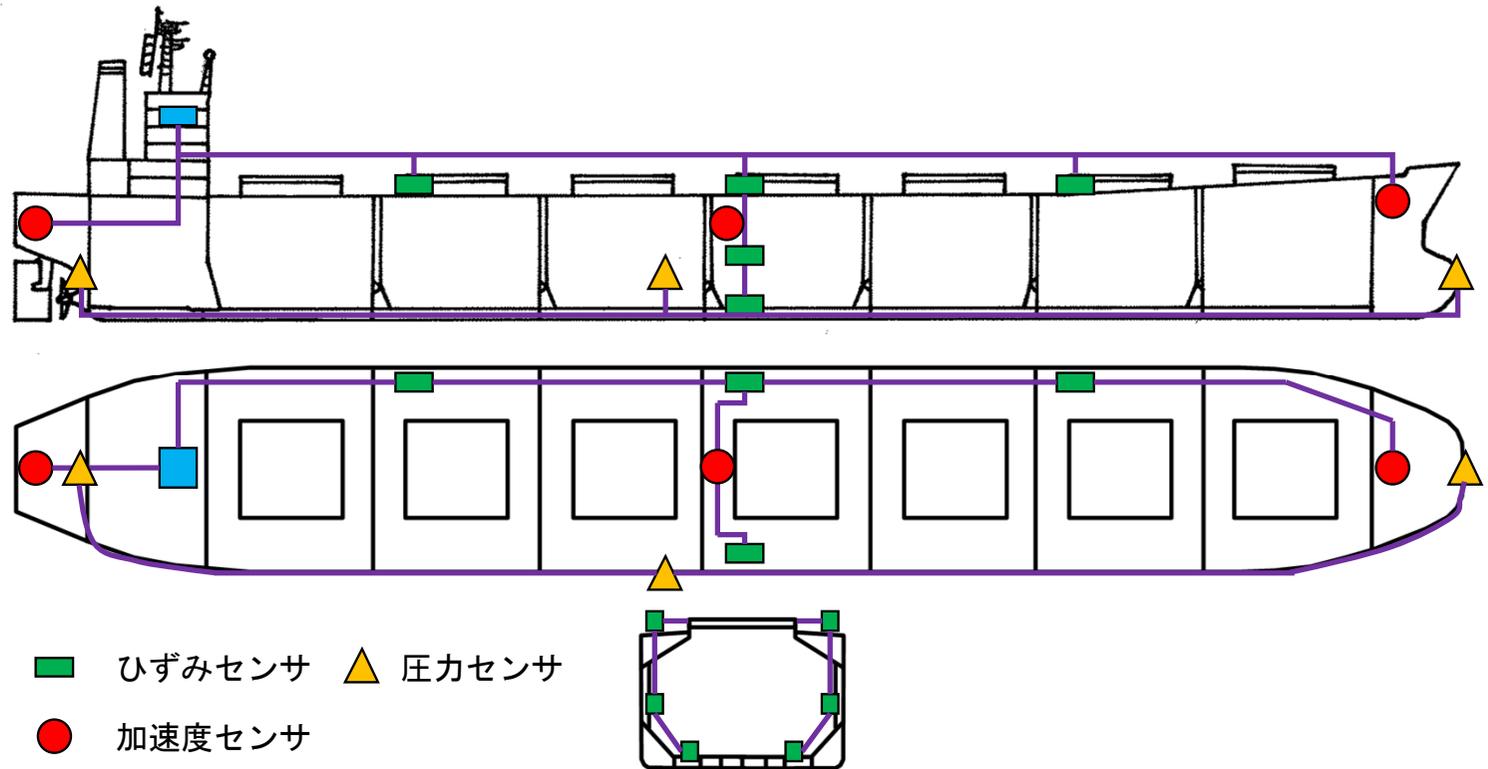
- ひずみセンサ
- 加速度センサ
- 表示・記憶装置

ハルモニタリングシステム HMS made in Japan

<https://www.mcaco.com/products>



リアルタイム・オンボード表示器



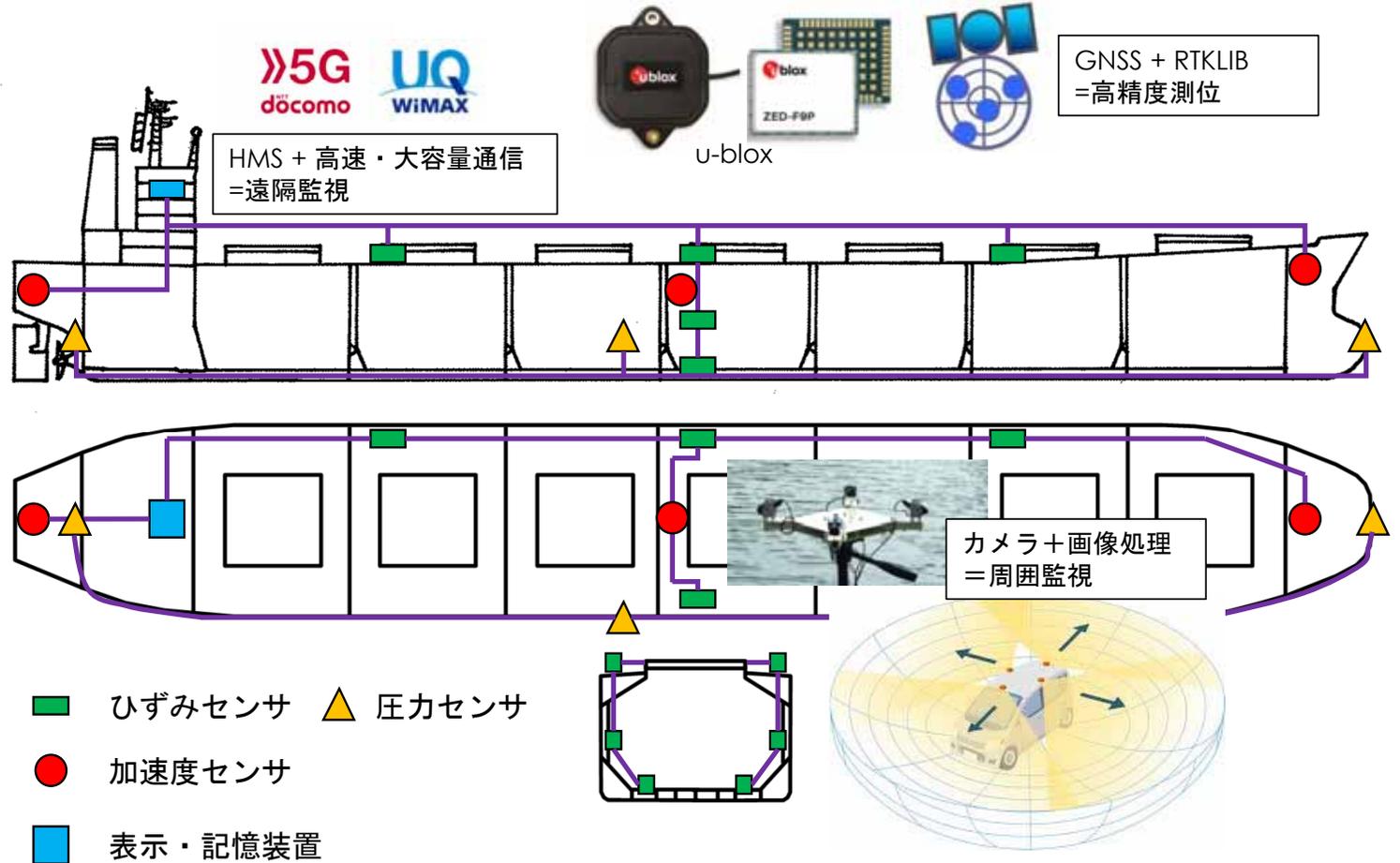
- ひずみセンサ ▲ 圧力センサ
- 加速度センサ
- 表示・記憶装置

ハルモニタリングシステム HMS made in Japan + 新技術

<https://www.mcaco.com/products>



リアルタイム・オンボード表示器



開発内容

- 1/10自航模型船 常翔丸を用いた実海域実験（@常石造船）
- 高精度測位による実船の姿勢・変形計測（@ジャパンマリンユナイテッド）

1 / 10 自航模型船 常翔丸 を用いた実海域試験

実海域試験

日時 2021.10.14-15

場所 広島県福山市

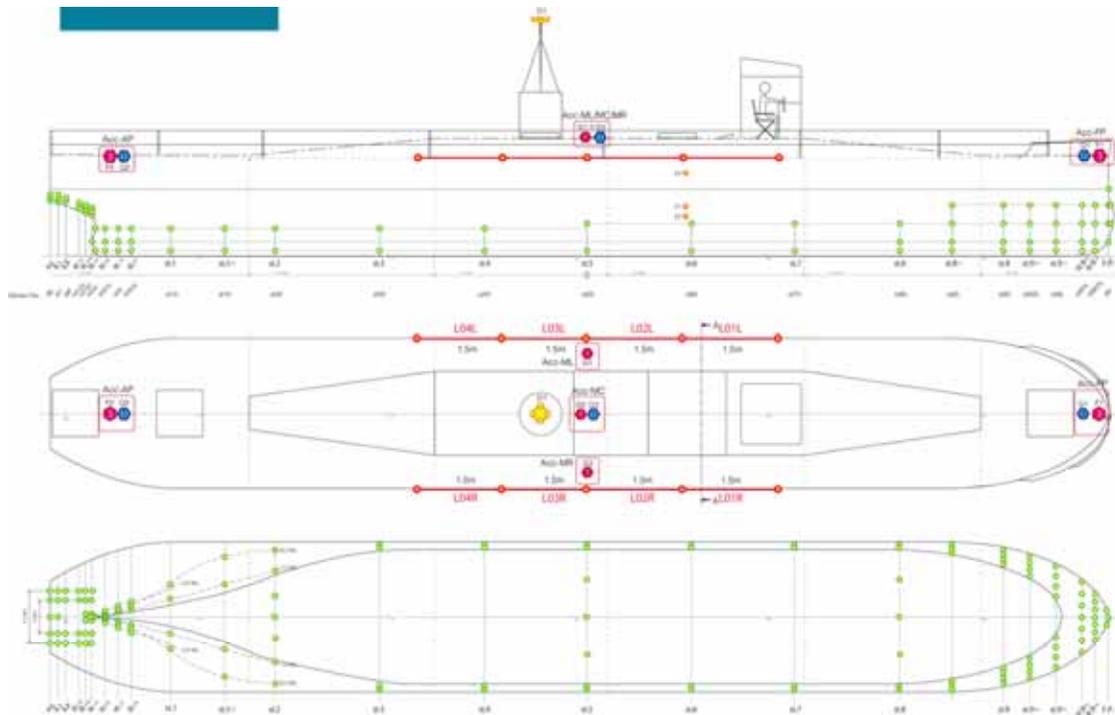
常翔丸

常石造船株式会社

KAMSARMAX 82,000 DWT

1/10サイズの自航模型船

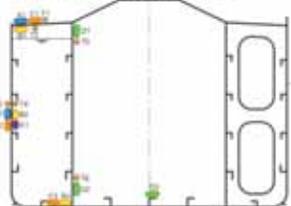
長×幅×深	22.9×3.23×2.1 m
総トン	18トン
満載喫水	1.44 m
主機	電動モーター
定員	8人



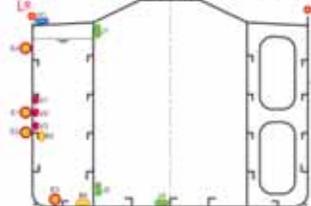
センサの種類・方式と設置数

ひずみ	光ファイバ (FBG) Luna/シミウス/長野計器	53
加速度	光ファイバ (FBG/FP) Luna/長野計器	12
温度	光ファイバ (FBG) Luna	6
圧力	光ファイバ (FBG) シミウス	166
周囲監視	4カメラ・フライングビュー OKI	1

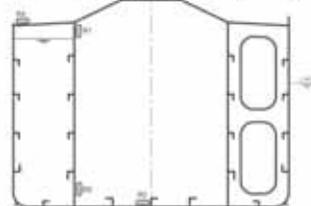
● 計測器 A (FBG ひずみ計測: シミウス)



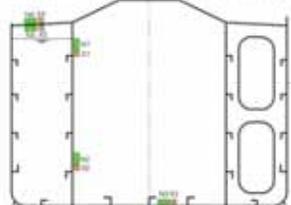
● 計測器 A (FBG ひずみ計測: シミウス)



● 計測器 D (箔ひずみゲージ計測: シミウス)



■ 計測器 E (FBG ひずみ計測: 長野計器)



■ 計測器 G (箔ひずみゲージ・熱電対計測: 長野計器)



◆ 計測器 H (フライングビュー: 沖電気工業)
● 周囲モニタリング

■ 計測器 F (FBG 加速度計測: 長野計器)

● FBG 加速度計測

● 計測器 B・C (圧力計測: シミウス)

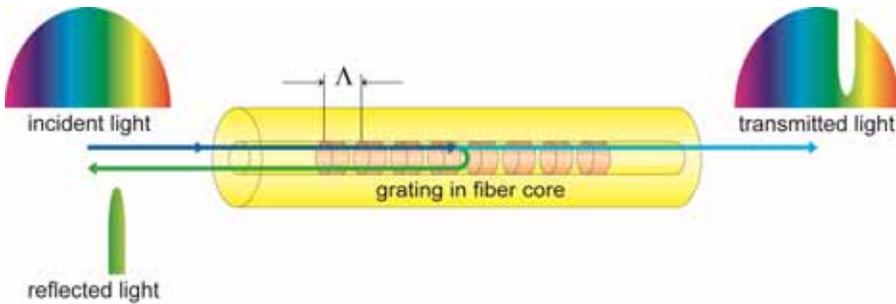
● 船体表面圧力分布計測

HMS
海技研 (NMRI) のNMRI-HMSに周囲監視、遠隔監視機能を追加して実装

光ファイバセンサ

特長

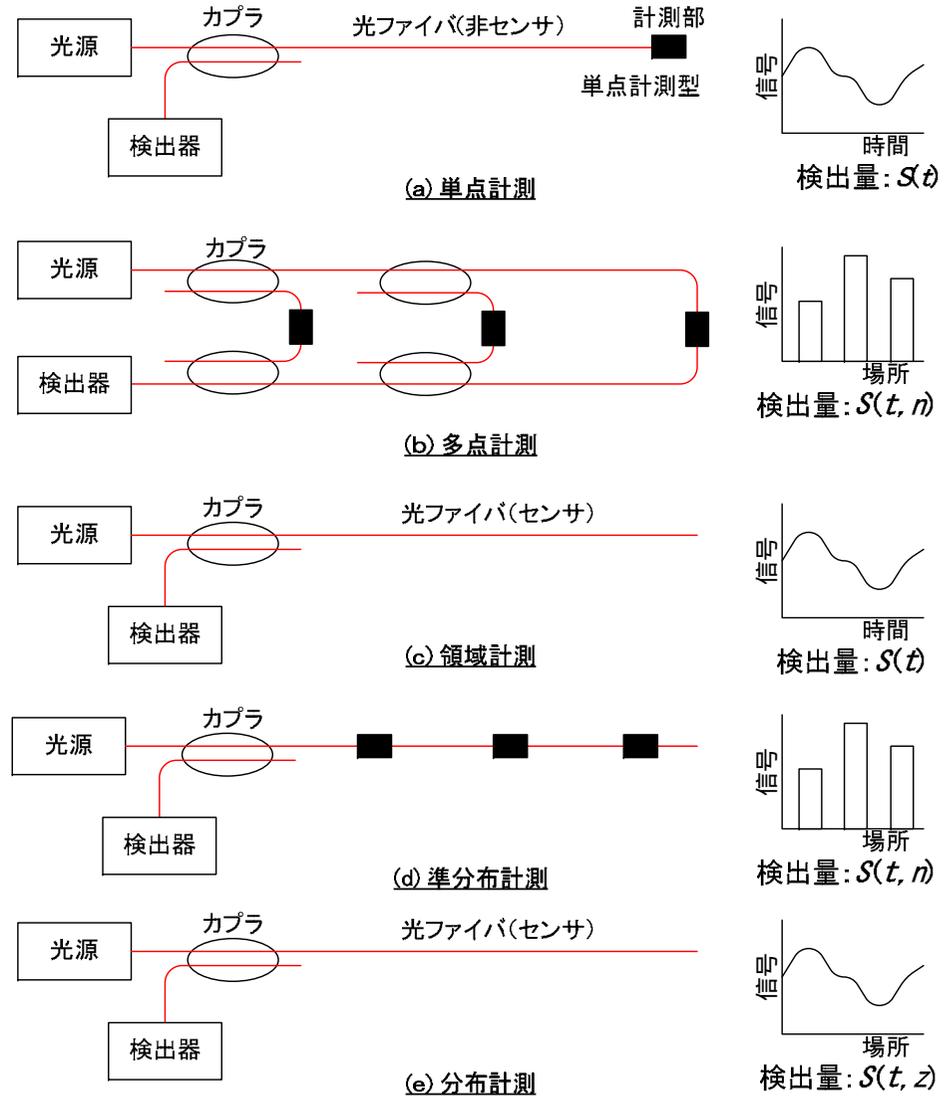
- 細径・軽量
- 可とう性
- 耐電磁ノイズ
- 耐電圧性
- 遠隔計測 (~100 km)
- 分布計測



$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda$$

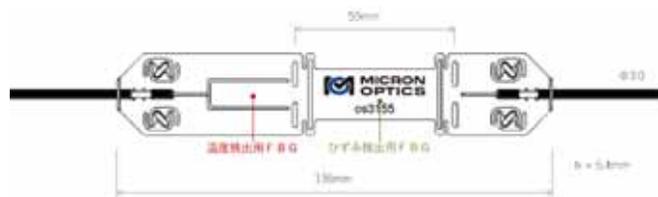
$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = \left(1 - \frac{n_{eff}^2}{2} (P_{12} - \nu(P_{11} + P_{12})) \right) \Delta\varepsilon + \left(\alpha + \frac{dn/dT}{n_{eff}} \right) \Delta T$$

Fiber Bragg Grating (FBG)

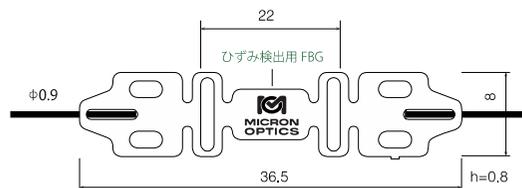


光ファイバセンサの各種計測形態

センサと計測器 (Luna) <https://lunainc.com/>



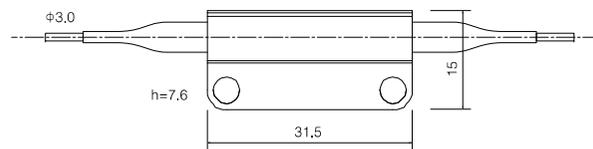
実船対応型ひずみゲージ os3155



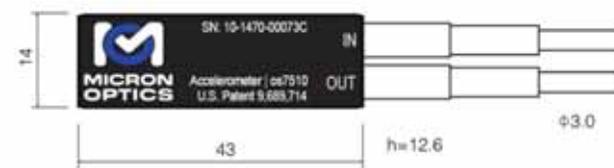
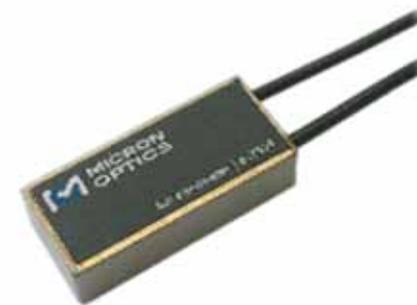
局所ひずみゲージ os3110



Hyperion si255



実船対応型温度センサ os4350

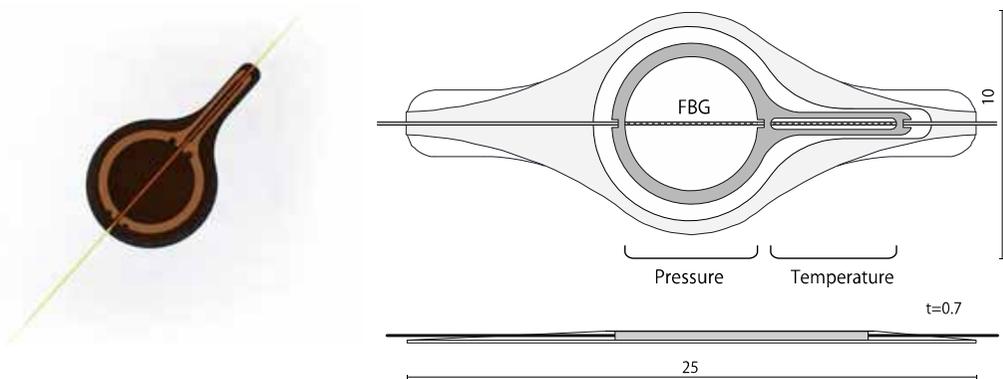


FP加速度センサ os7510 (1軸)

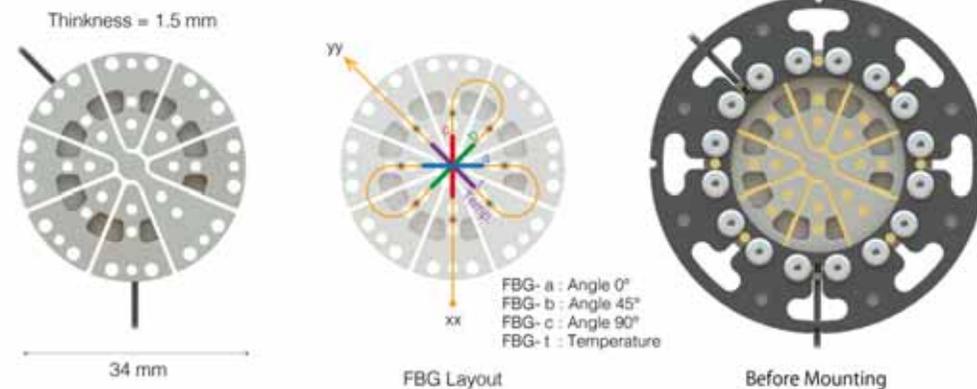


FP加速度センサ os7510 (3軸)

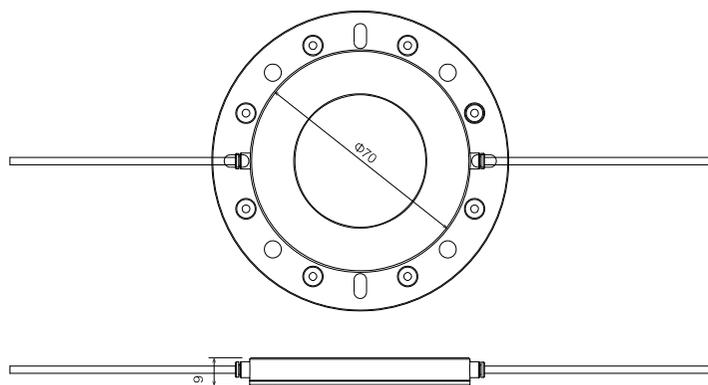
センサ（シミウス）



表面貼付型多点圧力センサ (ps1000v6-DT)

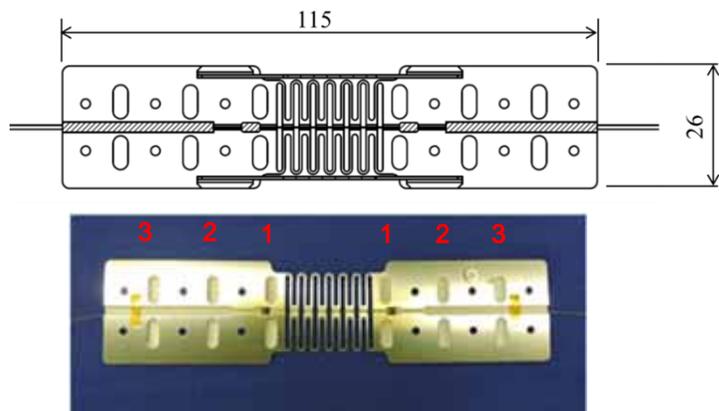


実船対応型ロゼットゲージ (ps1000v6-DT)

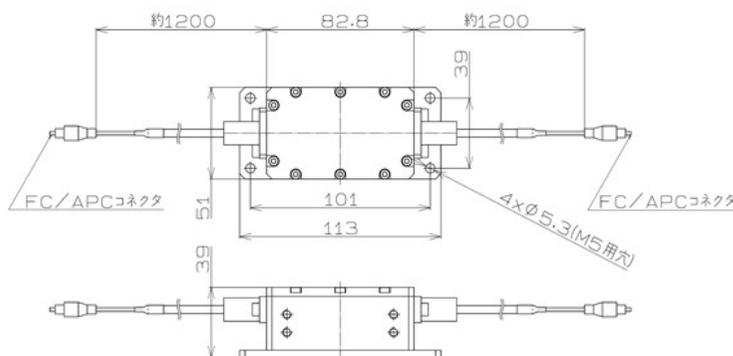


実船対応型圧力センサ (rp1000)

センサと計測器（長野計器）



FBGひずみセンサ（溶接取り付け型）



FBG加速度センサ

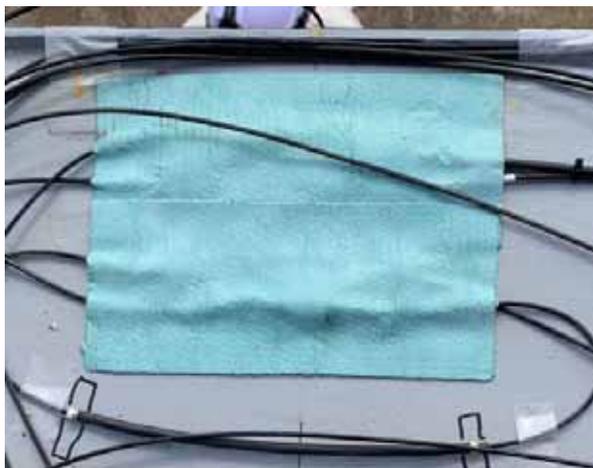


FBGひずみセンサ（ボルト固定型）



FBG読み取り装置

センサの施工（ひずみゲージ，加速度センサ）



ひずみゲージ設置後（上）
防錆処理後（下）
シミウス

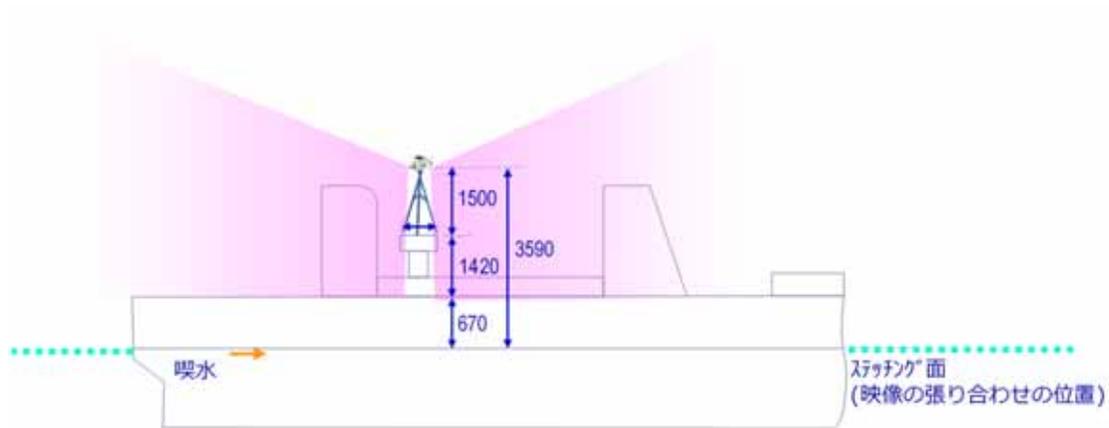
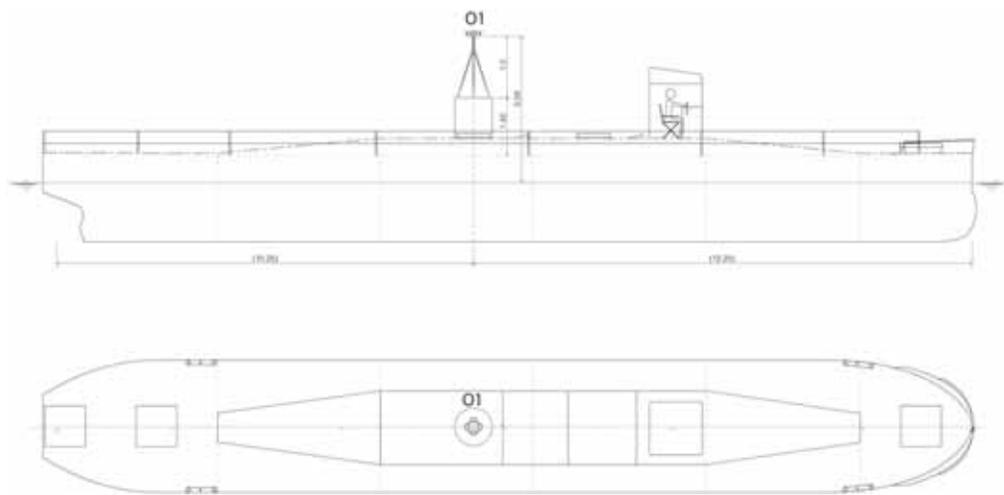
ひずみゲージ設置後（上）
防錆処理後（下）
長野計器

加速度センサ設置後（左上：船尾，右上：船首）
ボックスの中の様子
シミウス/長野計器

センサの施工（圧力センサ）



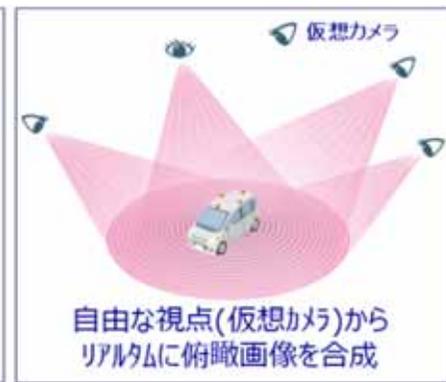
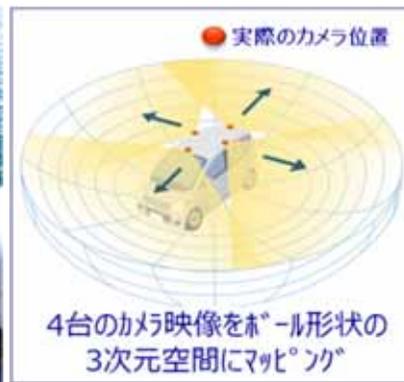
周囲監視 (OKI)



フライングビューの設置位置

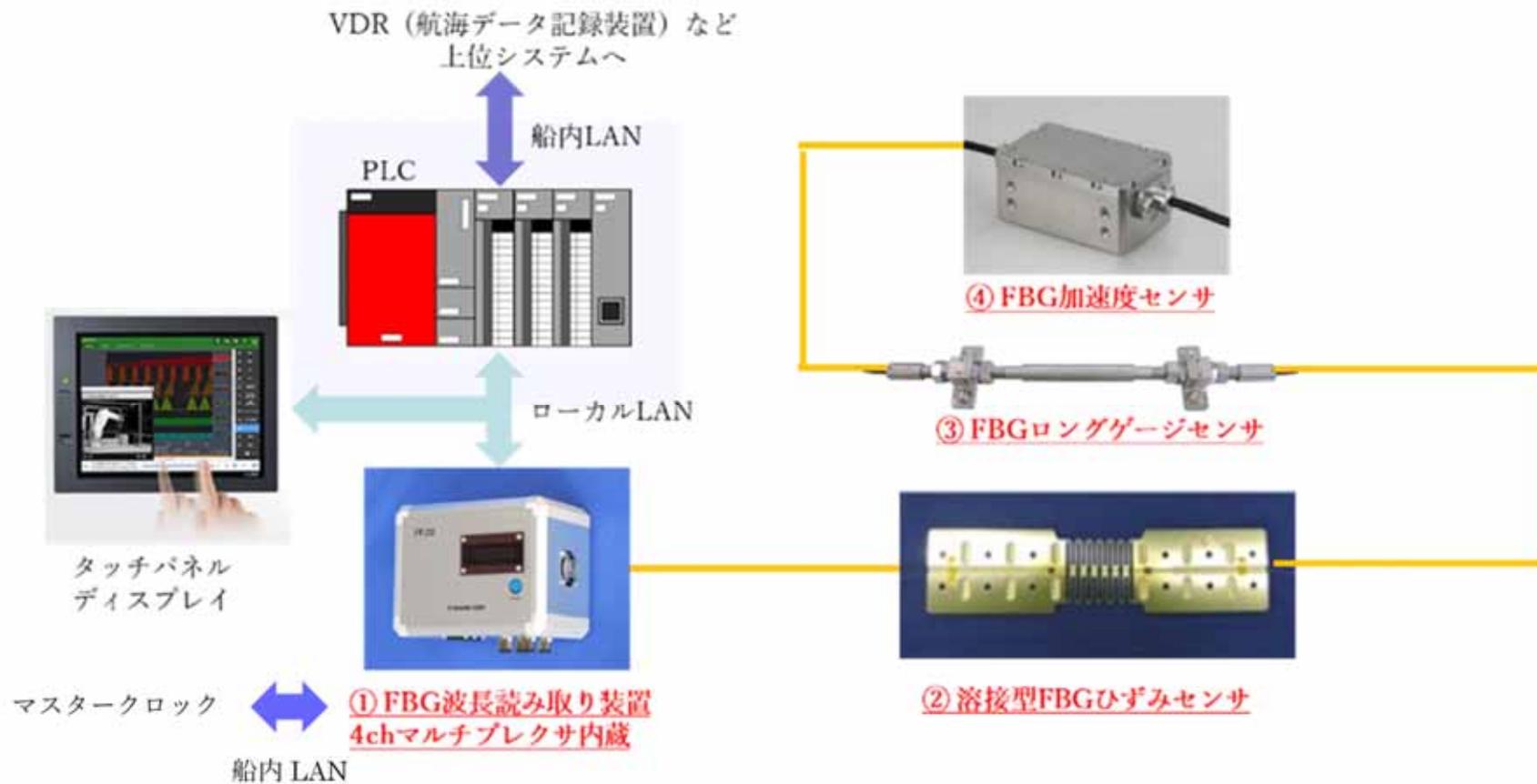


設置状況



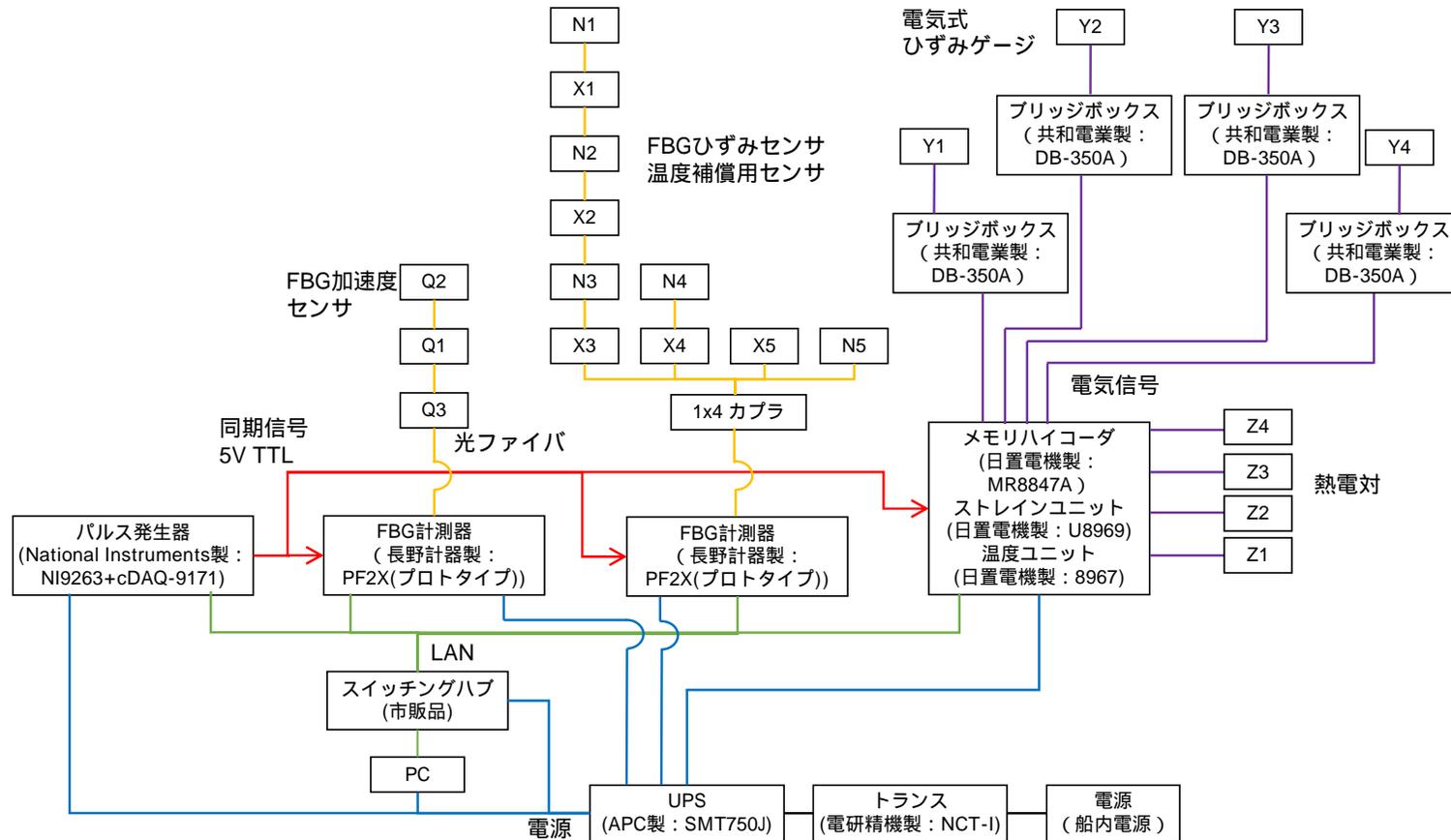
フライングビューの俯瞰映像合成

HMS (長野計器)



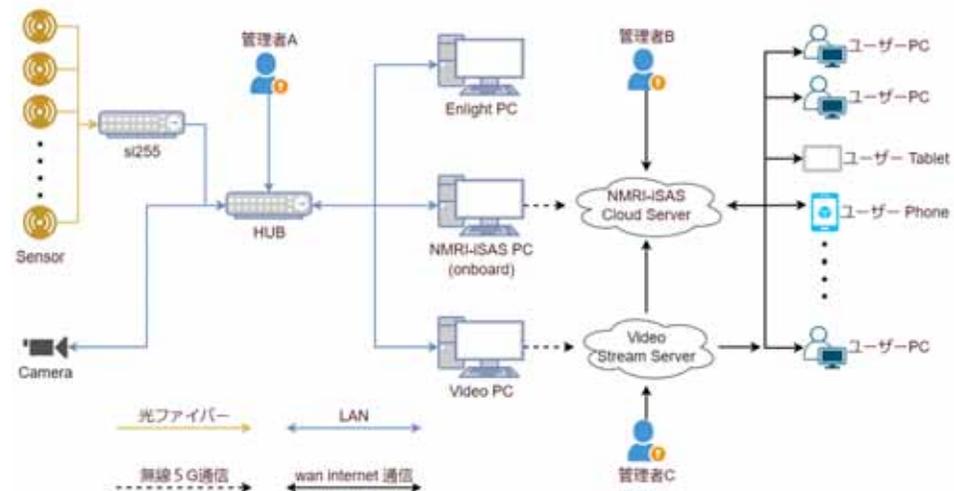
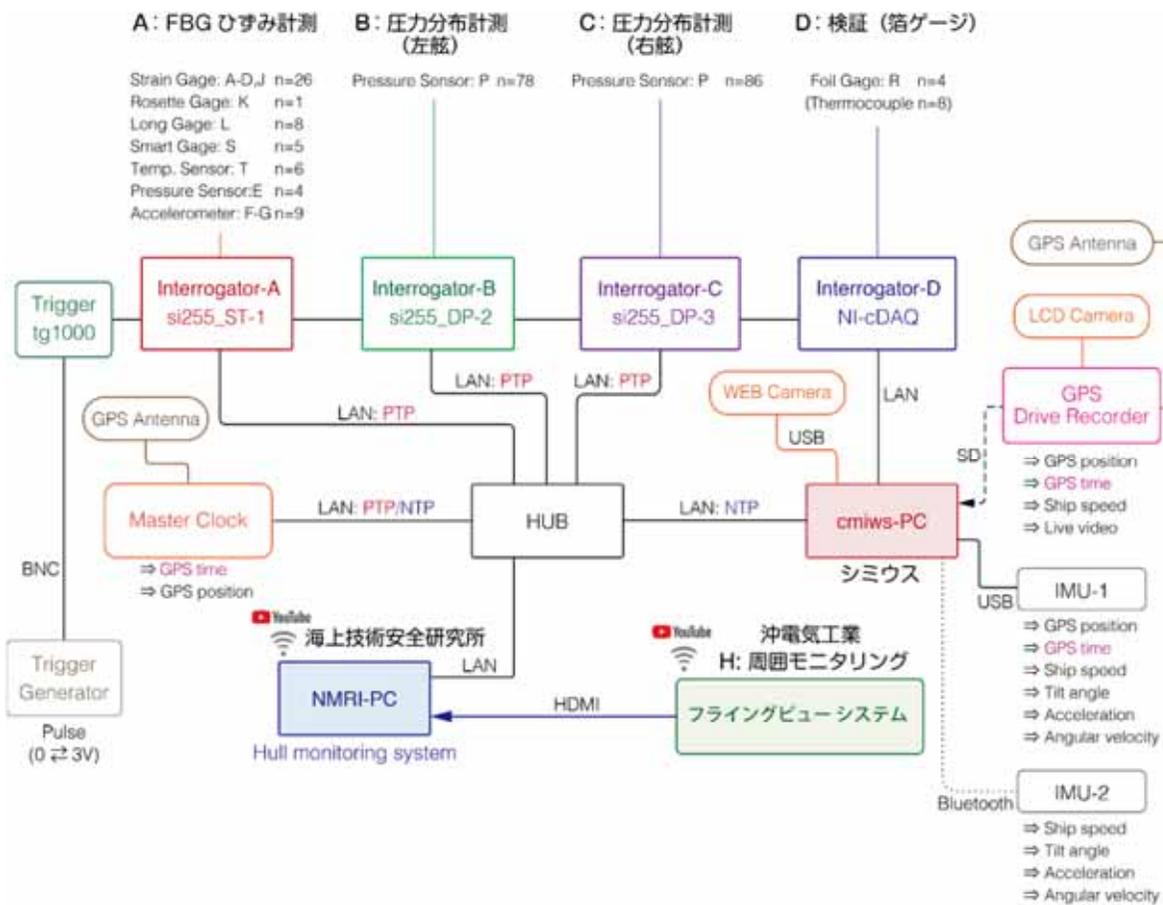
従来型のハルモニタリングシステムの構築が可能

HMS (長野計器)

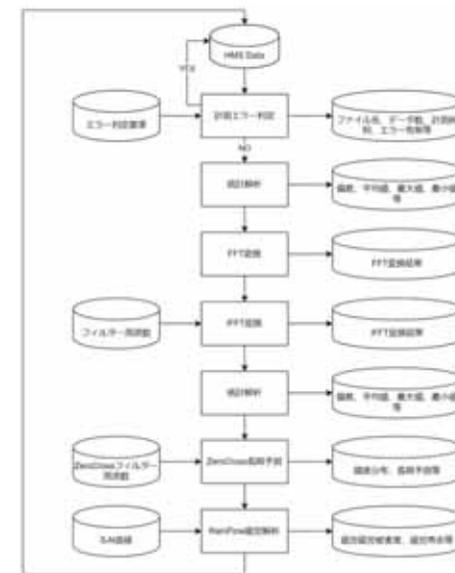


従来型のハルモニタリングシステムの構築が可能

HMS (シミウス+OKI+海技研)



i-SASに基づくNMRI/HMSの拡張



NMRI/HMSの評価フロー

HMSの拡張：オープンプラットフォームでのソフトウェア開発・標準化がカギ
 → TG (i-SAS), STD-WG

バラストの注排水によるひずみと圧力



P1
S1



P1/5
S1/5



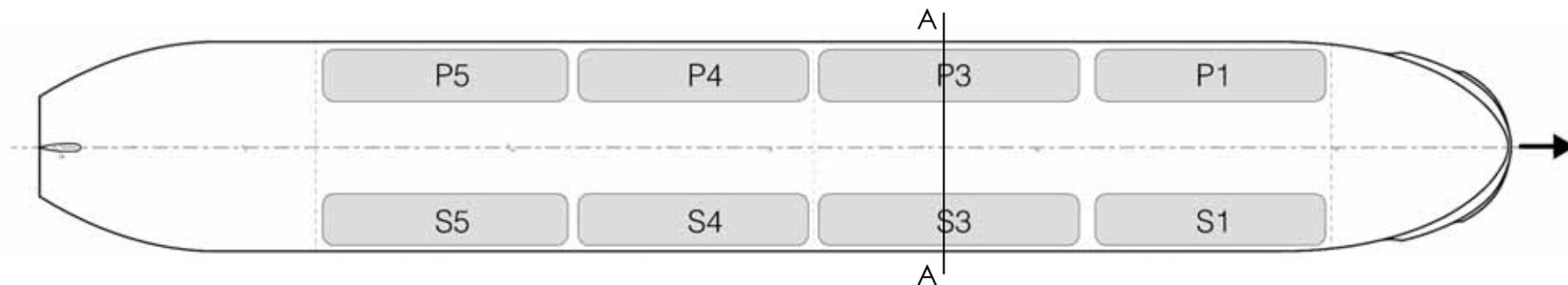
P5
S5

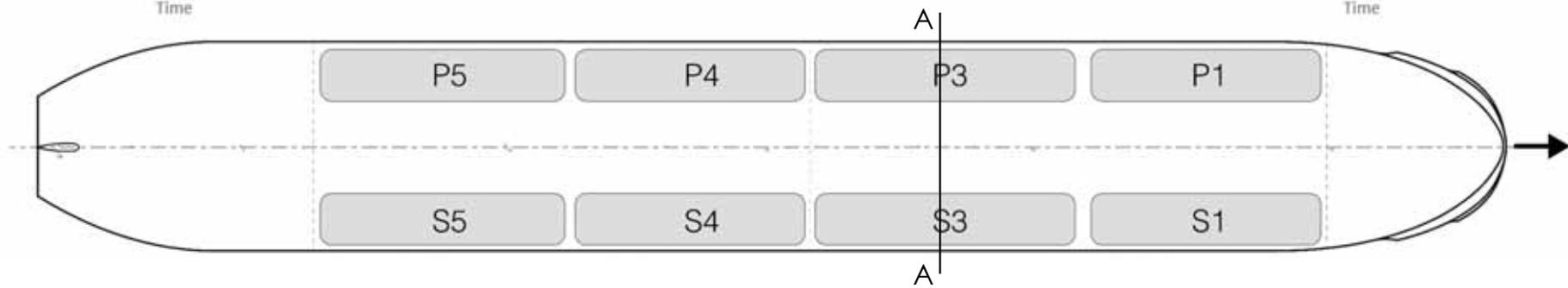
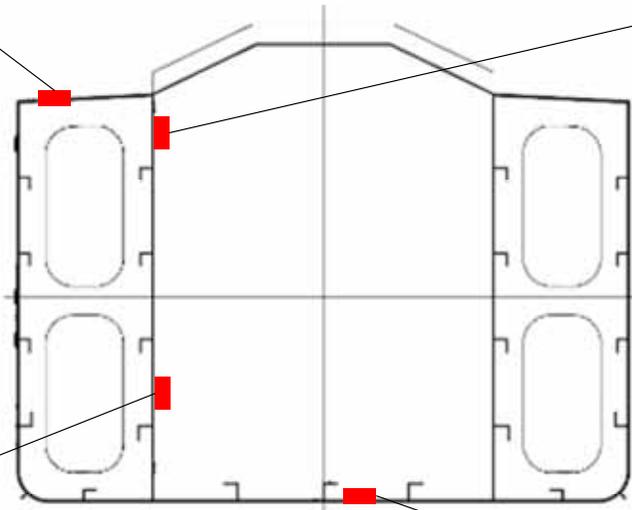
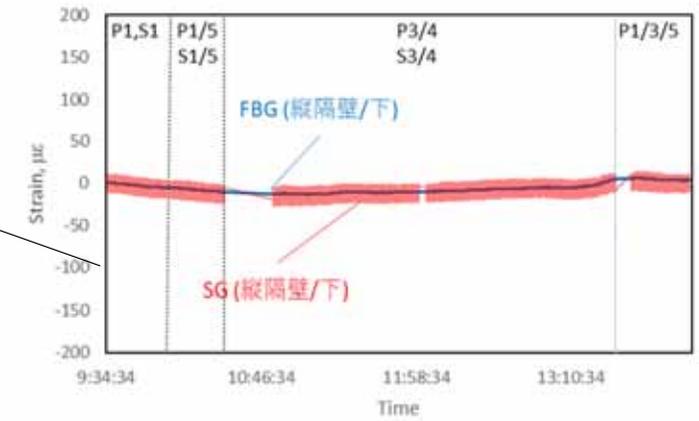
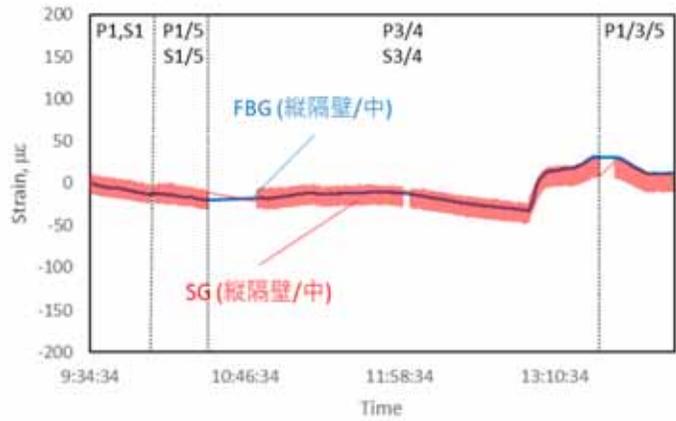
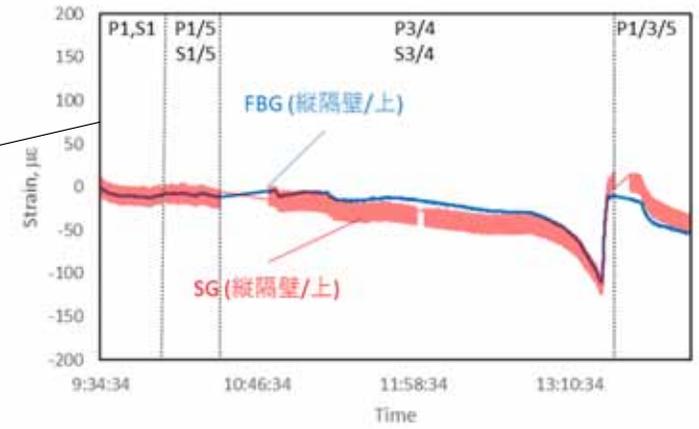
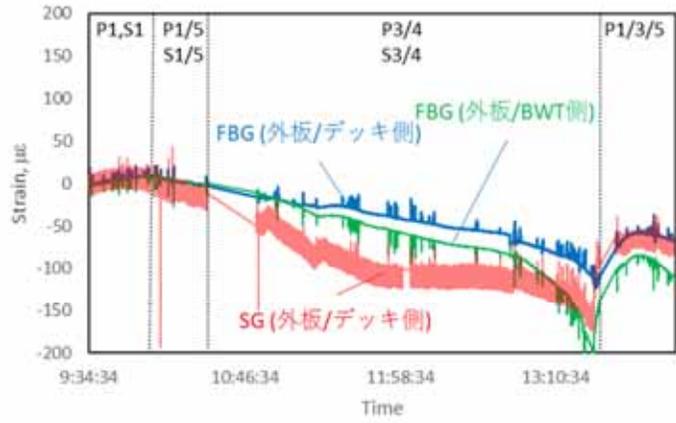


P3/4
S3/4

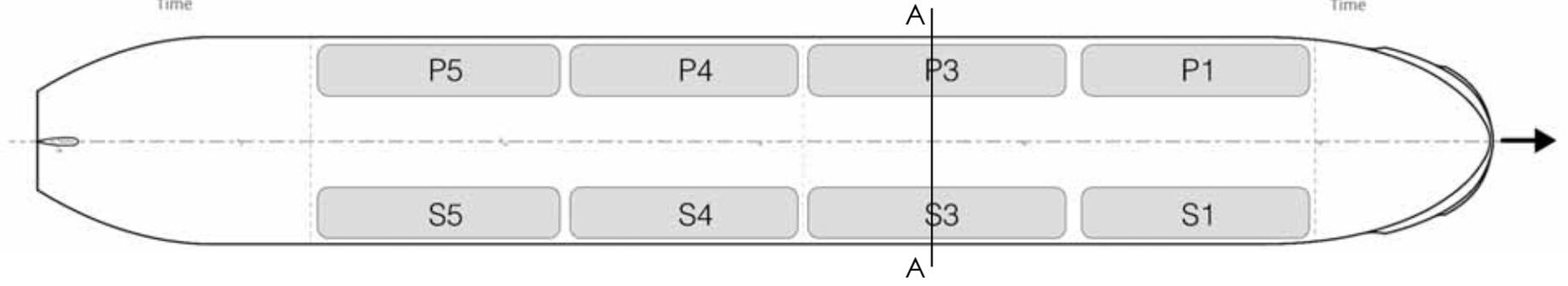
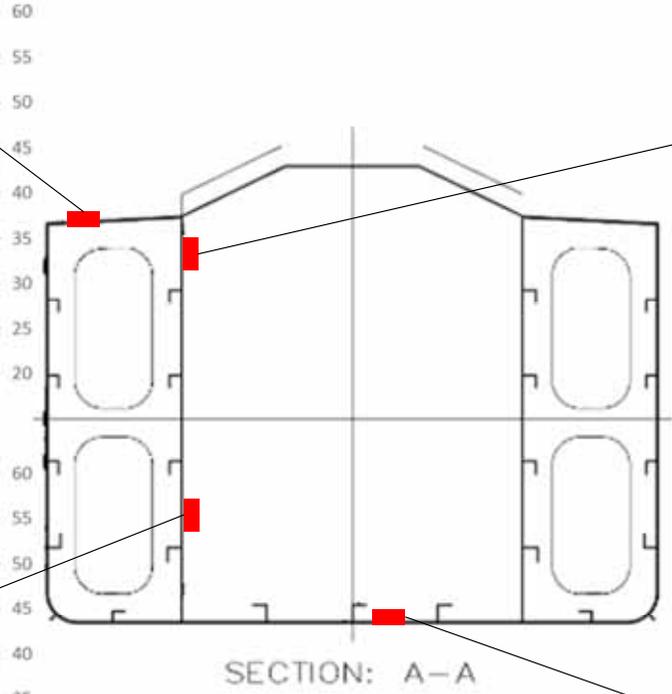
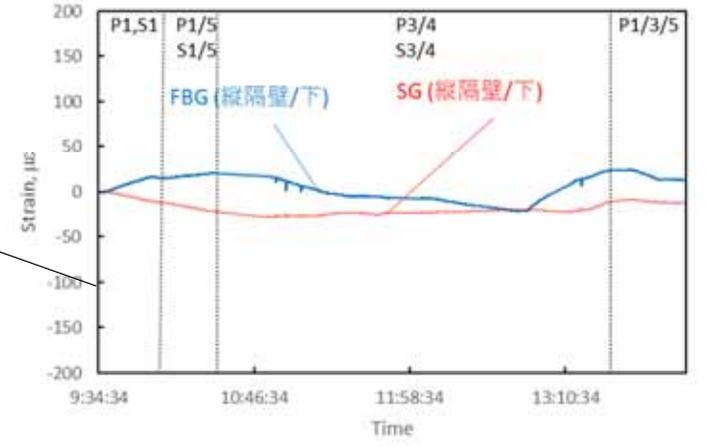
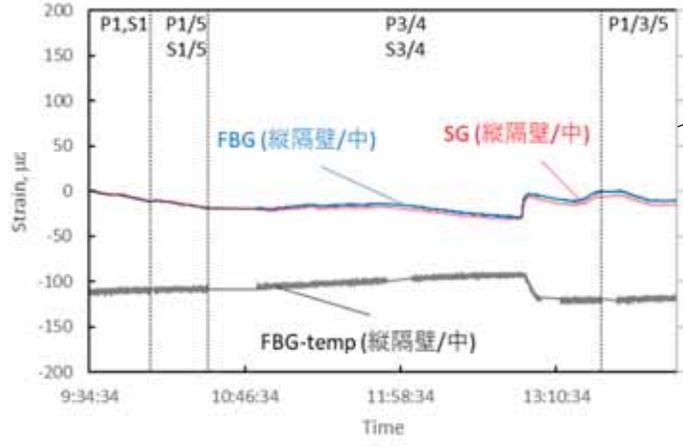
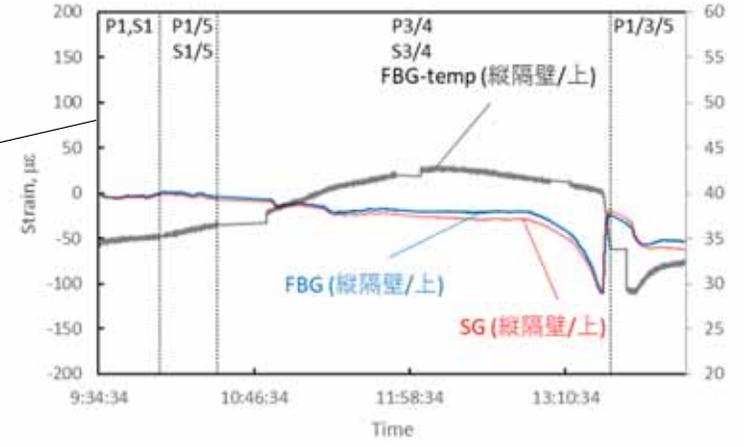
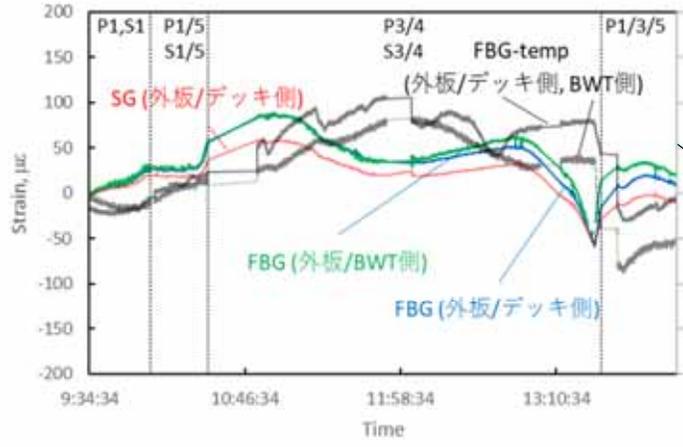


P1/3/4/5
S1/3/4/5

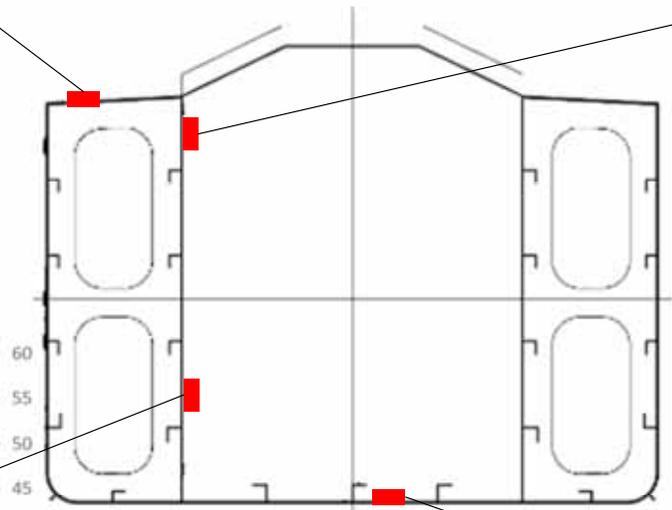
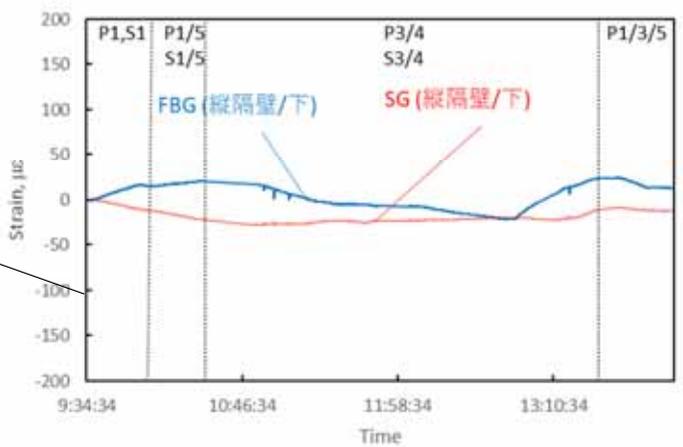
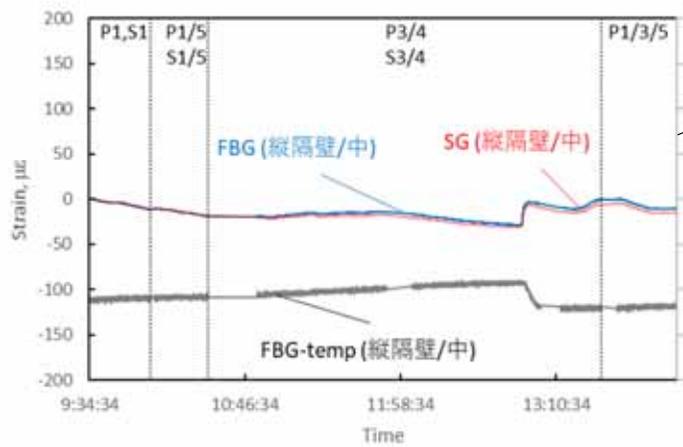
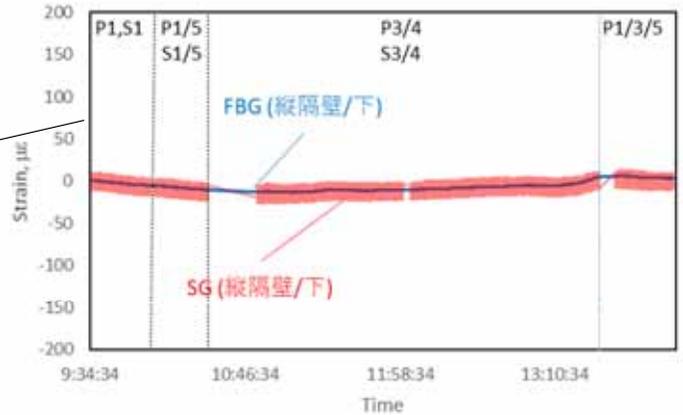
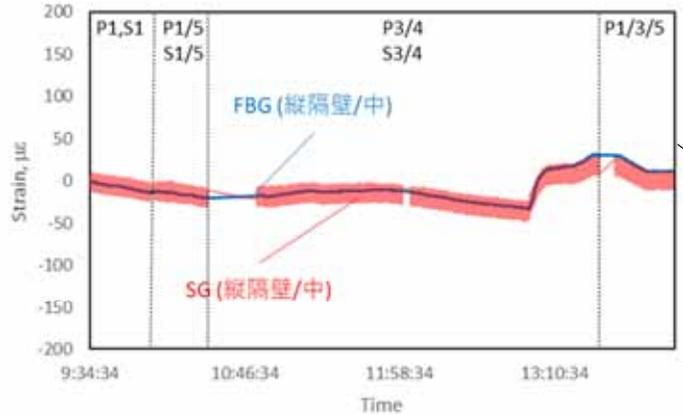




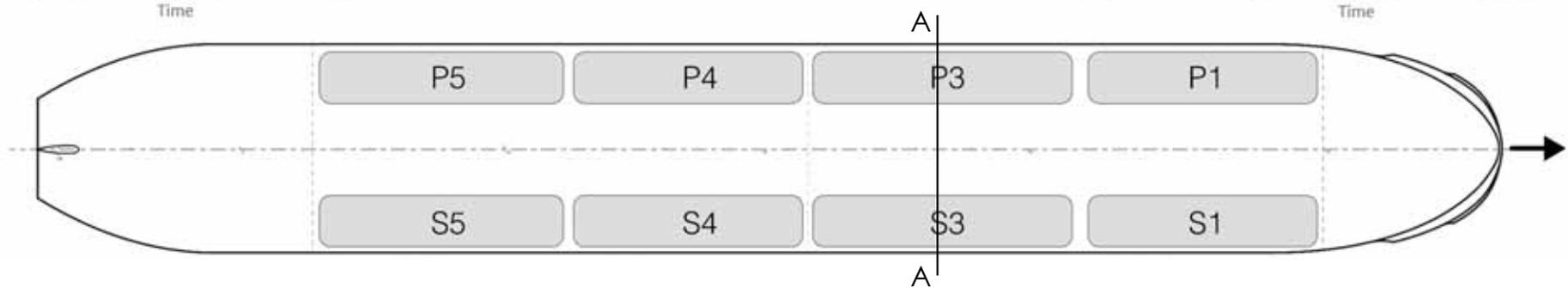
ひずみ



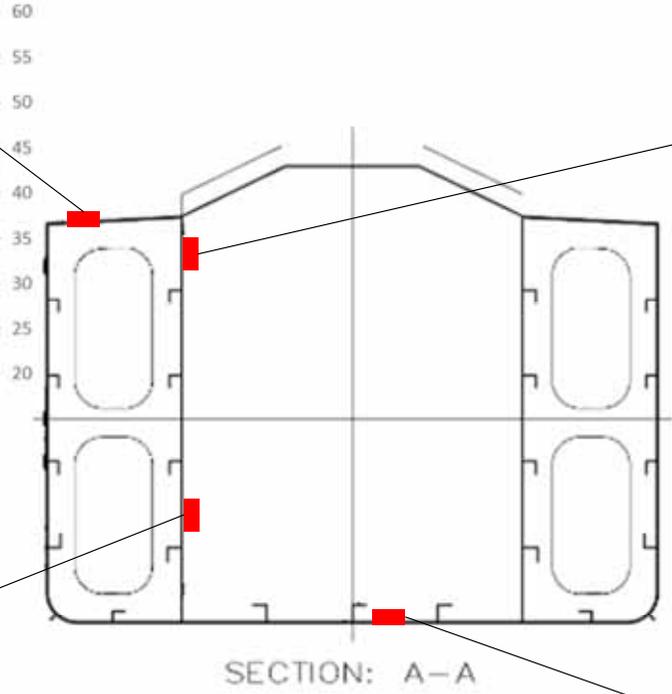
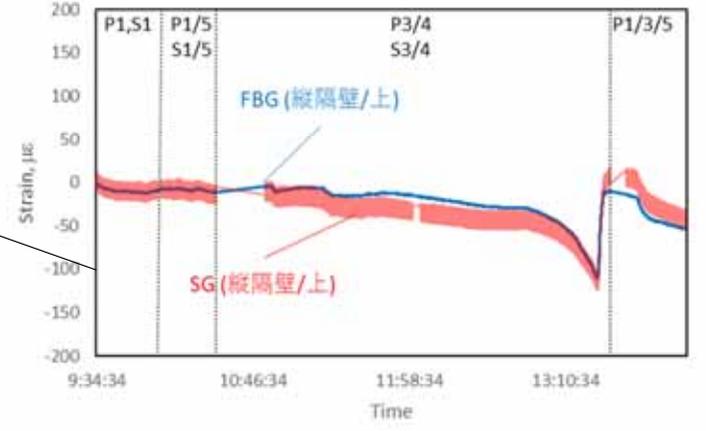
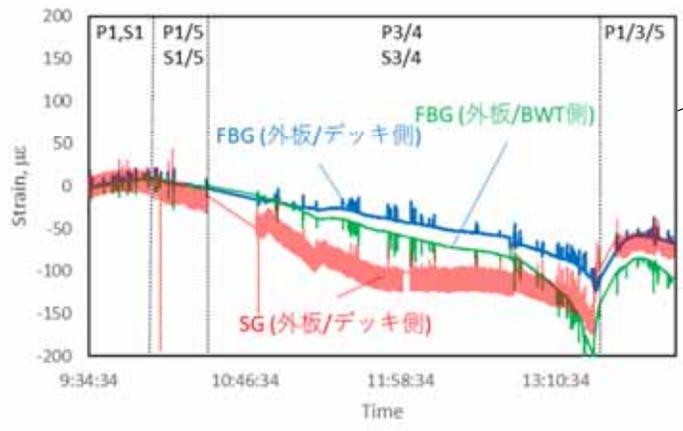
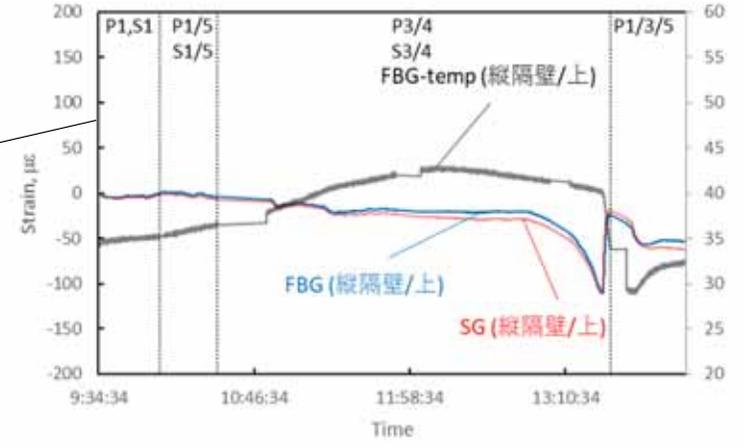
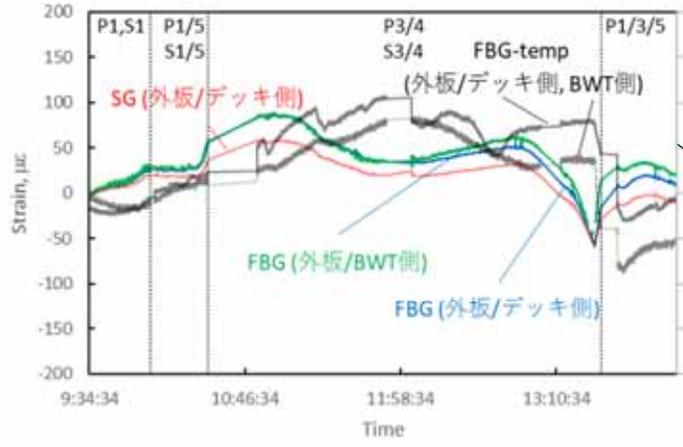
ひずみ



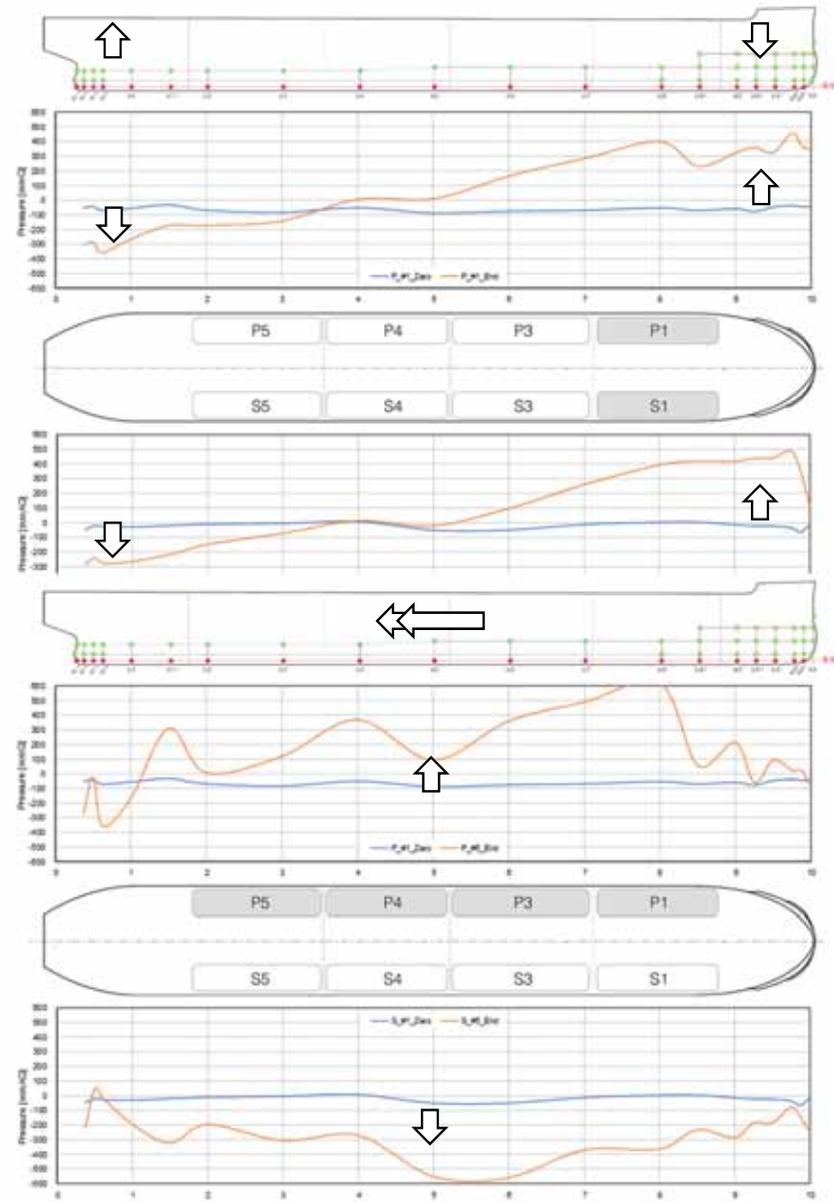
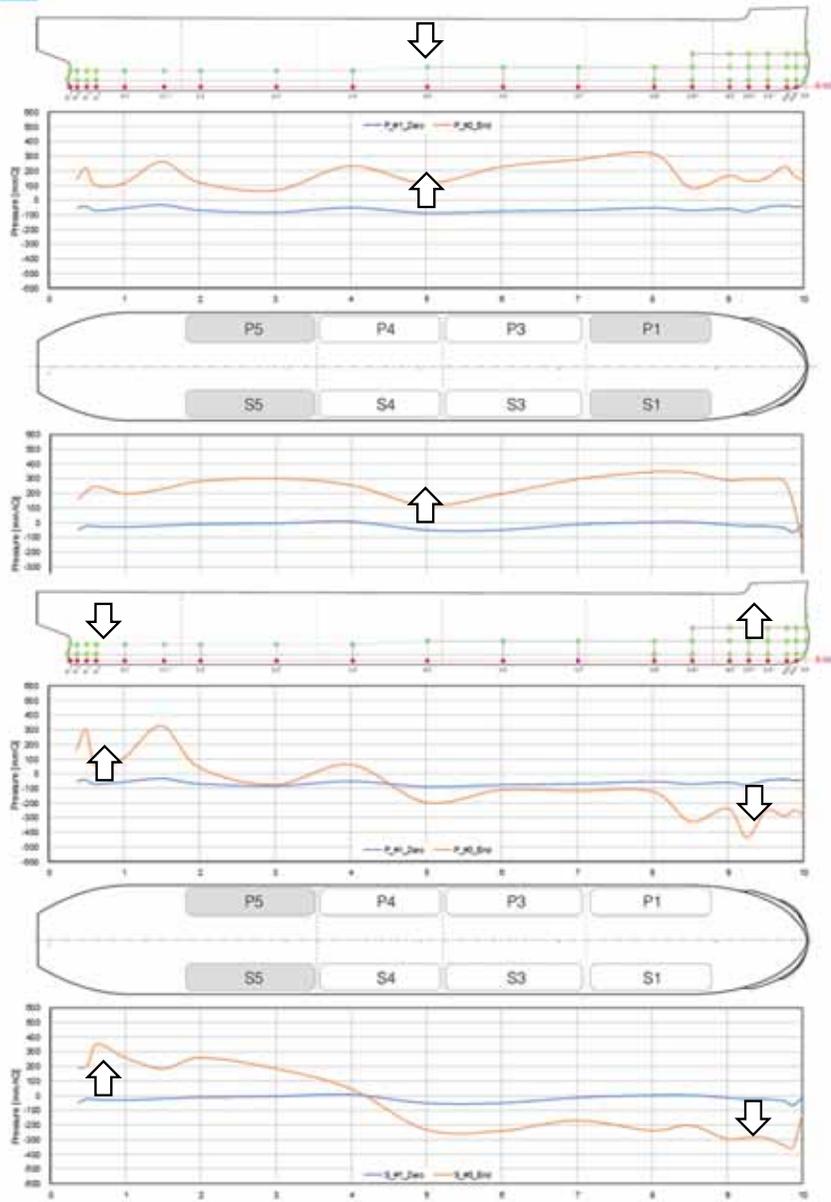
SECTION: A-A



ひずみ



ひずみ



压力

航行中のひずみと圧力

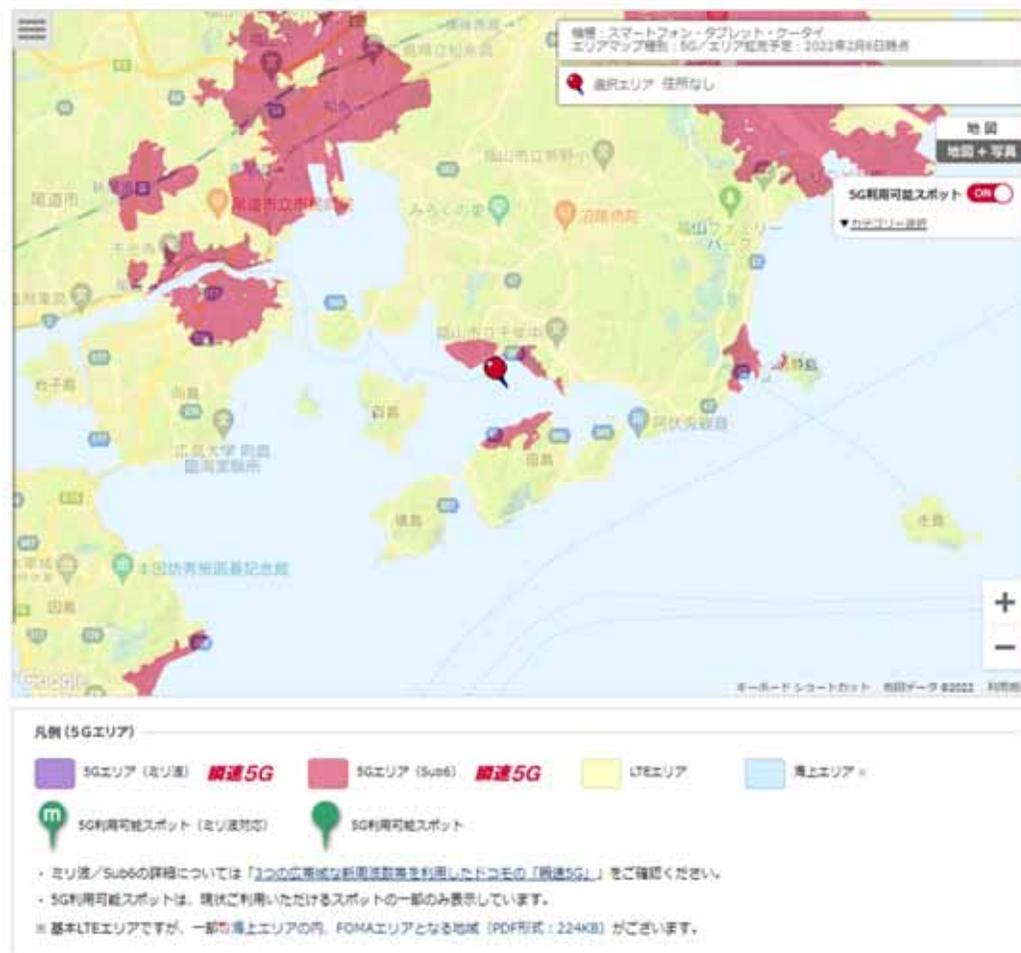
航行試験

直進 約5 knots

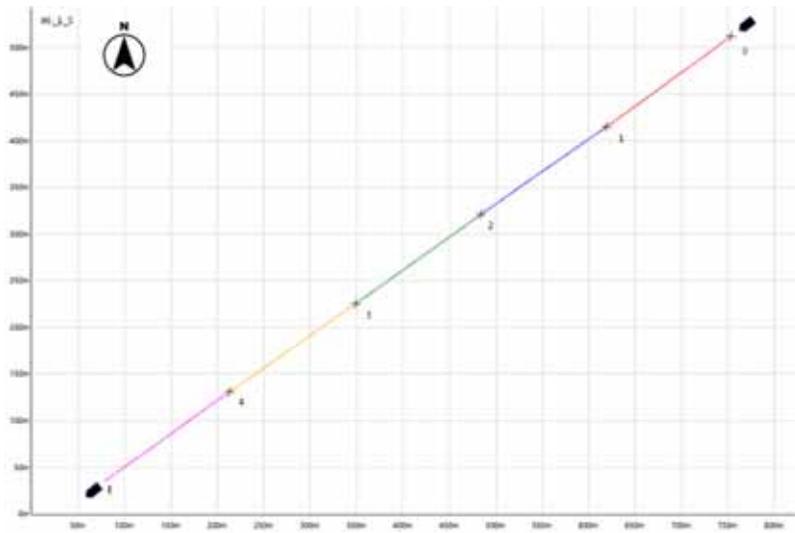
右旋回（直径約80 m） 約3 knots

左旋回（直径約70 m） 約3 knots

リアルタイムでyoutube配信
遠隔監視に成功



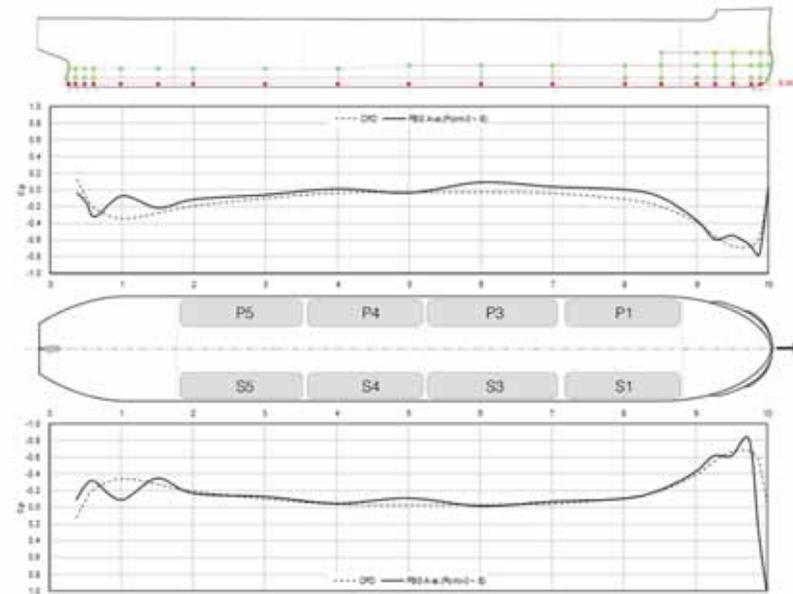
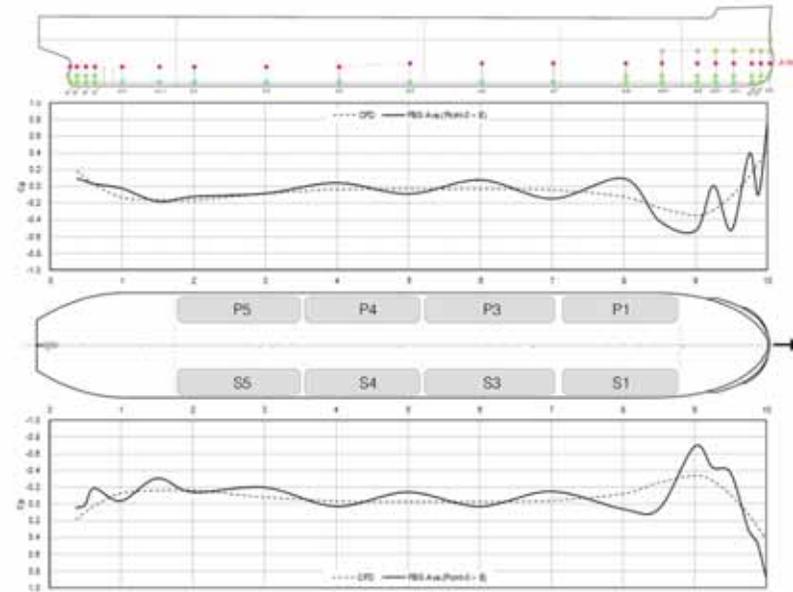
実海域試験の通信状況（ドコモホームページより）

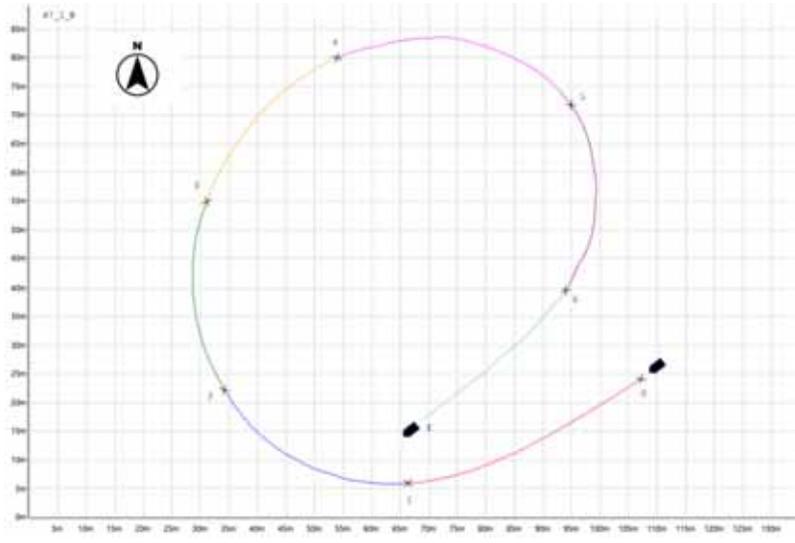


直進

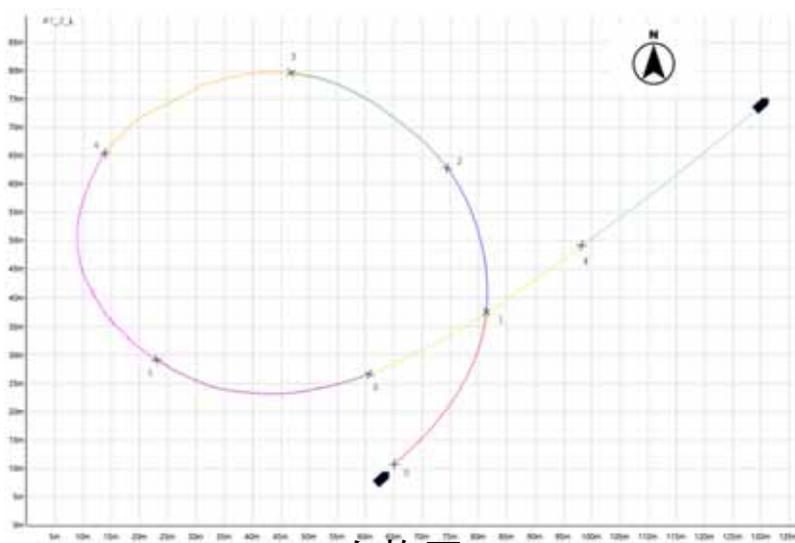


圧力

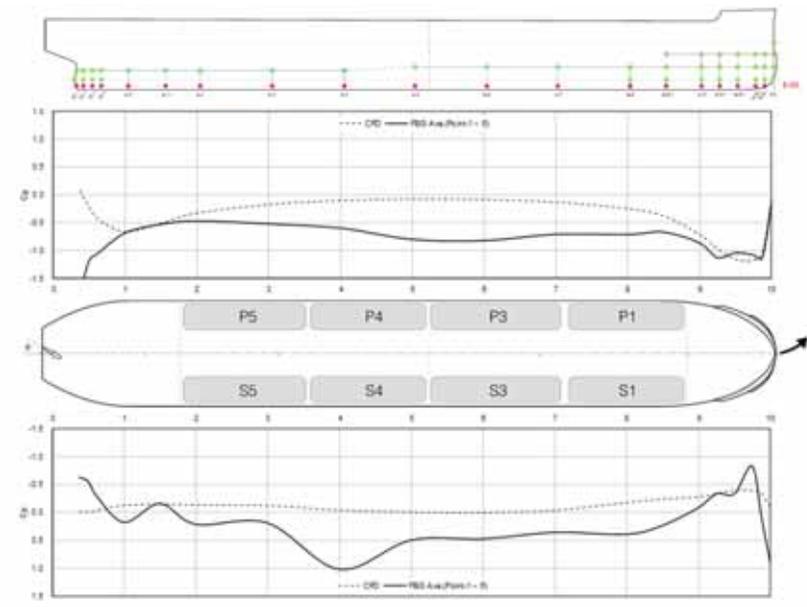
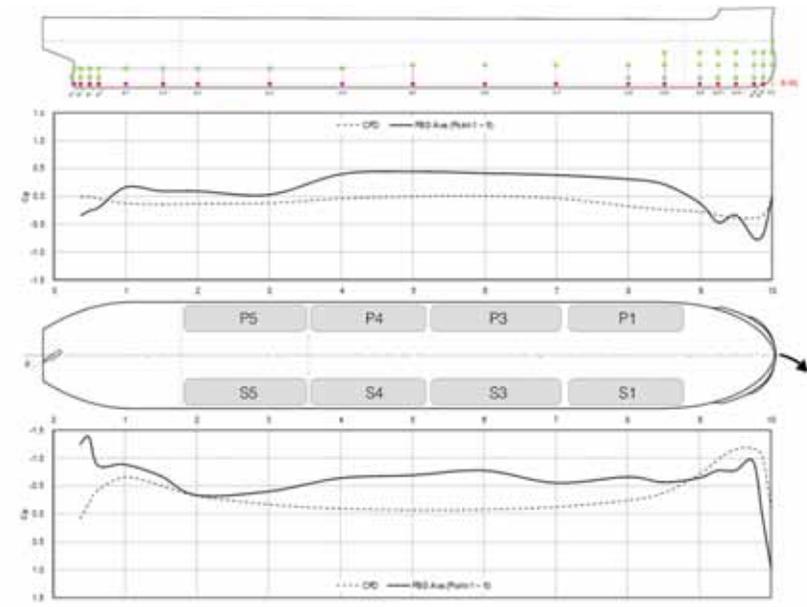




右旋回



左旋回

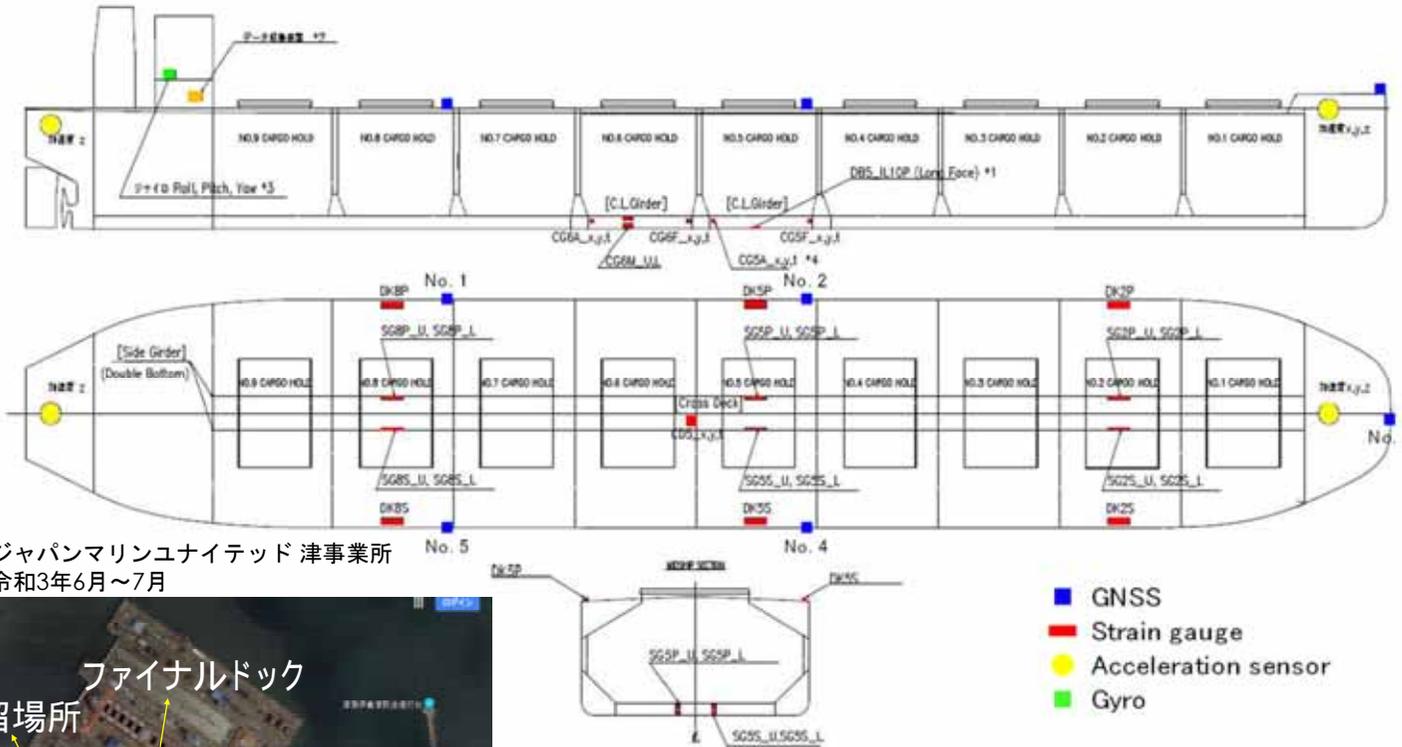


压力

遠隔監視HMS（海技研）



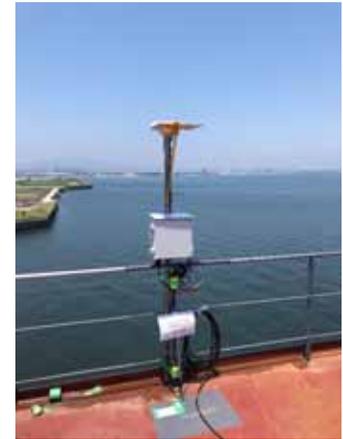
高精度測位による実船の姿勢・変形計測



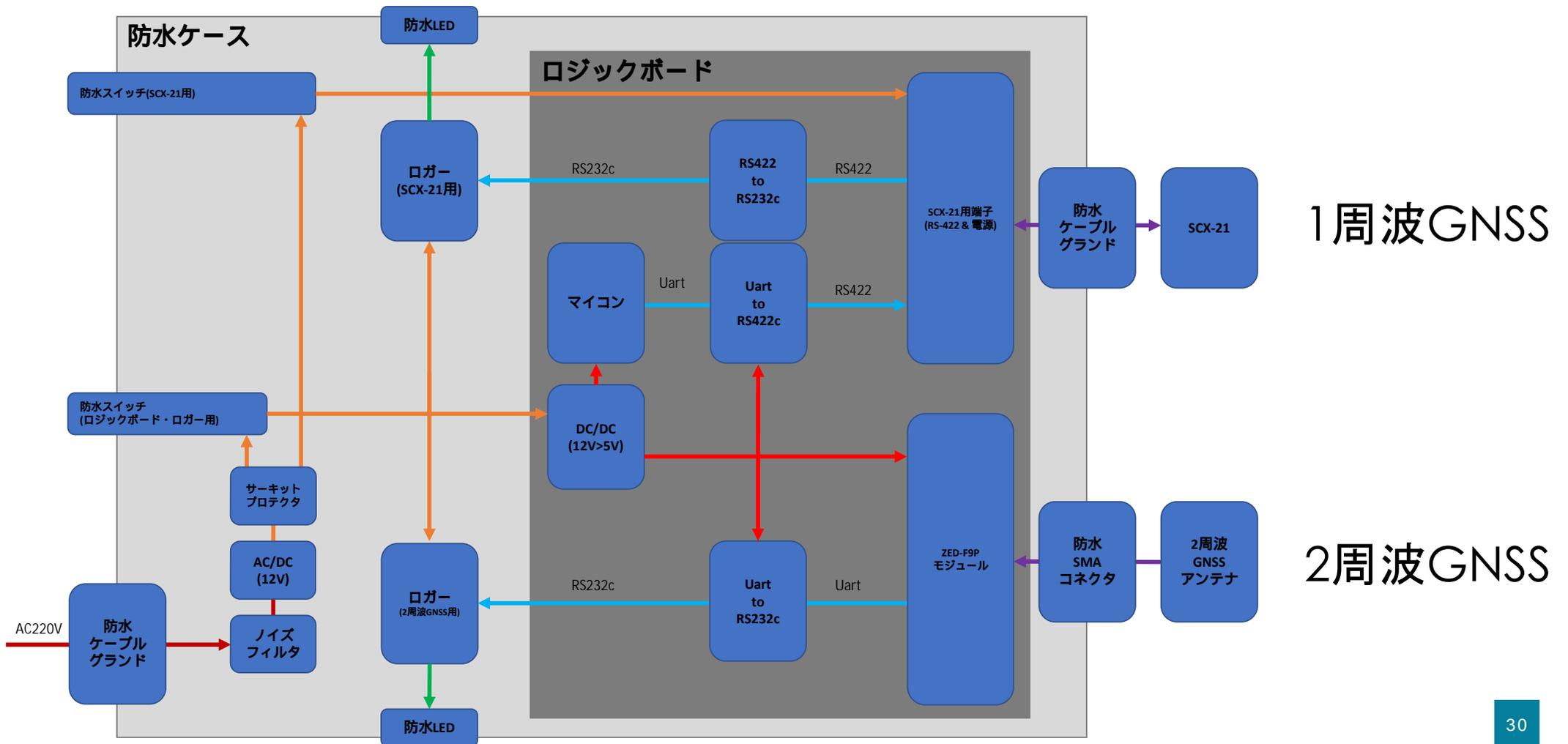
場所 ジャパンマリンユナイテッド 津事業所
日程 令和3年6月～7月



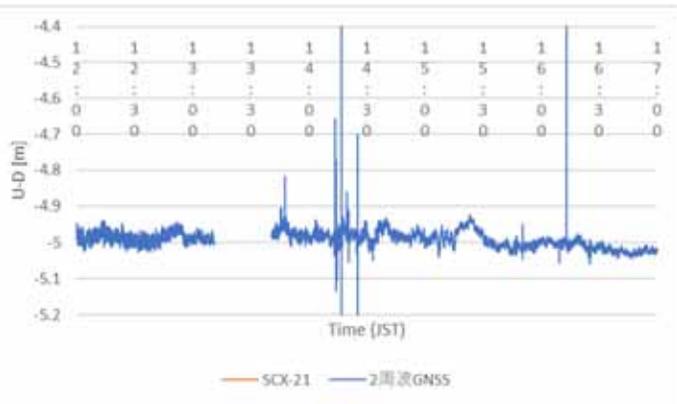
- ケープサイズばら積み貨物船 (NSY) への実装
 - 1周波GNSS受信器 (古野電気)
 - 2周波GNSS受信器 ZED-F9P (u-blox)
 - データロギング用統合システム (本郷開発局)



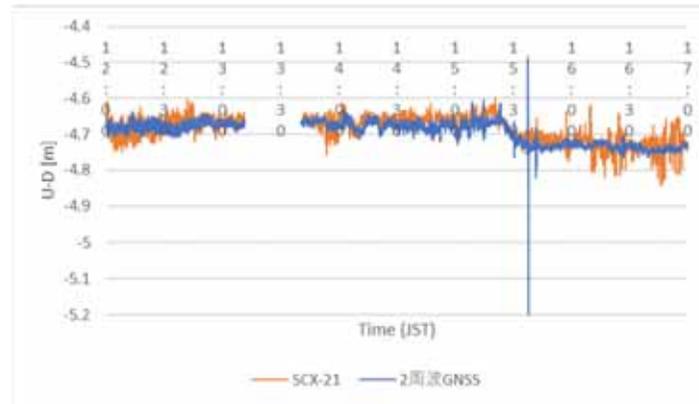
システム構成（本郷開発局による設計・開発）



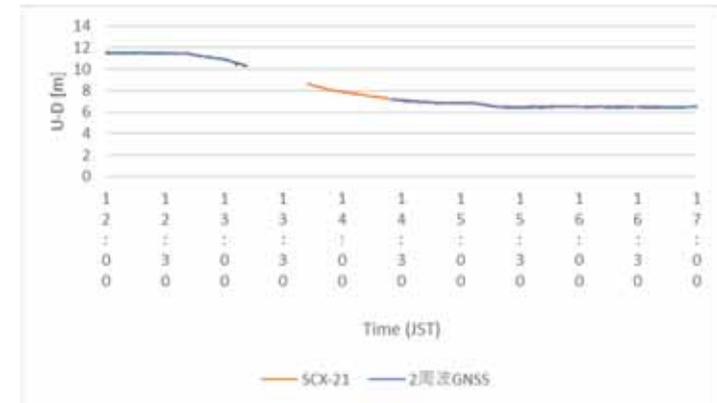
1周波GNSSと2周波GNSSの比較



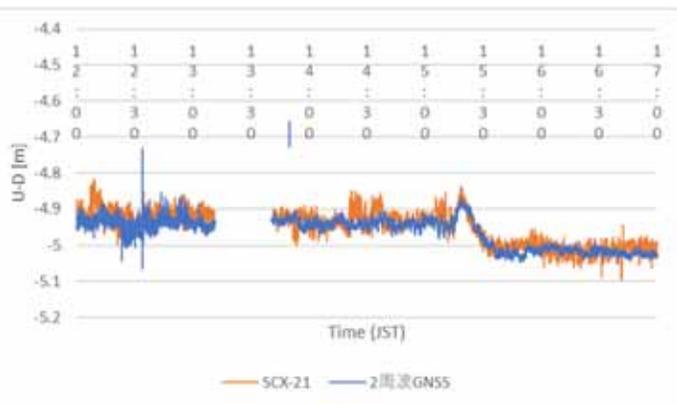
No. 3から見たNo. 1



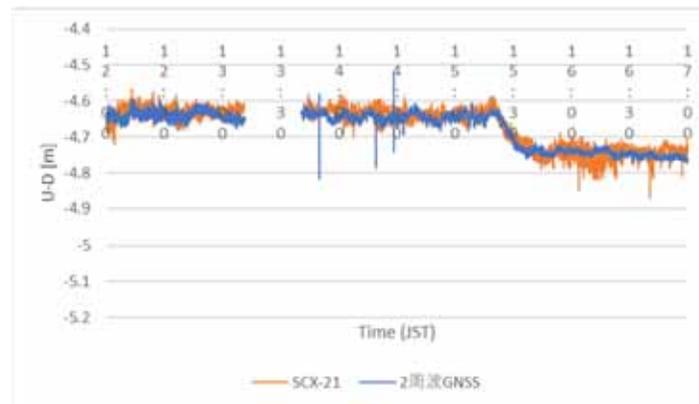
No. 3から見たNo. 2



No. 6から見たNo. 3



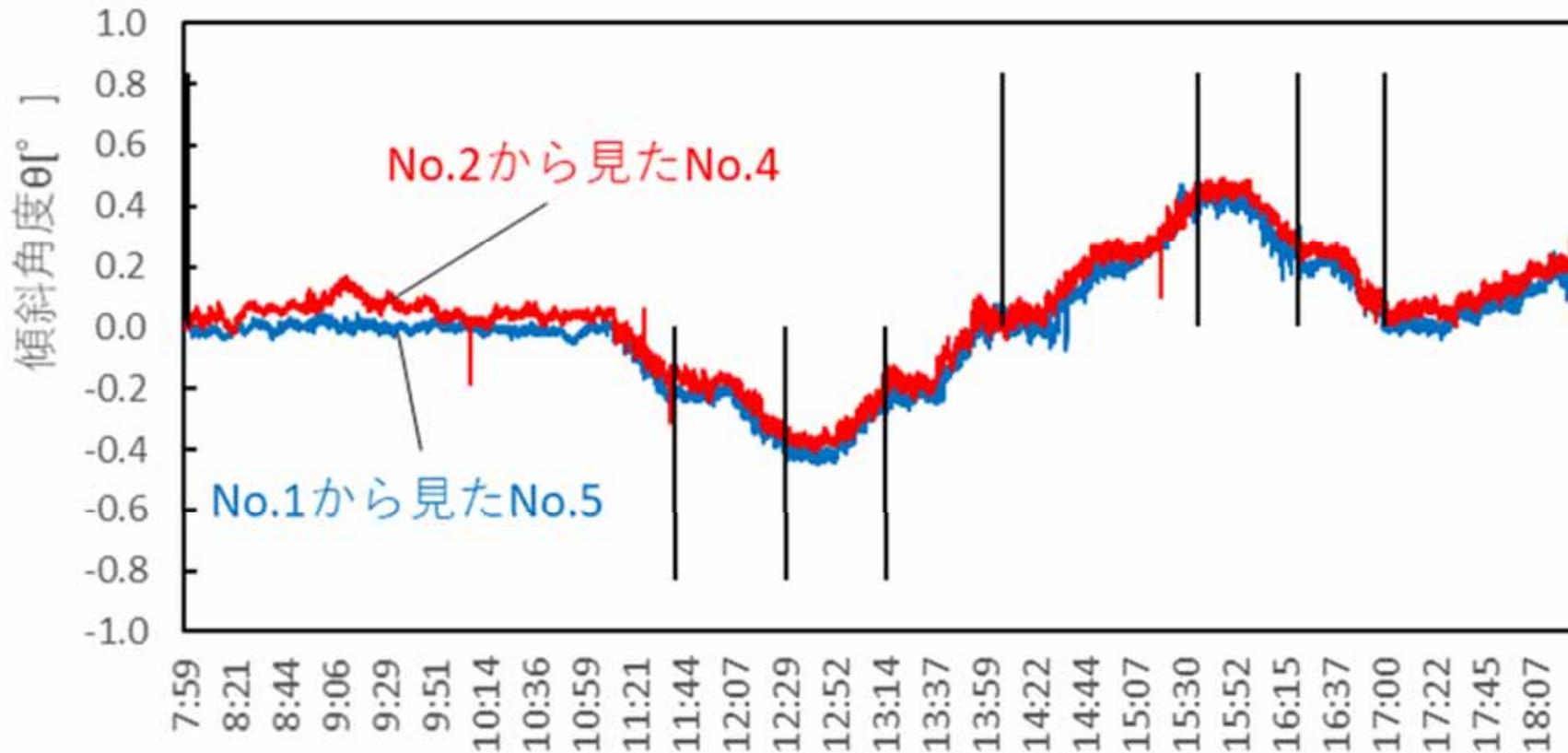
No. 3から見たNo. 5



No. 3から見たNo. 4

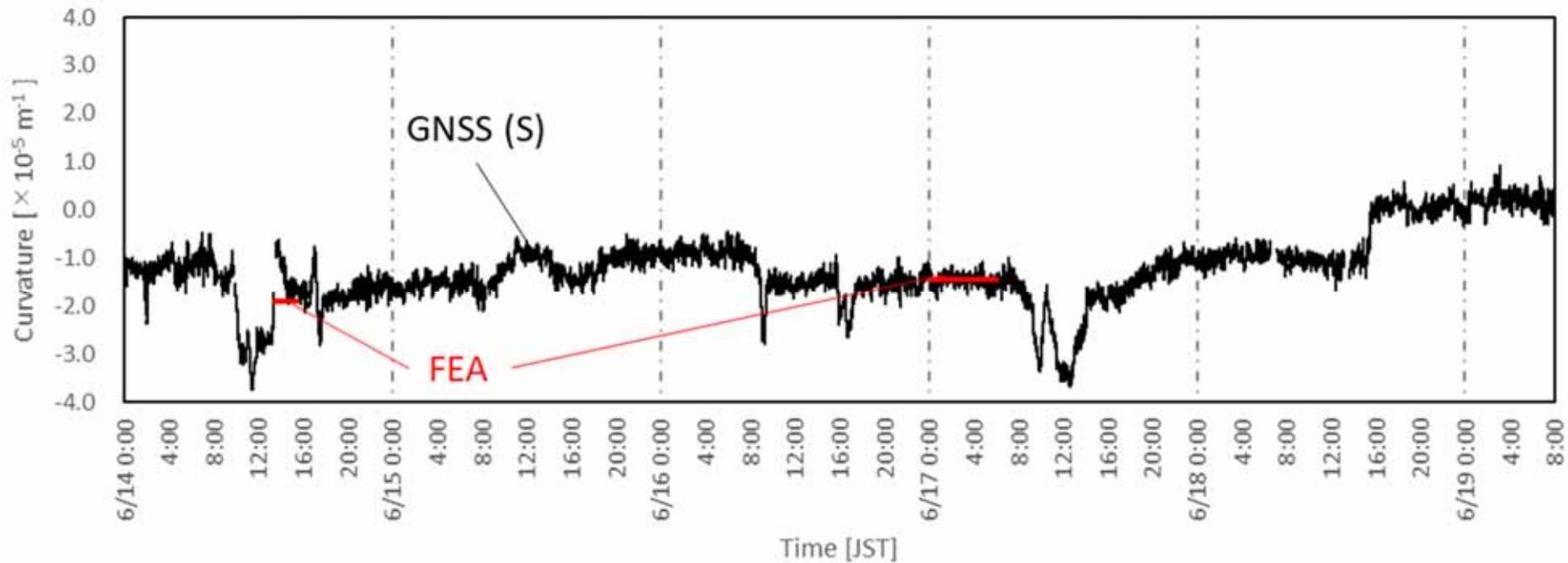
2周波GNSSでも1周波GNSSと同等の結果が得られている

2周波GNSSによる船体の剛体変位計測



微小な傾斜角 (Target angle : 0.20° or 0.40°) を捉えることができています

2周波GNSSによる船体変形計測（右舷の曲率）



岸壁係留中の水圧試験の2条件を再現したFE解析結果（6/14・6/17）と同等の曲率が得られている

まとめ

- 典型的なひずみ，加速度をもつハルモニタリングシステム（HMS）に圧力，周囲観測，遠隔監視（@沿岸域）機能を加えた国産の開発を実施した
- GNSSを用いた高精度測位技術による姿勢・変形計測を実施した
- オープンプラットフォームのコンセプトを導入することで，ハードウェア，ソフトウェアで様々な組み合わせが可能となり，発展型HMS，船体構造デジタルツイン，統合型デジタルツインの開発へとつながる