本調査は、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構が
一般社団法人内航ミライ研究会に委託して実施したものである。

内航貨物船における新たな通信方式（LoRa及び5G・4G）の活用方法の調査

独立行政法人　鉄道建設・運輸施設整備支援機構

2021年12月

目　次

１．調査目的および鶴宏丸について
２．計測機器の設置
３．LoRa通信状況の概要
４．ブリッジ内LoRaの通信状況確認
５．トラッカー装着者の利用状況
６．FTP転送による船陸間インターネット接続状況の確認
７．インターネット接続状況の確認
８．有線LAN接続の各種センサの状況確認
９．まとめ

1．調査目的および鶴宏丸について

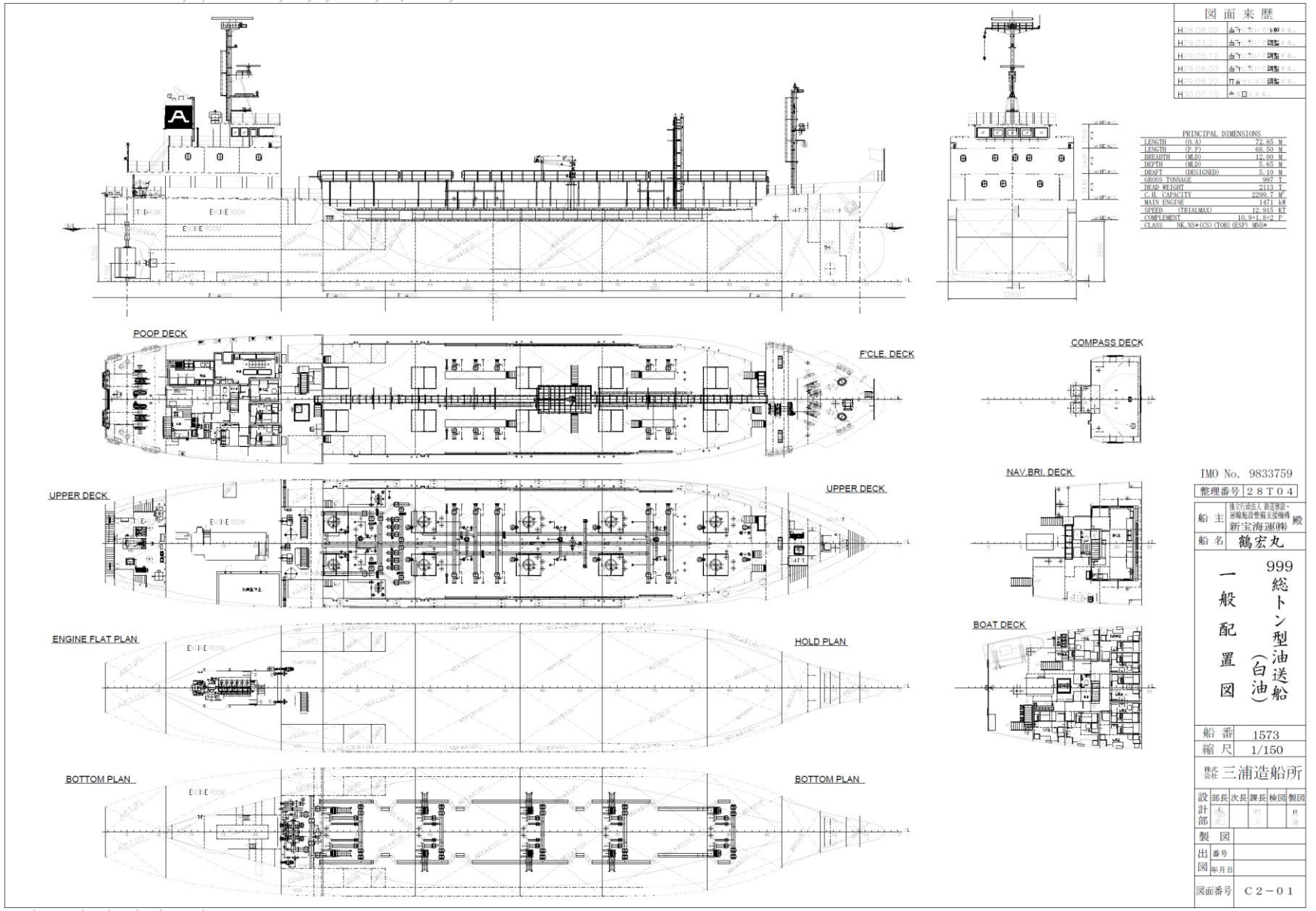
- 本調査では，4G回線やLoRa通信などの内航船舶で使われていなかった通信方式について，様々な活用方法の可能性を調査することを目的とする。
- 船員の船内作業時の心拍数などをLoRa通信によりリアルタイムで収集し，船内各所の電波状態の良否を調べる。
- 内航貨物船が就航する海域及び入港中の岸壁における5G及び4G回線の電波環境を調査する。
- 船陸間において，航行中の運航関係データの送受信，入港中の荷役業務でのカメラ映像又は音声等での連絡指示，休憩時の福利厚生での活用の可能性を調査する。
- LoRa通信機器と5G・4G回線を連接して，船陸間のデータ送受信を行い，データ欠損・通信容量の制約・時間遅れ等の有無，その他の課題を洗い出す。

【LoRaについて】
- 低消費電力で低通信速度、長距離の通信が可能な通信技術LPWA（Low Power Wide Area）の一種。
- 陸上において、広範に設置したIoT機器からのデータ収集に活用されている。
- 微弱な電波でも通信が可能な特徴があり、電波が届きづらい船内でのデータ収集に活用可能と思われる。

- 鶴宏丸（Tsuruhiro ）は，主にガソリン，灯油，軽油，ジェット燃料（飛行機用燃料）を運んでいる999GT型白油タンカーである。
- 建造・竣工：2018年
- 船主：新宝海運
- 造船所：三浦造船所
- 主機：阪神内燃機工業 LA32G（2000PS）

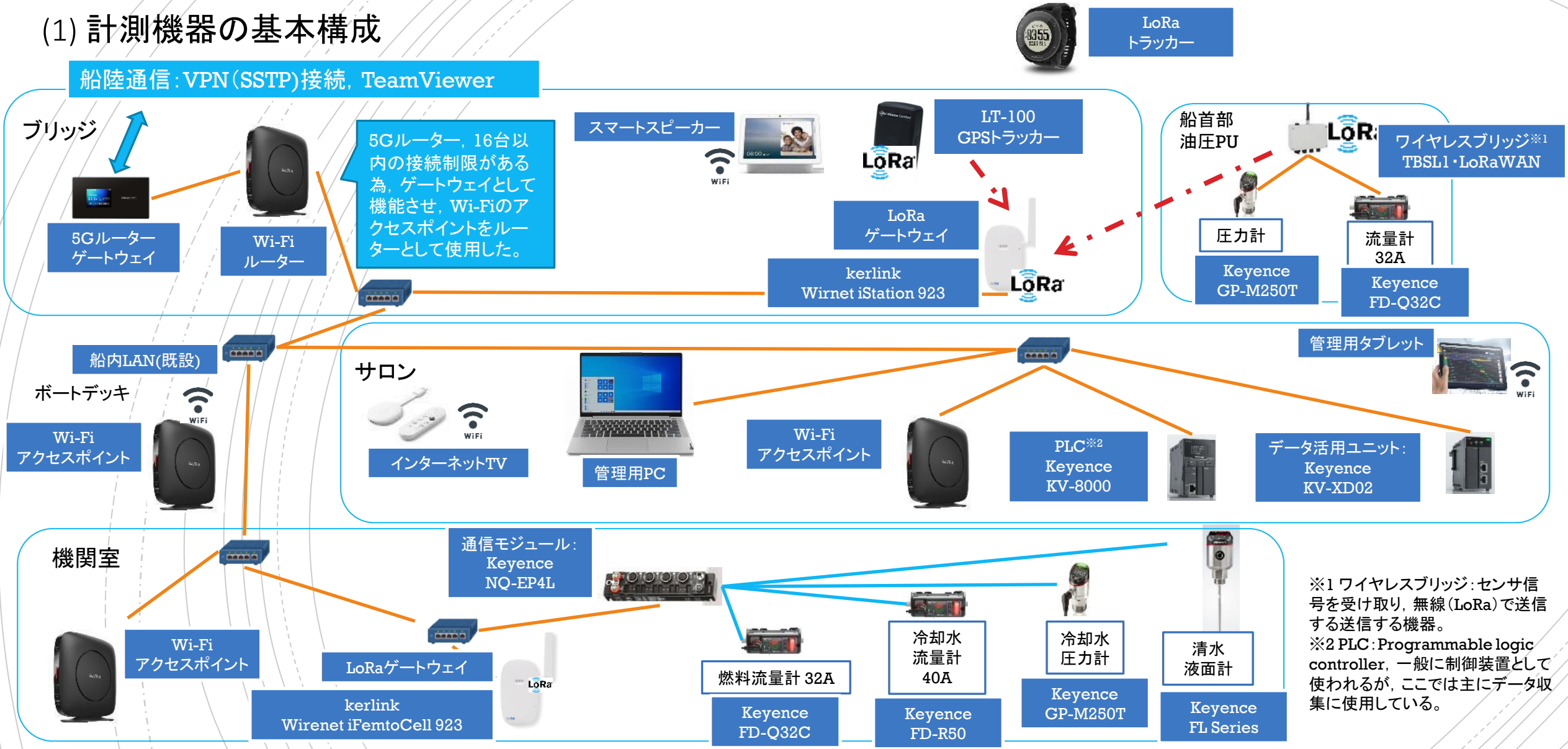
http://naikou00.blog70.fc2.com/blog-entry-3177.html
https://job.rikunabi.com/2022/company/r786822056/blog/detail/2/

鶴宏丸の一般配置図


図面来歴
PRINCIPAL DIMENSIONS
LENGTH (O.A) 72.85 M
LENGTH (P.P) 68.50 M
BREADTH (MLD) 12.00 M
DEPTH (MLD) 5.65 M
DRAFT (DESIGNED) 5.10 M
GROSS TONNAGE 997 T
DEAD WEIGHT 2113 T
C.H. CAPACITY 3299.7 M³
MAIN ENGINE 1471 KW
SPEED (TRIALMAX) 12.915 KT
COMPLEMENT 10,9+1,8+2 P
CLASS NK,NS*(CS)(TOR)(ESP) MNS*
POOP DECK
F'CLE. DECK
COMPASS DECK
UPPER DECK
UPPER DECK
NAV.BRI. DECK
ENGINE FLAT PLAN
HOLD PLAN
BOAT DECK
BOTTOM PLAN
BOTTOM PLAN
IMO No. 9833759
整理番号 28T04
船主 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 新宝海運(株) 殿
船名 鶴宏丸
999総トン型油送船(白油)
一般配置図
船番 1573
縮尺 1/150
株式会社 三浦造船所
設計部 部長 次長 課長 検図 製図
製図
出図 番号 年月日
図面番号 C2-01

2. 計測機器の設置

(1) 計測機器の基本構成

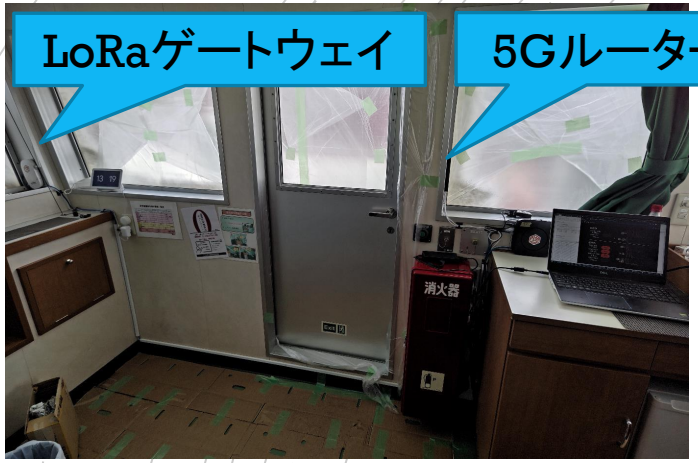


※1 ワイヤレスブリッジ：センサ信号を受け取り，無線（LoRa）で送信する送信する機器。
※2 PLC：Programmable logic controller，一般に制御装置として使われるが，ここでは主にデータ収集に使用している。

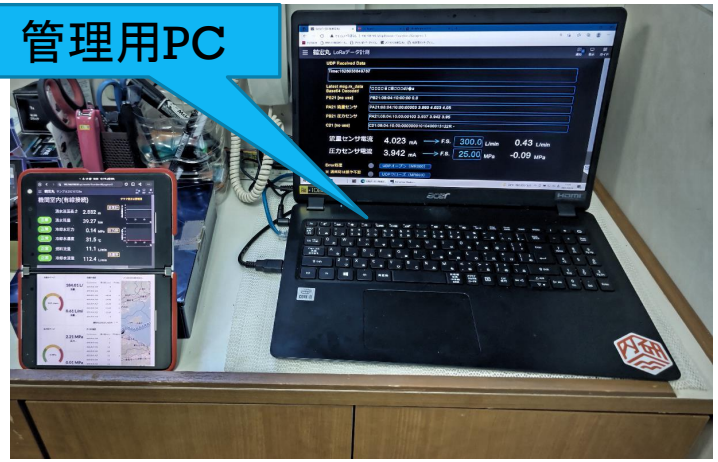
2. 計測機器の設置

※ 機器設置の詳細は付録参照のこと。

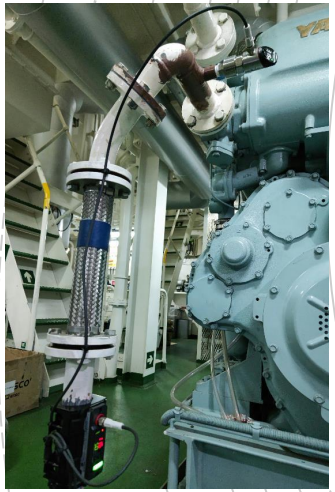
(1)船内関連機器の設置状況

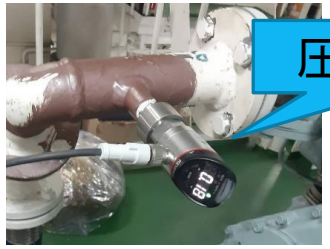


ブリッジ

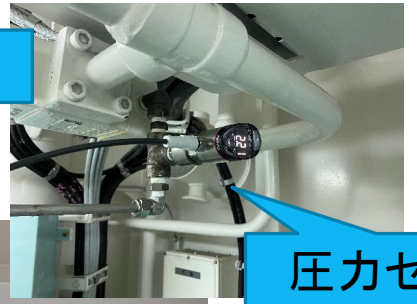


サロン





機関室

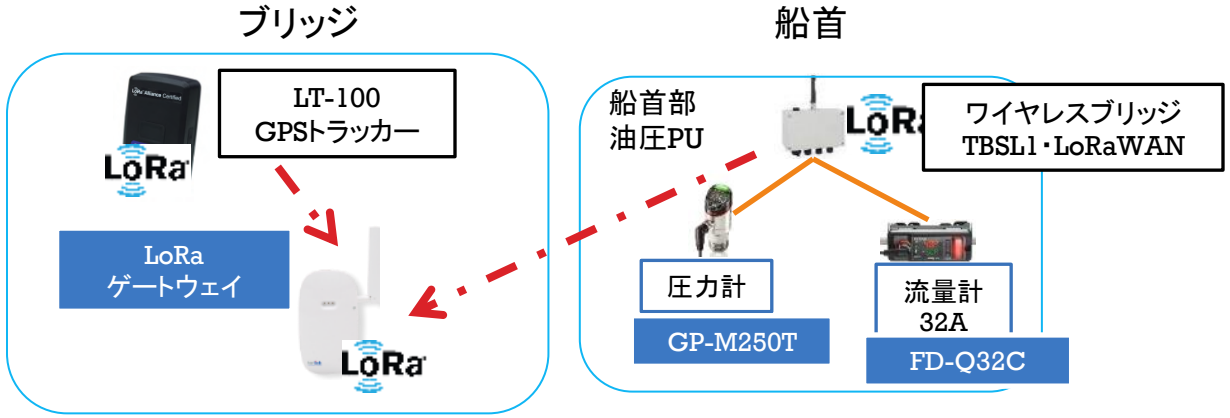


船首油圧ポンプユニット

3. LoRa通信状況の概要

(1) 計測・解析の概要

- ブリッジ内のGPSトラッカーは位置データを1分毎，船首に設置したワイヤレスブリッジは電流データを3分毎にLoRaゲートウェイに送信する。
- LoRaゲートウェイは，データを受信した際，受信したデータと受信時刻をLoRaゲートウェイ内に蓄積する。
- LoRaゲートウェイ内に蓄積される受信データの受信時刻から，データ欠損数を求める。
- 計測期間を2021/9/1～9/10の10日間とした。



LoRa機器の設置状況

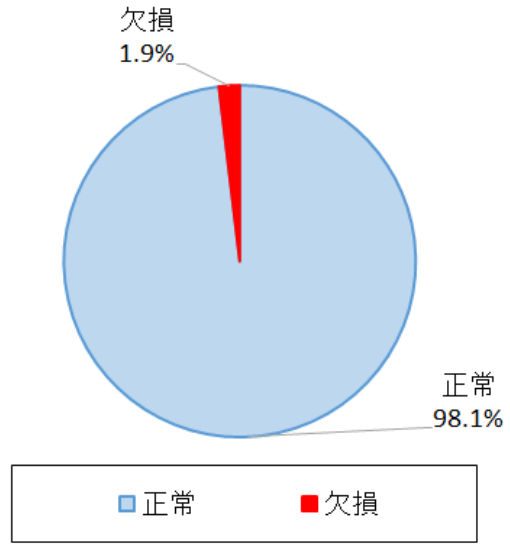
取得項目	データ取得位置	LoRa受信位置	取得位置と受信位置の距離	計測・送信間隔
GPSデータ（緯度，経度）	ブリッジ	ブリッジ	約3m	1分
船首油圧ポンプユニット（圧力，流量）	船首甲板上	ブリッジ	約45m	3分

※　計測間隔は各機器の仕様による。

3. LoRa通信状況の概要

(2) ブリッジ内LoRa通信（GPSデータ）の解析結果

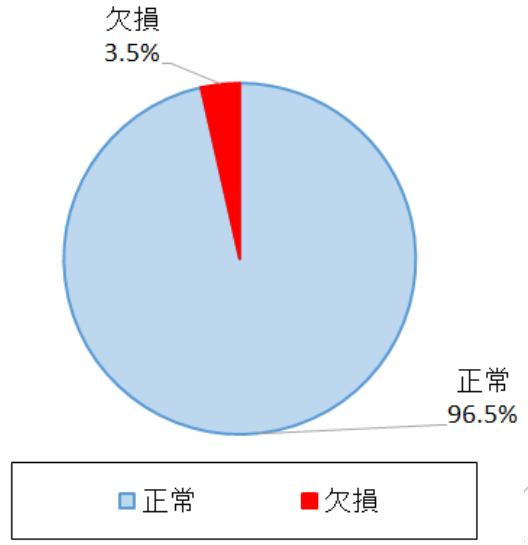
- ブリッジ内LoRa通信（GPSデータ）のデータ総数は14,041個である（1分間隔で9.8日間に相当）。
- 欠損数を受信したデータの時間差から求める。GPSデータの受信間隔が60secであれば欠損数0，120secであれば欠損数1，180secであれば欠損数2とカウントする。
- すべてのデータを積算した結果，GPSデータの欠損数は267個であり，欠損率（データ総数に対する欠損数の割合）は1.9%であった。



GPSデータの解析結果

(3) 船首-ブリッジ間LoRa通信（船首油圧ポンプユニットデータ）の解析結果

- 船首-ブリッジ間LoRa通信（船首油圧ポンプユニットデータ）のデータ総数は4,682個である（3分間隔で9.8日間に相当）。
- GPSデータと同様，欠損数を受信したデータの時間差から求める。受信間隔が180secであれば欠損数0，360secであれば欠損数1とカウントする。
- すべてのデータを積算した結果，船首-ブリッジ間LoRa通信データの欠損数は118個であり，欠損率（データ総数に対する欠損数の割合）は3.5%であった。



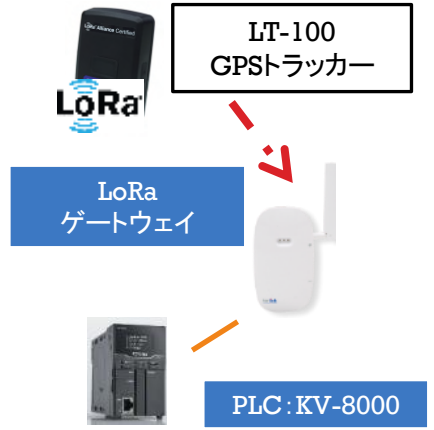
船首LoRa通信の解析結果

4. ブリッジ内LoRaの通信状況確認

(1) 計測の概要

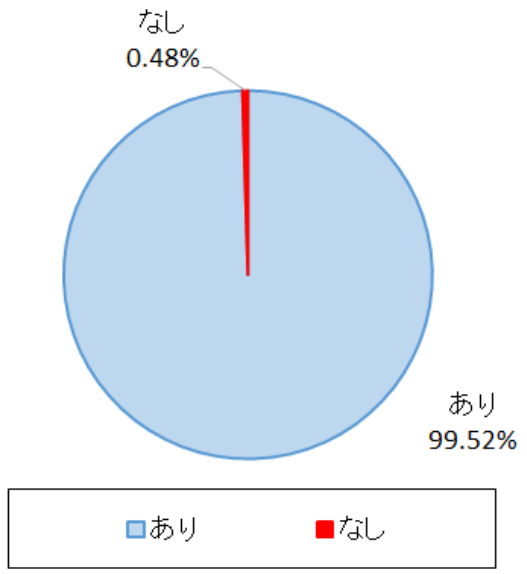
- GPSデータは1分毎に計測され，LoRaゲートウェイと有線LANを介して，PLCに送信される。PLCでは，GPSデータの送信間隔とは独立して，1分毎にその時点で最新の受信データを記録する。
- PLCに記録されたデータをもとに，1分後のGPSデータ（緯度・経度）の変化の有無を確認する。変化がある場合，LoRaの通信状況は正常と判断できる。変化がない場合，LoRaの通信不良（データ欠損）やGPSトラッカー自身の不具合，あるいは船体がまったく動いていない場合（正常）などの原因が考えられる。
- 計測期間を2021/10/2～10/11の10日間とする。

※ 前ページの確認試験では，LoRaゲートウェイ受信時刻のみを確認している。一方，本試験は，暗号化された受信データを解析するプログラムをPLCに実装した後に行っているため，受信データの内容による評価をしている。
※ LoRaゲートウェイ受信時刻をPLCに取り込むことができないため，前ページと同等の欠損率は求められない。



(2) GPSデータ（緯度・経度）の変化の有無

- 計測期間中の全データ14,400個を確認した結果，99.5%は，1分後にGPSデータ（緯度・経度）が変化している，すなわち，ブリッジ内LoRaの通信状況はほとんど正常であると判断できる。
- GPSデータ（緯度・経度）に変化がない状況は，69カウント（69分=0.5%に相当）が確認された。そのほとんどは2分後に変化が生じている。（1回のみ，4分間の変化がない状態が確認された。）



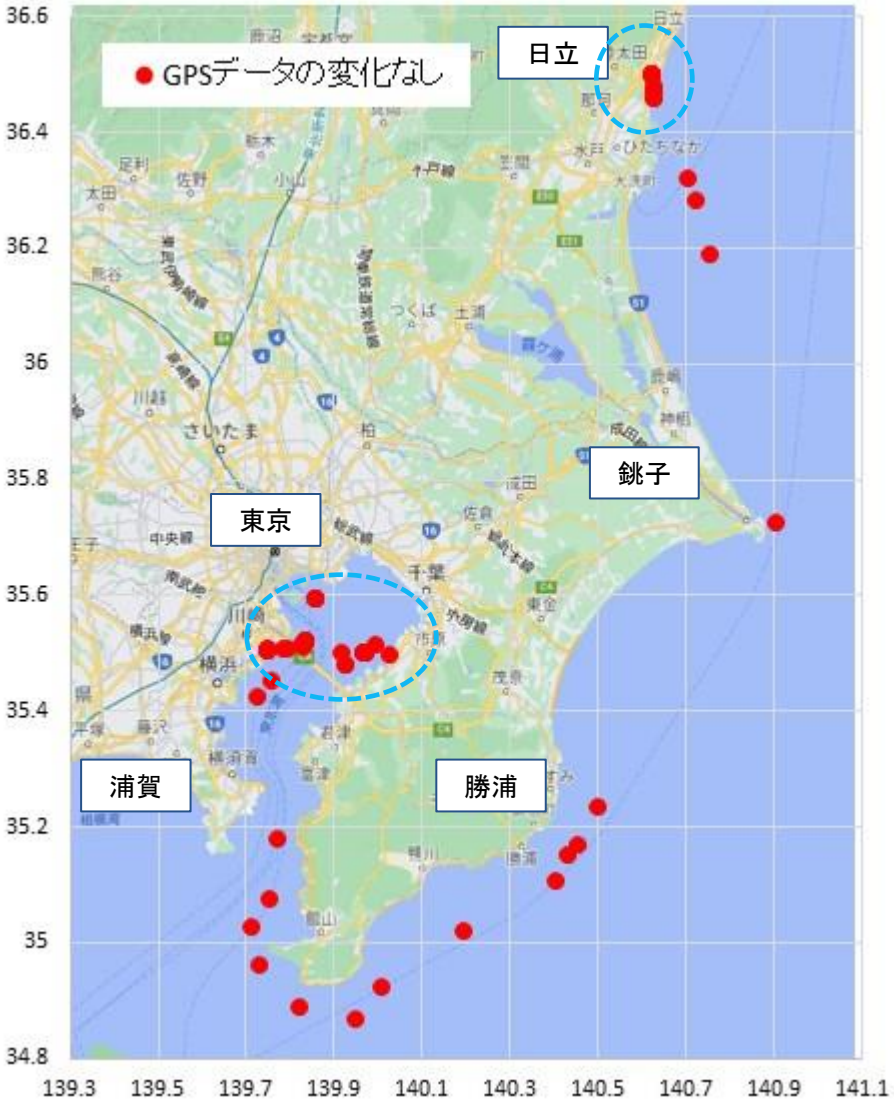
GPSデータ変化の割合

4. ブリッジ内LoRaの通信状況確認

(3) 船舶の場所に対するLoRaの通信状況

- GPSデータ（緯度・経度）の変化がなかった69点の要因を分析するため，GPSデータに変化がなかった船体位置（69点）を地図上にプロットした（右図）。
- 日立港や東京湾内において，GPSデータ（緯度・経度）の変化がない場合，船体がまったく動いていない可能性がある（正常）。
- 勝浦沖から東京湾入口付近において，GPSデータ（緯度・経度）の変化がない場合，船舶が停止しているとは考えにくく，LoRaの通信不良やGPSトラッカー自身の不具合が生じていると考えられる。

※　計測期間中の航路等については次ページ以降を参照のこと。

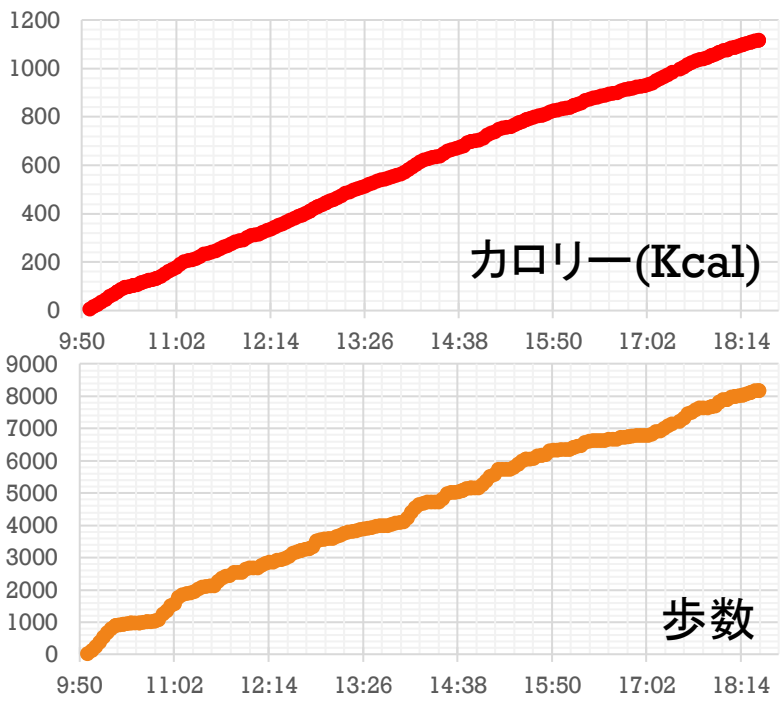


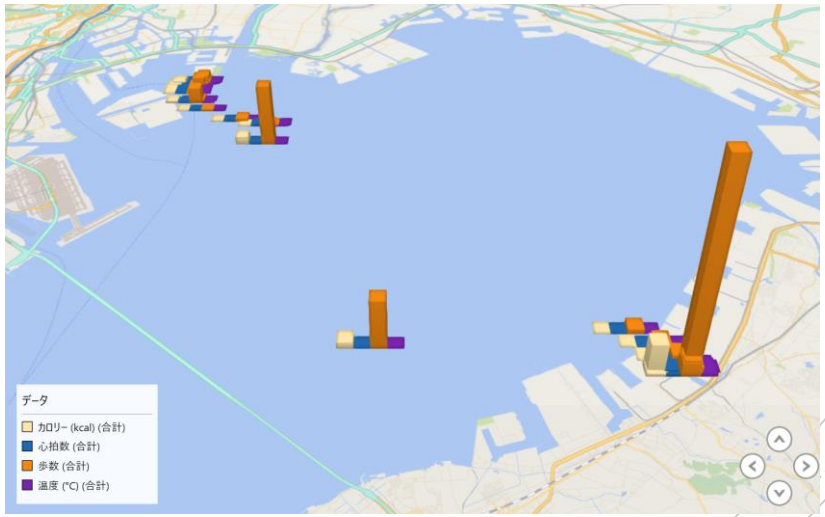
GPSデータ変化なしの船舶の位置

5. トラッカー装着者の利用状況（始業から終業まで装着）

- 東京湾内における，トラッカーデータを元にカロリー，心拍数，歩数，皮膚温度の計測結果をまとめた。
- トラッカーのGPSデータは屋外作業時のみ計測できている（正常）。
- 計測日は，9:56若洲にて始業→千葉で作業後，東京湾沖で18:27に終業している。
- 装着者によると「腕時計は便利だがバッテリーの管理が面倒である。」とコメントしている。
- 船主は「装着者の情報が数値が羅列される為，後ほど表計算ソフトでグラフ化する必要があり，異常に気が付きにくいが，作業時間や場所が把握できるため運用によっては便利である。」とコメントしている。

LoRa
トラッカー





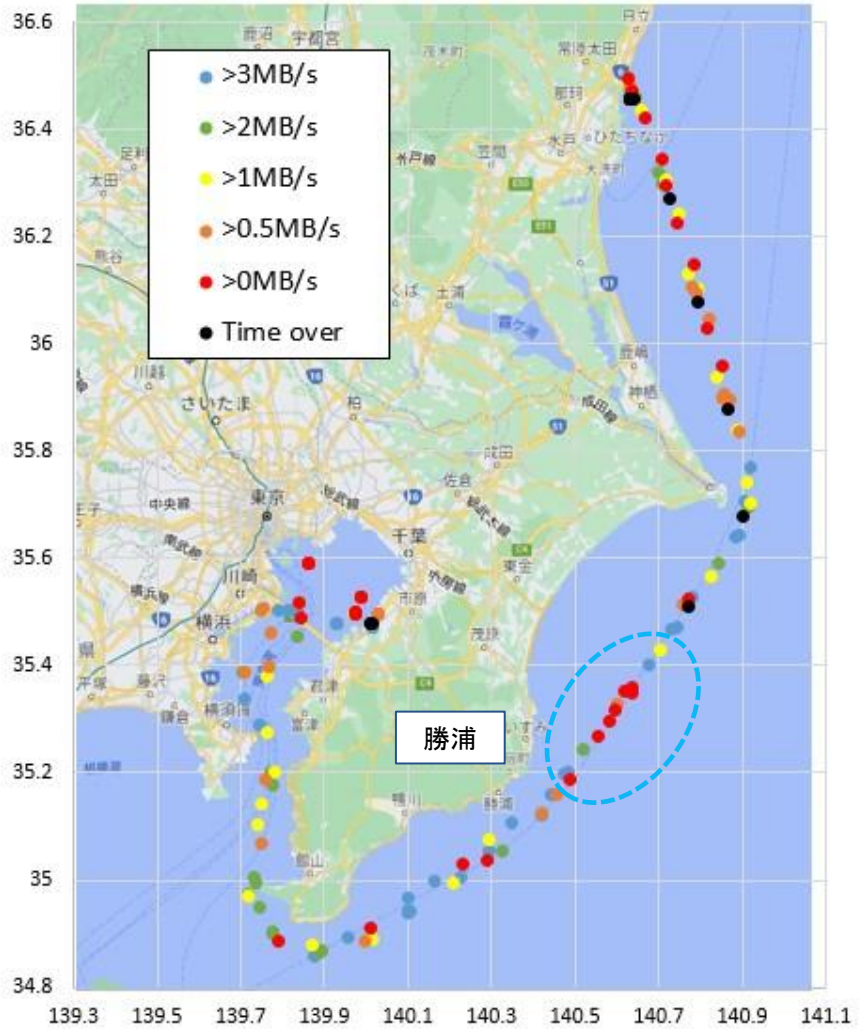
トラッカーデータの分布（一航士の例）
(カロリー，心拍数，歩数，皮膚温度)

6. 船陸間インターネット接続状況の詳細

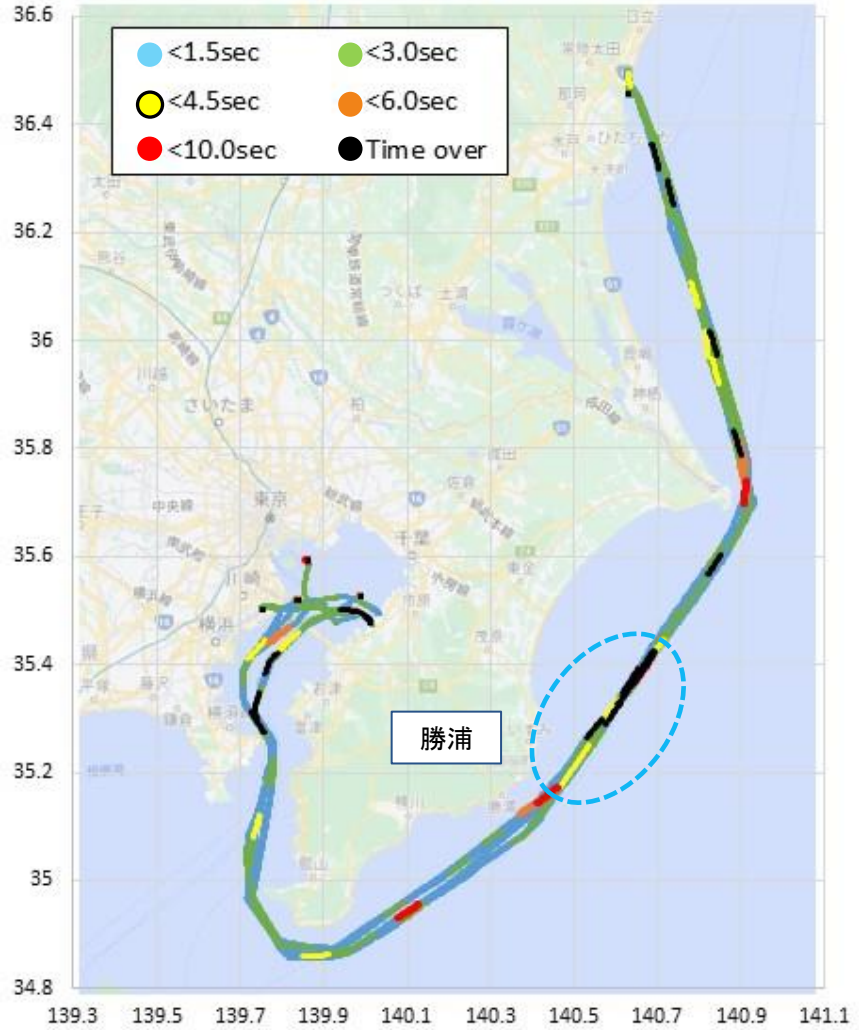
(1) 接続速度の計測結果

- 2021/10/2～10/11の10日間，船上PCのインターネット通信速度計測の結果をまとめる。
- インターネット通信速度は，PC用ソフトウェア「Speedtest」を使用し，1時間毎に計測した。
- 東京湾内や日立-勝浦間の岸から離れた場所でインターネット通信速度が低下することがある。

※ 詳細な比較は難しいが，勝浦沖などの通信状況は，後述するFTP転送による接続確認の結果とよく整合している。



接続速度の計測結果



【参考】FTP通信時間の計測結果

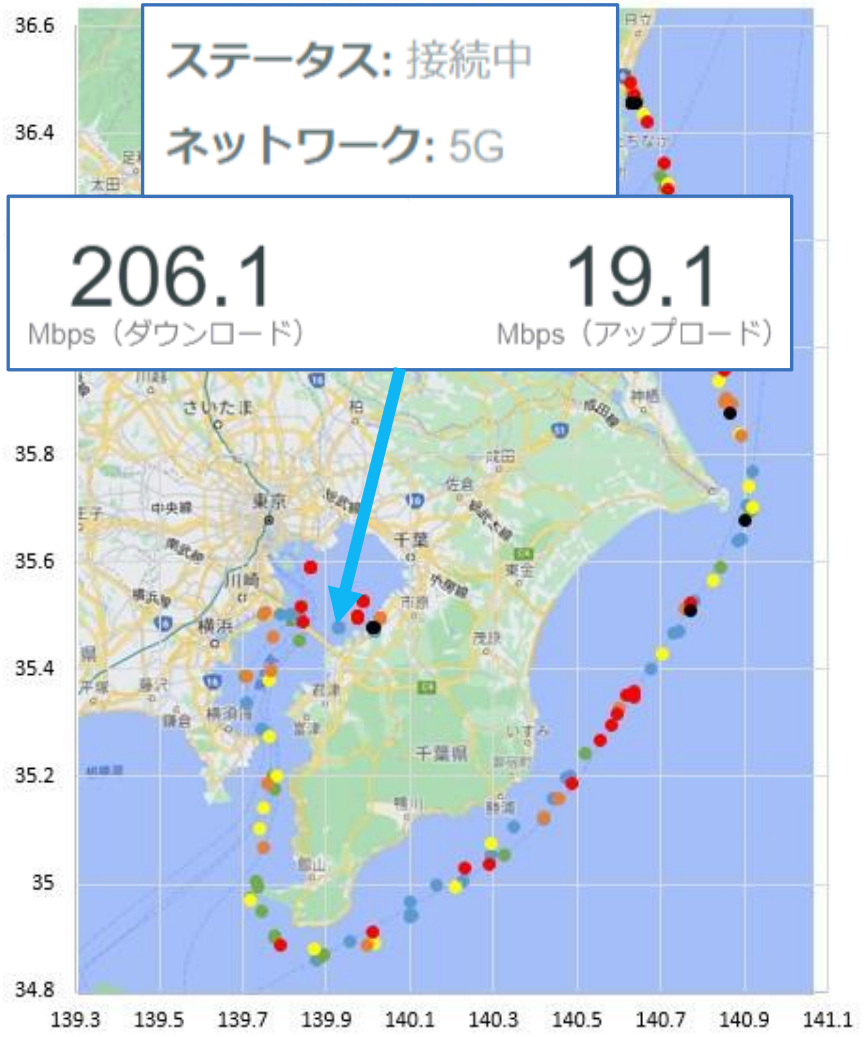
6. 船陸間インターネット接続状況の詳細

(2) 5G接続の検証

- 計測期間中，5G接続は袖ケ浦沖で1度だけ確認できた。
- 位置はドコモのサービスエリアマップと一致する。
- 川崎側は5Gエリアから離れているため，計測時4Gの表示であり一度も5G接続はできなかった。
- その他の位置では4G又は4G＋の表示であり5G接続は不可であった。

※　本検証は5Gルーターに詳細ログが残らないため，本船のPCにリモート接続し手動による計測を行っている。

- 5Gは高い周波数帯を使用しており，遠方まで届きづらいため，エリアマップ上の5Gエリアからわずかでも離れると接続不可となる。



7. FTP転送による船陸間インターネット接続状況の確認

(1) 計測の概要

- Speedtestではより正確なインターネット通信速度を測定できるものの，計測時の通信量が大きく，連続的な計測が難しい。
- そのため，船内有線LANにより5Gルーターと接続されたPLCに，通信量が小さく，連続的な計測が可能な計測用プログラムを実装し，接続性を確認した。
- 計測用プログラムでは，15分毎に約50kBのファイル※1を一定の陸上FTPサーバからダウンロード※2し，そのときの通信時間[msec]を計測・記録する。
- 制限時間を10秒とし，制限時間内にダウンロードができない場合は「Time over」として処理する※3。

通信時間が大きいほど，インターネット通信状況が悪い。

FTP通信時間計測画面

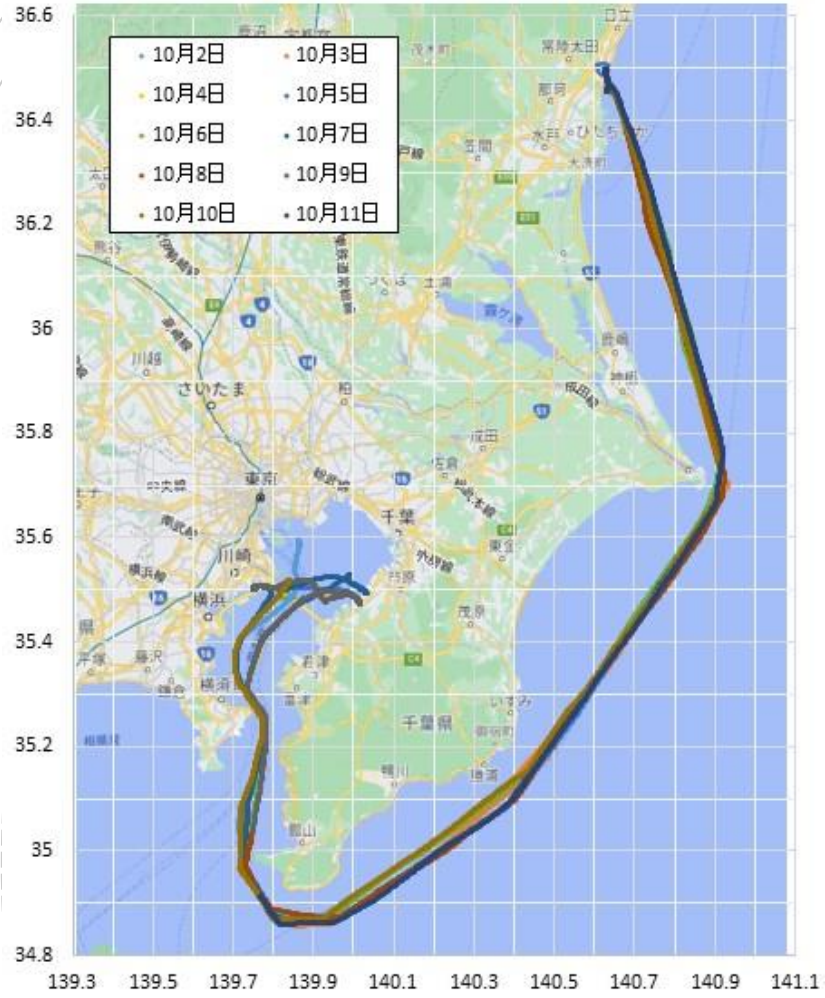
※1 正確なネットワーク速度を計測・評価するためには，大容量ファイルの転送が望ましいが，今回は過大なネットワーク負荷を与えないようにするため，小さいファイルを用いている。

※2 正確なインターネット接続状況の評価にはダウンロード速度とアップロード速度が必要である。今回は過大なネットワーク負荷を与えないようにするため，ダウンロード時間のみを自動で計測している。

※3 約50kBのファイルをダウンロードする最短時間は1.5sec程度である。

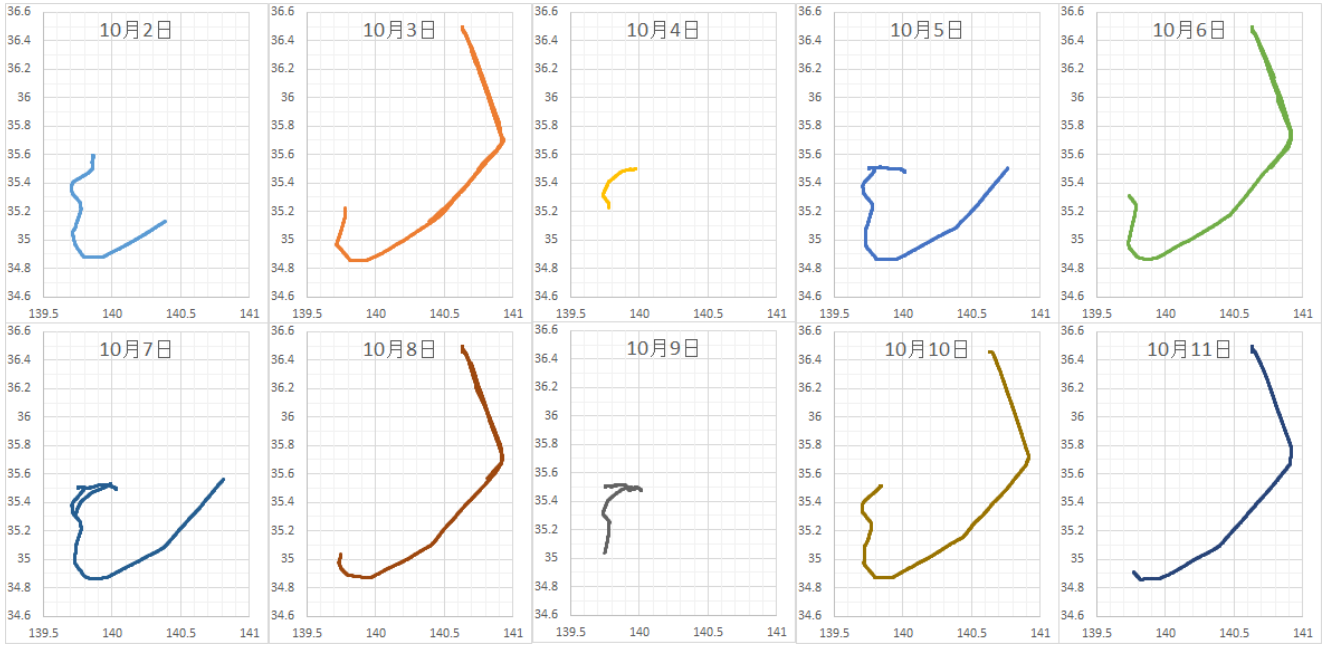
7. FTP転送による船陸間インターネット接続状況の確認

(2) 計測時の航路



本船の10日間の航跡

- 2021/10/2～10/11の10日間，前述の計測用プログラムによる計測を行った。
- この計測期間中，東京湾（川崎，千葉）と日立の間を4往復程度している（左図）。



各日（0:00-24:00）の航跡

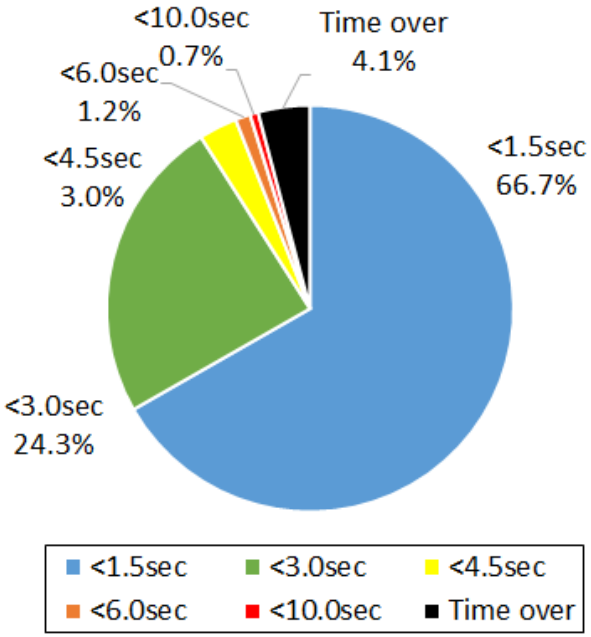
7. FTP転送による船陸間インターネット接続状況の確認

(3) 船舶の場所に対するFTP通信時間の計測結果

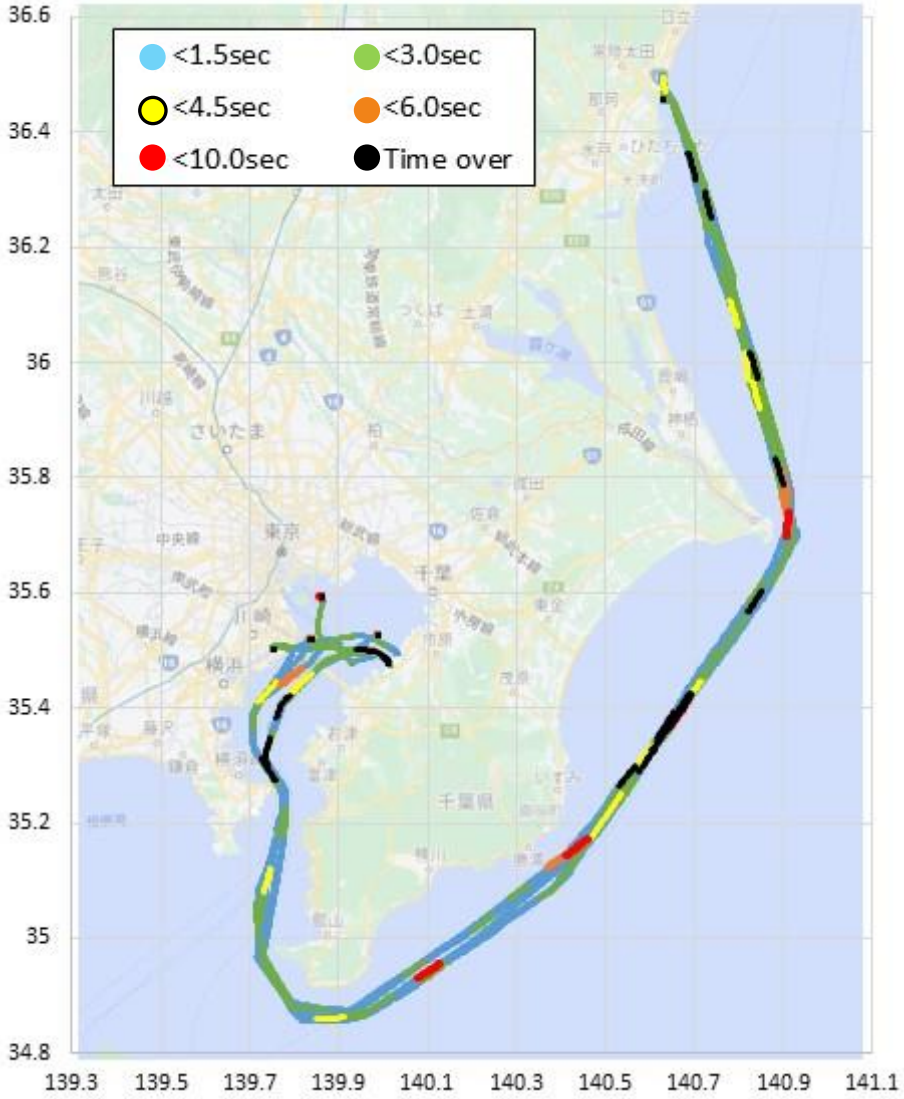
- 浦賀付近や東京湾内，日立-勝浦間の岸から離れた場所でTime overとなることがある。
- 計測期間中の90%以上は概ね良好（通信時間3sec以内），約4%が通信不良（Time over）であった。

※ 計測期間中，長時間の通信不良（Time over，11時間）が発生した（次ページ参照）。

※ 船陸間の通信状況ではなく，船内機器の不具合が原因であると考えられるため，その11時間のTime overを除外してデータを整理した。



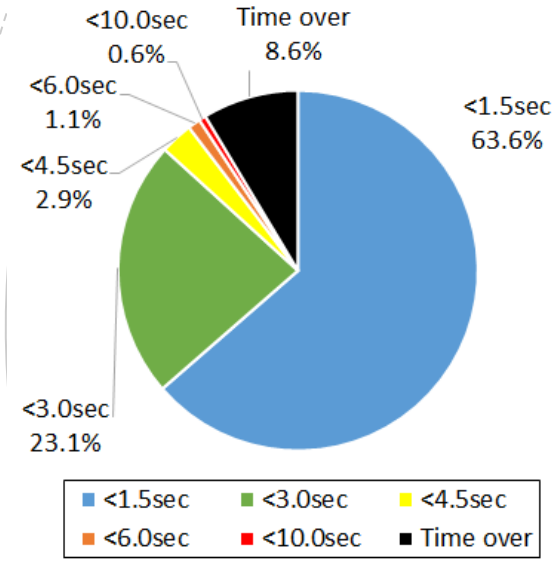
通信状況の時間割合



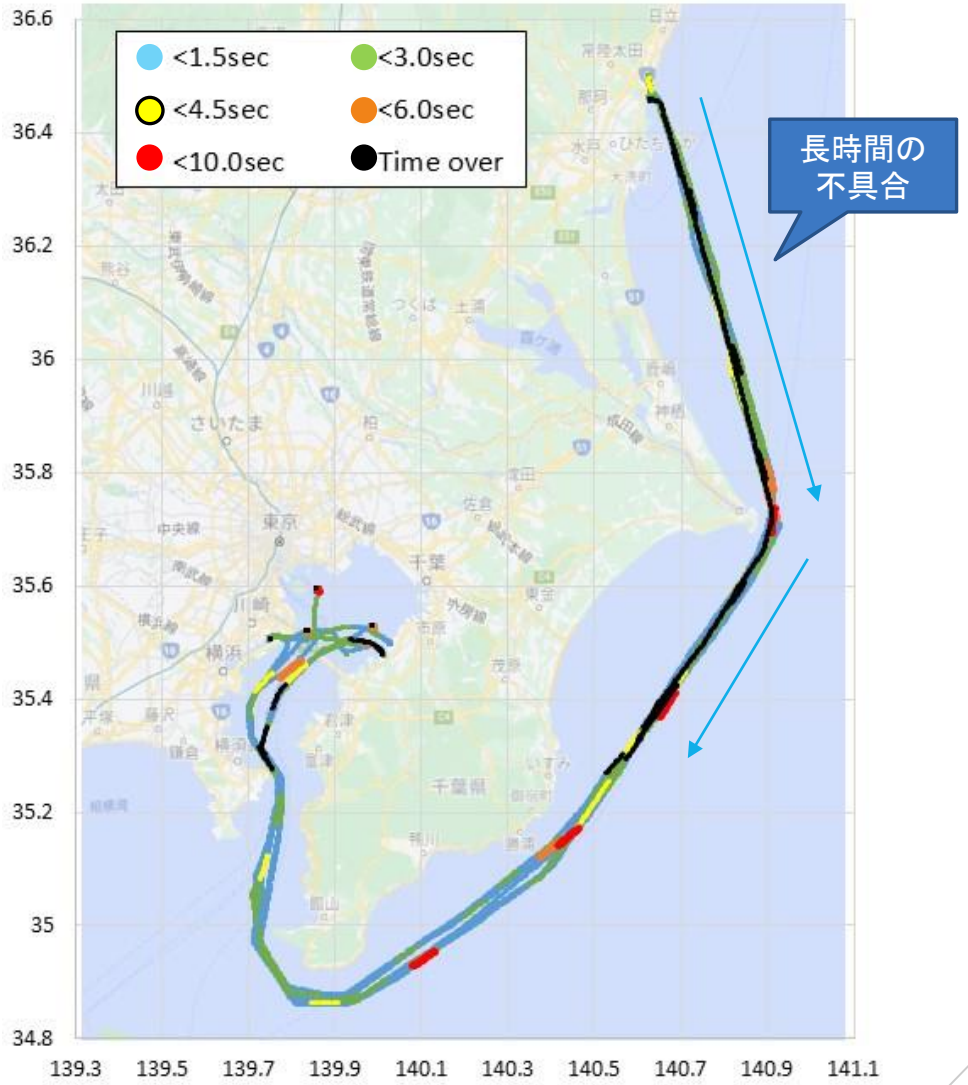
FTP通信時間の計測結果

【参考】船陸間インターネット接続状況の不具合

- 2021/10/10 17:00～10/11 4:00までの約11時間，長時間の通信不良（Time over）が生じている。
- 4G・5Gルータの再起動により復旧したため，原因は4G・5Gルータの不具合と考えられる。
- 日立-銚子沖のTime over（黒色）は複数の航海うち，1回だけである。常に同じ場所で通信状態が悪いのではない。



通信状況の時間割合（長時間不具合を含む）



FTP通信時間の計測結果

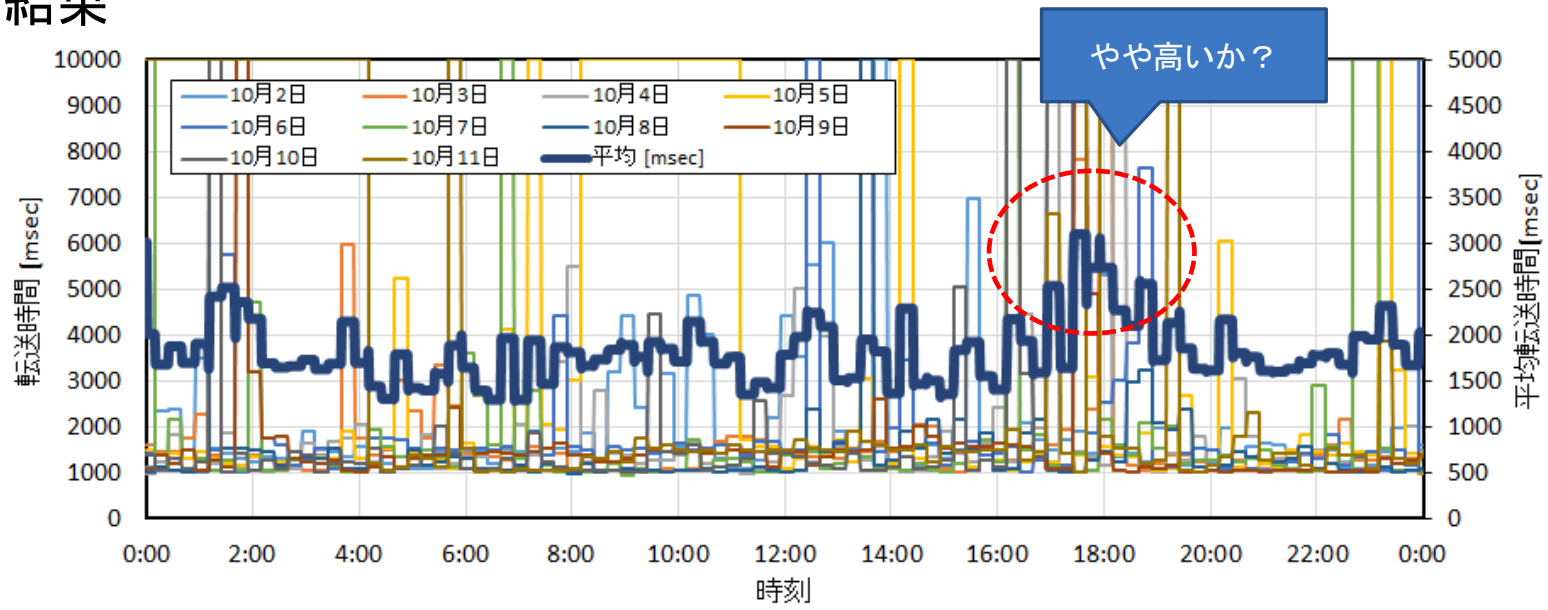
7. FTP転送による船陸間インターネット接続状況の確認

(4) まとめ

- FTP転送によって船陸間インターネット接続状況を確認した結果，試験期間の10日間において，90%以上は概ね良好（通信時間3sec以内），4.1%が通信不良（Time over＝10sec以上）であった。
- 試験期間中，約11時間もの長時間通信不良（Time over）が生じた。ただし，船陸間の通信状況ではなく，船内機器の不具合が原因であると考えられるため，その11時間のTime overを除外してデータを整理している。

【参考】時刻に対するFTP通信時間の計測結果

- 計測期間中の時刻に対するFTP通信時間の関係を調査した。
- 10日間の平均では，時刻の影響は大きくない。
- 18:00頃にやや通信状況が悪化しているように見受けられるが，データ数が少なく，船内の使用状況か，陸上側あるいは船体位置の状況かはわからない。



FTP通信速度の計測結果

8. インターネット接続状況の確認

(3) 大容量データの通信状況の確認

- ウェブ会議
  荷役中はバースのルールでスマートフォン等の機器類は使用不可の為，袖ケ浦沖停泊時に利用した。その結果，表情が読み取れるほどの映像品質である事を確認した。
- インターネットTV
  船員へのヒアリングよると，勝浦沖等の接続速度が遅い海域以外は画質が悪化することがあっても接続は可能だった。
- データ通信量
  インターネットTVのほか，7人の船員がWi-Fiを利用した結果，9月1日～26日までの間で261GB（1日当たり10GB）を利用した。なお，インターネットTVは最高画質で1時間1GBの通信量である。
- 通信速度規制
  通信契約のミスにより3日間ほど通信規制がかかったが，その間，インターネットTV等は接続不可であった。一方，LoRaの計測データは陸上へ送信できていた（GPSデータを継続的に送信できていることを確認）。

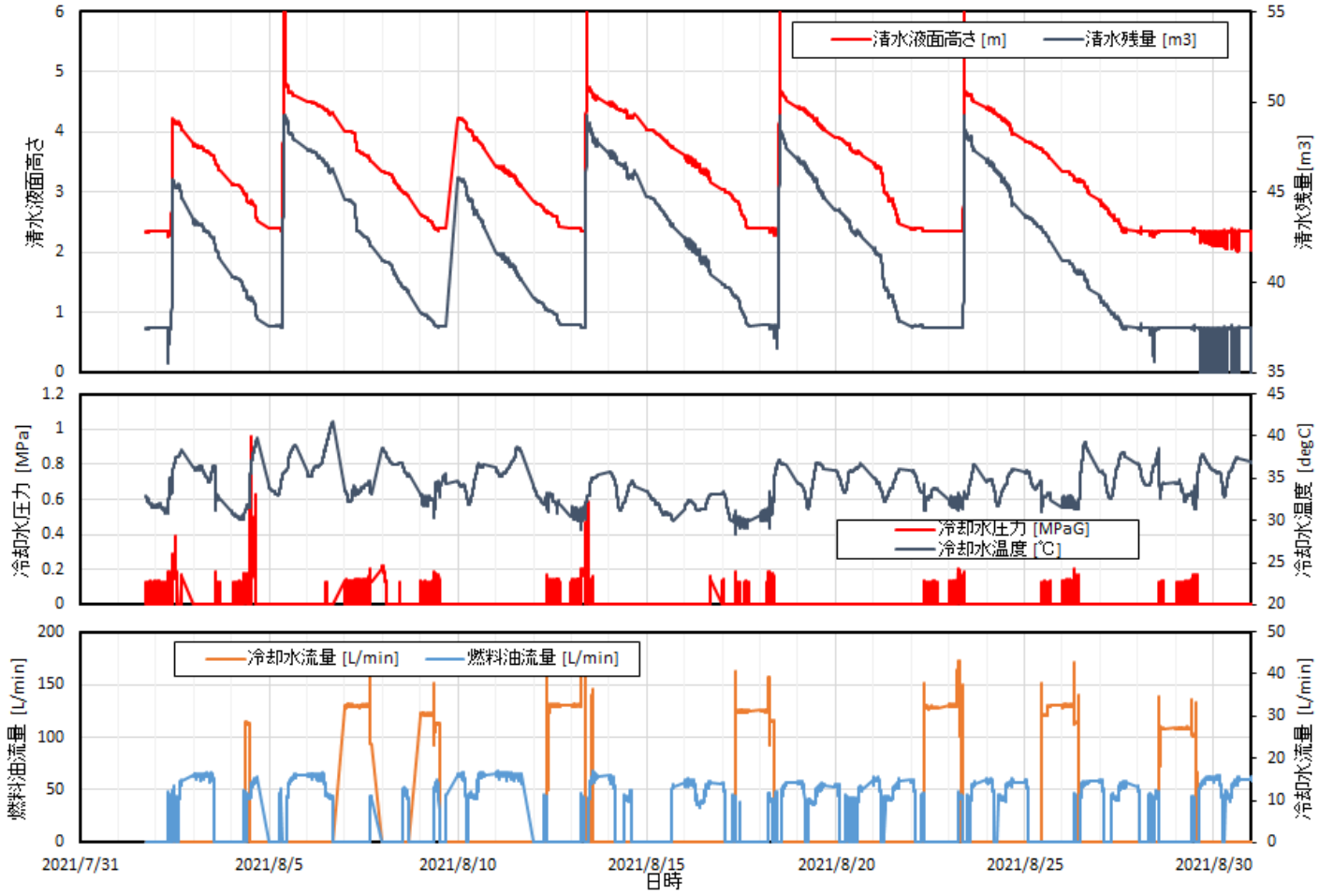
ストリーミング配信映像（最高画質）

インターネットTV本体

9. 有線LAN接続の各種センサの状況確認

- 機器設置直後より，清水液面高さや圧力などの計測は概ね適切であることを確認されている。
- 船内における状態監視およびインターネット経由の陸上監視についても，適切に機能することを確認した。

状況監視画面（Webブラウザ）



各種センサによる計測結果の例

１０．まとめ

① LoRa通信のデータ欠損

- ブリッジ内で近接したLoRa通信機器同士（GPSトラッカー）の欠損率は1.9%，比較的通信距離が長い船首-ブリッジ間におけるLoRa通信の欠損率は3.5%であった（計測期間：2021/9/1～9/10）。
- ブリッジ内LoRa通信で計測されるGPSトラッカーのデータを確認した結果，99.5%以上は正常であることを確認した（計測期間：2021/10/2～10/11）。

② LoRa機器を用いた船員の労働安全衛生向上のためのデータ取得

- 船員の労働安全衛生向上の対策を検討するため，数名の船員に腕時計型のトラッカーを装着し，カロリー，心拍数，歩数，皮膚温度の計測結果をまとめた。
- 装着者によると「腕時計は便利だがバッテリーの管理が面倒である。」とコメントしている。
- 船主は「装着者の情報が数値が羅列される為，後ほど表計算ソフトでグラフ化する必要があり，異常に気が付きにくいが，作業時間や場所が把握できるため運用によっては便利である。」とコメントしている。

③ LoRa機器を用いた船内のIoT化のためのデータ取得

- 上記の通り，船首油圧ポンプユニットとブリッジ間のLoRa通信の欠損率は3.5%であり，概ね良好な結果が得られた（計測期間：2021/9/1～9/10）。
- 一方，センサの不具合（設置を含む）は確認されたもの，その原因等の詳細な解析には至っていない。船内IoT化を活用するためには，より詳細な検討が必要である。

④ 船陸間インターネット通信状況（海上での電波環境）

- 浦賀付近や東京湾内，日立-勝浦間の岸から離れた場所で通信不良が生じることがある。
- FTP転送によって船陸間インターネット接続状況を確認した結果，90%以上は概ね良好（通信時間3sec以内），約4%が通信不良（Time over）であった（計測期間：2021/10/2～10/11，長時間の機器不具合を除く）。
- 計測期間中，5G・4Gルータの不具合が原因と考えられる約11時間もの長時間通信不良を確認した。
- PC用ソフトウェア「Speedtest」を使用してインターネット通信速度を計測した結果，勝浦沖などの通信状況は，FTP転送による接続確認の結果とよく整合している。ただし，詳細な比較・評価は難しい。
- 計測期間中，5G接続は袖ケ浦沖で1度だけ確認できた。位置はドコモのサービスエリアマップと一致する。
- インターネット接続をした状態で，大容量データの通信状況を調査した結果，ウェブ会議や動画再生に支障がないことを確認した。ただし，機器の仕様上，同時刻に通信速度を計測することができなかったため，単位時間当たりのデータ使用量と通信速度との比較には至らなかった。

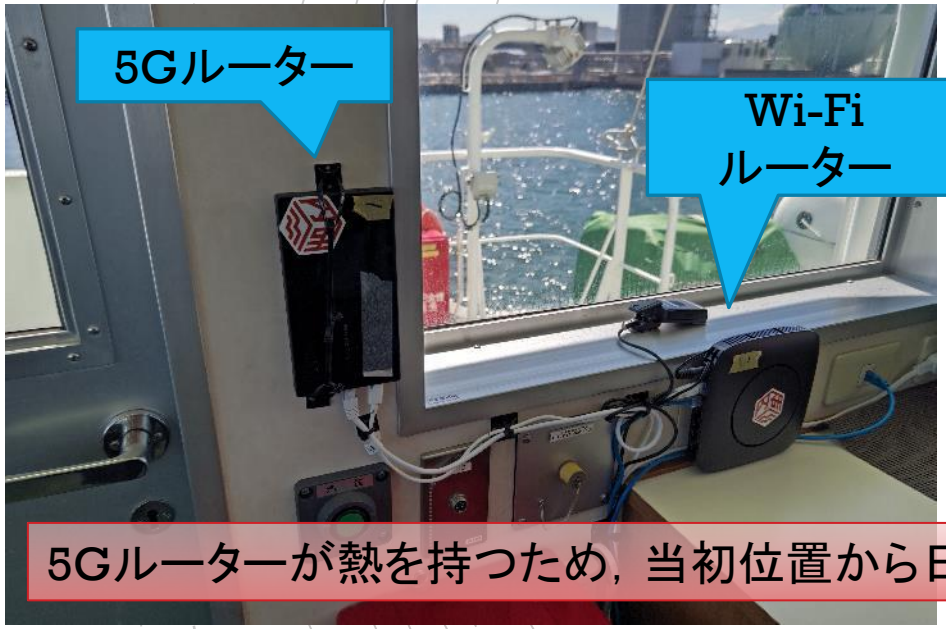
⑤ 船内IoTセンサの動作状況

- 有線LANにより接続された各種センサの計測が概ね適切であることを確認した。
- 船内における状態監視およびインターネット経由の陸上監視についても，適切に機能することを確認でき，本船に設置した計測システムは，船内IoT化を活用するために有用であると考えられる。
- 詳細な評価には至っていないが，本船による計測データ程度の通信量であれば，支障がほとんどない通信環境であると考えられる。

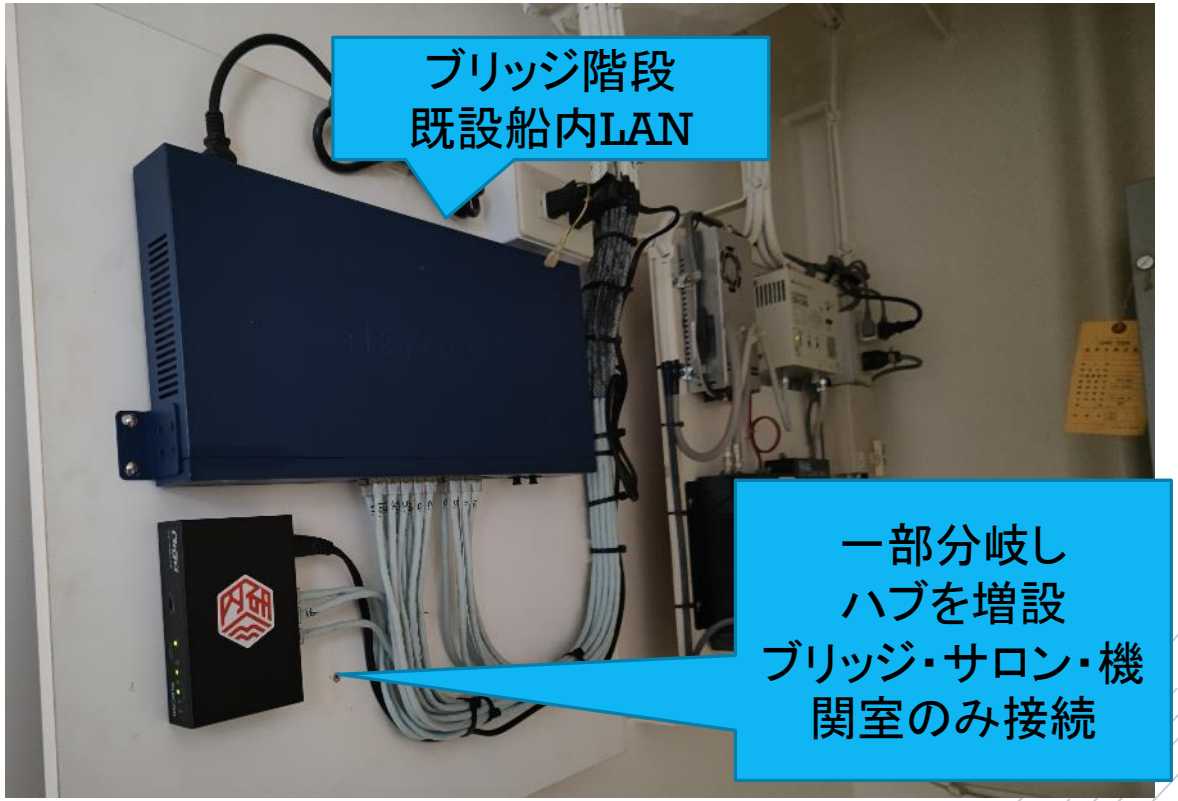
スマートスピーカー
5Gルーター
Wi-Fi
ルーター
LoRaゲートウェイ
消火器
Exit

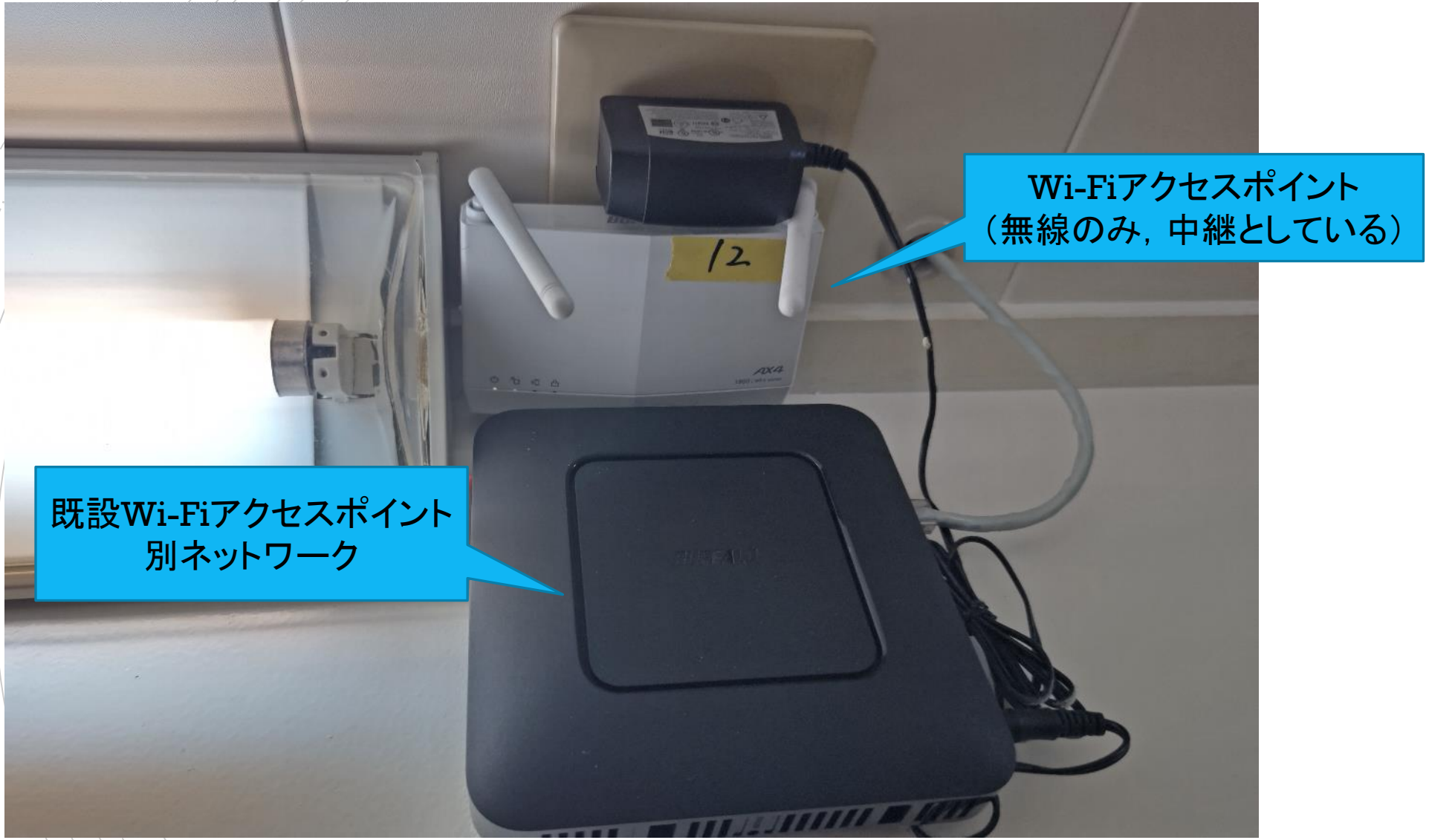
【付録】ブリッジ取付状況　詳細

既設船内LANを利用できたことで配線工事が最小となった。
しかし新造時の図面と実物に違いがあったり，他機器が接続している等，予期していない事が発生。
現仕様を紐解くのに多くの時間が掛かった。



5Gルーターが熱を持つため，当初位置から日陰に移動




Wi-Fiアクセスポイント
（無線のみ，中継としている）
既設Wi-Fiアクセスポイント
別ネットワーク

【付録】サロン

PC後ろにWi-Fiアクセスポイント
有線接続（イーサネットバックホール）

本PCにリモート接続しPLC，データ活用ユニットの設定を行う

下部棚にPLC，データ活用ユニットを設置

Wi-Fi接続，データ活用ユニットにブラウザでログイン，PCと同様の画面を閲覧

機関室用LoRaゲートウェイ

LoRaゲートウェイ用PoE

機関室後方，壁にアングルを
溶接しウォルボックスを固定

通信モジュール用電源
24V4A(初期は1Aアダプター，電源不足
により一部センサーが不安定だった)

通信モジュールに
各センサーを入力

【付録】機関室　停泊用補機 圧力計･流量計

冷却水
圧力計
P1：GP-M250T

数値は概ね正常
取付時，すぐに動作確認が出来る環境が理想

冷却水
流量計
40A
P3：FD-R50

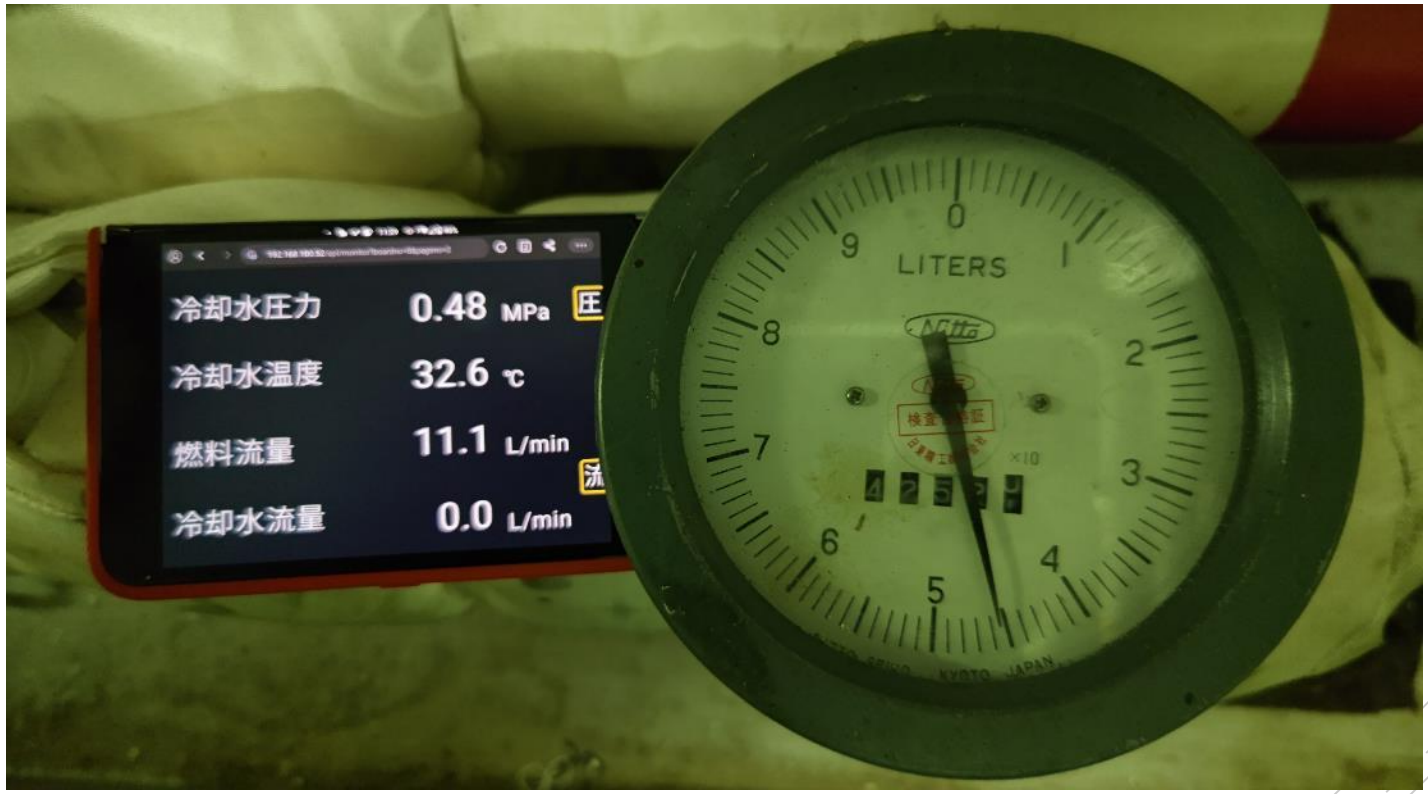
当初はFD-Qを取付
上下のフランジにやや干渉しているため，密着できていなかったことから，計測不可だった。
再訪船の機会にFD-Rに変更，計測可となった。

精密な計測→FD-Q
大まかな計測→FD-R
ミリリットル単位の細かな精度の話であり，船舶であれば計測精度に大きな差はない。

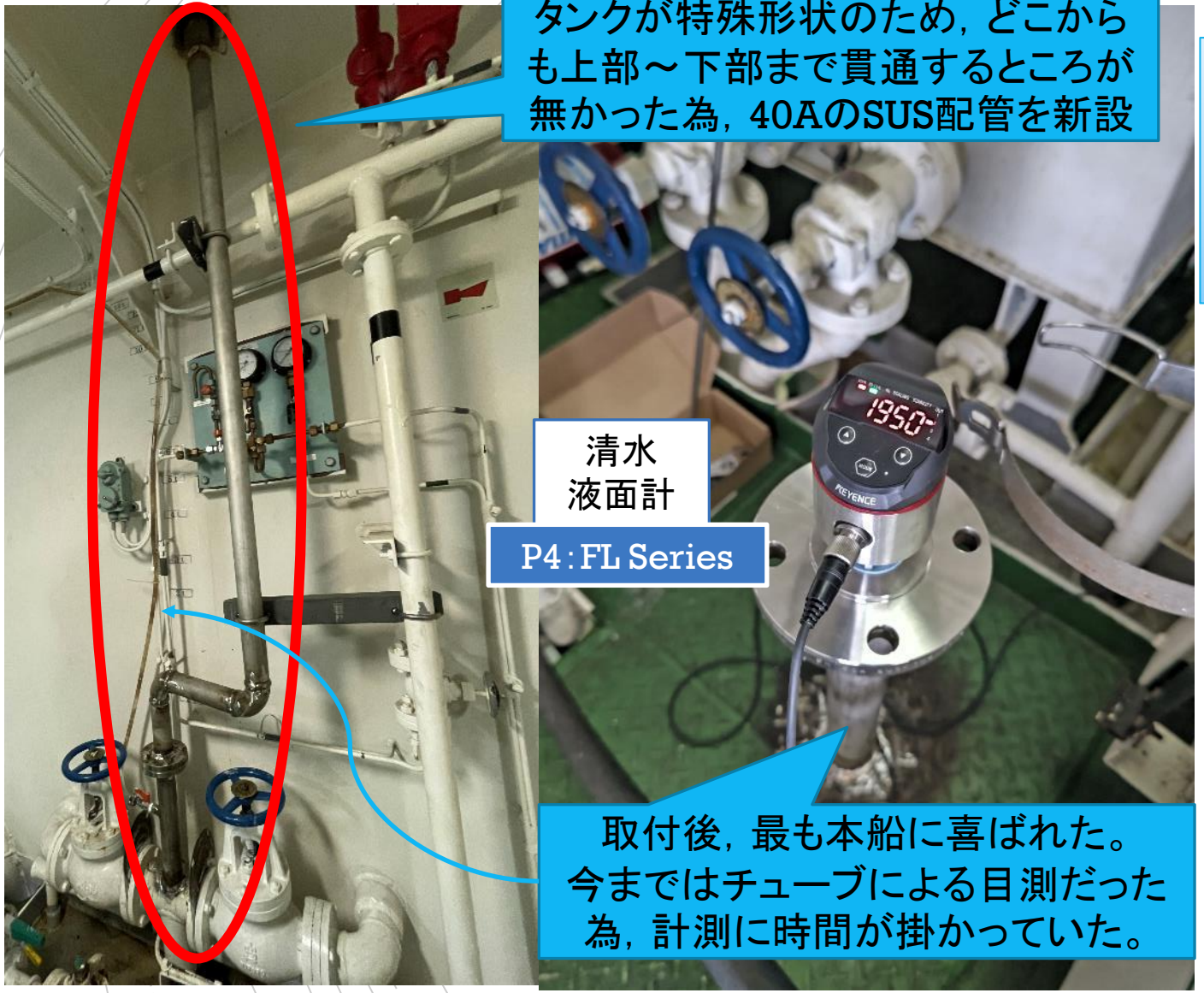
【付録】機関室　停泊用補機 圧力計･流量計

配管表面が60℃ほどになる。
センサは問題無いが配線の取り回しに注意

数値は1割ほどズレがある
計測値 11.1L/min　・　手計測 9L/min
配管系統によって，主機からの戻りの燃料を計測に含んでいるため。



【付録】機関室　清水タンク液面計



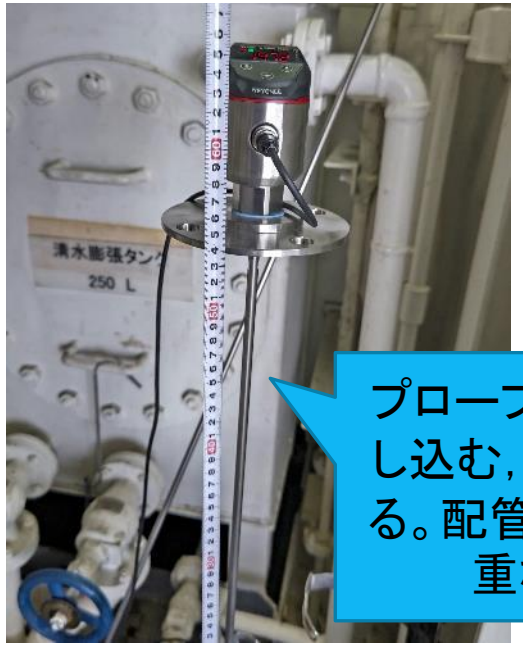
タンクが特殊形状のため，どこからも上部～下部まで貫通するところが無かった為，40AのSUS配管を新設

清水
液面計

P4：FL Series

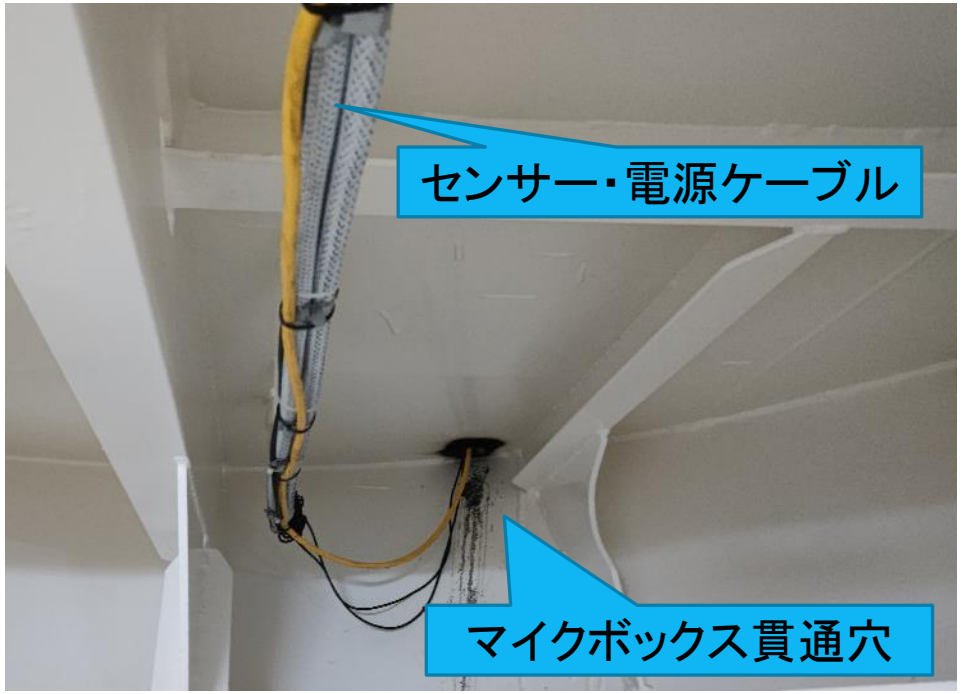
取付後，最も本船に喜ばれた。
今まではチューブによる目測だった為，計測に時間が掛かっていた。

配管設計・作成・プローブ差込時の計測が大切
事前の設計打ち合わせでミリ単位の寸法を出しておくと，現場で計測に困らない。
今回は配管，現場合わせ製作，手計算＋スケールによる計測。概ね予測通りの数値が表示できている。



プローブ4425mmを配管に差し込む，2000mm毎に連結する。配管が分解不可のため慎重な作業を要した。

【付録】船首油圧ポンプユニット 圧力計・流量計 LoRa

メーカーに取付を依頼
圧力計はアナログゲージと共存する配管を現場にて作成。

LoRa送信機
油圧始動時は蓋を開けるため送信状況が良い
（蓋を閉めていても送信可であることが後に判明）