



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。



明日を担う
交通ネットワークづくりに貢献します。

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 2022年度技術調査

内航貨物船における電力線通信による 船内通信環境の整備に関する調査

目 次

1. 目的
2. PLCの説明と内航船舶の現状
3. 船内環境の構築
4. 調査項目と結果
5. 活用方法の検討と課題
6. まとめ

1. 目的

- 本調査では追加配線が不要な通信方式である電力線通信（以下、PLC=Power Line Communication）について、船舶に導入した場合の通信速度等の特性を明らかにすること、また、それを踏まえ船内通信での活用の可能性を検証することを目的とする。
- 目的達成の為、下記調査を実施する。
 - （１）船内通信環境の構築
船内の各拠点にPLCの通信機器を設置し、PLCによる船内通信環境を構築する。
なお、PLCと比較がしやすくするため、Ethernetが敷設されている船舶を選定する。
 - （２）通信速度等の測定
既存のEthernetとPLCの船内通信環境において、通信速度と遅延及びデータ欠損率を測定・比較する。
①既存のEthernetとPLCの速度計測・比較 ②相の違いによる速度計測・比較 ③定期的な速度計測・安定性の確認
 - （３）船内通信環境の活用方法の検討
測定結果を踏まえ、活用方法や導入効果を検証するとともに、通信環境に起因する課題を洗い出す。

下記手順で調査を実施する。

- ① 基本構成イメージを元に機器設置
- ② 既存のEthernetとPLCの速度計測・比較を実施
- ③ 相の違いによる速度計測・比較を実施
- ④ 定期的な速度計測・安定性の確認のための機器構成とし、実運航の中で調査を実施、同時に船内通信環境の活用方法検討のため船員利用を実施する。

- 船名：航成丸
- 船主：たをの海運株式会社
- 総トン数：499t
- 全長×幅×深さ：74.82m×12m×7.17m
- 主機：阪神内燃機工業LA30G 1,800ps
- 竣工：2019.7
- 建造：山中造船株式会社



航成丸はEthernetが整備されていることから、PLCを設置することで比較がしやすいため選定した。

2. PLCの説明と内航船舶の現状

PLCとは

PLCは、電力を供給している既存の電力線を利用して高周波の通信用信号を重畳して伝送させることにより、電力線を通信ケーブルとしても使用する技術のこと。

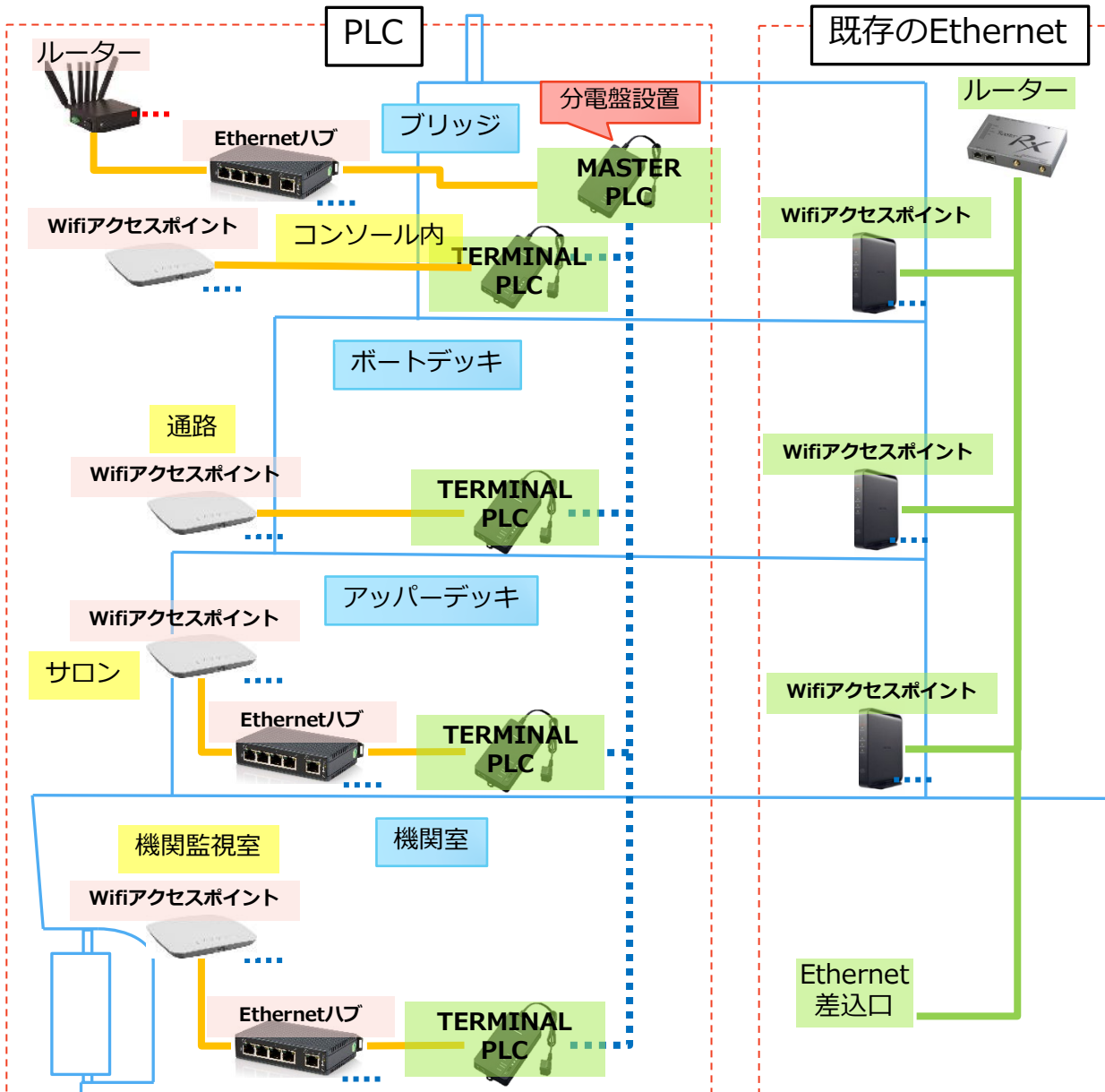
内航船舶の現状

既存船の船内に新たな通信ネットワーク環境を構築するには、新たな配線を敷設する必要があり、高額な費用が発生する。また、wifiの電波が届きにくく、快適に利用するには船内に多くのwifiアクセスポイントが必要である。



PLCを用いると配線工事のネックとなる穴あけ工事や階層を跨ぐ長距離の配線敷設工事も不要である。また、各居室等にwifiアクセスポイントを設置する事で、新たな配線を施設する必要がなくなる。PLCを用いる事によって既存船での通信ネットワーク環境を構築しやすい。

3. (1) 船内通信環境の構築 基本構成イメージ



- 船内に整備されている既存のEthernetとは別にPLCを用いた船内通信環境を構築した。
- 計測や比較時によって船内通信環境に違いがあるため各項で詳細を説明する。
- 左図は基本構成イメージ（略図）であり、既存のEthernetとPLCの船内通信環境が別のネットワークであることを示す。
- PLCを用いたネットワークが左側、既存のEthernetを右側であり、ルーター・PLC・wifiアクセスポイント・有線Ethernet差込口以外の機器類は基本構成イメージから省略している。
- 基本的にブリッジにルーター、各デッキにwifiアクセスポイントを設置。ブリッジとアッパーデッキと機関室には他機器類の設置が多いためEthernetハブを設置している。
- 分電盤やブレーカー等を跨がなかったため、中継器を追加で設置する必要はなかった。
- PLCは親機となるMASTER設定をした1台と子機となるTERMINAL設定をしたPLCを複数台で構成され、最低でも2台以上のPLCが必要となる。
- MASTERとなるPLCはブリッジ内の分電盤内に設置とし、以降の計測は全て本PLCを通して計測となる。

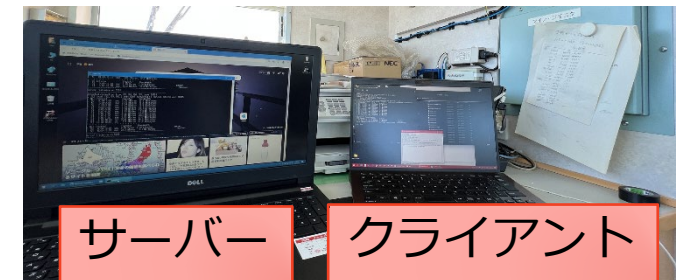
4 - 1. (2) 通信速度等の測定 速度計測の方法

- 速度計測にはiPerf3を使用する
- ブリッジにパソコンを設置しiPerf3をインストールしたサーバーとして利用する
- 各測定箇所からクライアントパソコンをEthernetまたはwifi(2.4Ghz帯)に接続し測定する
- クライアントからサーバーへ送信する際の速度を計測値とする
- 各測定の違い
 - ①既存のEthernetとPLCの速度計測・比較
それぞれのネットワークでEthernet・wifiのどちらにも接続し計測を実施する
 - ②相の違いによる速度計測・比較
AC100VのRS・ST・RTを各箇所、居室や船首ストアから計測を実施する
 - ③定期的な速度計測・安定性の確認
運航時にアッパーデッキ・機関室に設置した計測用PCを用いた。定期的に30分に1度計測を実施し遅延及びデータ欠損率が計測結果等に現れるか調査する

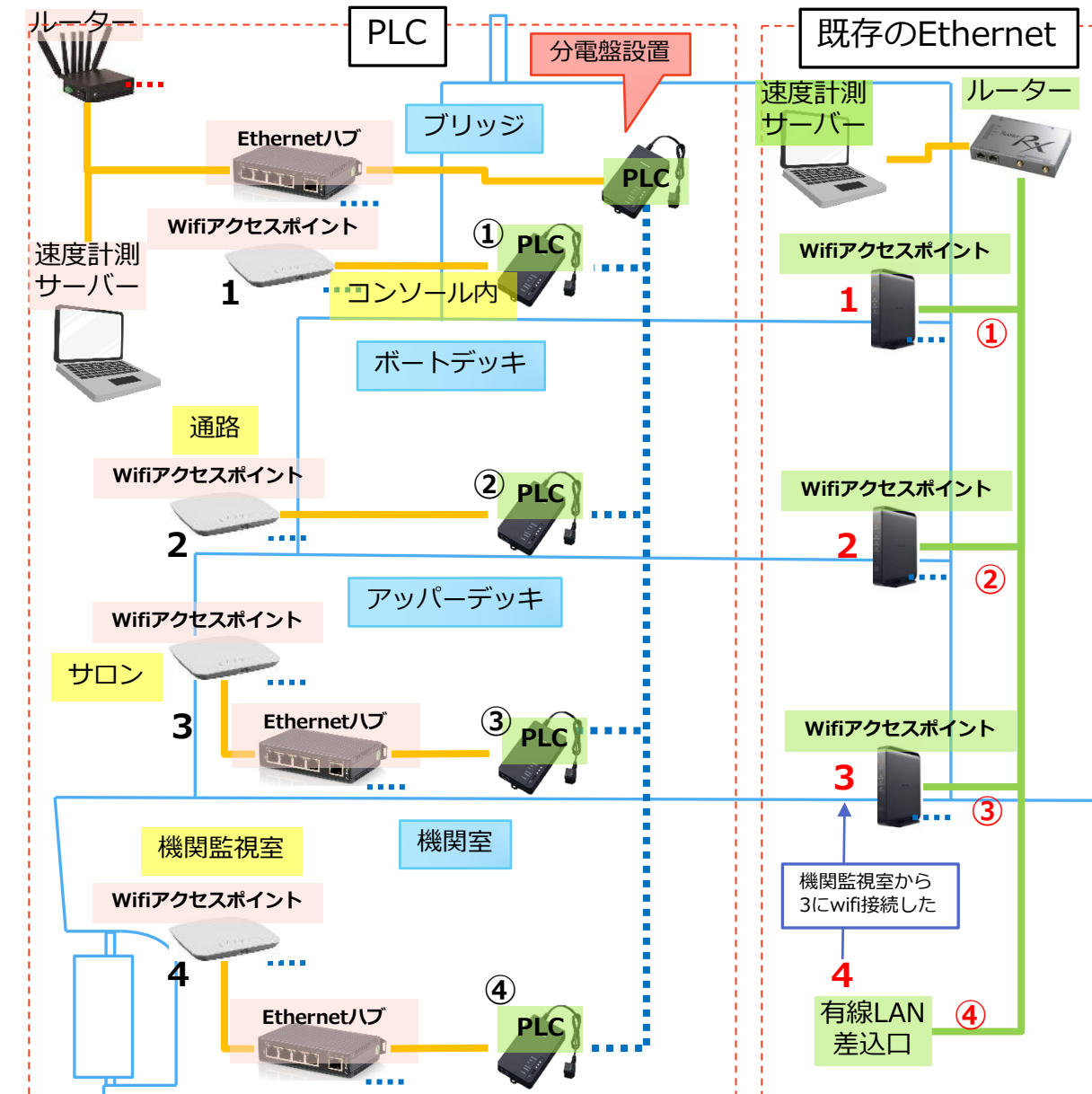
※iPerfとは

iPerf はネットワークパフォーマンスの測定とチューニングを行うためのツールである。これは様々なネットワークの標準化されたパフォーマンス測定値を生成できるクロスプラットフォームツールである。iPerfにはクライアントとサーバーの機能があり、両端間のデータストリームを作成して一方向または双方向のスループットを測定できる。

サーバーとクライアントの様子



4-2. ①船内LANとPLCの速度計測・比較



船内LANとの速度比較ができる経路を構築した船内通信環境を用いて整理したイメージを左図に示し、下記に詳細を記載する。

- ブリッジに設置した速度計測サーバーとEthernet・wifiの各箇所計測を実施する。
- PLC側ネットワークは必ず分電盤内に設置したPLC (MASTER)を介して計測した。
- 既存のEthernet側ネットワークは既存設備を利用する。
- 左図の計測箇所番号

①・②・③・④

黒：PLCアダプタにクライアントパソコンをEthernetで接続

赤：LANケーブルに直接クライアントパソコンを接続

1・2・3・4

黒：PLCアダプタにwifiアクセスポイントを接続し、PLCを通して計測できる環境

赤：wifiアクセスポイントに接続

- 既存のEthernet側の機関監視室にwifiアクセスポイントが設置されていないがPLC側と比較するため計測した。
(「4」の計測箇所)

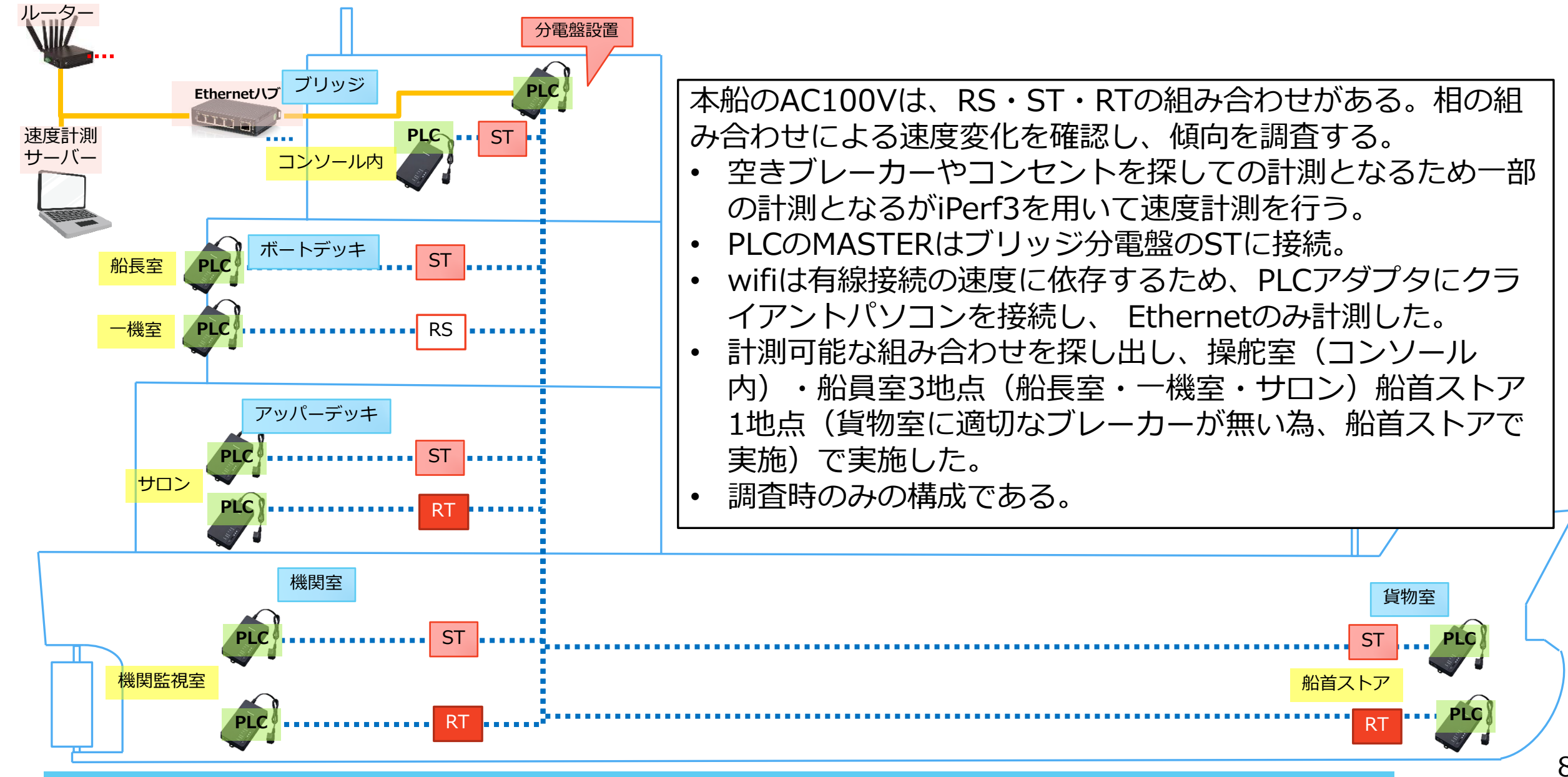
4－3．①既存のEthernetとPLCの速度計測・比較 結果

- PLCと既存のEthernetの速度一覧を下表にまとめた。
- PLCと既存のEthernetの有線接続ではあきらかな速度差があった。
- PLCのwifiはスループット（データ処理能力）に十分余裕があり、元々のPLCの通信速度が遅いことから速度低下しにくいと予想。
- 既存のEthernetのwifi規格（2.4Ghz）の速度としては一般的である。機関監視室はwifiアクセスポイントが設置されていないため、サロンのwifiアクセスポイントに接続した計測値であり低速。

PLCと既存のEthernetの速度比較 結果一覧表 （単位：Mbps）
（各速度左側にP5の計測箇所番号を示す）

通信方法 サーバーとの 通信箇所	PLC				既存のEthernet			
	有線接続		wifi		有線接続		wifi	
ブリッジ/コンソール内	①	26.2	1	22.9	①	905	1	347
ボートデッキ/通路	②	16.9	2	16.9	②	888	2	268
アッパーデッキ/サロン	③	25.2	3	25.0	③	842	3	293
機関室/機関監視室	④	26.3	4	26.2	④	178	4	4.39

4-3. ②相の違いによる速度計測・比較



4-4. ②相の違いによる速度計測・比較 結果

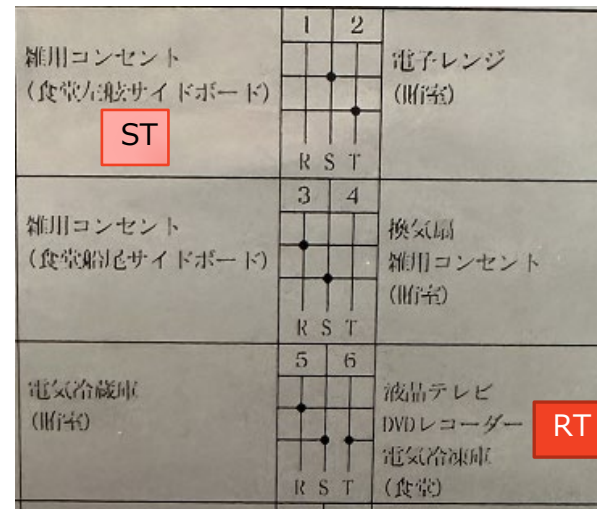
相の違いによる速度一覧を下表にまとめた。

- ST・ST間は速度のバラツキが少なく安定して速度が出ている。
- ブリッジ～機関監視室間が最速である。他の箇所はブリッジまたは機関監視室の分電盤を経由していることから速度が低下しやすいと考えられる。
- ST・RS間とST・RT間はST・ST間の約半分の速度になっている。ブリッジ～船首ストアのST・RT間では速度が大幅に低下しているが、エラーはでなかった。
- 同じ相で接続することが望ましいが、違う相で通信したとしても数値データのみでの通信であれば充分活用できるレベルである。

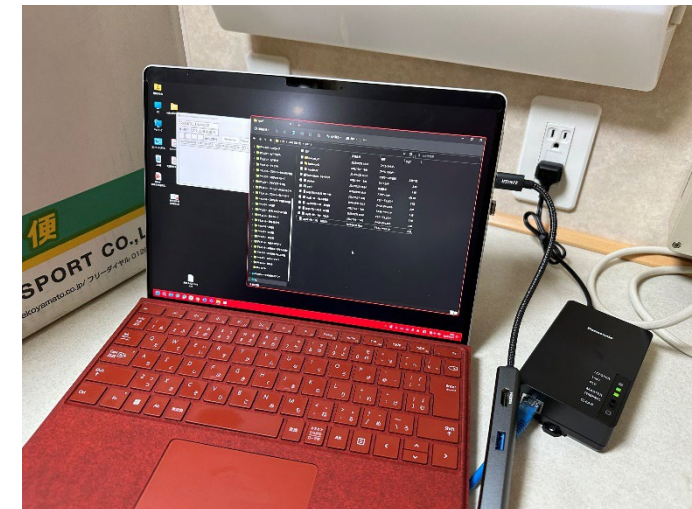
相の違いによる速度計測一覧表（単位：Mbps）

サーバーとの接続箇所	相	速度
ブリッジ/左舷	ST	10
ボートデッキ/船長室	ST	10.6
ボートデッキ/一機室	RS	5.25
アップーデッキ/サロン	ST	9.42
	RT	4.51
機関室/機関監視室	ST	12.1
	RS	5.76
船首ストア	ST	7.55
	RT	2.20

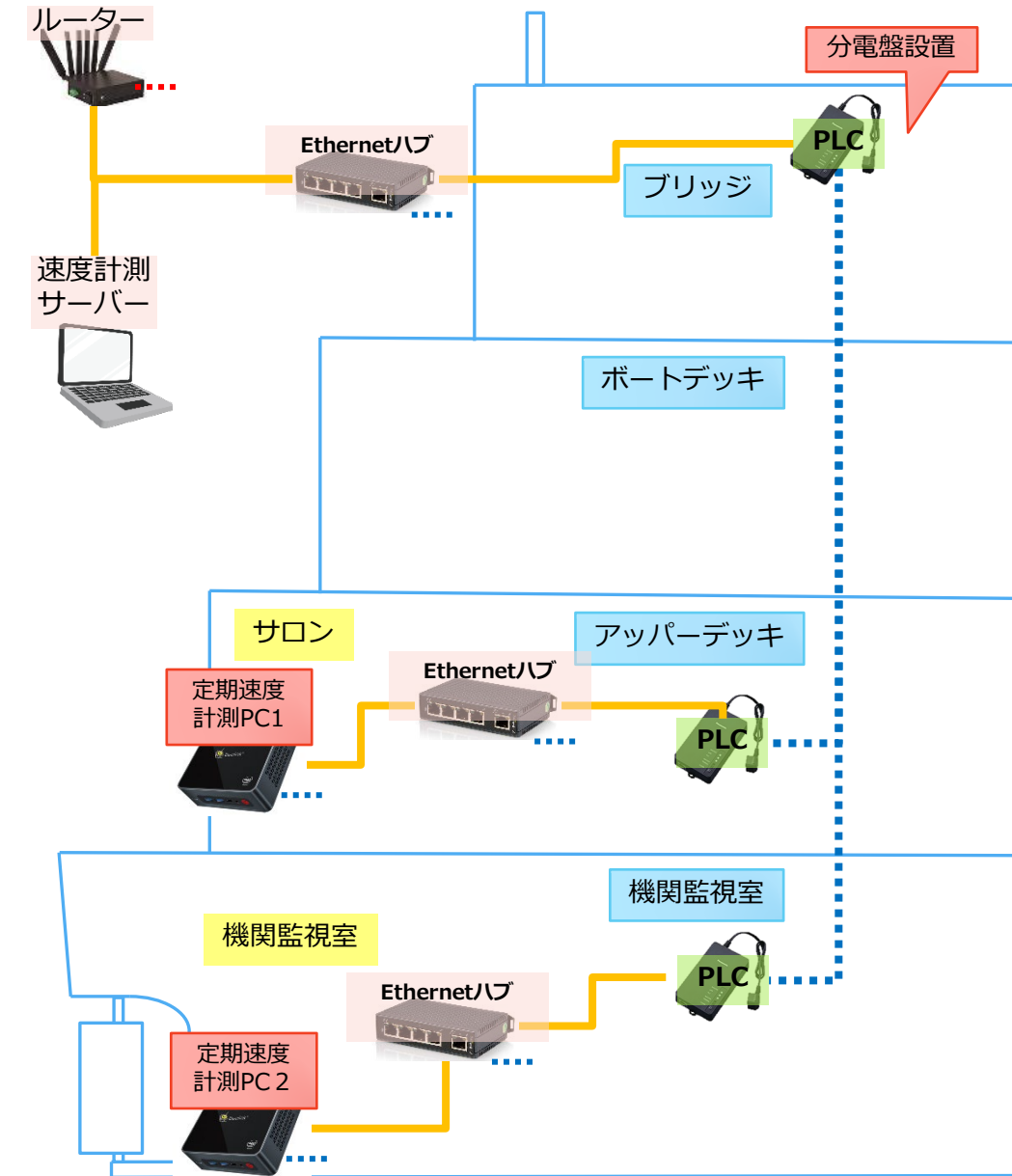
簡略結線図



測定の様子（船長室）



4 - 5. ③定期的な速度計測・安定性の確認



定期的な速度計測でPLCの安定性を分析・確認する。

- ・ サロンと機関監視室に設置した定期速度計測PCで速度計測したデータを分析する。
- ・ 15分に1度計測するが負荷分散のため、PC1は毎時15分・45分、PC2は毎時0分・30分に計測する。
- ・ 分析にはPC2の毎時0分のデータを利用する。
- ・ 陸電利用による船内電源の変化を確認する。
- ・ 実施期間：2022年11月12日～25日 2週間
データ抽出時間：8時・12時・17時
動静：GPS情報から停泊・航海中を判断する
陸電：利用の有無を船主に確認する

4－6． ③定期的な速度計測・安定性の確認

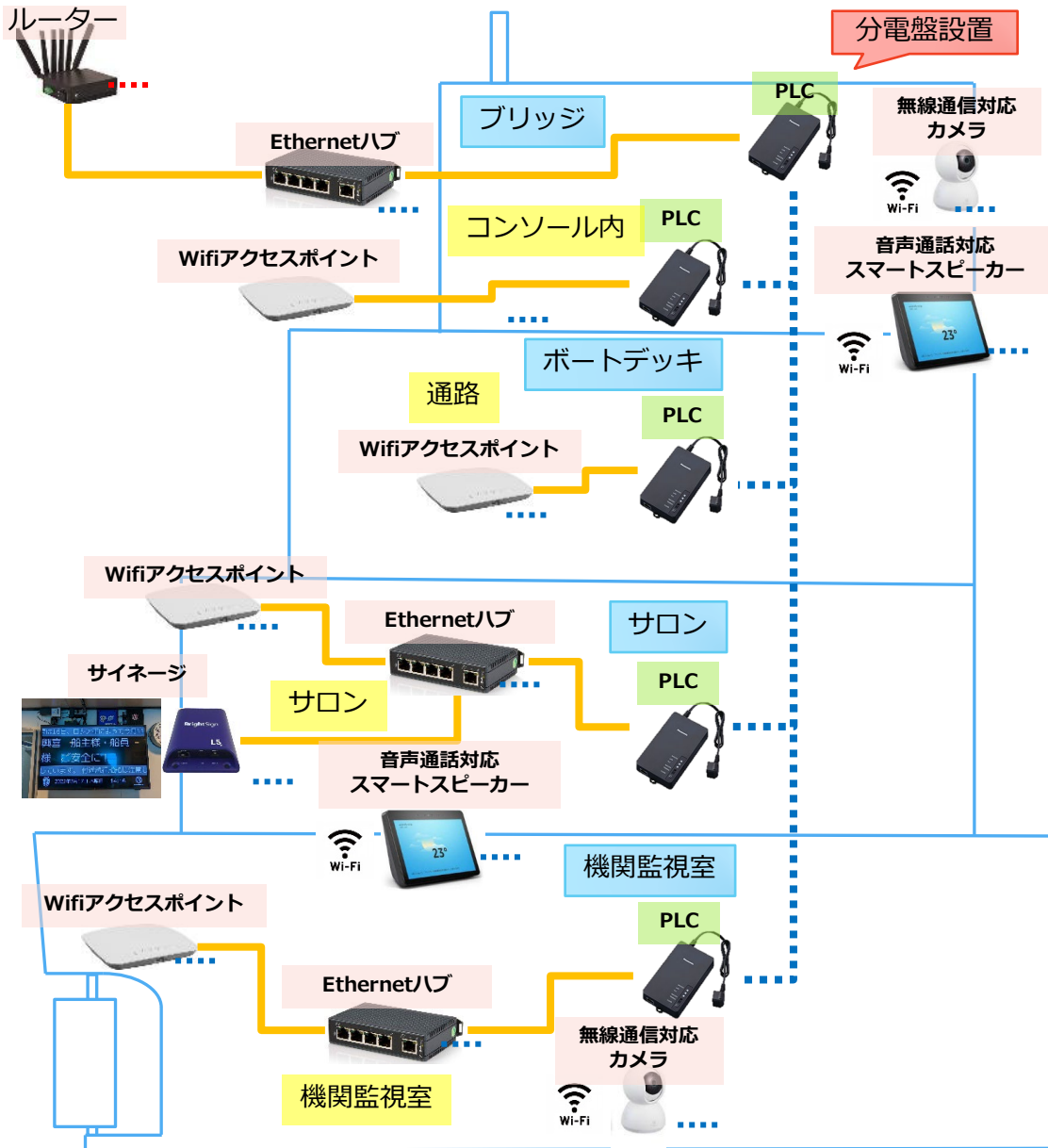
定期的な速度計測の結果を下表にまとめた。考察は以下のとおりであり、PLCによるネットワークは安定していると言える。

- ・ ほぼ安定した計測結果となった。一部を除き航海中と停泊中の速度差は無い。
- ・ 11月19日12時は電源の切替等と予想。一時的に速度低下した後に回復している。
- ・ 11月17日7時頃に速度計測不可時間があった。電源切替による一時的な停電と予想する。

速度計測PC 2 とブリッジ設置のサーバーと定期的な速度計測一覧表（単位：Mps）

	8時		12時		17時			
日付	計測速度	動静	計測速度	動静	計測速度	動静	陸電	1日平均速度
11月12日	12.9	停泊	11.3	航海中	8.38	航海中		11.6
11月13日	12.5	停泊	13.3	停泊	11.5	停泊		10.9
11月14日	12.7	停泊	11	停泊	12.2	停泊		11.2
11月15日	9.64	航海中	13.5	航海中	13.6	航海中		11.4
11月16日	13.9	航海中	12.8	航海中	12.6	航海中		11.7
11月17日	14	停泊	13.3	停泊	10.2	停泊	利用	11.5
11月18日	14.3	停泊	13.3	航海中	11	停泊	利用	12.4
11月19日	14.3	停泊	2.3	停泊	13.3	停泊	利用	12.1
11月20日	13.4	停泊	13.6	航海中	11.1	航海中		11.8
11月21日	13.9	航海中	12.9	航海中	11.9	航海中		12.4
11月22日	11.7	航海中	14.4	航海中	14.4	航海中		12.5
11月23日	10.8	停泊	11.7	停泊	10.7	停泊		11.6
11月24日	12.7	航海中	14.1	航海中	13.8	停泊		11.7
11月25日	10.9	停泊	13.2	航海中	14	航海中		12.3

5-1. (3) 船内通信環境の活用方法の検討 設置環境



PLCの活用方法として、無線通信対応カメラと音声通話対応のスマートスピーカーを設置し導入効果を検証するとともに、他機器を設置し通信環境に起因する課題を洗い出す。

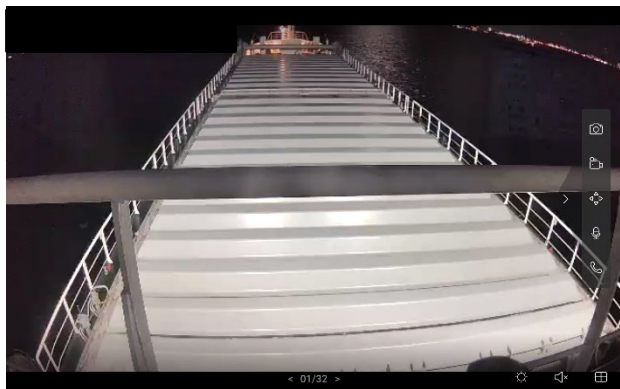
- ① Wifi接続のカメラとスマートスピーカーをブリッジ・サロン・ホールドに設置し、PLCを用いたネットワークに接続したwifiの安定性を確認する。
- ② 定期的に通信を行う機器としてセンサー等の設置を検討したが適切な機器が本船に無かったことから、デジタルサイネージをサロンに設置しRSSニュースを継続手に受信する設定とし安定してデータ通信が可能か確認する。
- ③ 船陸間通信はドコモ5G契約（4G接続）とした。
- ④ 設置後は船員がwifiや各機器を利用できる環境とした。
- ⑤ 2022年11月1日～11月30日の期間、船員が利用した後使用感などについてヒアリングを実施した。

5-2. (3) 船内通信環境の活用方法の検討 船員ヒアリング

スマートスピーカーのビデオ通話機能を用いて、遠隔地からヒアリングを実施した。

- PLCを用いたwifi
航行中一時的に通信ができなくなる事がある。他、安定して運用できている。4G回線により動画等の視聴が問題無く快適に利用できる。（一時的な通信遮断は電波による物と思われる）
 - スマートスピーカー・カメラ
航行中・荷役中の状況把握に利用している。スマートスピーカーに音声で見たいカメラを指定することで表示出来るため大変便利。（ブリッジからは機関監視室やホールド内のカメラ、機関監視室ではブリッジカメラに接続している）
 - サイネージ
メッセージとニュースが継続的に流れてくる。止まったことはない。最新の情報が常に手に入っている。（会社からのメッセージ→Twitter連動、ニュース→RSS情報）
- 以上がヒアリング結果である。安定して利用できていることが確認できた。

ブリッジカメラ



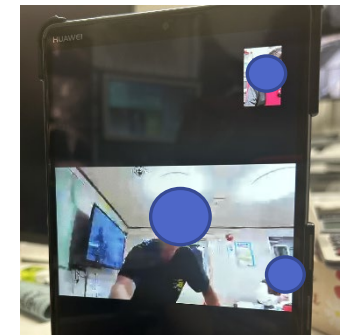
スマートスピーカーの
カメラ映像



サイネージの表示



ビデオ通話による
ヒアリングの様子



5－3．船内通信環境の活用方法の検討 課題 1

PLCが日常利用で問題の無い速度と安定性であることが確認できた。今後の活用方法や課題について工事や計測時の経験を踏まえて下記にまとめる。

①コンセント

PLC端子台タイプとコンセントタイプの2種類が販売されている。主に分電盤には端子台。その他はコンセントタイプを利用する。コンセントタイプは大変利用しやすいが、コンセントだけでは分岐元が不明なため、照明系統・機器系統、どちらの系統にあるコンセントを利用するかによって、分電盤を跨ぐことが必要となる。そのため結線図で系統・分電盤・ブレーカーを確認し、その上で相を揃えることが必要である。また、既存船で特に古い船舶ではコンセントが少なく接続出来るところが限られるため、事前検討をしっかりと行う必要がある。

②速度

最大でも約25Mbpsであるため、カメラやインターネットテレビを利用する場合、少数であれば対応できるが、複数個となる場合は利用に制限が出てくると思われる。インターネット回線は約40Mbpsの速度が出る製品もあるが、ほとんどがさらに遅い速度の回線のため2023年現在では問題となりにくい。

5－4．船内通信環境の活用方法の検討 課題2

③PLCの活用方法

今回の調査ではPLCを用いて船内全体をネットワーク化したが、実際にPLCを導入するあたり、一部に限って適用するのでも良いと考える。想定される事例をいくつか記載する。

- ・ 通路・階段等に新たなEthernetを敷設する場合、貫通穴が必要となる（タンカー等）
- ・ 居住区内は新たなEthernetを敷設、居住区～機関監視室間にPLCを用いて工事の簡素化
- ・ 船首部等、通常Ethernetが無い箇所をネットワーク化したい場合、速度や部品点数・コストはEthernetが優位であるため、適所にPLCを利用するのが良い。

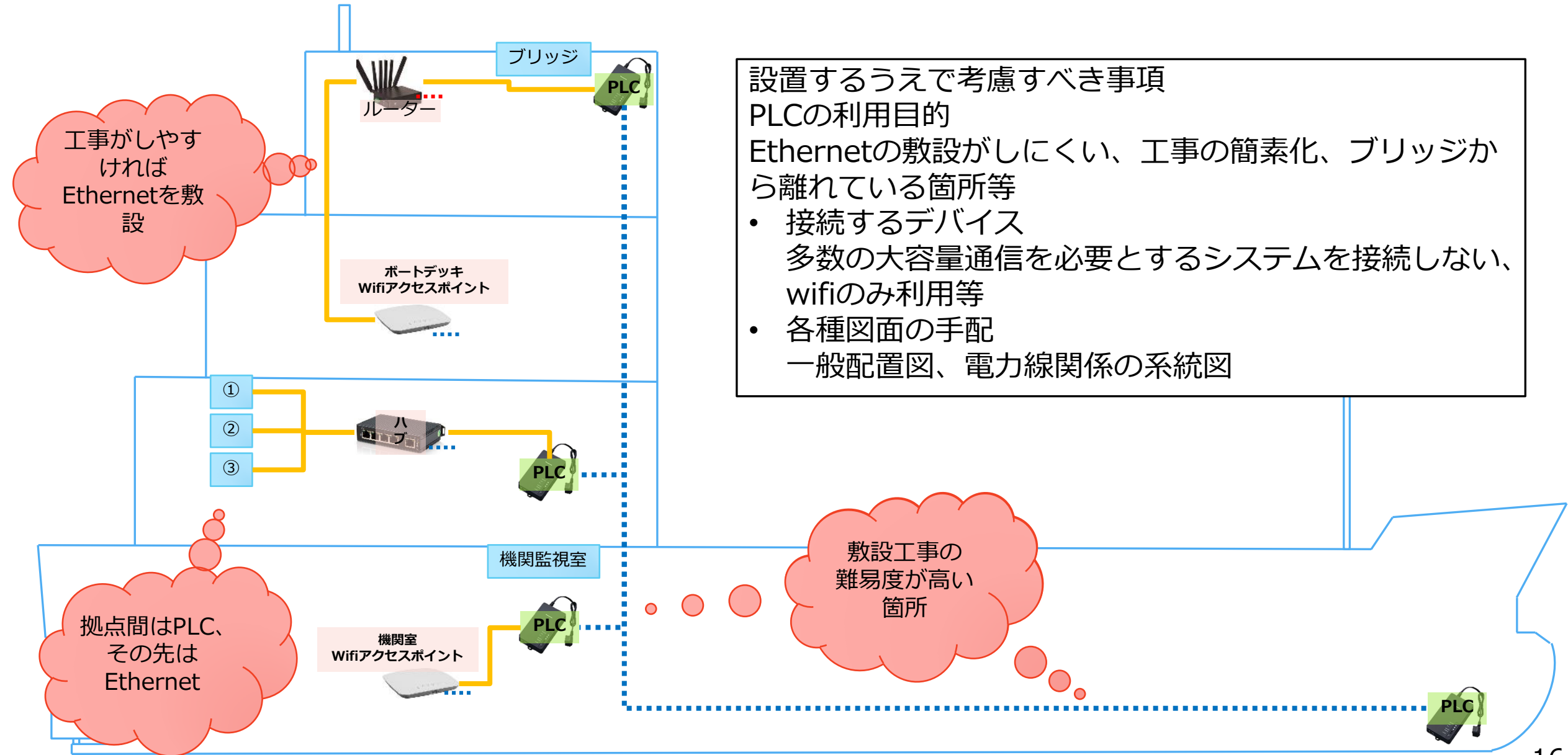
④PLCが適さない事例

例えば、船員向けにインターネット回線を開放したい場合は、拠点間のみPLCとして拠点のPLCにwifiアクセスポイントを接続し、多数の船員がアクセスするのはwifiにしておくで最低限のコストで済む。

Ethernetが必要な場合、各部屋毎にPLCを設置するのではなく、こちらも拠点間はPLCとして拠点にEthernetハブを設置し、各機器に有線接続する形が最もコストが低くなる。

以上のように多少の注意はあるが、PLCはネットワークの利用方法を明確にする必要は有るが、特に内航船のレトロフィットにおいて、新たなEthernetの敷設を最小限に抑えられる製品と言える。

5 - 5. 船内通信環境の活用方法の検討 課題を踏まえた設置例



6-1. まとめ

調査結果をまとめる。

(1) 船内通信環境の構築

既存のEthernetが構築されている航成丸を選定しPLC設置工事を2日間に渡って実施した。PLCによる船内通信環境の構築は船内の各拠点にPLCを設置し、既存のEthernetとPLCを用いたネットワークのどちらも利用できるネットワークが構築できた。

(2) 通信速度等の測定

EthernetとPLCの船内通信環境において、通信速度と遅延及びデータ欠損率を測定・比較する。
iPerf3をインストールしたサーバーをブリッジに設置し、下記①～③の速度計測を実施した。iPerf3は専用プログラムを開発し、手動・自動（毎時時間指定）で実行出来るようにしている。
遅延及びデータ欠損率についてはiPerfの測定がエラーとなった場合を想定したが今回の計測では一度もエラーが出ていないため、速度計測のみを実行している。

①既存のEthernetとPLCの速度計測・比較

構築したPLC側ネットワークと既存のEthernet側ネットワークで計測条件がほぼ同じ箇所で計測した。各箇所では速度計測サーバーとEthernet・wifiで接続し計測したところ、PLCとEthernetの有線接続ではあきらかな速度が差があった。

6-2. まとめ

②相の違いによる速度計測・比較

本船のAC100Vは三相となっており、RS・ST・RTの組み合わせがある。相の組み合わせによる速度変化を確認し、傾向をiPerf3を用いて速度計測を実施した。

本設置しているPLCとは別のPLCを準備し、分電盤に付属している簡略結線図を参考に接続箇所を探した。

その結果、ST・ST間は速度のバラツキが少なく安定して速度が出ていることが確認できた。ST・RS間とST・RT間はST・ST間の約半分の速度なり、ブリッジ～船首ストアのST・RT間では速度が大幅に低下しているが、エラーはでなかった。

同じ相で接続することが望ましいが、違う相で通信したとしても数値データのみの通信であれば充分活用できるレベルである。

③定期的な速度計測・安定性の確認

PLCの安定性を分析・確認する。また、PLCが安定して利用できるか、船員にヒアリングを実施した。機関室に設置している定期速度計測PC2を用いて毎時0分のデータを利用し一定期間（2週間）の8時・12時・17時の速度と動静・陸電利用等をまとめた。

その結果、ほぼ安定した計測結果となった。一部を除き航海中と停泊中の速度差は無いことが確認できた。しかし、電源切替による一時的な停電があれば不通や速度低下が認められる。

次に船員ヒアリングであるが、スマートスピーカーを用いて実施したところ、安定してビデオ通話が可能であった。設置しているwifiやスマートスピーカー・カメラ・サイネージは問題無く利用でき大変便利に使えていることから、PLCが安定していることが確認できた。

6-3. まとめ

(3) 船内通信環境の活用方法の検討

測定結果を踏まえ、活用方法や導入効果を検証するとともに、通信環境に起因する課題を洗い出す。

事前検討や利用目的をしっかりと行う事が大切である。系統図の確認、コンセントの位置を事前に把握し、相の確認まで行っておくと良いが現実的には難しい。PLCを利用する箇所を特定しておくが良い。

通信速度がEthernetと比べ遅いことから大容量通信を必要とする大規模なシステムには向かないが、カメラ等が数台であれば運用上は問題が無い。機関室のみPLCを用いて工事の時短を図る目的等には向いている。

PLCだけでなくEthernetと併用した設計とすることでコスト面でも導入しやすくなる。船種毎に工事の手法が違う為、事前検討で工事業者にPLCを利用したい旨を伝え、適所に導入することをお勧めする。

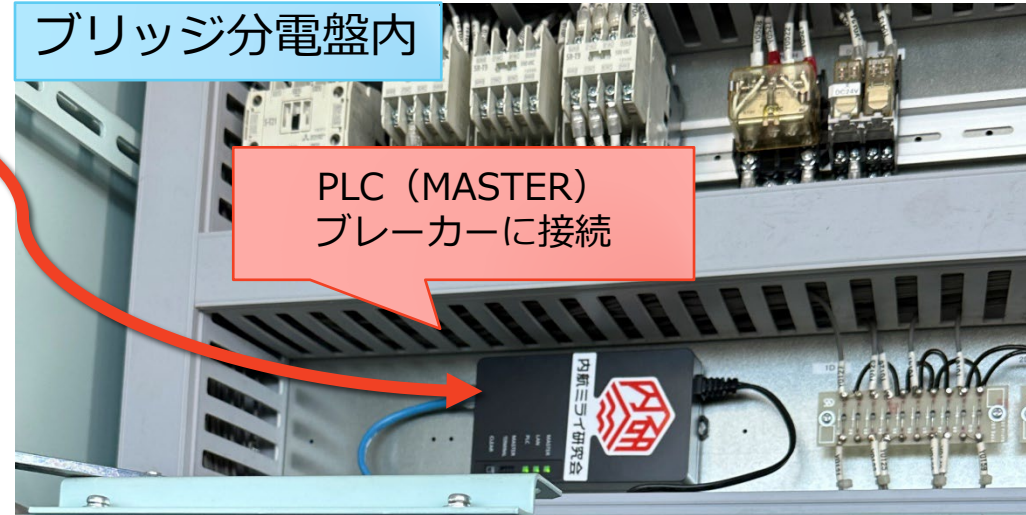
設置状況 1. 船内通信環境の設置状況 ブリッジ

ブリッジ

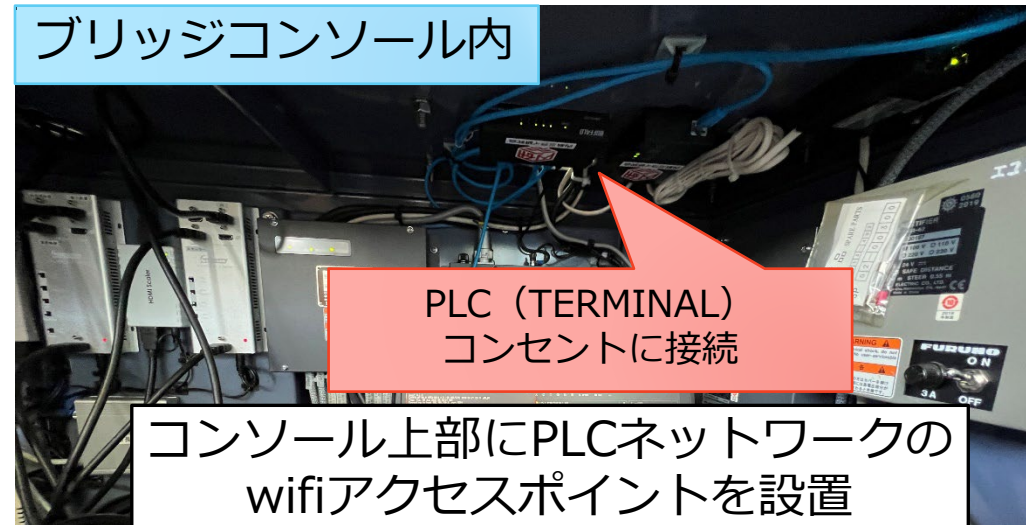


Ethernet
ケーブル

ブリッジ分電盤内

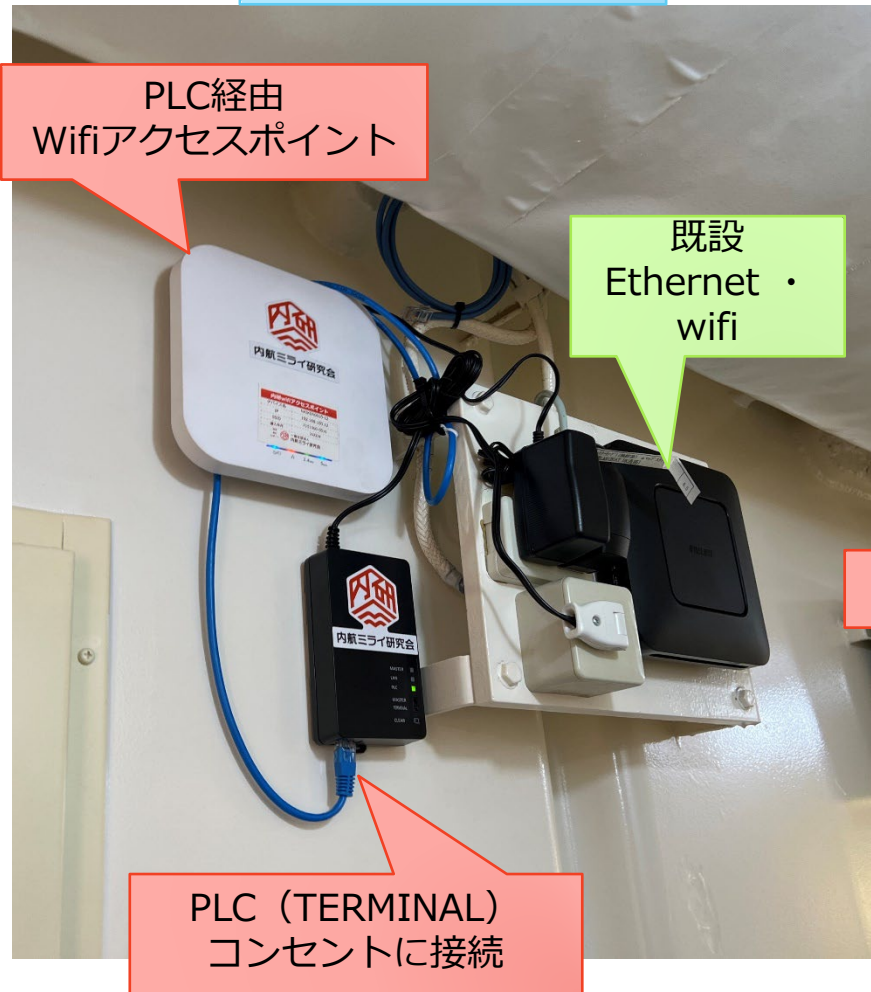


ブリッジコンソール内



設置状況 2. 船内通信環境の設置状況 ボートデッキ・サロン

ボートデッキ通路

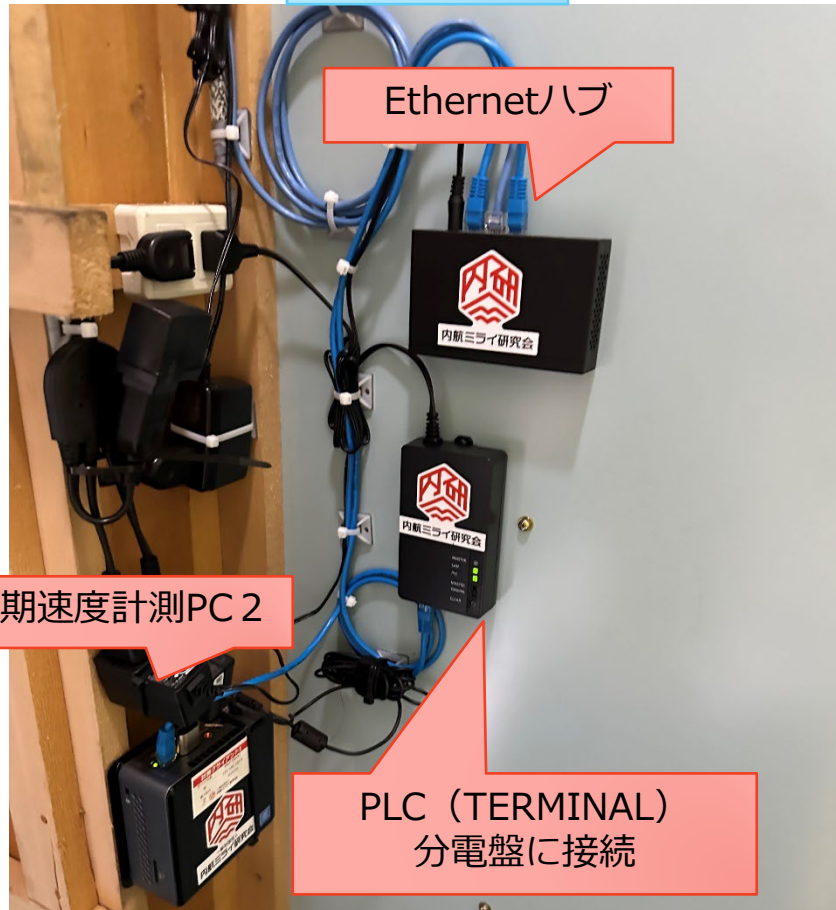


サロン

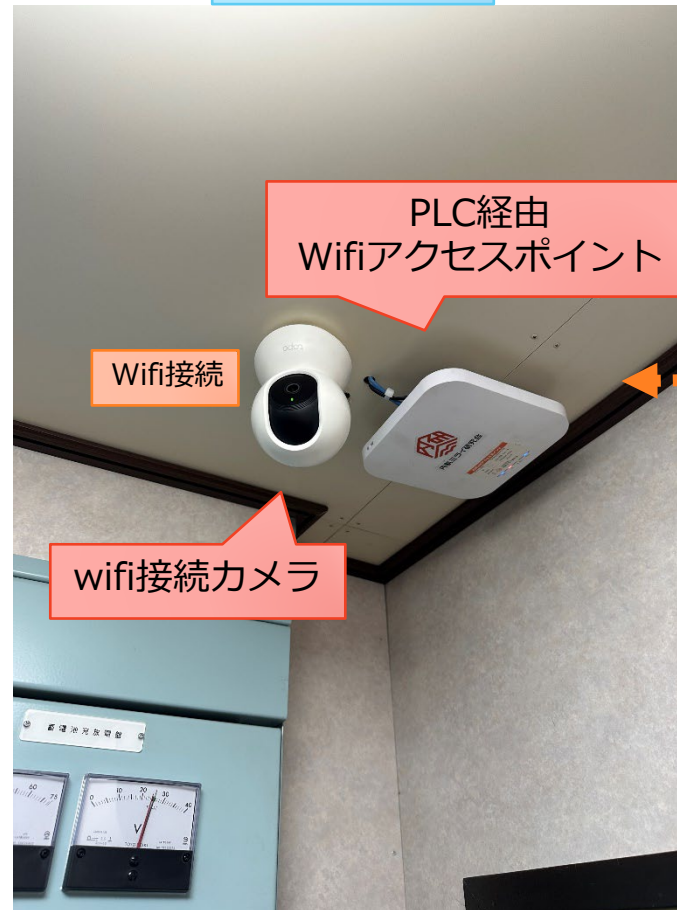


設置状況 3. 船内通信環境の設置状況 機関監視室・ホールド内

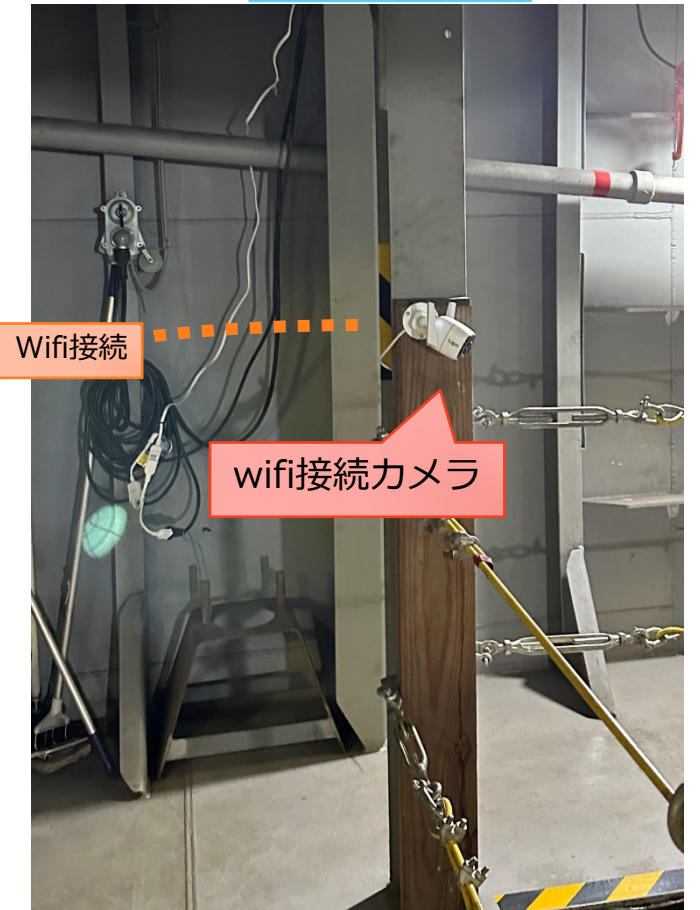
機関監視室
(裏)



機関監視室
(室内)



ホールド内



設置状況 4. 船内通信環境の設置状況 スマートスピーカー

ブリッジ設置



サロン設置

ブリッジ設置カメラ
ホールド内設置カメラ
の選択画面

