

遠隔機関監視技術を活用した次世代内航船の研究開発

提案者: MTI、日本シップヤード、ナブテスコ、BEMAC、日本海事協会

市場ニーズ及び製品の売り等

内航船の船員不足問題の対策として、今後陸上機関監視により本船機関士を減員するSolutionの実現が考えられる。陸上監視者が異常検知や異常原因推定を正確かつ迅速に行い、早期対処を実行する事で大きなトラブル発生を防止することは、省人化の実現に必要な不可欠な要素であり、監視者の意思決定をサポートするシステムにニーズがある。

開発目標 (最終的な目標)

故障原因推定・復旧方法選択を行う
遠隔機関監視システムの実現

その他特筆すべき点

船用機関運転管理にシミュレータを活用する初の試み。

事業スケジュール

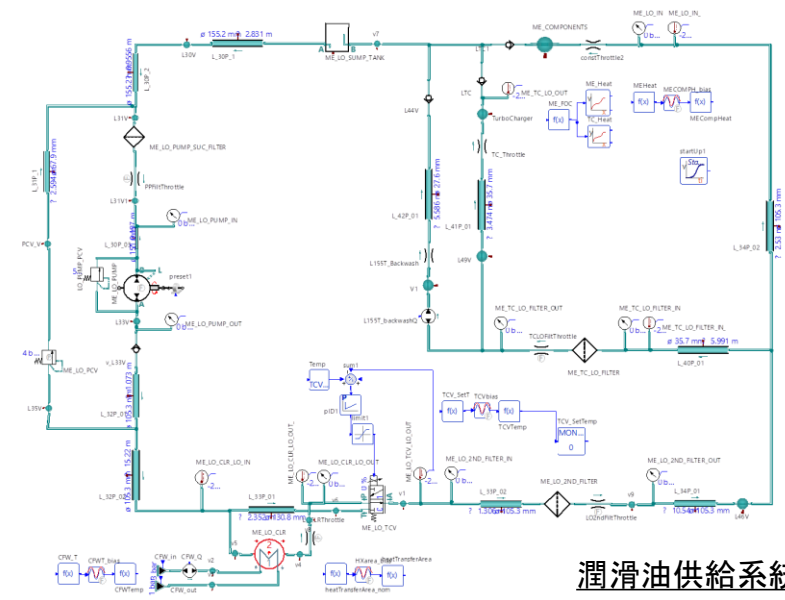
実施項目	R3	R4	R5
次世代内航船コンセプトシステム設計	→		
システム開発・実装		→	
実船実証試験			→
システム要件定義	→	→	→

技術開発の概要

迅速かつ正確な判断の為には運転データの定量的な分析が必要であり、シミュレーションモデルによる計算結果と実測値の比較分析を基本技術とする異常原因推定システムを開発する。また船陸間データ通信を用いた遠隔機関運転監視の実証試験を行う事で、陸上遠隔監視システムの有効性を評価し、製品化に向けた技術要件を明らかにする。

【シミュレーションによる監視対象】

燃料油供給系統、潤滑油供給系統、冷却海水系統、冷却清水系統に於ける各構成機器(ポンプ、フィルタ、冷却器等)の各故障モード(閉塞、汚損、漏洩等)を監視対象とする。



潤滑油供給系統

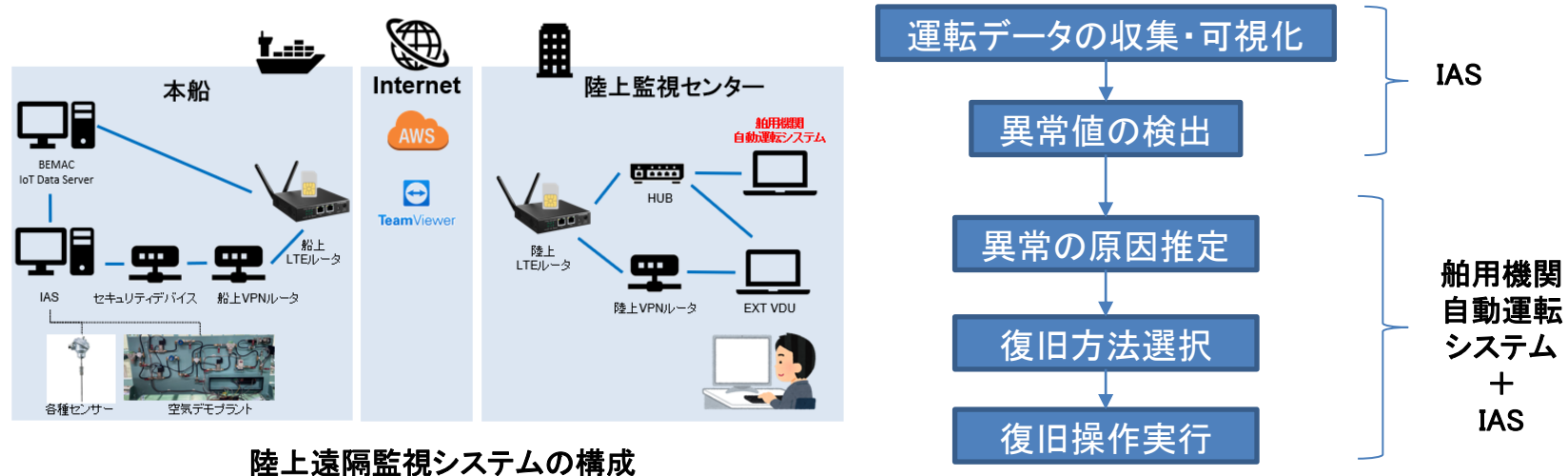
令和3年度から令和4年度までの成果

【各社の役割】

- **BEMAC**: 陸上遠隔監視システムのコンセプト設計、IAS(*)及び通信システムの開発及び実装。
- **ナブテスコ**: 監視者の意思決定をサポートし、かつ自動復旧動作を行う船用機関自動運転システムの開発及び実装。
- **MTI**: 監視対象とする故障モードを分析し検出ロジック及び復旧方法を導出。シミュレーションモデル作成・計算。FTA(**)作成。実証試験を通したユーザビリティ検証。
- **日本シップヤード**: 本船上に追加実装する計装関係の基本設計及び取得した運転データのスクリーニング。
- **NK**: 認証機関として陸上遠隔監視のコンセプト及び必要要件のレビュー及びアドバイス。

*IAS: Integrated Automation System (制御監視システム)

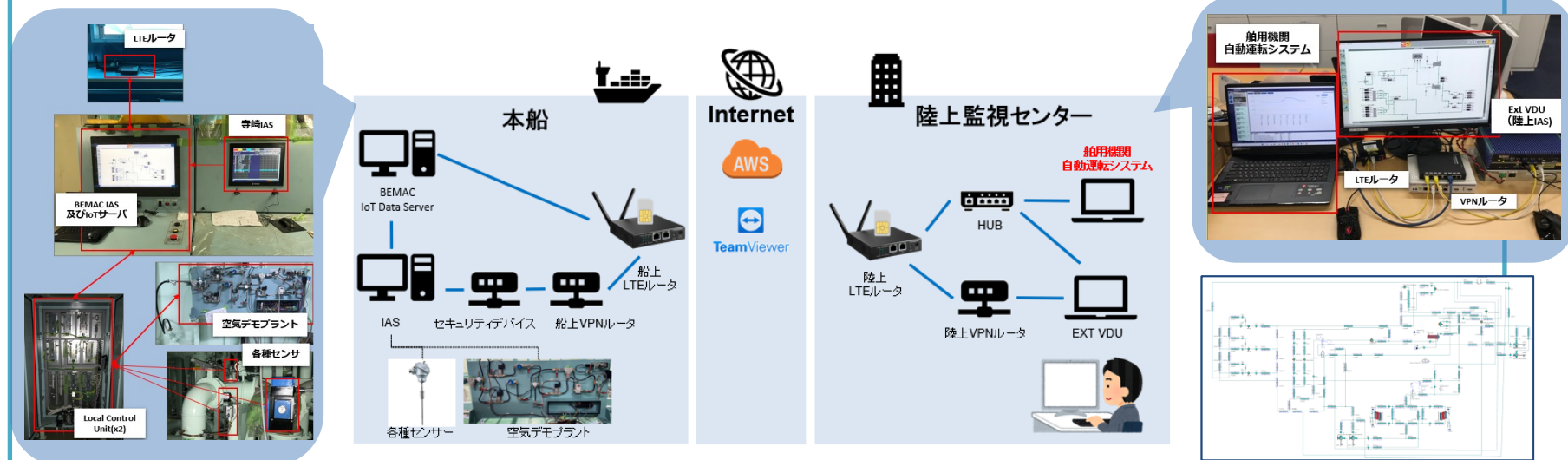
**FTA: Fault Tree Analysis (故障木分析)



令和3年度から令和4年度までの成果

陸上遠隔監視のトライアルを開始する準備まで完了した。

- 陸上遠隔監視システムの**コンセプト作成**。
- 監視対象となる機関システムの異常(故障モード)をリストアップし、その検知及び**原因推定に必要なデータ(計測点)**を導出。
- 機関プラントの**シミュレーションモデル作成・計算実行**。FTAモデル作成。
- シミュレーション計算結果(正常時及び各種故障発生時)のデータベース作成。
- **船用機関自動運転システム(プロトタイプ)の開発**。
- IASの開発及び船用機関自動運転システムとの陸上統合試験実施。
- 空気デモプラントの作成及び陸上試験実施。
- 対象船への**空気デモプラント、センサ、IAS、データ通信システムの実装**。
- **陸上監視センターの構築**。



令和5年度技術開発の実施内容(概要)

- 本船運転データを用いた陸上監視システムの実証試験。
- 陸上IASの評価及び機能開発(改良)。
- シミュレーションモデルの作成及び精度向上。
- 船用機関自動運転システムの評価及び機能開発(改良)。
- 空気デモプラントによる船用機関自動運転システム及びIASの機能確認試験。
- 通信環境構築に於ける評価及び課題対応。
- 事業化に向けた要件定義及び計画立案。

令和5年度の技術開発目標

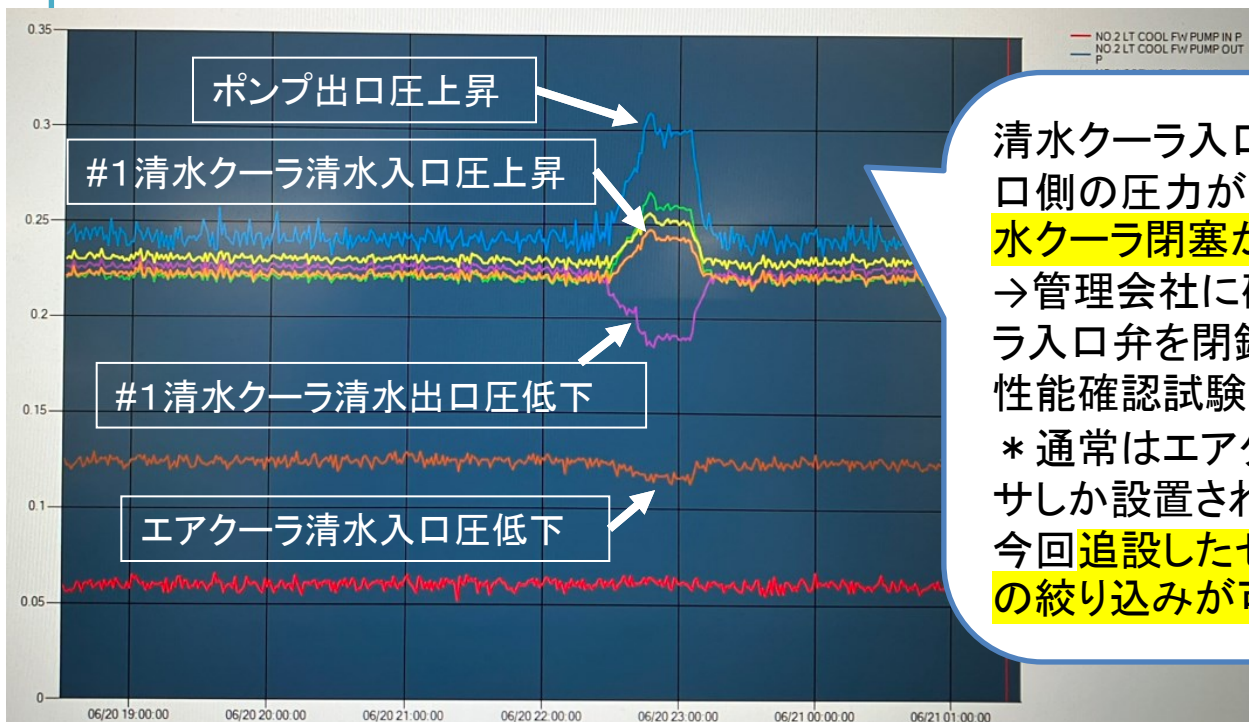
- 実証試験を通してユーザビリティ検証を行い、製品化に必要なシステムの機能開発・改修を行う事。
- 正常運転状態に於いて、実運転データとシミュレーション推定値の偏差が十分に小さいと判断できるレベルまで、シミュレーションモデル精度を向上させる事。
- 精度を向上させたシミュレーション計算結果を用いて、異常原因推定機能の精度を向上させる事。
- 空気デモプラントで想定する全ての故障についてデモ試験を実施し、異常原因推定及び復旧方法選定、自動復旧動作が正しく実行される事。
- データ通信の切断が極力起こらない通信インフラを確立する事。

令和5年度技術開発の実施内容(詳細)

陸上IASによる運転データ監視機能の評価

MTIオフィスに設置した陸上IASを用いて十分な状態分析が可能であるか評価。

- IASのデータ監視機能を用いて、異常値の検出及びその原因推定を行う事が出来た。
- 故障モード分析によって異常原因推定に必要なセンサを選定し実装する手法の有効性が確認できた。



清水クーラ入口側の圧力が上昇し出口側の圧力が低下している事から、**清水クーラ閉塞が推測**される。

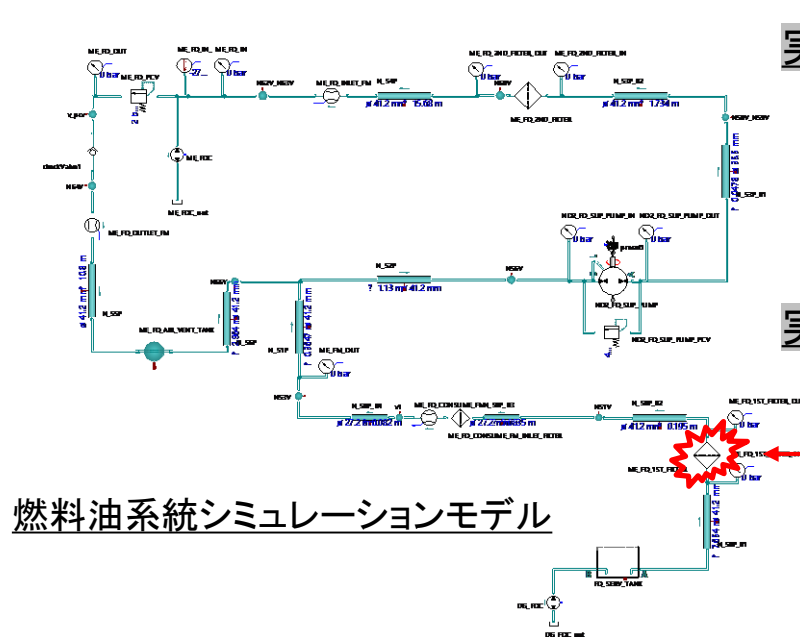
→管理会社に確認したところ清水クーラ入口弁を閉鎖しクーラ1台での冷却性能確認試験を実施していたとの事。

* 通常はエアクーラ清水入口圧力センサしか設置されないと考えられるが、今回**追設したセンサによって異常原因の絞り込みが可能**となった。

令和5年度技術開発の実施内容(詳細)

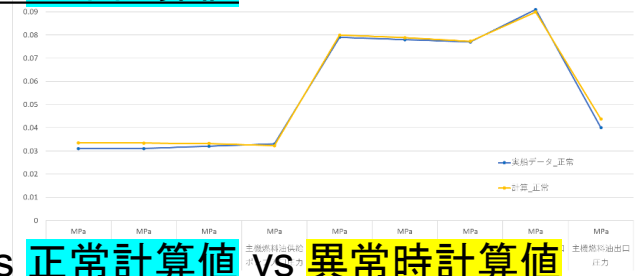
シミュレーションモデルの作成及び精度向上

- ・ 実証試験を通して取得した本船の運転データを分析し、機関プラント主要4系統のシミュレーションモデルの合わせ込みを実施した。
- ・ 様々な運転条件に於ける正常運転時及び各種故障発生時の計算を実行し、異常原因推定機能の精度向上に活用。
- ・ 計算が短時間で収束するようにモデルの簡素化などの工夫を行った。

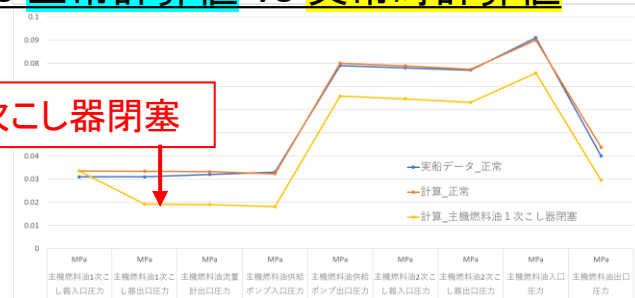


実測値 vs 正常計算値

燃料油圧力



実測値 vs 正常計算値 vs 異常時計算値



令和5年度技術開発の実施内容(詳細)

舶用機関自動運転システムの評価及び機能開発(改良)

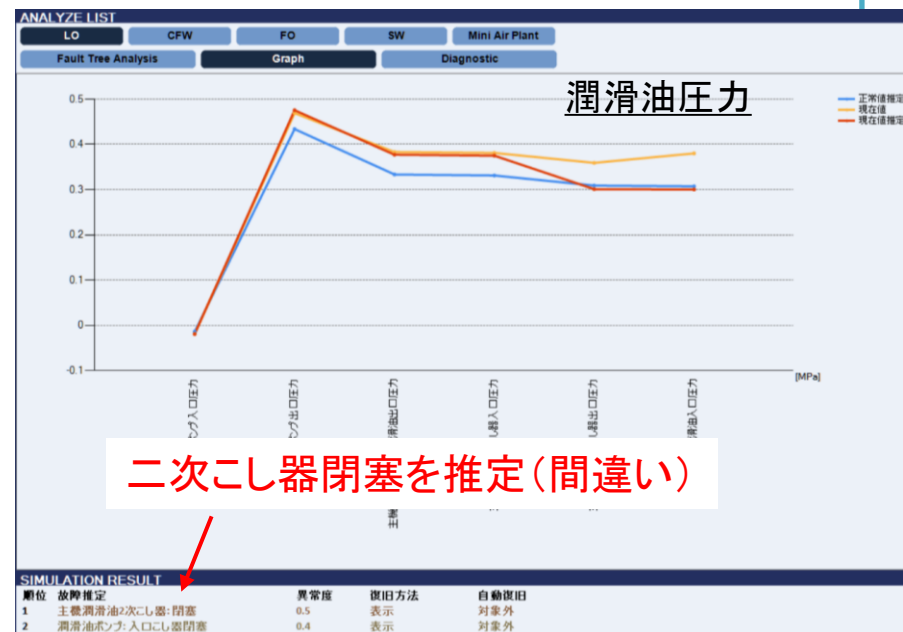
本船プラントの実運転データを用いて、異常原因推定機能の精度評価を実施。

- ・ 正しく異常原因を推定できているケースもあれば、モデル精度の影響から実際には発生していない故障を推定してしまうケースもあった。
- ・ 故障モードに応じてその推定に用いる変数を限定する等、改善策を検討中。

冷却海水系統の異常原因推定画面



潤滑油供給系統の異常原因推定画面



令和5年度技術開発の実施内容(詳細)

舶用機関自動運転システムの評価及び機能開発(改良)

実証試験による機能評価やユーザビリティ検証結果から、ユーザインターフェース改善の為に機能拡張を実施。

- ・ 解析結果を複数ウィンドウで表示
- ・ トラブルシューティング機能の追加
- ・ 推定故障強度の視覚的確認機能の追加
- ・ 異常原因推定結果表示画面の変更
- ・ FTA機能の修正

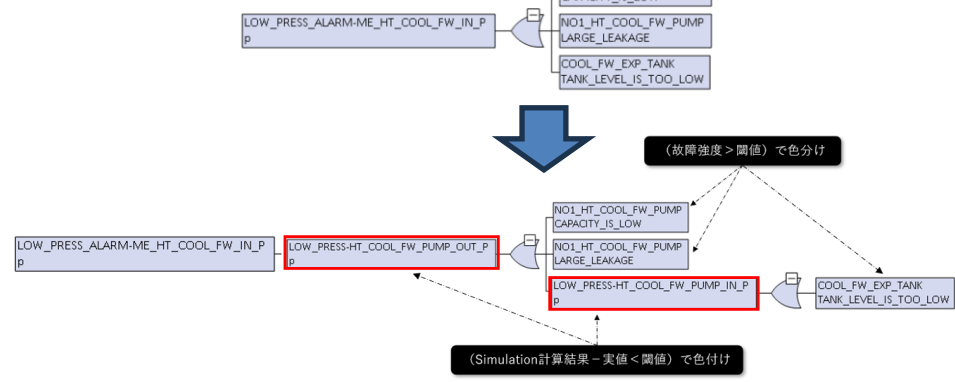
故障強度の視覚的確認機能



異常原因推定結果表示画面の変更



FTA機能の修正



令和5年度技術開発の実施内容(詳細)

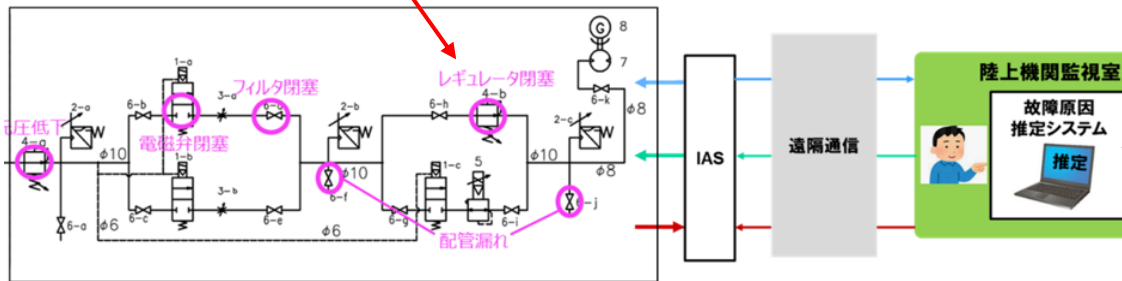
空気デモプラントによる船用機関自動運転システム及びIASの機能確認試験

計5種類の故障模擬試験を2回実施し以下機能の評価を実施した。

- ・ 異常原因推定機能 → 1回目の試験で全て成功
- ・ 復旧方法選択機能 → 1回目の試験で全て成功
- ・ 自動復旧実行機能 → 1回目の試験ですべて成功
- ・ 漏洩箇所サーチ機能 → 2回目の再試験ですべて成功
- ・ 復旧確認機能 → 失敗。原因を特定しプログラム修正済み。

No.	故障	故障模擬方法	故障の影響	司令信号による影響
1	元圧低下	レギュレータ圧力設定値変更	後続ラインの圧力低下	非対応
2	電磁弁閉塞	直前のコックを手締め		メインからバックアップラインへ切替わる。
3	フィルタ閉塞	直前のコックを手締め		
4	レギュレータ閉塞	レギュレータ圧力設定値変更	前後ラインの圧力低下	サーチ処理: 電磁弁の開閉を行い、複数の空気排出弁の漏れをチェックすることで配管漏洩箇所を特定する。
5	配管漏洩(2か所)	空気排出弁を手動で開		

ESTIMATION METHOD	PRESSURE SOURCE SET PRESS IS LOW	SOLENOID VALVE CLOGGED	FILTER IS CLOGGED	PNEUMATIC REGULATOR IS CLOGGED	PIPE LEAKAGE
Simulation	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00
Abnormality	0.00	0.00	0.08	0.41	0.00



令和5年度技術開発の実施内容(詳細)

通信環境構築に於ける評価及び課題対応

実証試験を通して通信環境の評価を実施した。

【不具合】

- 本事業で採用した4G回線と船陸間VPN接続の組み合わせでは、船上IASと陸上IAS間の通信が、航海中だと約30%しか安定しない事が判明。
- また、船陸通信が一度切れてから復旧した際に、IASのVPN接続が復旧しない不具合が確認された。

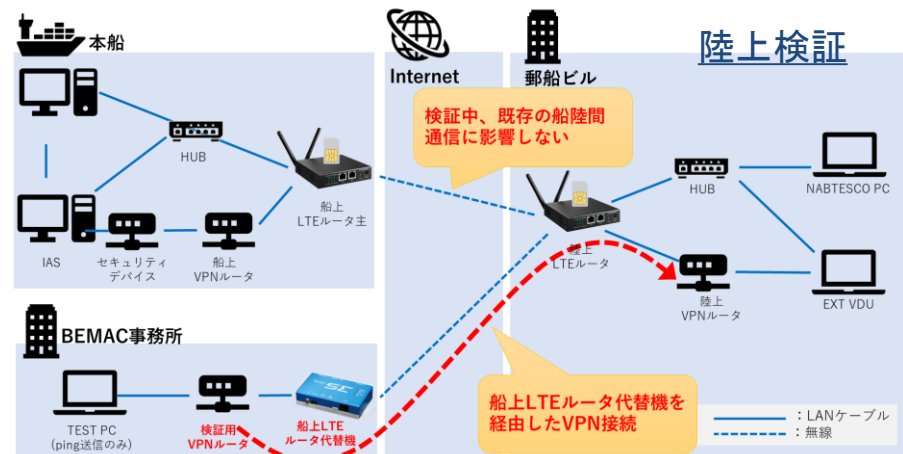
【推定原因】

- LTEルータが一定期間圏外となった際、その期間も連続してVPNセッションが接続しようとする動きに対して、LTEルータが自身のリソース枯渇を避けるためにVPNセッションを切断しており、何らかの理由で通信圏内になった後もその状態が続いているのではないかと推測。
- この動作は当該機種固有の動作であり、別機種では発生しないとも推測

【対策】

- 1日1回船上LTEルータを自動で再起動する運用により、実証実験に支障が出ない範囲で安定稼働状態を維持する事が出来た。
- 船上LTEルータの機種を変更し陸上検証でVPN接続が自動復旧する事を確認した。

LTEルータ等の船陸通信装置の選定は、安定した陸上監視を行う上で重要なポイントの一つとなる。



令和5年度目標の達成状況・技術開発成果

船用機関自動運転システムの機能開発

実証試験によって各機能の動作確認やユーザビリティ検証を実施し、機能改良や追加の機能開発を行った。プロトタイプとして計画した全ての機能開発が完了した。

空気デモプラントによる機能確認試験

本船上の環境で実施した全ての故障再現試験に於いて、異常原因推定及び復旧動作を正しく実行する事が出来た。開発したアルゴリズムや機能によって、機関プラントに於いても異常原因推定や復旧動作の自動化が可能であることを示唆する試験結果を得られた事は大きな成果と考える。

シミュレーションモデルの開発・精度向上

正常運転状態における実測値と計算値の偏差が十分に小さいシミュレーションモデルを開発する事が出来た。

また実用的なシミュレーション計算時間とする事が出来た。

陸上IASの機能開発

運転データ監視機能及び船上機器の遠隔操作機能について設計通りに動作する事が確認でき、陸上遠隔監視のトライアルは成功した。実用化について一定の目途が立ったと考える。

通信環境の構築

運航海域の通信環境に依存する為、通信遮断を完全に防止する事は出来なかったが、VPN復旧不良の原因を特定し、遮断時間を極力短縮する運用方法を考案、実装した。

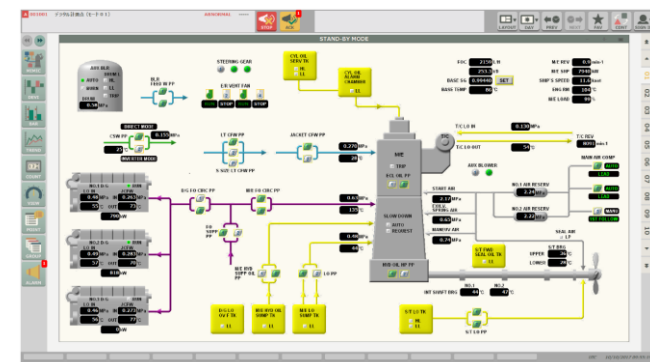
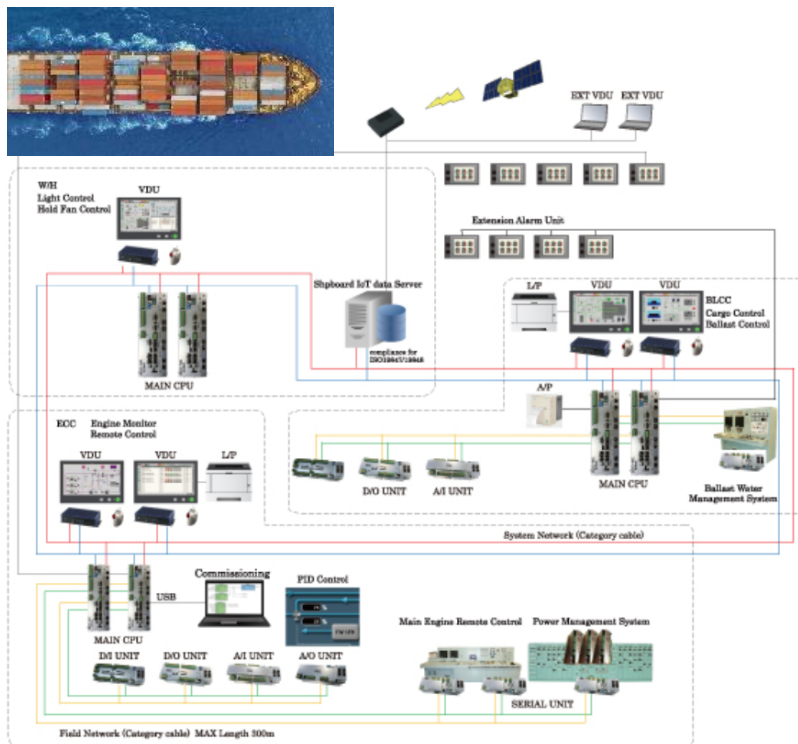
LTEルータの機種選定が安定した通信環境構築の為の重要なファクターである事が確認された。

今後の研究開発・事業展開の方針

陸上IASの事業化計画(BEMAC社)

本研究で開発及び実証実験を行った陸上IASは、既製品であるBE-DCSのオプション機能として、令和6年度より内航船主への販売促進を進める。

販売促進時に新たな課題や追加要望が確認された場合、自社開発によってこれらの対応を行う事で、令和6年度中の受注を目指す。



陸上IAS(BE-DCSオプション)