

交通運輸技術開発推進制度

研究成果報告書

(ダイジェスト版)

内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減、
安全性確保の両立を目指した
陸上遠隔サポート技術の確立

令和6年3月

株式会社 SK ウィンチ

一般社団法人 内航ミライ研究会

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

I. 研究開発成果の要約

作成年月	令和6年3月
研究課題名	内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減、安全性確保の両立を目指した陸上遠隔サポート技術の確立
研究代表者名	曾我部 公太
研究期間	令和5年 1月 17日～令和6年 3月 29日
研究の目的	国内の重要な輸送モードである内航海運において、船員の労働環境改善やGHG削減・カーボンニュートラル化が喫緊の課題となっている。その対応策の一つとして、運航スケジュールの遅れを短縮し、CO ₂ 排出量削減を実現する陸上サポートシステムの導入があげられる。本研究では、船内機器の運転状況の監視ばかりでなく、内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減、安全性確保の両立を目指した陸上遠隔サポート技術の確立を目的とする。
研究成果の要旨	<p>令和4年度は、使用者が扱いやすいデータ処理システムを構築した。また、船内機器の経年変化を調べるための準備、陸上サポートシステムの機能検証用ネットワークの構築、情報セキュリティの調査などを実施した。令和5年度は、複数の対象船と複数の使用者から構成される陸上サポートシステムのネットワークを構築した。2年間の研究によって、当初の目的であった内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減、安全性確保の両立を目指した陸上遠隔サポート技術の構築に貢献できたと考えている。以下、本研究の主な成果をまとめる。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① データ整理やメール送信機能を含めたデータ処理システムを構築した。 ② 陸上サポートシステムを最大限に活用するための方法を検討した。 ③ 陸上サポートシステムの機能検証用ネットワークを構築し、陸上のクラウドコンピュータを利用した監視システムの機能を確認した。 ④ “省エネの見える化”のためのモニタリング装置を搭載し、実証した。 ⑤ 複数の対象船と複数の関係者から構成される複合型陸上サポートシステムのネットワークを構築した。 ⑥ ネットワークシステムの情報セキュリティの対応方法を詳細に調査し、課題を抽出するとともに、対策方法を整理した。 ⑦ 陸上サポートシステムのユーザニーズを明確にして、本研究の「陸上サポートシステム」を普及させる方法を分析した。
知的財産権 取得状況	特許出願 0件 著作権登録 0件
研究成果発表実績	論文発表：国内 0件、海外 0件 口頭発表：国内 0件、海外 0件 その他 :

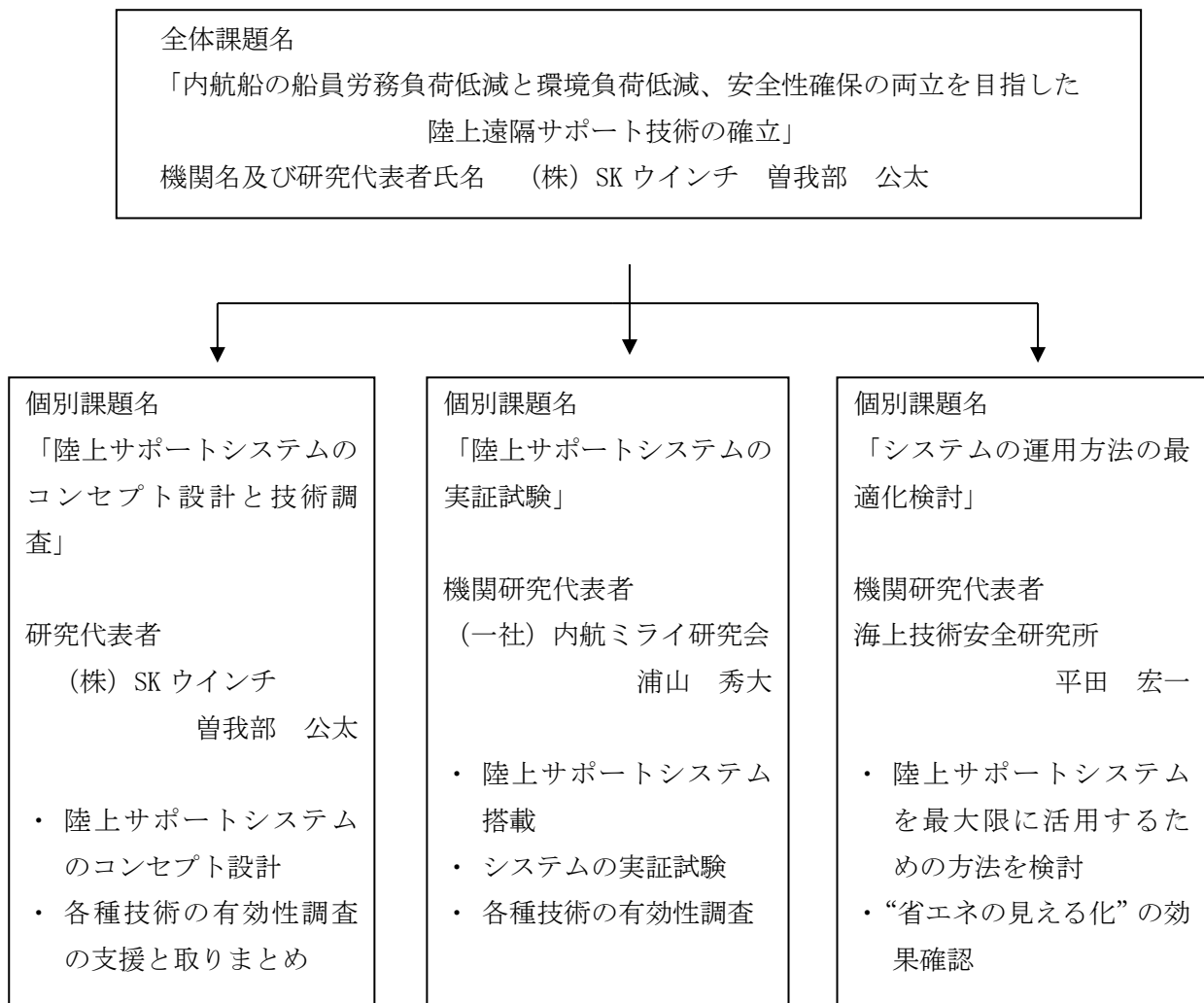
II. 研究開発の目的と実施体制

(1) 研究開発の目的

国内の重要な輸送モードである内航海運において、船員の労働環境改善や GHG 削減・カーボンニュートラル化が喫緊の課題となっている。その対応策の一つとして、運航スケジュールの遅れを短縮し、CO₂ 排出量削減を実現する陸上サポートシステムの導入があげられる。本研究では、船内機器の運転状況の監視ばかりでなく、内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減、安全性確保の両立を目指した陸上遠隔サポート技術の確立を目的とする。そして、運用方法の最適化とコンセプト設計、船用機器メーカーと運航事業者による実証試験を実施する。

(2) 研究実施体制

本研究は、株式会社 SK ウインチを総括研究機関とし、一般社団法人内航ミライ研究会及び国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所と共同して実施した。担当機関の研究実施の流れを示すチャートは以下の通りである。



III. 研究開発の成果

1. 序論

国内の重要な輸送モードである内航海運において、船員の労働環境改善や GHG 削減・カーボンニュートラル化が喫緊の課題となっている。提案者は、一般社団法人内航ミライ研究会の関係者らとともに、甲板機器の電動化・デジタル化や携帯電話通信を利用した船陸間通信技術などの技術構築を進めてきた。さらに、令和 4 年度に実施した SBIR フェーズ 1 では、陸上サポートシステムのプロトタイプを開発し、陸上遠隔サポート技術の概念実証及び実現可能性調査を実施した⁽¹⁾。SBIR フェーズ 1 のプロトタイプは、船内機器の運転状況の監視に特化したものであり、船員による機器のメンテナンスや故障対応を支援することで、運航スケジュールの遅れを短縮し、CO₂ 排出量削減を目指した（図 1.1 参照）。また、陸上サポートシステムのプロトタイプを試用することで、船内に蓄積された計測データの自動整理機能やデータファイルの見やすさの向上などに課題があることが確認された。すなわち、陸上サポートシステムの課題に対応し、システム運用の最適化を図ることによって、船員の労働環境改善やカーボンニュートラル化に対して、より大きな効果が得られるものと考えられる。

本研究課題 SBIR フェーズ 2 は令和 5～6 年度の 2 年計画で実施し、これまでに蓄積されてきた技術を発展させて、船内機器の運転状況の監視ばかりでなく、内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減、安全性確保の両立を目指した陸上遠隔サポート技術の確立を目的とする。そして、運用方法の最適化とコンセプト設計、船用機器メーカーと運航事業者による実証試験を実施した。

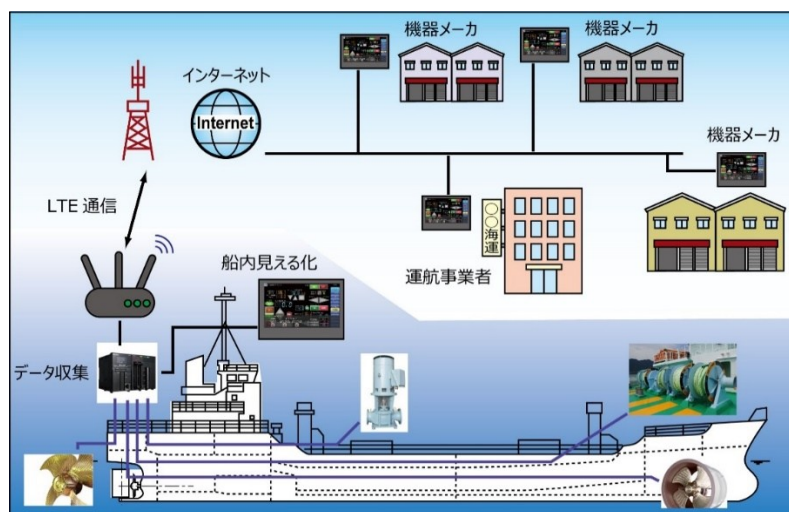


図 1.1 陸上サポートシステムのイメージ

2. 陸上サポートシステムの概要

SBIR フェーズ 1 において実施したプロトタイプを試用によって、陸上サポートシステムの船内機器の監視においては、警報発令前後の時系列データを詳細に解析することが、システムの運用に重要であることが確認された。これらの課題に対応するため、令和 4 年度は、①船内サーバコンピュータ等に蓄積されたモニタリングデータの自動整理機能の付加、②電子メール等に機能的な陸上サポートのための情報を添付する機能の付加、③専用データ解析ソフトウェアの開発によるデータファイルの見やすさの向上を行った。これらの機能を付加することによって、使用者が扱いやすいデータ処理システムを構築した。

令和5年度は、SBIR フェーズ3に相当する社会実装・事業化に資するベース技術を蓄積するため、令和4年度に実施したモニタリングデータの処理技術の成果を整理・発展させて、複数の対象船と複数の関係者（使用者）から構成される陸上サポートシステム（以下、複合型陸上サポートシステム）のコンセプトを構築し、一部の船舶において機能を確認した。

2.1 陸上サポートシステムの基本構成

本研究で開発を進めた陸上サポートシステムは、船内の多くの項目を計測し、監視することができる。図2.1は船内ネットワーク構成の一例である。主機の燃焼消費特性、船速や位置、舵角等の航海関連情報、さらにバラスト制御盤や甲板機械・荷役機械などの詳細情報などを計測・監視している。

図2.2は船内に設置した監視モニタ、図2.3に陸上サポートシステムの表示画面の一例である。これらの表示画面は船内と陸上にリアルタイムで共有され、船内の詳細情報などを監視できる。

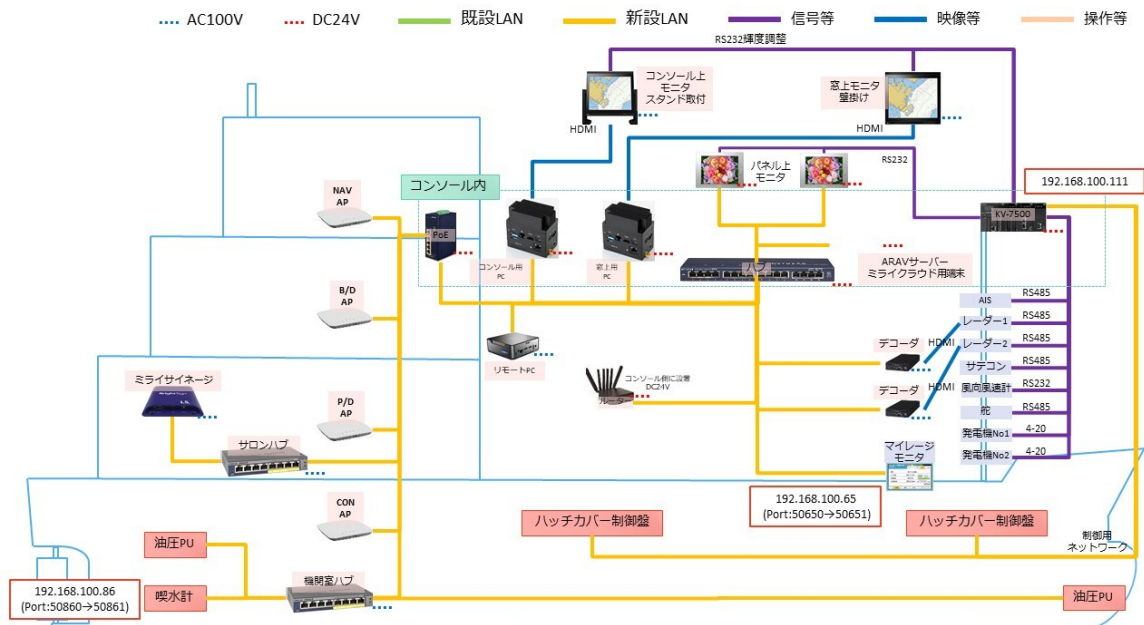


図 2.1 船内システムイメージ



図 2.2 操舵席に設置した監視モニタ



(a) メイン画面 (運航時)



(b) 統計データ表示画面

図 2.3 陸上サポートシステムの表示画面例

2.2 複合型陸上サポートシステムのコンセプト

令和5年度、複数の対象船と、複数の関係者・使用者から構成される複合型陸上サポートシステムのコンセプトを構築した。

図2.4は、複数の船の関係者として、3社の船主A、B、Cと3社の船用機器メーカーを設定した例である。各船主のアカウントでは、自社以外の船にアクセスすることをできなくすることが本システムの基本となる。また、それぞれの船によって搭載される機器のメーカーが異なるので、データ管理は複雑になる。保存された詳細な計測データについては、アカウントによるアクセス制限を設ける。一方、一般的な運航データは、船用機器メーカーにとって有用な情報となるため、機密性が低い情報は共有できるシステムとする。

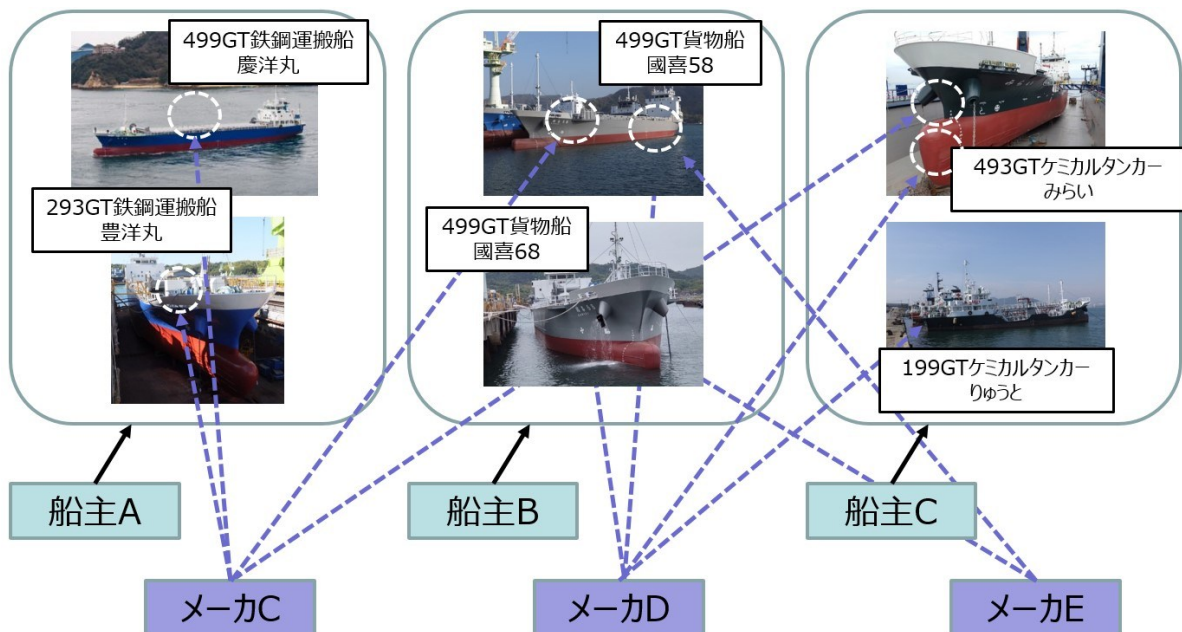


図 2.4 複数の対象船と複数の関係者（使用者）から構成される複合型陸上サポートシステム

3. 陸上サポートシステムの実証試験例

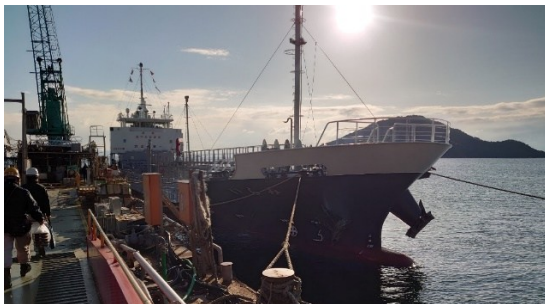
本研究では7隻もの内航船により、様々な実証試験を実施した（図 3.1 参照）。以下、その一部を紹介する。



(a) 499GT 貨物船「國喜 58」



(b) 749GT 貨物船「興喜」



(c) 493GT ケミカルタンカー「みらい」



(d) 199GT ケミカルタンカー「りゅうと」



(e) 499GT 鉄鋼運搬船「慶洋丸」



(f) 293GT 鉄鋼運搬船「豊洋丸」



(g) 499GT 貨物船「國喜 68」

図 3.1 陸上サポートシステムの実証試験に用いた内航船

3.1 データ整理やメール送信機能を含めたデータ処理システムの構築

モニタリングデータの処理技術の構築については、図 3.1(a)に示した総トン数 499 トンの鉄鋼運搬船「國喜 58」に搭載されている電動ハッチカバーを主対象とした実施例を紹介する。

本船の電動ハッチカバーは、ハッチカバー前後に設置した電動モータによって、分割したカバーを巻き取る。また、ハッチカバーのジャッキアップとロック機構のために、複数の電動シリンダが設置されている。陸上サポートシステムは、これらの電動モータと電動シリンダの運転を監視する。

図 3.2 に電動ハッチカバーの監視・管理画面を示す。同図(a)の監視画面では、運転時のシリンダ荷重やモータ電流を確認できる。同図(b)の管理画面では、それぞれのアラーム発生回数や運転時間を確認でき、機器メーカーや運航事業者によって不具合の確認やメンテナンスの計画などを行うことができる。本船の陸上サポートシステムでは、電動ハッチカバーの試運転時に取得した計測データを詳細に解析し、アラーム発令の条件を設定した。例えば、シリンダ上昇時（ハッチカバーのジャッキアップ時）、ハッチカバーと接触した後の荷重が大きくなること、シリンダ下降時の荷重は、高荷重で始まり、一度低荷重となった後、最大荷重で終了することといった詳細なデータを確認し、アラーム発令のためのルールや最大荷重のしきい値等を設定した。

また、一連の電動ハッチカバーの運転を終了すると、運転データを添付ファイルとしたメールを送信する機能を設けた。また、アラーム発令時にもメールが送信され、不具合の状況を陸上で確認することができる。



(a) 電動ハッチカバーの監視画面



(b) 電動ハッチカバーの管理画面

図 3.2 陸上サポートシステムによる電動ハッチカバーの表示画面例

3.2 船内機器の経年変化と省エネの見える化のためのモニタリング装置

内航船の安全性確保のためには、アラーム発令のしきい値の設定が適切であるばかりでなく、モニタリングデータの経年変化を把握し、適切な時期に陸上サポートを実施する必要がある。経年変化の把握が必要となる重要な船内装置としては、油圧機器や主機がある。

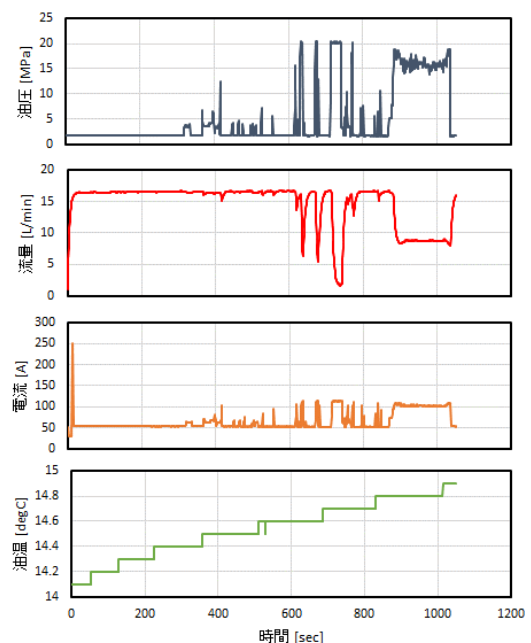
前者の油圧機器においては、シール装置の摩耗等により作動油に海水が浸入し、機能が損なわれることなどが考えられる。図 3.3 は、図 3.2(b)に示した 749GT 貨物船「興喜」における陸上サポートシステムの油圧ポンプの監視画面および運転データの一例である。同図(a)の監視画面では、運転時の瞬時データを表示するとともに、トレンドグラフを表示する機能を設けている。また、同図(b)に示すように、油

圧ポンプの運転データは極めて複雑なため、油圧ポンプの健全性を短時間で評価するのは簡単ではなく、長期に取得したデータの分析が必要である。なお、研究期間中、経年変化の把握には至らなかった。

主機の経年変化としては、燃料系統や排気系統へのスラッジの蓄積やシール装置の摩耗などによる燃費性能低下などが考えられる。図 3.1(c)に示した 493GT ケミカルタンカー「みらい」においては、本船に軸馬力計（プロペラ軸のトルクを計測する装置）を取り付け、主機性能の経年変化や“省エネの見える化”のためのモニタリング装置を搭載した。図 3.4 は、船内で省エネ効果を「見える化」するための監視画面である。リアルタイムで燃料消費状態を確認するため、画面左に「Eco Meter」を配置している。これは燃料 1 リットルあたりに進む距離（単位：m/L）であり、自動車の燃費計算によく使われる指標である。図 3.5 は、陸上のパーソナルコンピュータで監視するため、運航状態や主機状態などを一画面に表示させた陸上サポートシステムの画面例である。



(a) 油圧ポンプの監視画面



(b) 運転データの一例

図 3.3 陸上サポートシステムによる油圧ポンプの監視例



図 3.4 省エネ効果を「見える化」するための船内監視画面

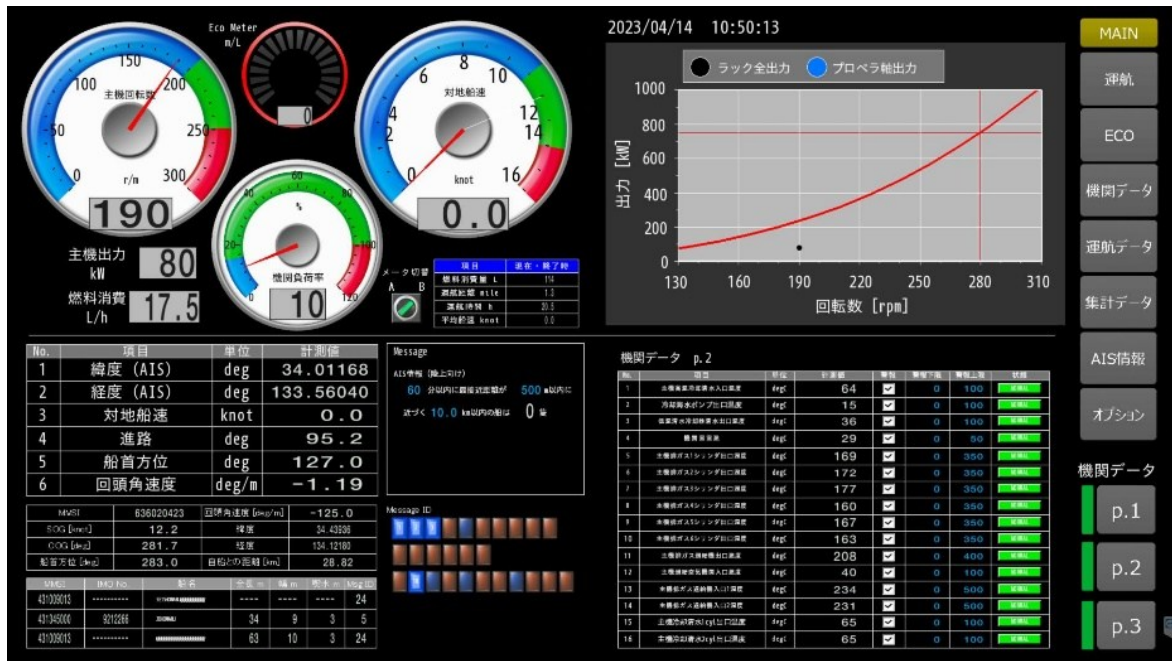


図 3.5 陸上監視画面の例

3.3 陸上のクラウドコンピュータを利用した監視システム

本研究では、陸上のクラウドコンピュータを利用した監視システムの検討を進めてきた。図 3.6 は、クラウドコンピュータを利用した監視画面の一例である。陸上のクラウドコンピュータを利用することで、汎用の web ブラウザから簡単に利用できるといったメリットがある。また、ユーザが使いやすいシステムとするため、画面レイアウトの変更やタイムライン表示といった機能を充実させ、付加価値を高めている。

また、本研究では、陸上のクラウドコンピュータを利用するシステムのセキュリティ対策についても検討を進めてきた。ユーザ管理機能とログイン・ログアウト機能を強化し、各社の機密性が高い情報であっても安心して通信ができるように工夫している。



図 3.6 陸上のクラウドコンピュータを利用した監視システムの例

3.4 複合型陸上サポートシステムの検証

複数の関係者・使用者から構成される複合型陸上サポートシステムについては、陸上設備において基本システムの構築と動作確認をした後、図 3.1(e)に示した 499GT 鉄鋼運搬船「慶洋丸」に搭載している陸上サポートシステムを改修することによって一部の機能を検証した。

図 3.7 は、本船の船内ネットワーク（取得データの流れ）を模式的に表している。改修前は船内の PLC（Programable Logic Controller）にデータが蓄積されるだけであった。その場合、船外からデータを取得する際、船外のパーソナルコンピュータからインターネットを経由して船内ネットワークに接続した後、FTP サーバに設定した PLC からデータを読み出す必要があった。PLC では緻密なアカウント設定ができないため、図 2.4 に示したコンセプトのような複数の関係者が利用するシステムの実現は難しい。

改修後は、PLC を FTP クライアント、NAS（Network Attached Storage、ネットワーク接続型ストレージ）を FTP サーバとし、PLC が取得したデータを NAS に転送するシステムを構築した。NAS のアカウントを適切に設定することにより、上記コンセプトを実現できることを確認した。すなわち、陸上のパーソナルコンピュータから VPN サーバに接続し、リアルタイムで船内機器の状況監視や取得データへのアクセスできる。なお、既に作成・保存された過去のデータファイルの管理は比較的容易であるが、リアルタイムで監視するデータの取扱いには注意が必要である。

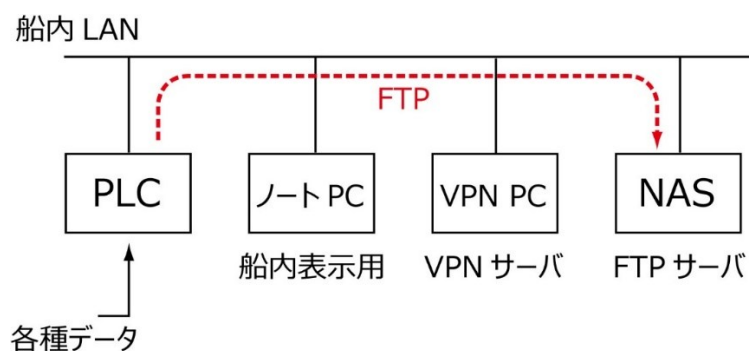


図 3.7 船内ネットワークと取得データの流れ

4. 情報セキュリティの対応方法の調査と検証

SBIR フェーズ 1 のプロトタイプは、一部の関係者（使用者）だけがデータを取り扱うことを想定したため、情報セキュリティに対する考慮はほとんどなされていなかった。陸上サポートシステムには、各船用機器メーカーの重要な情報や対象船の運航データが含まれることとなり、複数の関係者によってデータが取り扱われることとなる。

令和 4 年度は、陸上サポートシステムの実用化・事業化を進めるために必要となる情報セキュリティの対応方法を調査した。図 4.1 に評価対象システムの概要を示す。リスクアセスメントの結果、人命または船舶の重大事故につながる課題は確認されなかった。ただし、システムの停止や不正アクセスにつながるような課題があり、これらの対策が必要であることがわかった。例えば、適切なアクセス制御、強固なパスワードの設定、セキュリティログの取得などの対策がある。

令和 5 年度は、陸上サポートシステムを搭載した数隻の内航船を対象として、ネットワークおよびそのセキュリティが適切に機能することを確認した。例えば、陸から船にアクセスする際に必要となる VPN サーバのセキュリティログを確認する機能である（図 4.2 参照）。通常の動作と異なる不正アクセ

スが確認された場合、船内のコンピュータが検知し、陸上の管理者にメールを送信するといった対応を検討した。さらに、情報セキュリティの設定標準を策定する試みをした。外部との通信制御の設定基準や管理者アカウントの設定標準などを取りまとめて、陸上サポートシステムのためのセキュリティ設定の標準化を図ることによって、より安心して使用できるシステムを構築できる。

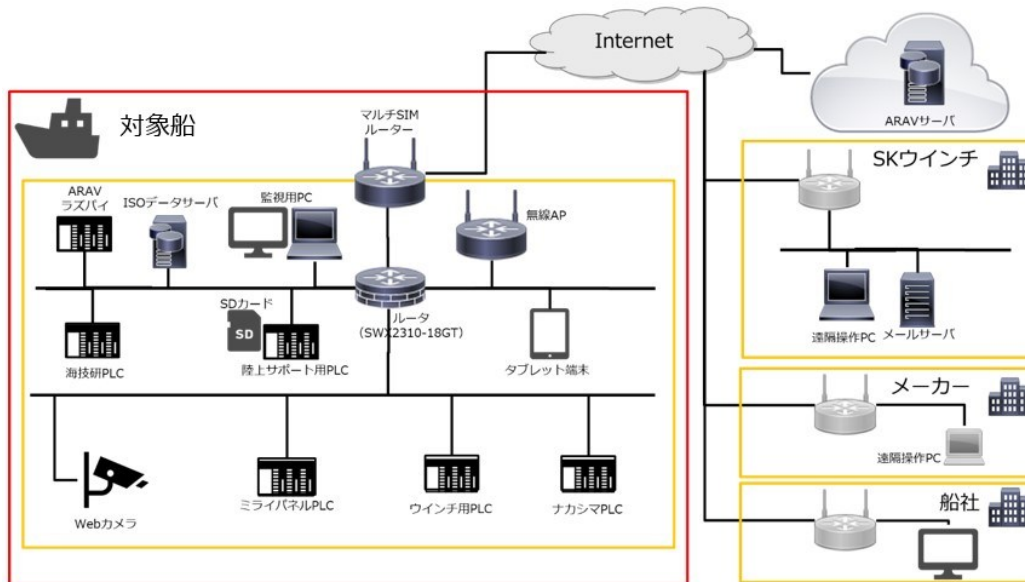


図 4.1 評価対象システムのイメージ

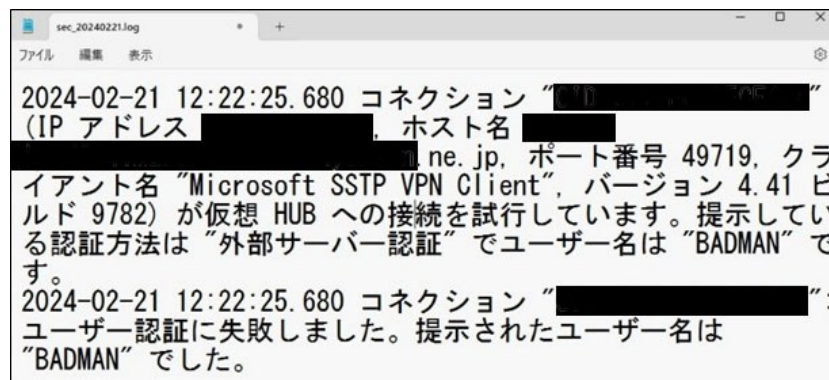


図 4.2 VPN サーバのセキュリティログ

5. 社会実装・事業化に向けた検討

以上に述べた実証試験を通じて、現状の陸上サポートシステムの課題を抽出し、社会実装・事業化のための対策を検討した。

5.1 社会実装・事業化に向けた 4P 分析

上記の実証試験や関係者による検討結果を踏まえて、船主を対象とした 4P 分析を実施した。4P 分析とは、マーケティングを考える際に使用するフレームワークであり、4つの P は、サービス内容を表す Product、価格を表すプライス、ターゲット顧客、すなわち販売する場所を示す Place、ターゲット毎に提案するサービス内容、すなわち販売促進活動を示す Promotion の頭文字である。表 5.1 に分析結果をまとめている。

表 5.1 社会実装・事業化に向けた 4P 分析

4P	意味	概要
Product	サービス内容	<ul style="list-style-type: none"> 船舶管理システム 船単位の状態監視 機器の健全性管理・見える化 機器の管理・監視・サポート
Price	価格	<ul style="list-style-type: none"> 定額制+オプション (ベース+選択制)
Place	ターゲット顧客	<ul style="list-style-type: none"> 船主
Promotion	ターゲット毎に提案するサービス内容	<ul style="list-style-type: none"> 複数の船用機器メーカーによるサポート体制の確立 機器不調時の初動対策 通信・機器導入コストの削減 省エネの見える化 (燃料消費量・運航効率)
付加価値	価値と魅力	<ul style="list-style-type: none"> 安全輸送・定時制の高い運航 船員労務負荷低減
	副次的な効果	<ul style="list-style-type: none"> 船内モニタの省スペース化 グラフィカル表示による容易な情報アクセス 安定したネットワーク通信 船員向け福利厚生 Wi-Fi の開放など

5.2 社会実装・事業化に向けた検討結果のまとめ

本研究では、船内機器の運転状況の監視ばかりでなく、内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減、安全性確保の両立を目指した陸上遠隔サポート技術の確立を目指してシステム開発を進めてきた。以下、それらの効果や課題をまとめる。

(1) 船員労務負荷低減

- ① 船内機器の健全性を可視化しているため、特に機関士の船員労務負荷低減に貢献している。
- ② 船内生活環境向上 (福利厚生を含む) を含めた情報提供の付加価値を追加することによって、船員労務負荷低減の効果が高まる。
- ③ 船内機器のトラブル時やメンテナンス時、詳細なデータが得られるので、船員は機器メーカーに状況を説明しやすい。または、陸上サポートシステムの整備が整えば、船員からメーカーへの説明が不要になる。
- ④ 陸上サポートシステムは、特にトラブル発生時の船員労務負荷低減の効果が高い。しかし、2年間の研究期間中に重大なトラブルが発生しなかったため、定量的な評価には至らなかった。

(2) 環境負荷低減

- ① 本陸上サポートシステムは、リアルタイムで燃料消費量などの環境性能を表示できる。しかし、リアルタイムの表示だけでは環境負荷低減の効果を得るのは難しい。環境負荷低減の効果を得るためには、注意喚起等の情報提供が必要であると考えられる。
- ② 現在の内航船において、船員の環境意識が低いのが実情である。本陸上サポートシステムによる省

エネの「見える化」によって、船員の環境意識を高めることができる。

- ③ モニタリングデータを活用し、データを詳細に解析することで運航方法の改善を図ることができれば、環境負荷低減の効果が高まる。そのためには、荷主や運航事業者の協力・支援が必要不可欠である。

(3) 安全性確保

- ① 本陸上サポートシステムは、通常時に確認しない船内機器についても監視することができる。また、陸上から機器メーカーが運転状態を監視でき、異常発生時にメールが送信されるなどの機能があるため、トラブルを未然に防ぎやすい。
- ② 本陸上サポートシステムは居室や操舵室、機関制御室などの安全な場所から船内機器の状態を監視できる。したがって、時化などで船体動揺が激しいときなど、船員が危険な場所に行かなくてよい。
- ③ 以上のように、本陸上サポートシステムは安全性確保の点でメリットがある。特に、トラブル時に事故を未然に防ぎやすいといった価値がある。しかし、研究期間中に重大なトラブルが発生しなかったため、詳細な評価には至っていない。

6. 結論

令和4年度は、計測データを使いやすくするための技術の構築や、陸上サポートシステムを最大限に活用するための運用方法、陸上サポートシステムの機能、陸上のクラウドコンピュータを利用した監視システムの機能を確認した。令和5年度は、複数の対象船と複数の関係者から構成される陸上サポートシステムのネットワーク構築、セキュリティ対策を含めた様々な実証試験を進めた。さらに、陸上サポートシステムのユーザーズを明確にして、このシステムを普及させる方法を分析した。

2年間の研究によって、当初の目的であった内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減、安全性確保の両立を目指した陸上遠隔サポート技術の構築に貢献できたと考えている。以下、令和4年度から5年度までの2ヶ年で進めてきた本研究の成果をまとめる。

- ① データ整理機能やメール送信機能を含めた、使用者が扱いやすいデータ処理システムを構築した。
- ② 陸上サポートシステムを最大限に活用するための方法を検討し、船内機器の経年変化を調べるための準備を進めた。
- ③ 一部の対象船に“省エネの見える化”のためのモニタリング装置を搭載し、実証試験を行った。
- ④ 陸上サポートシステムの機能検証用ネットワークを構築し、陸上のクラウドコンピュータを利用した監視システムの機能を確認した。
- ⑤ 複数の対象船と複数の関係者から構成される複合型陸上サポートシステムのネットワークを構築した。
- ⑥ ネットワークシステムの情報セキュリティの対応方法を詳細に調査し、課題を抽出するとともに、対策方法を整理した。その結果に基づき、セキュリティログを取得する機能などを確認した。
- ⑦ 陸上サポートシステムのユーザーズを明確にして、本研究の「陸上サポートシステム」を普及させる方法を分析した。

7. 知的財産権取得状況

特許出願 0件

8. 研究成果発表実績

1) 論文発表

国内 0 件、海外 0 件

2) 口頭発表

国内 0 件、海外 0 件

3) その他（研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等）

なし

9. 参考文献

- (1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、2021 年度成果報告書、SBIR 推進プログラム/フェーズ 1 : IoT 等の活用による内航近代化、内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減を目指した陸上遠隔サポート技術