PS13　内航船の労働効率向上のための港内操船・係船支援に資する研究の概要

環境・エネルギー研究領域　＊原正一、加納敏幸、原口富博、星野邦弘、川島英幹、樋野純

１．研究開発の目的

内航海運業は、基幹的な輸送機関であり、我が国経済を支える大動脈としての役割を果たしている。他方、最近の産業構造の転換による需要低迷に荷主企業の物流合理化による需要減が加わって、市況の悪化が改善されていない状態が続いている。このような状況の中、内航海運の活性化が重要な政策課題となっている。特に、労働環境の厳しさ等もあり、船員労働力の不足、船員の高齢化が深刻な問題であり、内航海運の根幹を揺るがしかねない状況となっている。近い将来、安定的な輸送に支障が出ることが懸念されることから、労働環境の改善と、労働負荷の低減による若い労働力の確保、定着率の向上が喫緊の課題である。

労働環境の改善等については、これまで、ブリッジの省力化(ワンマンブリッジ、１人当直体制)、機関室の省力化（メンテナンスの陸上移行)、スタンバイ作業の軽減（離着桟作業の合理化）などが進められ、航海支援システムや荷役支援システムが開発されている。また、機関室の省力化については鋭意メーカーを中心に研究が進められこれに貢献している。

しかしながら、労働負荷が最大となる港内操船を含む離着桟作業の合理化、スタンバイ作業の軽減という課題は、残されたままとなっている。特に、内航船は、外航船に比べ航海距離が短く離着桟回数が格段に多い。

省力化を図りつつ安全かつスムーズな運航を実現するため、港内操船を含む離着桟、スタンバイ作業に関し新規技術開発を用いて支援することにより、我が国の物流を支え、かつ、若者の職場としても魅力のある内航海運業界の構築を目指す。

２．研究目標及び研究内容

上記で述べた、離着桟、スタンバイ作業は、次のような課題を持っている（図-１参照)。

１）港内操船が船長の精神的負担のピーク（接岸時の損傷事故が多い）

２）離着桟時の労働負荷が最大（最低でも船首・船尾各３名、船橋２名の８名程度の作業員が必要）

３）接岸時、係船時の係留索の扱いが課題（係留索切断による人身事故の発生）

４）荷役時、係船時の保船作業が負担

そこで、目的を達成するために、具体的には以下を目標とする

①喫緊の課題に対し、即応性のあるシステムの確立。

②アプローチ操船時に船長の精神的負担を軽減し、効率的なアプローチ操船及び経験と技術の共有ができるガイダンスシステムの確立。

③現在、船首・船尾各３名、船橋２名の８名程度で行っている係船作業を港内操船、係船支援技術により船首・船尾各２名、船橋２名の６名で安全に行えるコンセプトの確立。

④荷役、係船時の保船作業を軽減するため、係留索の自動制御による位置保持システムの確立。

⑤経済性、利便性のあるシステムの達成。

３．研究目標の実現方法

２．の研究目標を達成するために、１）～３）の研究項目についてそれぞれの研究手法を述べる。

１）港内アプローチ支援システムの開発

気象・海象等の状況を仮定し入港予定港湾バースを想定した事前シミュレーションにより入港航路等が検討でき、また、実際に採用した操船と入港航路等の情報の共有、学習ができるガイダンスシステムを開発する。

この開発に必要な以下の研究を行う

① 入港時の制約条件を含む港湾バース情報の調査・収集・整理

② 離着桟操船シミュレーションモデルの開発

③ シミュレータモデルを活用した操船限界の整理

④自動着桟制御システムの検討、実証試験

⑤共有すべき操船情報の整理と保存方法の検討

⑥マンマシンインターフェースを考慮したモニターの検討

２）離着桟バーシング支援システムの開発

従来のバーシング作業では、ウインチ操作に１名、係船索取扱い作業に１名、係船索監視、船橋との連絡に１名の３名がそれぞれ船首及び船尾に配置される。船長は、風、周囲の状況を見ながら船首・船尾の乗組み員に適切に指示しつつ作業を行っている。

本研究では、ウインチの遠隔操作機能、係船索繰り出し、繰り入れ機能、索張力及び繰り出しモニター機能、索状態監視機能並びに接岸速度、船体位置、船体運動リアルタイム計測機能をもつ離着桟バーシング支援システムの概念設計を行う。これによりウインチ操作と係船索取り扱い作業を１名で、かつ、係船索監視、船橋との連絡作業の負担も軽減でき船首、船尾それぞれ２名で作業が可能となるシステムを提案する。

この開発に必要な以下の検討を行う。

① 船主、船長等の協力を得て、実作業の洗い出

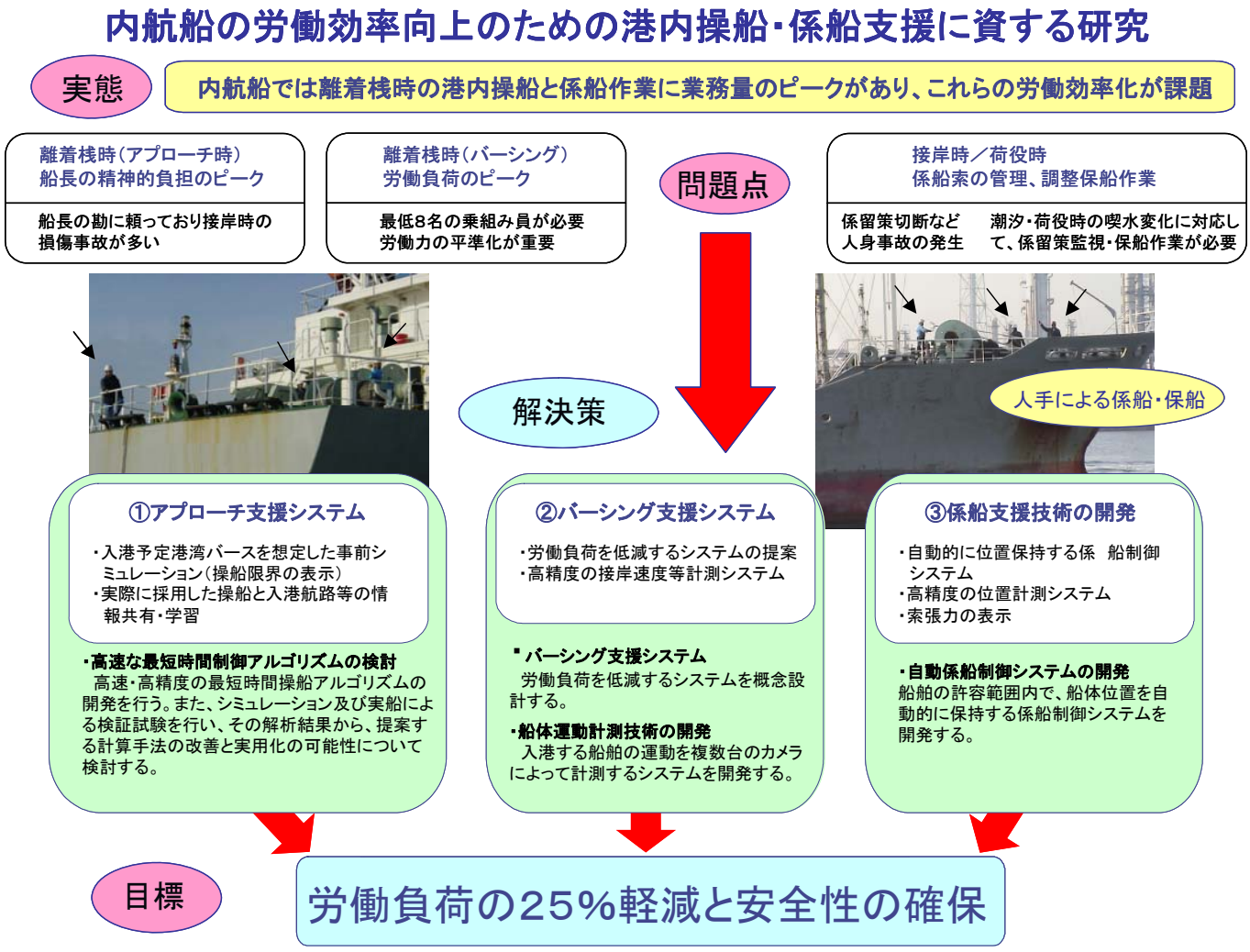

図-１　課題と研究目標達成のためのアプローチ

し、整理

②システムの概念設計

③実機による陸上試験

④画像解析手法を用いた複数台のカメラによる３次元接岸速度計測システムとアルゴリズムの開発

⑤マンマシンインターフェースを考慮したモニターの開発

なお、接岸速度、船体位置、船体運動リアルタイム計測装置については、本研究の共通コア技術であることから次のような研究を行う。

岸壁上に既設の係船柱等を目標物として、船舶に設置した複数台のカメラにより目標物を撮影し画像解析することで船舶から岸壁までの相対距離と接岸速度をリアルタイムに演算出力する装置の開発を行う。

接岸速度計としての開発目標を以下のとおり設定する。

1)距離測定レンジ　3m～100m

2)距離精度　　±3cm 以内（着岸時 相対距離）

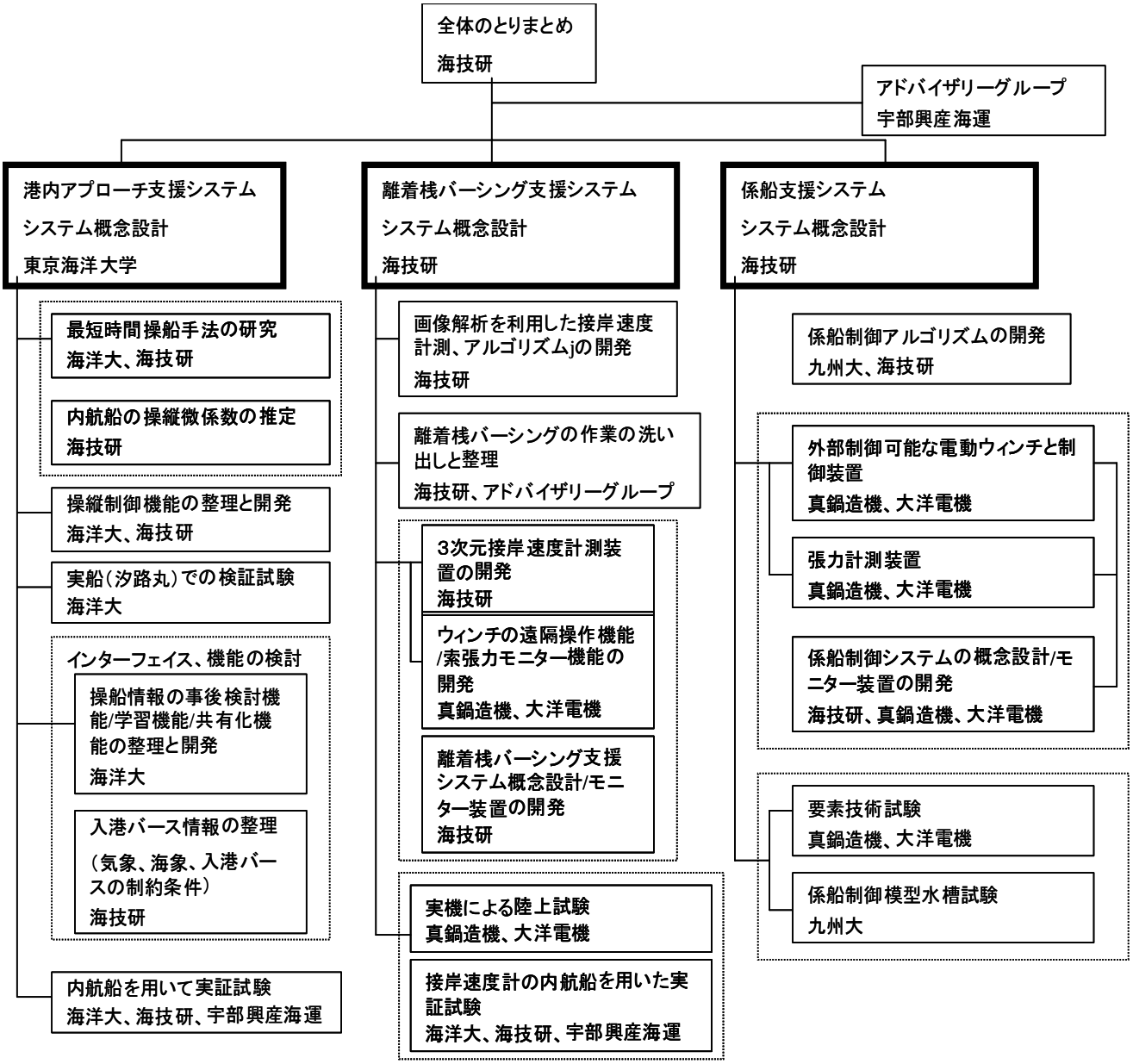

図-２　主な研究項目と研究実施体制

3）速度精度　　±2cm/s 以内（着岸時）
4）速度分解能　　±0.5cm/s 以内

船舶の許容位置範囲内で、船体位置を自動的に保持する係船制御システムを開発し、荷役時、係船時の保船作業の自動化を図る。

3）係船支援システムの開発

この開発に必要な以下の研究を行う

表-1　研究計画線表

機関	研究内容	平成16年度		平成17年度		平成18年度	
		7月	3月	4月	3月	4月	3月
海上技術安全研究所	1. 全体とりまとめ						
	①支援システムの機能・インターフェース検討	→		→		→	
	②概念設計	→		→		→	
	2. 港内アプローチ支援システム						
	①操縦微係数推定	→					
	②入港バース情報整理	→		→		→	
	3. バーシング支援システム						
	①バーシング時の作業の洗い出しと整理	→					
	②接岸速度計測アルゴリズムの開発	→					
	③バーシング支援システムの概念設計	→		→		→	
	4. 係船支援システム						
	係船支援システムの概念設計	→		→		→	
	5. 内航船を用いて実証試験					→	
	6. 最終成果総括					→	
東京海洋大学	最短時間操船手法の研究	→		→		→	
	操船制御機能の整理と開発	→					
	実船（汐路丸）で検証試験	→		→		→	
	操船情報の事後検討機能						
	／学習機能／共有化機能の整理と開発	→		→		→	
	内航船を用いて実証試験					→	
九州大学	係船制御アルゴリズム開発	→					
	係船制御模型水槽試験	→		→			
	性能の評価	→		→		→	
真鍋造機	ウインチの索張力モニター機能の開発	→					
	実機による陸上試験	→		→			
	外部制御可能なウィンチの張力計測装置	→					
	外部制御可能なウィンチの概念設計	→		→		→	
	要素技術試験	→		→			
	評価	→		→		→	
大洋電機	ウインチの遠隔操作機能の開発	→					
	実機による陸上試験	→		→			
	外部制御可能なウィンチの制御装置の開発	→					
	係船制御システムの概念設計	→		→		→	
	要素技術試験	→		→			
	評価	→		→		→	

①制御アルゴリズムの開発
②係船制御システムの概念設計
③係船制御模型試験と実機による陸上試験
④マンマシンインターフェースを考慮したモニターの開発

その他、システムの検討に当たっては、船主等のアドバイサリーグループを設け、また、東京海洋大学の練習船等の実船試験により実態を反映した研究を行う予定である。

本研究では、研究室での検討を基に、機器製造社の参加を得て実機レベルでの陸上試験、東京海洋大学の練習船等実船での検証によるフィードバックを行いながら、提案システムの概念試設計を行う予定である。また、船主等のアドバイザリーグループの意見を確認しつつ、研究オリエンティドに偏らないで本研究を進めていくこととしている。そのため、概念設計を基に詳細設計を行えば実用化の可能性は高く、研究終了後１年から２年で実用化も可能と考えられる。

また、経済性の観点からも、特殊な機器を使用するシステムではないので所要の性能が確認されれば普及も可能と考えられる。

本研究で到達できるであろう成果として、下記の事項が考えれる。

・内航船の港内操船・係船作業の省力化と安全性の向上
・内航船の港内操船技術の伝承と共有
・港内における最短時間操船法の開発と操船限界の検討
・船舶搭載型船体運動計測システム技術の確立
・自動係船システム設計技術の確立

これよりプロトタイプの概念設計が完了し、終了後直ちに実機の詳細設計、建造が可能となる。

４．研究実施体制と研究スケジュール

本研究の実施体制は図−１に示すように､海上技術安全研究所が中心となり、主に東京海洋大学が港内操船を、九州大学が係船の制御系を、真鍋造機(株)が電動ウインチを、大洋電機(株)がその制御系を担当して実施している。また、研究にユーザー側の意見も反映させることから、宇部興産海運および東海運等の船主からなるアドバイサリーグループを設けている｡表−１に３年間の研究計画を示す。本研究は、平成１６年度から３年計画で進めており、初年度である今年は､「港内操船アプローチ支援」「離着桟バーシング支援」及び「係船支援」の３のシステムについて検討を行い、これらを基にシステムの概念設計を実施した。

５．平成 16 年度の研究概要

１）港内操船アプローチ支援システムの開発

ある任意の地点から予定着桟地点付近に設定した、着桟予定点に至る最短時間で到達できる操船法を得る手法の開発を行った。これとともに宇部港、苫小牧港、新潟港、名古屋港のバース調査を行った。また、操船制御に必要な情報（位置、船速、船首方位、回頭角速度など）とアクチュエータの機能（舵応答、速度制御方法）を整理し検討を行い、20,000 トン型セメント船「新栄丸」の諸元を入手し、操縦微係数を推定し整理した。

考案された制御アルゴリズムが実船で応用可能か確認するため、東京海洋大学の練習船「汐路丸」による実験を行った。平成 16 年度は、PID 制御によるアプローチ操船を主に実験を行い、実験システム自体が正常に動くことを確認した。実験航海は７航海（２泊３日）乗船し３航海の実験を行い（１回は台風接近による中止)､様々な条件下での制御実験を行った。

操船情報の事後検討機能に関し、学習機能、共有化機能の整理と開発に必要な操船情報の洗い出しと整理を行った。対象とした「新栄丸」の宇部港における入出港操船の実態調査を行い、学習機能、共有化機能の整理と開発に必要な操船情報を洗い出した。

２）離着桟バーシング支援システムの開発

「新栄丸」を訪船し、実作業を調査した。その結果を整理し、離着桟バーシング支援システムの作業内容を整理しとりまとめた。接岸速度を計測するための画像処理法のアルゴリズムを開発し、陸上実験を行った。これより問題点を整理し､「汐路丸」にて船上実験により接岸距離および接岸速度のデータを取得した。実船実験のデータ解析をもとに、これまでの画像処理手法に改良を加えて

問題点を解決した。さらに、訪船調査でまとめた機能要件をもとに、離着桟バーシング支援システムの概念設計を行った。

３）係船支援システムの開発

「新栄丸」に搭載する電動ウィンチに要求される性能を整理し､張力センサーの仕様を決定した。また、操縦装置・表示器・PLC を用いて、インバータを使用し外部制御装置を駆動するインターフェイスの仕様を決定し、負荷状態における電動ウィンチの作動確認を行った。

係船制御システムについては、その要求される性能を聞き取り調査した。これをもとにコントローラーの仕様を決定した。索張力と船の平均位置を制御するために、多入力・多出力系が取り扱うことのできるモデルベースの制御系が望ましく、係船システムのシミュレーターを構築中である。なお､平成 17 年度の模型実験に向けて､画像処理により浮体の 3 次元運動を計測可能となり、模型ウィンチの仕様を決定し作動確認を行った。

４）全体のまとめ

各研究機関からなる３回の全体会合、3 回の分科会（操船アプローチ分科会、離着桟・係船分科会）を開催し、本研究に関する全体の連携と調査を行った。これには船主などで構成するアドバイザリーグループの方も議論に参加した。労働効率向上のために必要な各支援システムの機能要件についての検討を実施し、これに基づいてインターフェイス・概念設計を行った。全体会合では、この機能要件の検討に最も時間を割き、省力化のために必要な機能について議論を行った。

各支援システムについては、港内操船アプローチ支援システムおよび離着桟・バーシング支援システムの検証のために、東京海洋大学所有の練習船「汐路丸」で７回の航海実験を行った。前者においては、制御アルゴリズムの検証を行うことができ、後者については接岸距離を計測するための画像処理法の解析アルゴリズムの有効性に問題があることが確認し、陸上実験で別の解析手法の有効性を実証できた。

係船支援システムでは、電動ウィンチの仕様の決定、張力計の検証、外部制御装置の作動確認を完了した。また、係船自動制御アルゴリズムを検討し、係船システムシミュレーターを構築中である。

６．おわりに

本研究は､内航船の労働効率向上を図る目的で、最もボトルネックとなっている離着桟支援システム等の開発を実施し、省力化を達成することを目的として３年計画で実施されている。初年度である今年は､「港内操船アプローチ支援」「離着桟バーシング支援」及び「係船支援」の３のシステムについて検討を行い、これらを基にシステムの概念設計を実施したところである。次年度は、試験研究を通じてこれらのシステムの妥当性について検証を行うこととしている。

最後に、本研究は鉄道建設・運輸施設整備支援機構の運輸分野における基礎的研究推進制度による研究の一環として実施されたものであり、関係者各位に謝意を表する。