

離島の交通支援のためのシームレス小型船システムの開発

平田 宏一*, 宮崎 恵子**, 疋田賢次郎**, 荒谷 太郎**
松倉 洋史**, 吉村 健志**, 西崎ちひろ***, 三宅 里奈**
田村 兼吉*****

Development of the Small Size Seamless Ship Transportation System for Sea Routes at Remote Islands

by

Koichi HIRATA, Keiko MIYAZAKI, Kenjiro HIKIDA, Taro ARATANI,
Hiroshi MATSUKURA, Kenji YOSHIMURA, Chihiro NISHIZAKI,
Rina MIYAKE and Kenkichi TAMURA

Abstract

The population of Japan, especially in remote island areas, has been aging rapidly. In those areas, it is important to keep public transportation systems. The public transportation systems should be more accessible for elderly people. Then we have proposed a public transportation system for the remote island area using a small craft and a small electric bus. We also have developed a new small-craft for the study on the public transportation system. The small-craft has a loading and unloading system for automobiles including a small bus. Passengers can go aboard the small-craft with the bus, then it makes possible to take passengers to their destination without transferring between marine transportation systems and land transportation systems. Also, we discussed about support systems for the small-craft, such as an automatic control system for the bus loading and unloading system of the small-craft and a battery charging system for an electric vehicle, EV. In this paper, an outline of the small-craft and onboard test results of the loading and unloading system are shown. The test results of support systems are also reported.

* 環境・動力系, ** 運航・物流系, *** 東京海洋大学, **** 研究統括監

原稿受付 平成29年1月31日

審査日 平成29年2月22日

目 次

1. まえがき	2
2. シームレス実験船の概要	2
2.1 実験船の基本構造	2
2.2 実験船の建造と基本性能	4
2.3 安全性並びに機能確認試験	6
3. 車両乗下船装置	7
3.1 車両乗下船装置の動作範囲	7
3.2 乗下船させる小型バスの諸元	8
3.3 車両乗下船装置の操作方法	8
3.4 実験船による車両乗下船試験	9
3.5 その他の車両乗下船装置に関する対策	9
4. 実用化技術に関する検討及び検証試験	10
4.1 自動化・省力化設備の要件の検討	10
4.2 自動化・省力化設備の概要及び検証	11
4.2.1 離着岸支援システム	12
4.2.2 係船作業支援システム	14
4.2.3 車両乗下船装置の自動制御システム	15
4.2.4 運航支援システム	17
4.3 EV 充電制御システムに関する技術開発	17
5. あとがき	18
謝 辞	18
参考文献	18

1. まえがき

高齢化が進む離島地域においては、移動の際の負担が少ない生活航路が必要とされている。海上技術安全研究所では、2013 年度から離島航路の生活基盤の維持並びに観光業の活性化を目的として、新しい小型海上交通システム（シームレス小型船システム）の研究・開発を進めてきた¹⁾²⁾。2014 年度に建造したシームレス実験船は、総トン数約 17 トン、全長 16.5 m の小型船舶に、小型バス（最大重量約 7.5 トン）を乗下船させるための装置が取り付けられている。乗客は小型バスに乗車したまま、本船への乗下船ができるため、乗客は離島と本土間で交通機関の乗り換えをせずに目的地に移動できる。

本稿では、シームレス実験船について概説するとともに、本船特有の設備である車両乗下船装置及び本船の自動化・省力化を目指した試験用システムについて報告する。

2. シームレス実験船の概要

2.1 実験船の基本構造

図 2.1 にシームレス実験船の基本構造、図 2.2 に本船の動力システムの基本構成、表 2.1 に本船の主要目を示す。本船は、総トン数約 17 トンの FRP 製小型船舶であり、甲板上に車両乗下船装置を有し、旅客室を兼ねた小型バ

スを搭載できるという特徴がある。また、船内には、電気自動車（EV）の搭載を想定した急速充電器や様々な船内電力利用に用いるリチウムイオン電池等の特殊な電気機器が搭載されている。

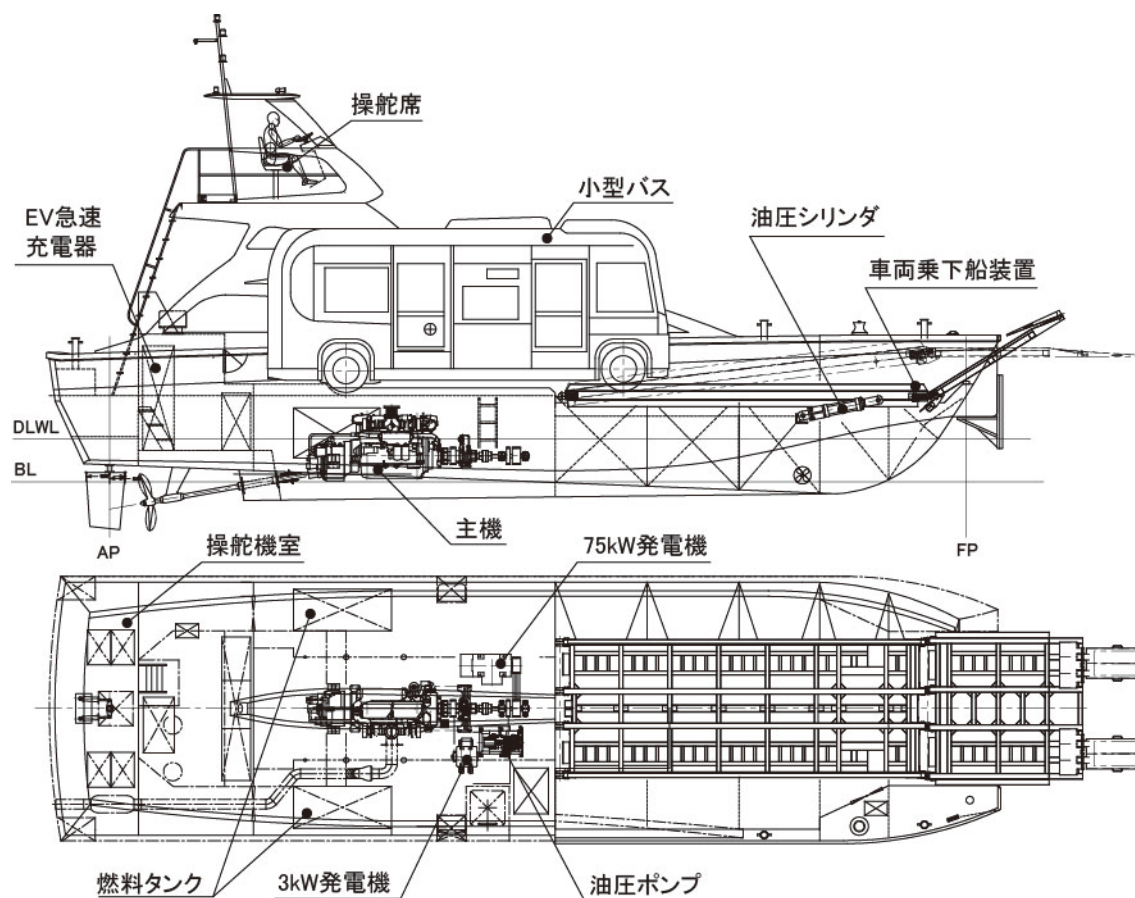


図 2.1 シームレス実験船の基本構造

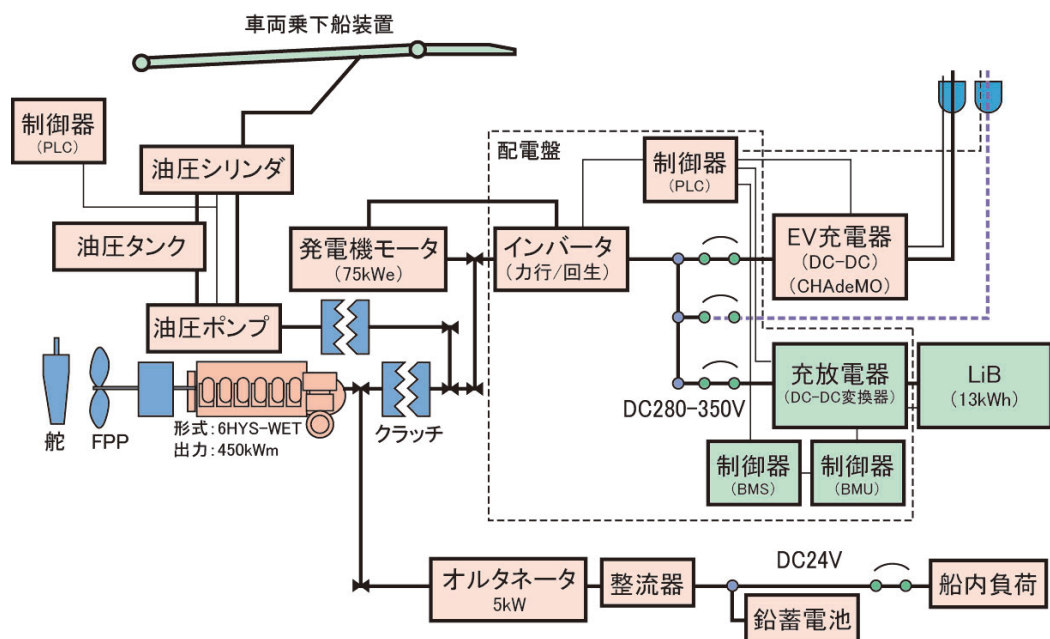


図 2.2 シームレス実験船の動力システムの基本構成

表 2.1 シームレス実験船の主要目

全長	約 16.50 m
垂線間長	14.90 m
最大幅	4.60 m
登録幅	4.38 m
型深さ	1.50 m
計画喫水	0.70 m
定員	(臨時航行申請により異なる)
総トン数	約 17 トン
主機関	ヤンマー6HYS-WET (定格出力 450 kW@2132 min ⁻¹)
航海速力	約 11.50 kt
燃料油タンク	約 2.00 m ³

2.2 実験船の建造と基本性能

図 2.3 に建造時のシームレス実験船，図 2.4 に建造直後の進水並びに海上航行の様子を示す．本船の建造後，小型船舶の建造直後に行われる通常の海上試験（速力試験，旋回試験，前後進試験）を実施した．

表 2.2 は速力試験の結果をまとめたものであり，同表(a)は軽荷状態（小型バスに相当するおもりを搭載していない状態），同表(b)は満載状態（小型バスに相当する約 7.5 トンのおもりを搭載した状態）の結果である．同表における主機設定負荷率は，主機の定格出力を 100 % として，定格回転速度を基準とした船用負荷特性（主機出力がプロペラ回転数の 3 乗に比例する特性）に応じた割合を示しており，速力試験においては船用負荷特性により求まる主機の回転速度を設定している．ただし，図 2.2 に示すように，本船には主機で駆動する最大出力 75 kW の発電機が搭載されているため，通常の小型船舶と比べて低い負荷のプロペラが取り付けられている．また，速力試験では 75 kW 発電機を運転していないため，主機設定負荷率を 100 % とした場合であっても定格出力 450 kW の 60～75 % 程度となっている．なお，主機出力，燃料消費率及び燃料消費量は，排気温度から推定した値である．本船のプロペラは，主機の定格回転速度（2132 min⁻¹）において，軽荷状態の船速が 13.0 ノット，満載状態の船速が 11.5 ノットとなるように設計されており，概ね設計通りの結果が得られることを確認できた．

さらに，旋回試験及び前後進試験についても軽荷状態と満載状態の両方で試験を実施し，本船の基本性能が概ね設計通りであることを確認した．



(a) FRP 製船体



(b) 甲板部

図 2.3 建造時のシームレス実験船



(a) 進水



(b) 海上航行

図 2.4 建造直後の進水並びに海上航行の様子

表 2.2 速力試験の結果

(a) 軽荷状態

主機設定負荷率	%	25		50		75		100		110	
往 復		往	復	往	復	往	復	往	復	往	復
移動距離	m	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0
航走時間	秒	206.0	216.3	170.0	179.0	157.1	160.3	141.2	140.9	134.5	132.9
速 力	kn	8.7	8.3	10.6	10.1	11.5	11.2	12.7	12.8	13.4	13.5
平均	kn	8.5		10.3		11.3		12.8		13.5	
主機回転速度	min ⁻¹	1340	1338	1701	1702	1933	1933	2128	2127	2210	2212
平均	min ⁻¹	1339		1701.5		1933		2127.5		2211	
タービン入口排気温度	℃	280	279	382	383	411	410	442	442	455	456
吸気温度	℃	29	31	31	32	32	31	31	31	32	31
主機出力	kW	60.0		140.9		181.6		270.8		325.0	
燃料消費率	g/kW・h	-		226		230		223		219	
燃料消費量	L/h	-		38.1		50.0		72.3		85.2	
プロペラ回転数	min ⁻¹	454.2	453.6	576.6	576.9	655.3	655.3	721.4	721.0	749.2	749.8
相対風速	m/sec	5.8	3.8	6.3	6.0	5.7	7.8	7.1	8.3	7.0	9.1
相対風向	deg	198.2	21.5	212.4	11.6	217.6	-5.6	231.2	-8.0	230.6	-7.1

(b) 満載状態

主機設定負荷率	%	25		50		75		100		110	
往 復		往	復	往	復	往	復	往	復	往	復
移動距離	m	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0	926.0
航走時間	秒	254.7	189.5	207.7	165.3	186.8	151.7	172.5	144.3	162.5	141.7
速 力	kn	7.1	9.5	8.7	10.9	9.6	11.9	10.4	12.5	11.1	12.7
平均	kn	8.3		9.8		10.8		11.5		11.9	
主機回転速度	min ⁻¹	1340	1340	1690	1690	1933	1930	2123	2120	2210	2210
平均	min ⁻¹	1340		1690		1931.5		2121.5		2210	
タービン入口排気温度	℃	285	286	384	385	421	420	462	465	480	485
吸気温度	℃	28.7	31	29	30	31	30	30	29	29	30
主機出力	kW	71.7		140.9		193.4		335.3		390.6	
燃料消費率	g/kW・h	-		226		229		216.7		216.7	
燃料消費量	L/h	-		38.1		53.0		87.0		101.4	
プロペラ回転数	min ⁻¹	454.2	454.2	572.9	572.9	655.3	654.2	719.7	718.6	749.2	749.2
相対風速	m/sec	6.2	6.9	6.1	6.8	5.8	6.7	5.9	6.4	7.0	8.4
相対風向	deg	-3.6	270.9	8.4	248.5	52.8	229.7	67.3	236.5	21.7	250.9

2.3 安全性並びに機能確認試験

前述の海上試験を行い、本船の基本性能を確認した後、以下に示す安全性並びに各部の機能を確認するための試験を行った。

- ① 離着岸及び係船の動作確認のための入出港模擬試験並びに係船状態における小型バスの乗下船試験を実施し、離着岸時や小型バスの乗下船時の安全性を確認した（第3章参照）。
- ② 実用化のための自動化・省力化の要件を取りまとめるため、本船の運航における作業動線を抽出した（第4章参照）。
- ③ 小型バス内の乗客の居住性を評価するため、振動・騒音、室温等を計測した。
- ④ 運航中の船上で小型バスのエンジンを運転することを想定して、その安全性を確認するための排気管周辺の各部温度計測、排ガス濃度計測等を実施した。
- ⑤ 非常時を想定した避難試験により避難に要する時間等を計測し、避難時間が従来型の船舶とほぼ同等であることを確認した（図2.5参照）。

これらの試験を行った後、別報「離島航路におけるシームレス小型船システムの受容性に関する調査」³⁾で報告するシームレス小型船システムのコンセプトに関する離島住民の受容性等を調査するための社会実験を実施した（図2.6）。



図 2.5 避難試験の様子



(a) 社会実験中のシームレス実験船



(b) 小型バスの下船

図 2.6 社会実験の様子

3. 車両乗下船装置

シームレス実験船に装備した車両乗下船装置は、主機動力で駆動する油圧ポンプと油圧シリンダによって駆動され、油圧シリンダに接続された電磁バルブをPLC（Programmable Logic Controller）により制御することで動作する（図2.2参照）。通常、車両乗下船装置の操作は、PLCに接続されたコントロールボックスにより行われる。本章では、この車両乗下船装置について述べる⁴⁾。

3.1 車両乗下船装置の動作範囲

図3.1に示すように、車両乗下船装置は2段式のランプウェイ及び先端部の折り畳み式フラップで構成されている。ランプウェイAは支点Aを中心として、油圧シリンダによって $0\sim 10^\circ$ 程度の範囲で動作する。また、ランプウェイBは支点Bを中心として運動し、上方向に動く際の機械的な拘束がないため、停泊時や航行時にはランプウェイAを平坦にし、ランプウェイBを収納することができる。一方、図3.2に示すように、ランプウェイBの端部には下方向の運動を制限する止め金具が取り付けられているため、 7° の角度で制限を受ける構造となっている。これによって、車両を乗下船させる際、ランプウェイを適切な形状に維持することができ、車両の乗下船を安定させることができる。なお、約1mの長さの折り畳み式フラップは車両の乗下船をよりスムーズに行うために取り付けたものであり、手で操作する構造である。

図3.3は、軽荷状態（車両を搭載しない状態）における本装置の動作範囲を図示したものである。車両乗下船装置の先端部は約1.3mの高さの範囲を動かすことができる。これは水面から岸壁までの高さの1.0～2.3mに相当する。ただし、車両の乗下船時には船体の上下運動並びにトリム変化（前後傾斜）が生じるため、実際の使用範囲はかなり狭くなる。

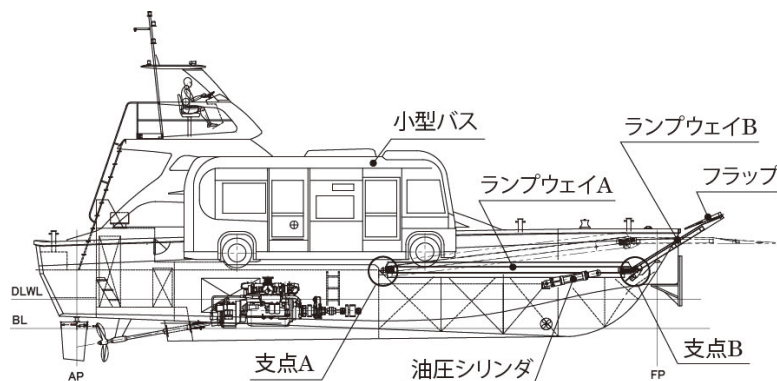


図3.1 シームレス実験船に装備した車両乗下船装置

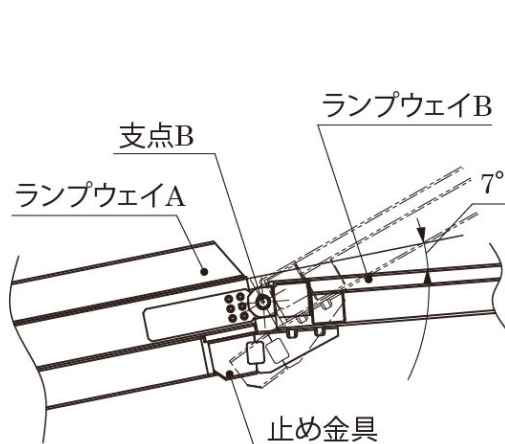


図3.2 車両乗下船装置の構造

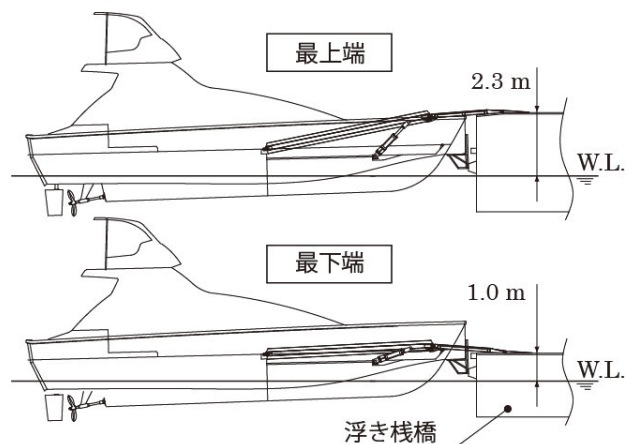


図3.3 車両乗下船装置の動作範囲

3.2 乗下船させる小型バスの諸元

本船には最大重量約 7.5 トンの低床式小型バス（日野自動車製ポンチョ）を乗下船させる。図 3.4 は小型バスの重量バランス、最低地上高さ並びにスロープを走行する際の制限を示している。船体及び車両乗下船装置はこれらの値を踏まえて、詳細な寸法・形状が決められている。

車両の乗下船時には船体の上下運動並びにトリム運動が生じる。図 3.5 は静的な排水量計算及びトリム計算を行った結果の一例を図示したものである。この計算例はランプウェイとバス底面との隙間が狭くなった状況を表しており、図面上の最小隙間はわずか 26 mm となっている。

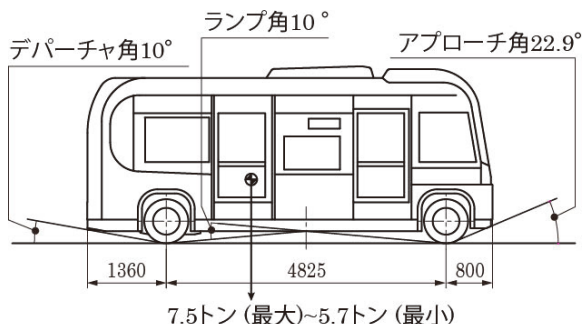


図 3.4 小型バスの重心位置及び各部寸法

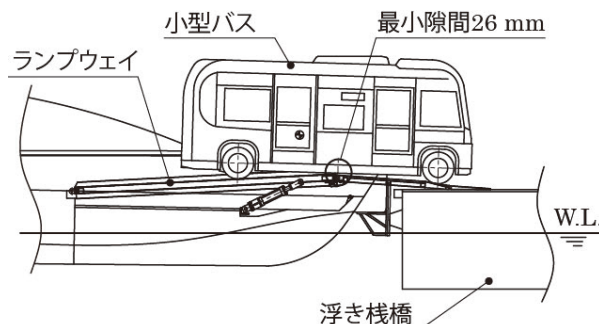


図 3.5 ランプウェイとバス底面との最小隙間

3.3 車両乗下船装置の操作方法

前述の通り、車両乗下船装置の操作は PLC に接続されたコントロールボックスにより行われる。制御電源、主機回転速度、クラッチ動作等の起動条件が整った後、コントロールボックスの起動スイッチを ON とし、上昇ボタンまたは下降ボタンを押すことで油圧シリンダが伸縮して車両乗下船装置が上下に動作する。なお、車両乗下船装置の上端または下端の位置は近接センサにより感知され、制限範囲を超えた運転ができないように PLC によって制御されている。

車両が乗下船する際には、船体の上下運動並びにトリム変化が生じるため、車両の移動に伴うスイッチ操作が必要となる。図 3.6 は、車両を下船させるときの車両乗下船装置の操作方法の要点を模式的に示している。同図①～③の範囲においては、車両が前方に移動するのに伴って船体が前方に傾くため上昇ボタンを押してランプウェイを上昇させる。④～⑤の間、すなわち車両の前輪がランプウェイ B の先端から降りる際、ランプウェイを適切な位置まで下降させておくことで、車両荷重の減少とともに船体が上昇し、車両底面とランプウェイが接触することを防ぐ。さらに、⑦～⑧の間、すなわち車両の後輪がランプウェイ B の先端から降りる際にも、ランプウェイを適切な位置まで十分に下降させておく必要がある。ランプウェイを十分に下降させておくことで、車両荷重の変化によって船体が跳ね上がり、ランプウェイ B の先端と車両後部底面が接触することを防ぐ。

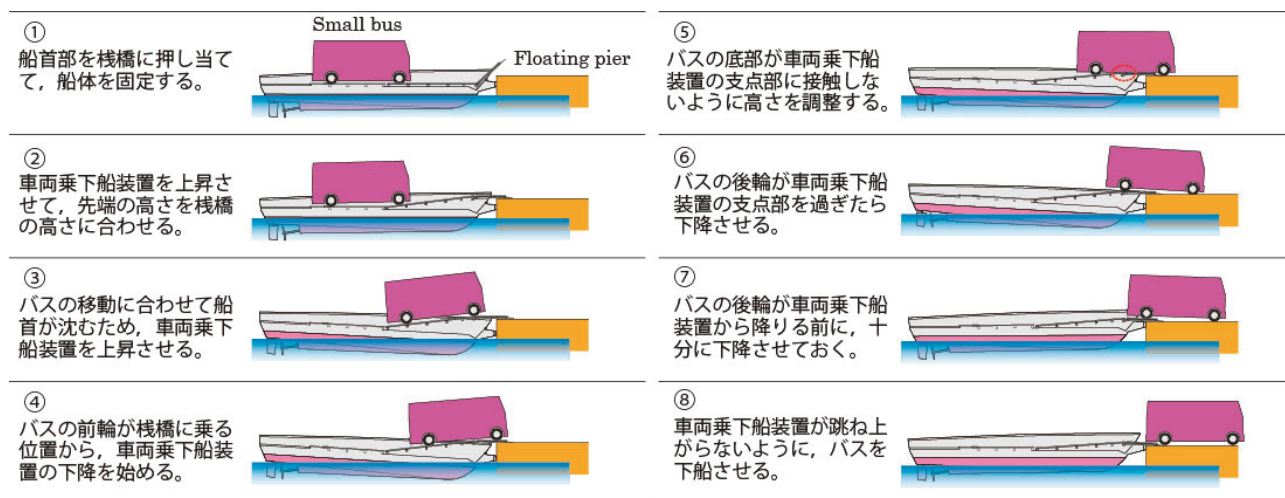


図 3.6 車両を下船させるときの車両乗下船装置の操作方法

3.4 実験船による車両乗下船試験

シームレス実験船を建造した後、海上において、軽自動車、ワゴン車、小型バスと順を追って車両乗下船試験を行い、車両乗下船装置の動作を確認した。図3.7は小型バスによる乗下船試験の様子である。試験の初期段階においては、小型バスの後部や底部がランプウェイに接触するなどの不具合が確認されたが、ランプウェイ先端へのフラップ取り付けや船首部の改造工事によって、小型バスの乗下船がスムーズに行えることを確認できた。

図3.8は、車両乗下船試験において、小型バスを下船させる際の車両乗下船装置の動作状況と船体のトリム角（前傾方向が負）を計測した結果の一例である。同図において、ランプウェイ角度Aは船体の基準となる甲板面とランプウェイAがなす角度であり、車両乗下船装置の操作状況を表している。また、ランプウェイ角度BはランプウェイAとランプウェイBがなす角度である。この試験では、車両が移動を始める前にランプウェイを大きく上昇させる操作①をしており、車両の前輪が支点Bを超えるあたりからランプウェイを下降させる操作②、車両の後輪がランプウェイBの先端から降りるときにランプウェイをさらに下降させる操作③をしている。車両乗下船装置を段階的に操作することで、小型バスの移動に伴う船体の上下運動並びにトリム変化に対応している。



(a) 車両乗下船試験



(b) 操作者による車両底部の確認

図3.7 小型バスによる車両乗下船試験の様子

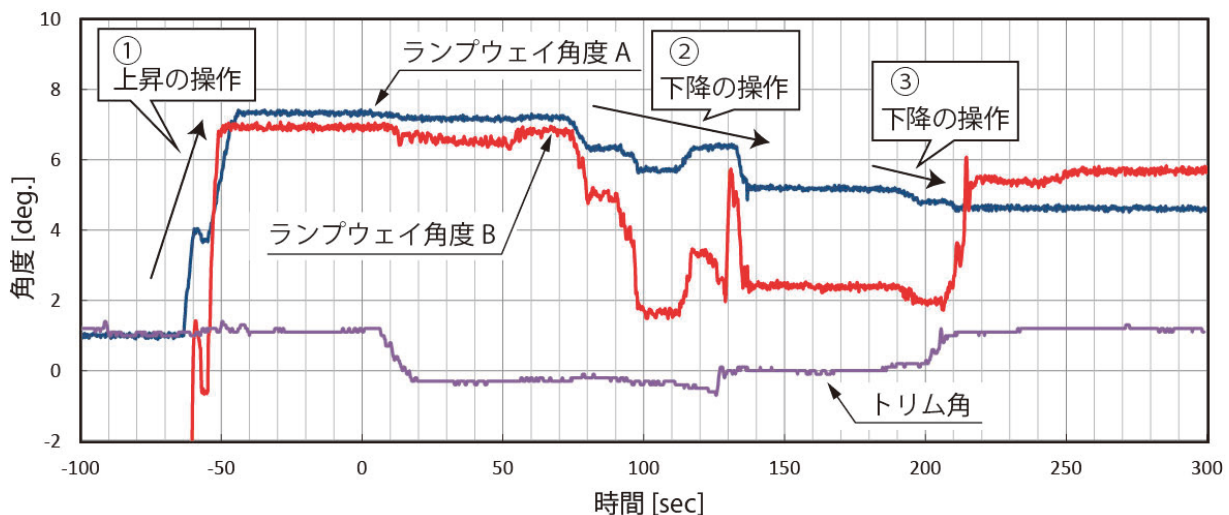


図3.8 車両乗下船試験結果の一例

3.5 その他の車両乗下船装置に関する対策

車両の乗下船を安全かつスムーズに行うため、本車両乗下船装置にはいくつかの対策を施している。例えば、図3.9(a)に示すように、緑色に塗装されたランプウェイの右舷側に黄色のラインを塗装している。これにより、車両が乗下船する際、車両の進入角度やタイヤの位置の目印となり、車両の運転が容易になる。また、ランプウェイA及びその後方の甲板にはタイヤの幅に合わせた溝がつけられており、車両を正確な位置に誘導するとともに、

船舶運航時の動揺によって車両が移動しないようにしている。また、ランプウェイには小型バスのタイヤ位置に合わせて、固縛ベルトを取り付けるための金具が付けられており、小型バスを強固に固定できる（図 3.9(b)）。

車両の乗下船時には、船体に取り付けられた電動キャプスタンによって栈橋につないだロープを巻き取り、船体を栈橋に強く押し付けている。これにより、車両のタイヤに強いトルクが発生した場合でも、船体が前後方向に動かないようにする。これらの対策によって、スムーズで安全な乗下船を実現できるようにしている。

さらに、上記の車両乗下船試験においては手動操作によってランプウェイを動作させていたが、その後、運航の省力化を目的として、車両乗下船装置の操作の自動化を図っている。この結果については 4.2 節で述べる。

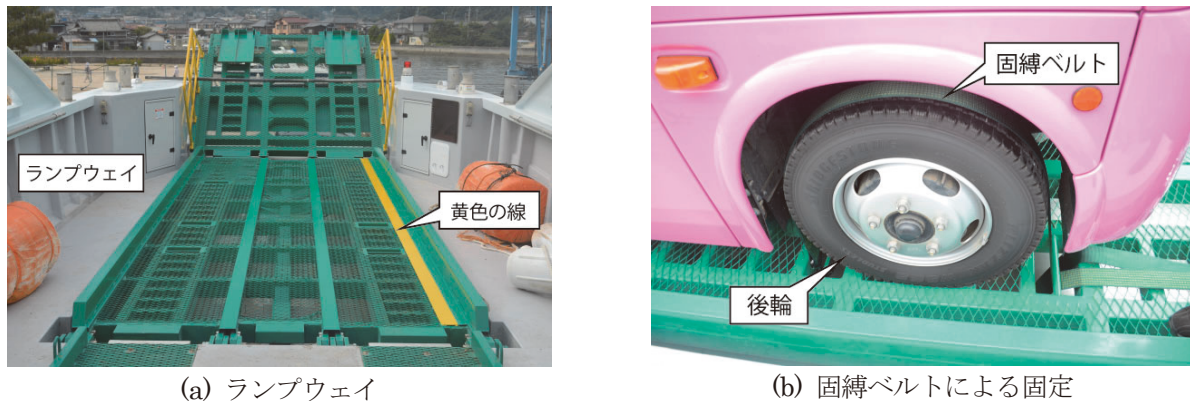


図 3.9 車両乗下船装置に関する対策

4. 実用化技術に関する検討及び検証試験

本章では、2014 年度に実施した離着栈試験、小型バスの乗下船試験、社会実験を通じた作業動線等から、実用化のための自動化・省力化の要件を取りまとめた結果について述べる。さらに、それらの検討結果に基づき、シームレス実験船に自動化・省力化の試験用システムを実装し、効果を確認した結果について概説する。

4.1 自動化・省力化設備の要件の検討

シームレス実験船の離着栈試験、小型バスによる乗下船試験及び社会実験等を通じて作業動線の解析をするとともに、操船者等からの意見を収集した結果を踏まえて、実用化のための自動化・省力化の要件並びに対策を以下の(a)～(d)にまとめた。

(a) 着栈時の船首部確認

シームレス実験船では、船首から着栈させる際、操舵席から船首部の状況が確認しづらい（図 4.1(a)）。そのため、当初の離着栈試験や社会実験においては、操船者以外の作業者が船首部を目視で確認し、船首から栈橋までのおおよその距離や船首部の接岸状況を操船者に伝えていた。これらの確認作業の省力化を図るため、船首から岸壁までの距離を操舵席で把握するための装置を取り付けることとした。

(b) 係船作業の省力化

当初の離着栈試験や社会実験における係船作業の際、複数の作業者が係船ロープを巻き上げており、その負担が大きかった（図 4.1(b)）。特に、シームレス実験船は、着栈時に風や潮流の影響を強く受けるため、複数の係船ロープを適切に巻き上げながら船体の位置を調整するなどの作業が必要であった。そのため、操舵席で係船ロープの巻き取り及び開放ができ、かつ係船ロープの張力を自動制御する装置を取り付けることで係船作業の自動化・省力化を試みることにした。

(c) 車両乗下船装置の自動制御

前章で述べた小型バスによる車両乗下船試験においては、車両乗下船装置を小型バスの近傍で手動により操作をしていた（図 3.7(b)参照）。前章に述べた車両乗下船試験では、低床構造の小型バスを使用していたため、車両

乗下船装置の凸部とバスの底面との距離が近く、バスの移動に伴う車両重心の変化に対応した適切な操作が要求され、作業の負担が大きかった。これらの結果を踏まえて、車両乗下船装置の操作を操舵席で行うためのシステムを設置することとし、さらに、車両の重心移動に伴う船体上下動に対する乗下船装置の自動制御システムを開発し、自動化・省力化を図ることとした。

(d) 運転状況の監視システム

海上航行時の操船者の負荷を低減するため、機関の運転状況及び燃料消費状況などをわかりやすく表示する監視システムを開発し、搭載することとした。



(a) 着岸時における操舵席からの目視状況



(b) 係船ロープの巻き上げ作業

図 4.1 小型バスによる車両乗下船試験の様子

4.2 自動化・省力化設備の概要及び検証

上記の検討結果に基づき、シームレス実験船に自動化・省力化のための試験用システムを開発した。図 4.2 に試験用システムの基本構成を示す。本システムは、複数の PLC と船内 LAN を利用しており、操舵席に設置したモニタ（タッチディスプレイ）を操作することで、上記(a)から(d)に対応したそれぞれの装置を運転・監視することができる（図 4.3 参照）。本システムはそれぞれの要素毎に段階的に開発を進めており、模型実験や陸上試験などでその動作を確認した後、シームレス実験船に実装し、岸壁及び海上航行においてその機能及び効果を検証している。以下、それぞれの装置の概要並びに試験結果について記す。

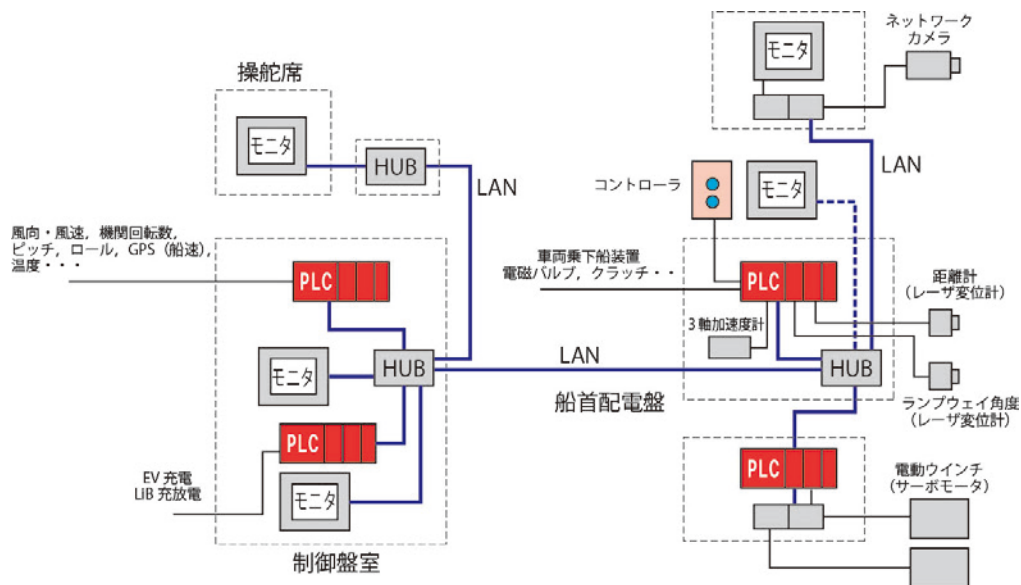


図 4.2 試験用システムの構成



図 4.3 タッチディスプレイを装備した操舵席

4.2.1 離着岸支援システム

図 4.1(a)に示したように、シームレス実験船は、船首から着岸させる際、操船席から船体先端部分が見づらい。そのため、操船席では、岸橋までの距離や押し付け部の接触状況がほとんど確認できない。そこで、着岸時の操船を支援するため、船首部にネットワークカメラと距離計（レーザ変位計）を設置し、操船席から監視できるようにするシステムを構築した。図 4.4 はシームレス実験船の船首部に取り付けたネットワークカメラとレーザ変位計、図 4.5 に操船席におけるモニター画面を示す。このモニター画面には、岸橋までの距離やネットワークカメラの映像のほか、着岸時の操船に役立つ風向・風速をビジュアルに表示するものとなっている。また、岸橋までの距離に応じて、音声（3 m 以内、2 m 以内、1 m 以内、50 cm 以内など）を発する PLC プログラムを開発した。



図 4.4 船首部に取り付けたネットワークカメラとレーザ変位計

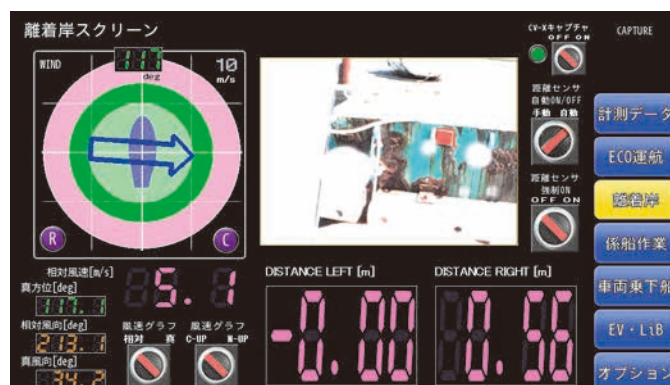


図 4.5 着岸支援のためのモニター画面

本システムをシームレス実験船に実装し、海上試験を行った結果、風向・風速の表示と岸壁までの距離の表示及び音声による情報提供は、着岸支援に有効であることを確認できた。本システムの有効性について、定量的に評価するには至らなかったものの、操船者は風向・風速の表示を見ながら本船が流される方向を推測できるため、着岸する岸壁に近づきやすくなること、岸壁までの距離の音声情報によって主機の回転速度や前後進のクラッチの操作を行えることなど、操船が容易になることがわかった。

図4.6はレーザ変位計による計測結果の一例、図4.7はそのときに操舵席からビデオ撮影した画像の一部である。この計測例では、着岸時、左からの横風に流されて、右舷が先に着岸している（約25秒後）。その後、30秒程度かけて左舷側を近づける操作をしている。そして、正常な位置に着岸した後（約70秒後）、距離が0mを示しており、適切な着岸が行われたことがわかる。すなわち、本システムは着岸直前の桟橋までの距離を表示するばかりでなく、着岸後の船体の姿勢を判断することにも有効である。ただし、今回の試験に使用したレーザ変位計の計測範囲は最大5mであり、設置位置の制限により、岸壁までの距離が3.5m以内にならないと検知されない。図4.6に示すレーザ変位計による計測結果からもわかるように、この計測範囲は着岸まで5～10秒程度で進む距離である。より着岸支援の効果を高めるためには、10～20m以上の長距離を計測できるセンサを取り付ける必要があると考えられる。

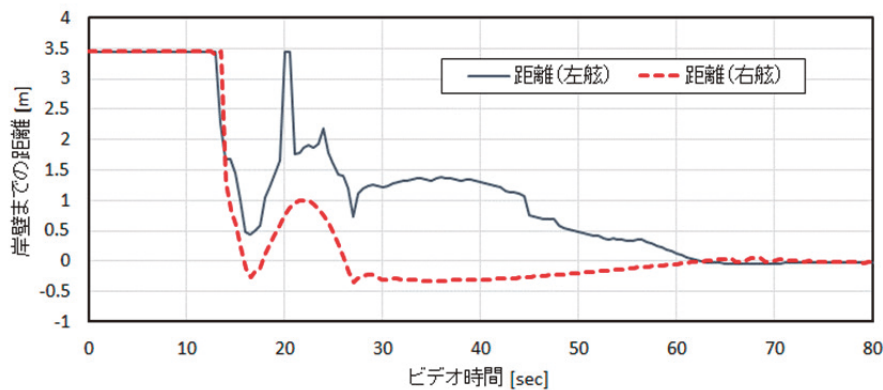


図4.6 レーザ変位計による計測結果の一例



(a) 15 秒後



(b) 25 秒後



(c) 45 秒後



(d) 70 秒後

図4.7 操舵席からのビデオ撮影画像

一方、実際の着岸時、操船者は、モニタ画面に表示されるネットワークカメラの映像をしっかりと確認することは難しく、しかもモニタの輝度不足により日中の視認性が低かった。着岸後に船首部の状況を確認することには有効であったが、カメラ映像による着岸支援の効果は十分とはいえない結果であった。

なお、本試験のために設置したネットワークカメラ及びレーザ変位計は、防水性能等、船舶搭載に適した仕様ではなく、長期の使用に耐えるものではない。

4.2.2 係船作業支援システム

図 4.1(b)に示したように、シームレス実験船の係船時、複数のロープを強く引いて船体と岸壁に固定する必要がある。複数（2～4名）の作業員による重作業が必要であった。そこで、係船作業を支援するため、係船ロープの巻き取り及び開放を操船席から操作でき、係船ロープの張力を自動的に制御する電動ウインチを開発した。

図 4.8 に試作した電動ウインチの構造、図 4.9 に係船作業支援システムの海上試験の様子、図 4.10 に係船作業支援システムの操作画面を示す。この電動ウインチは、定格出力 850 W のサーボモータ（定格回転速度 1500 min^{-1} 、最高回転速度 3000 min^{-1} ）、タイミングプーリ、ウォーム減速機（減速比 1/60）などから構成されており、設計時の定格ロープ張力は約 5400 N である。ただし、減速機構の静止摩擦トルクが設計時に想定していた値よりもやや大きく、陸上試験時の計測された最大ロープ張力は約 4000 N である。

電動ウインチ並びにその制御装置を試作し、陸上における動作確認を行った後、シームレス実験船に搭載して、その動作並びに機能を検証した。操舵席からの遠隔操作により、陸上試験時と同様、約 4000 N のロープ張力で船体を引くことができ、ロープ張力の自動制御も意図したとおりに機能することが確認された。

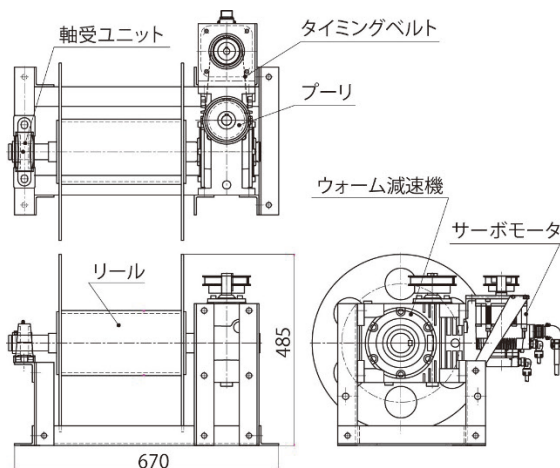


図 4.8 電動ウインチの構造



図 4.9 係船作業支援システムの海上試験

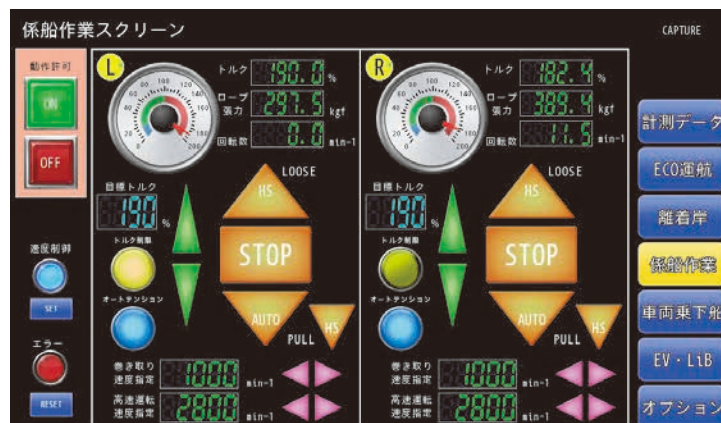


図 4.10 係船作業支援システムの操作画面

4.2.3 車両乗下船装置の自動制御システム

前述の通り、車両乗下船装置を操作する作業を低減するため、車両乗下船装置の操作を操舵席で行うためのシステムを構築した。このシステムは、船首配電盤内のPLCに新たに開発した自動制御プログラムを実装したほか、船首配電盤内のPLCと操舵席のタッチディスプレイをLANで接続することで、車両乗下船装置の遠隔操作と自動制御が可能としている。なお、車両乗下船装置の自動制御は、車両乗下船装置の支点部分に取り付けた2つの近接センサを検知することで行っている。

図4.11は車両乗下船装置の操作画面である。シームレス実験船による検証試験の結果、特段の問題なく、操舵席から車両乗下船装置を操作できることが確認された。ただし、小型バスによる車両乗下船試験を行うことはできず、総重量約1.5トンの乗用車（日産リーフ）及び総重量約2.5トンのワゴン車（日産キャラバン、10人乗り）を使用して試験を行った。図4.12に試験の様子を示す。

図4.13は、車両乗下船装置の自動制御を行った際の計測結果、図4.14はそのときに陸側からビデオ撮影した画像の一部である。これより、車両が乗船を始めてから車両の前輪が岸壁の位置を超えるあたりまでランプウェイは上昇し、その後、船体の傾斜変化に合わせてランプウェイが下降しており、自動制御が適切に動作していることがわかる。また、ランプウェイの制御速度は十分であり、ランプウェイの角度はハンチングなどの不具合がなく安定していることから、小型バスを用いた場合であっても同様の結果が得られるものと考えられる。この自動制御システムによって、操船者は操舵席にいたまま車両乗下船装置を簡単に操作できるようになるため、運航の省力化に貢献できると考えられる。

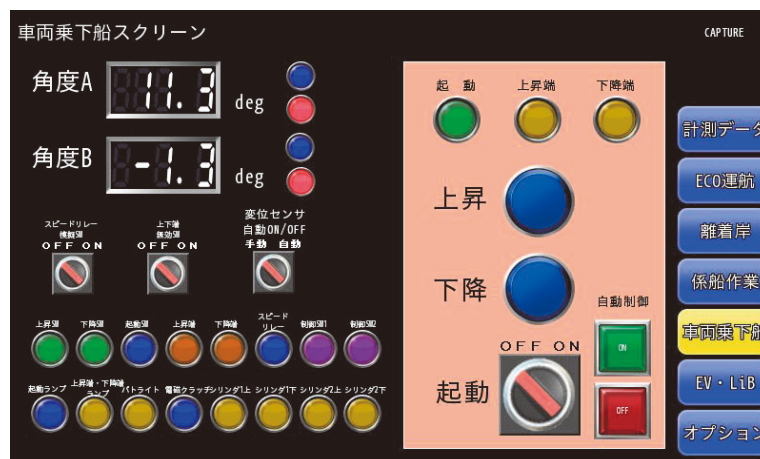


図 4.11 係車両乗下船装置の操作画面



(a) 乗用車による検証試験



(b) ワゴン車による検証試験

図 4.12 車両乗下船装置の自動制御システムの検証試験

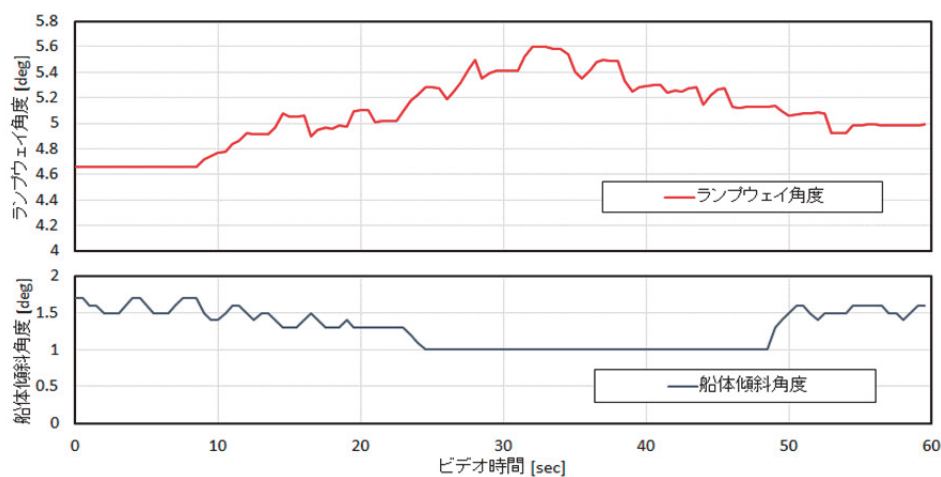


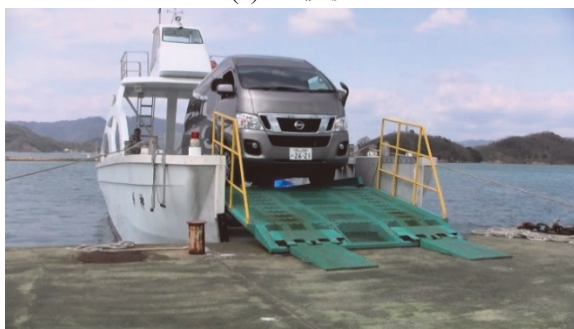
図 4.13 車両乗下船装置の自動制御の検証試験結果



(a) 15 秒後



(b) 30 秒後



(c) 45 秒後



(d) 60 秒後

図 4.14 車両乗下船装置の検証試験

4.2.4 運航支援システム

海上航行時の操船者の負荷を低減するとともに、実用時の省エネ運航を支援することを目的として、主機の運転状況及び燃料消費状況などをわかりやすく表示する運航支援システムを開発した。図 4.15 に、運航支援システムのモニタ画面を示す。同図に示すように、主機回転速度、排ガス温度、対地船速及び風向・風速をメータや数値で表示しており、さらに、主機回転速度と排ガス温度から推定される主機出力、主機負荷率、燃料消費特性並びに燃費（燃料 1 L あたりに進む距離、単位：m/L）を表示している。今回はあくまでも実験船による試験であったため、このシステムの長期的な有効性を評価できなかったが、このような情報提供によって実用時の省エネ運航を支援できるものと考えている。

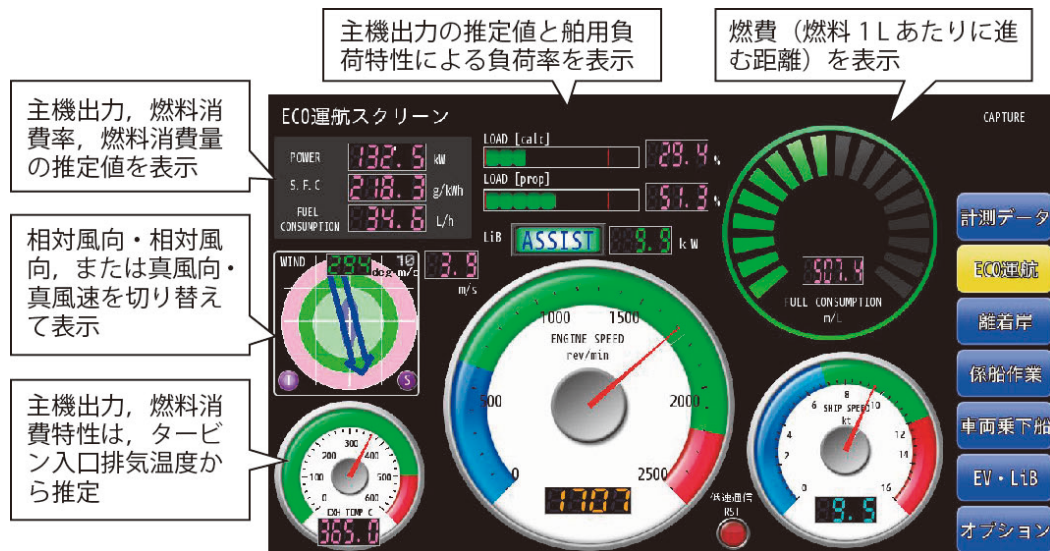


図 4.15 運航支援システムのモニタ画面

4.3 EV 充電制御システムに関する技術開発

本研究においては、シームレス実験船に搭載するための電気自動車（EV）用充放電システムを開発し、係船時の動作確認試験や安全性確認試験を進めてきた。また、渦潮電機株式会社の協力を得て、リチウムイオン電池（LiB）を搭載し⁵⁾、様々な用途で船内の電気機器を利用する技術を開発した。図 4.16 は、本船に電気自動車（日産リーフ）を搭載し、運航時に EV・LiB 充放電システムを動作させる海上試験を実施したときの様子である。また、図 4.17 は EV や LiB の充放電状況を操舵席に表示するモニタ画面である。これらは、将来のシームレス小型船システムの発展や船舶分野における電気エネルギーの有効利用に貢献し得る技術であると考えている。



図 4.16 海上航行における EV 充電試験

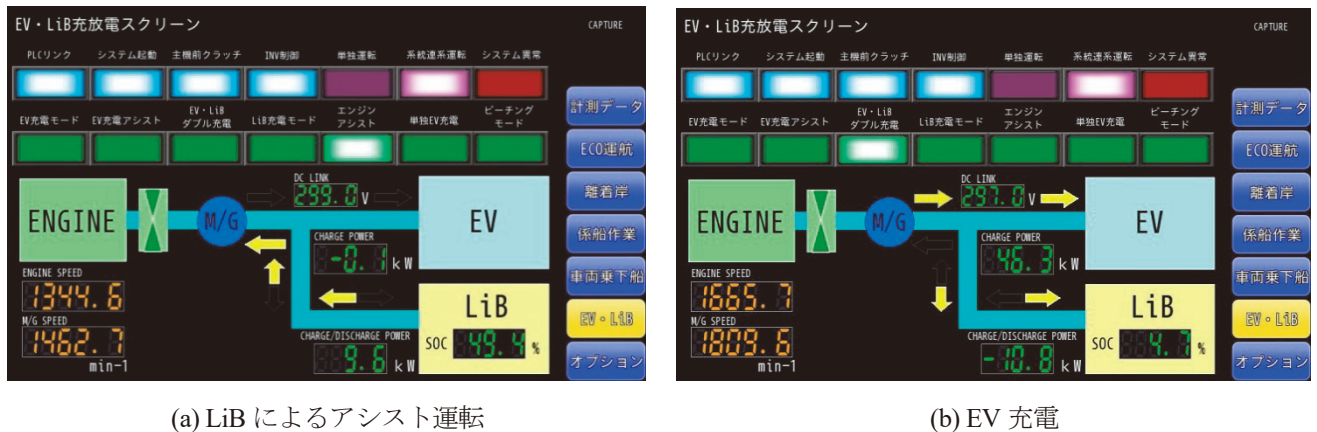


図 4.17 EV・LiB 充電状況のモニタ画面

5. あとがき

本稿では、シームレス実験船について概説するとともに、本船特有の設備である車両乗下船装置及び本船の自動化・省力化を目指した試験用システムについて報告した。シームレス実験船による車両乗下船試験においては、いくつかの改良を加えた後、小型バスの乗下船がスムーズに行えることを確認できた。また、小型バスの乗下船時に船体が不安定になるなどの不具合も確認されなかった。さらに本稿では、シームレス小型船システムの実用化を目指して、船員の作業の省力化といった観点から検討を進め、自動化・省力化のための試験用システムを開発し、それらの検証試験を通じて多くの知見が得られた。これらの研究成果は、離島の生活基盤・観光業の維持・活性化ばかりでなく、今後の小型船舶の高度化技術としても貢献するものと考えている。

謝 辞

本研究は、国土交通省の公募型の競争的資金制度である「交通運輸技術開発推進制度」における「離島の交通支援のためのシームレス小型船システムの開発」を活用し実施した。シームレス実験船の建造においては、マリンデザインオフィスの菅澤實氏、Y.A.マリンデザインの青木宣久氏、有限会社吉海造船所の赤松恒氏並びにヤンマー船用システム株式会社の中野裕之氏に多大なご協力をいただいた。また、シームレス実験船を海上試験においては大崎汽船株式会社及びさんようバス株式会社にご協力をいただいた。避難試験では、広島商船高等専門学校に、社会実験では、大崎上島町の関係の方々にご協力いただいた。シームレス実験船の動力システム並びに電気系統の開発はヤンマー株式会社並びに渦潮電機株式会社と共同で実施した。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 宮崎恵子, 平田宏一: 離島航路適用を目指した小型海上交通システム, 日本機械学会第 23 回交通・物流部門大会講演論文集, 2014, pp. 217-218.
- 2) 宮崎恵子, 平田宏一, 松倉洋史, 吉村健志, 三宅里奈, 田村兼吉: 離島航路のためのシームレス小型船研究開発平成 26 年度 (第 14 回) 海上技術安全研究所 研究発表会 講演集, 2014.
- 3) 荒谷太郎, 西崎ちひろ, 三宅里奈, 吉村健志, 宮崎恵子: 離島航路におけるシームレス小型船システムの受容性に関する調査, 海上技術安全研究所報告, 16 巻, 第 4 号, 2017 (予定).

- 4) 平田宏一，宮崎恵子：小型シームレス実験船に用いる車両乗下船装置の開発，日本機械学会第24回交通・物流部門大会，2015.
- 5) 川崎裕之，平田宏一：船用環境対応のリチウムイオン組電池モジュールの安全性確保に関する研究開発，日本海事協会，2015 ClassNK 春期技術セミナー，P.87-97，2015.