## 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.716 March 2013

内航ユニットロードの省エネ輸送に関する基礎的分析

佐々木 友子・鈴木 武・渡部 富博

Basic Analysis on Energy-saving Domestic Marine Unit Load Transportation

Tomoko SASAKI, Takeshi SUZUKI, Tomihiro WATANABE

## 国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan 国土技術政策総合研究所資料

No. 716 2013年3月

(YSK-N-263)

内航ユニットロードの省エネ輸送に関する基礎的分析

佐々木友子\*・鈴木武\*\*・渡部富博\*\*\*

#### 要 旨

地球温暖化への対応が喫緊の課題となっており、温室効果ガスの排出削減への取り組みが多くなされている。そのようななか、自動車輸送から鉄道輸送や内航海運へのモーダルシフトや既存の輸送モードの省エネ化が進められている。

モーダルシフトを促進させる手法の検討や、モーダルシフトや省エネ輸送が促進されることにより変化する輸送機関選択の分析など、今後の貨物輸送に関する政策立案に資するためには、内航ユニットロードに着目し、輸送に使用される船舶の諸元や、航海ごとの運航速度や燃料消費量等の実態など、詳細かつ最新の輸送実態の把握を行うこと、また船社の省エネ輸送に関する意向を把握することが必要である.

本分析では内航フェリー,RORO船,コンテナ船を運航する船社を対象としてアンケート調査を実施し、運航速度や燃料消費量などの内航ユニットロードの輸送実態や、船社の省エネ輸送への取り組み状況を把握し分析を行った。

その結果、内航ユニットロードの輸送実態として、内航フェリー、RORO船、コンテナ船とも速力に対して平均して80%台の速度で運航されていたことなどが把握できた。また船社の省エネ輸送への取り組み状況として、減速運航などの設備投資が少なくても実施できる対策が多数の船社で実施されていることなどが把握できた。

キーワード:モーダルシフト、内航ユニットロード、燃料消費量、省エネ

<sup>\*</sup>港湾研究部港湾システム研究室研究官

<sup>\*\*</sup>沿岸海洋·防災研究部長

<sup>\*\*\*</sup>港湾研究部港湾システム研究室長

<sup>〒239-0826</sup> 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話: 046-844-5028 Fax: 046-844-6029 e-mail: sasaki-t92y2@ysk.nilim.go.jp

# **Basic Analysis on Energy-saving Domestic Marine Unit Load Transportation**

Tomoko SASAKI\*
Takeshi SUZUKI\*\*
Tomihiro WATANABE\*\*\*

#### **Synopsis**

Adoption of adequate countermeasures against global warming is a serious issue. Various measures to reduce greenhouse gases have been made. The modal shift from automobile transportation to rail and domestic marine transportation and energy saving in the existing transportation mode have been carried out.

To contribute to the design of policy about future cargo transportation, it is necessary to grasp the detail and newest transportation conditions, such as specifications of the domestic marine transportation ships, operation speed and fuel consumption for each voyage and the measure to energy-saving transportation measures by shipping companies.

We carried out a questionnaire survey on shipping companies which operate domestic ferries, RORO ships, and container ships. We grasped and analyzed the actual condition of domestic marine unit load transportation, such as operation speed and fuel consumption, and the energy-saving transportation measures by shipping companies.

We found that domestic ferries, RORO ships, and container ships sailed between 80% and 90% service speed on average, many shipping companies carried out energy-saving transportation measures which don't require much investment in plant and equipment, and so on.

Key Words: modal shift, domestic marine unit load transportation, fuel consumption, energy saving

Phone: +81-46-844-5028 Fax: +81-46-844-6029 e-mail:sasaki-t92y2@ysk.nilim.go.jp

<sup>\*</sup> Researcher of Port Systems Division, Port and Harbor Department

<sup>\*\*</sup> Director, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department

<sup>\*\*\*</sup> Head of Port Systems Division, Port and Harbor Department

<sup>3-1-1</sup> Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

## 目 次

1. はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
2. アンケート調査の概要       2.1 アンケート調査票の概要         2.2 アンケート調査の実施概要	1
3. 内航ユニットロードの輸送実態に関するアンケート調査結果と分析         3. 1 船舶諸元の概要         3. 2 航路区間ごとの運航に関する分析         3. 3 1ラウンドの運航に関する分析         3. 4 燃料消費量に関する分析	····· 3 ···· 10 ···· 12
4. 省エネ輸送への取り組み状況に関するアンケート調査結果と分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	20
5. まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	24
6. おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	24
謝辞 ····· 参考文献 ······	

#### 1. はじめに

地球温暖化への対応が喫緊の課題となっており、温室効果ガスの削減への取り組みが多くなされている。そのようななかトンキロあたりの $CO_2$ 排出量が大きい自動車輸送から、トンキロあたりの $CO_2$ 排出量が小さい鉄道輸送や内航海運(図-1)へのモーダルシフトや既存の輸送モードの省エネ化が進められている。

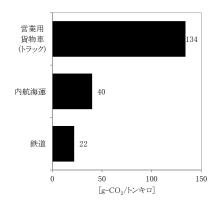
2009年に閣議決定された総合物流施策大綱(2009-2013)においても環境負荷の少ない物流の実現等がうたわれ、低炭素型物流の実現に向けてモーダルシフトを含めた輸送の効率化等の推進を図る必要があるとされている。また2005年4月には物流部門でのCO2の一層の削減を図るため、荷主と物流事業者の連携・協働により、モーダルシフト、共同輸配送、拠点集約等、施策の幅を広げ、中小企業を含めた裾野の広い取り組み拡大を図るため、グリーン物流パートナーシップ会議が発足しており、モーダルシフトの気運は活発化している。

このようにモーダルシフトや省エネ化に対する取り組 みが盛んになってきており、これらに関わる研究も進め られている. 高橋(2007)はモーダルシフト化率の推計方 法および地域別のモーダルシフト化率の結果を整理する ともに、モーダルシフト化率の全国値の動向について分 析している. 田中ら(2003)は内貿ユニットロード輸送に 関して, 船舶諸元など最近の動向を整理するとともに, 輸送機関分担モデルの構築を検討している.後藤ら (2012)は我が国を中心とする東アジア地域における国際 フェリー・RORO船の航路ネットワークの状況および輸送 能力,投入船舶の諸元等について整理・分析している. 鈴木ら(2012)は船社に対して運航状況についての質問票 調査を行い、得られたデータをもとに、調査の対象とし た国内長距離航路を運航するフェリー、RORO貨物船およ びコンテナ船についての各種指標を整理するとともに, 燃料消費関数を推定している.赤倉ら(2009)は我が国貨 物の輸送にかかる外航・内航海運のCO。排出量を船種別に 推計している. 渡部ら(2012)は我が国の海上ユニットロ ード輸送に焦点をあて、温室効果ガスの排出抑制等への 取り組みなどの状況についてその動向を分析するととも に、海上ユニットロード貨物輸送に関わる長距離輸送な らびに中距離輸送のそれぞれについて機関選択モデルを 構築し、輸送手段ごとのCO<sub>2</sub>排出量の違いが、今後の温室 効果ガス抑制施策や炭素税等の課税価格によってどのよ うに各輸送機関の選択に影響するかを定量的に分析して いろ

しかしモーダルシフトを促進させる手法の検討や、モ

ーダルシフトや省エネ輸送が促進されることにより変化する輸送機関選択の分析など、今後の貨物輸送に関する政策立案に資するためには、内航ユニットロードに着目し、輸送に使用される船舶の諸元や、航海ごとの運航速度や燃料消費量等の実態など、詳細かつ最新の輸送実態の把握を行うこと、また船社の省エネ輸送に関する意向を把握することが必要である.

従って本分析では内航フェリー、RORO船、コンテナ船を運航する船社を対象としてアンケート調査を実施し、 運航速度や燃料消費量などの内航ユニットロードの輸送 実態や、船社の省エネ輸送への取り組み状況を把握し分析を行う.



平成23年版海事レポートをもとに作成

図-1 輸送機関別のCO<sub>2</sub>排出原単位(2009年度)

## 2. アンケート調査の概要

#### 2.1 アンケート調査票の概要

運航速度や燃料消費量などの内航ユニットロードの輸送実態や、船社の省エネ輸送への取り組み状況をアンケート調査により把握するため、船社に送付するアンケート調査票をフェリー、RORO船、コンテナ船の別に作成した. なお船舶諸元については公表資料から事前に収集できた対象船の情報を回答者に示し、誤りがあれば修正を、事前に収集できなかった情報については記入を求める形式とした. また寄港地も公表資料から事前に収集して予め記載し、航路を指定した上で当該航路の輸送実態について記入を求める形式とした.

#### (1)フェリー

フェリーを対象としたアンケート調査票項目は以下のとおりである. なおフェリーは旅客の輸送も行っており、ユニットロード輸送だけでなく旅客輸送の実態も把握するため、またユニットロード輸送に関する分析においては旅客輸送の影響を控除するために、アンケート調査票に旅客積載率などの旅客輸送に関わる項目も設けた.

- ・対象船の船名,総トン数(G/T),載貨重量トン数(D/W), 船長,船幅,満載喫水,速力,建造年,主機出力, 積載コンテナ数,旅客定員,積載車両台数
- ・コンテナ, 乗用車等の最大同時積載数量
- ・貨物区画の延床面積,貨物区画と旅客区画の床面積比
- ・航路区間ごとの航海距離、航海時間、貨物積載率(使 用床面積割合)、旅客積載率(乗客数割合)、燃料消費 量(停泊時を除く)
- ・1ラウンドの時間(停泊時間を含む),燃料消費量(停 泊時の消費を含む),主な燃料油種,データの時期
- ・省エネ対策

#### (2) RORO船

RORO船を対象としたアンケート調査票項目は以下のとおりであり、フェリーのアンケート調査票に設けた旅客に関する項目が無いという点を除いては、フェリーと同じ項目である.

- ・対象船の船名,総トン数(G/T),載貨重量トン数(D/W), 船長,船幅,満載喫水,速力,建造年,主機出力, 積載コンテナ数,積載車両台数
- ・コンテナ,乗用車等の最大同時積載数量
- 貨物区画の延床面積
- ・航路区間ごとの航海距離, 航海時間, 貨物積載率(使 用床面積割合), 燃料消費量(停泊時を除く)
- ・1ラウンドの時間(停泊時間を含む),燃料消費量(停泊時の消費を含む),主な燃料油種,データの時期
- ・省エネ対策

#### (3) コンテナ船

コンテナ船を対象としたアンケート調査票項目は以下のとおりであり、フェリーのアンケート調査票に設けた旅客・車両に関する項目が無いという点を除いては、フェリーと同じ項目である. なお、コンテナ船は貨物積載率をTEU割合で把握できるため、貨物区画の延床面積は項目に入れていない.

- ・対象船の船名,総トン数(G/T),載貨重量トン数(D/W), 船長,船幅,満載喫水,速力,建造年,主機出力,積 載コンテナ数
- ・航路区間ごとの航海距離, 航海時間, 貨物積載率(TEU 割合), 燃料消費量(停泊時を除く)
- ・1ラウンドの時間(停泊時間を含む),燃料消費量(停 泊時の消費を含む),主な燃料油種,データの時期・ 省エネ対策

#### 2.2 アンケート調査の実施概要

#### (1)アンケート調査対象の選出

アンケート調査対象は2012年版海上定期便ガイド, 2012春季号フェリー・旅客船ガイドを参考に,アンケート回答者の負担軽減等を考慮しつつ以下の観点から選出 した.

まず第1に以下の2点を念頭に選出すると、フェリー11 社(44集)、RORO船11社(43集)、コンテナ船14社(41集)が抽出された。

- ・フェリーもしくはRORO船もしくはコンテナ船で運航す る内航航路
- ・1ラウンドが200km未満の航路は除く

次に,以下の2点を念頭に選出した後,運航している船 社に事前に電話連絡を行い協力を得られたものは,フェ リー11社(22隻),RORO船11社(19隻),コンテナ船14社(20 隻)であり,第1段階に比べると隻数比でフェリー50%, RORO船約44%、コンテナ船約49%のカバー率となった.

- ・同一船社に対し,フェリー,RORO船,コンテナ船は各2 隻まで,全船種合計4隻まで
- ・同一航路で複数の船舶が運航されている場合は、建造 年が新しい、もしくはG/Tが大きい船舶

#### (2)アンケート調査の実施

上記(1)で選出した船舶を運航している船社に対し、2012年7月12日(木)~13日(金)にアンケート調査票を郵送した.送付先はフェリー11社(22隻),RORO船11社(19隻)、コンテナ船14社(20隻)、合計31社(61隻)である.なお同一船社に対して複数船種のアンケート調査票を送付している場合があるため、各船種の送付先船社数と全船種の送付先船社数の合計は一致しない.

回収は郵送により行い,締切りは約2週間後に設定した.なお,事前に電話で協力の回答を得ていたため,締切日に返送の無かった調査対象者には電話連絡を行った.回収結果はフェリー11社(100%)22隻(100%),RORO船10社(約91%)17隻(約89%),コンテナ船12社(約86%)16隻(80%),合計29社(約94%)55隻(約90%)であった.なお同一船社から複数船種のアンケート調査票を回収している場合があるため,各船種の回収船社数と全船種の回収船社数の合計は一致しない.

フェリー, RORO船, コンテナ船の各アンケート調査票の対象航路図と回収結果を**図2**~**図4**に示す.

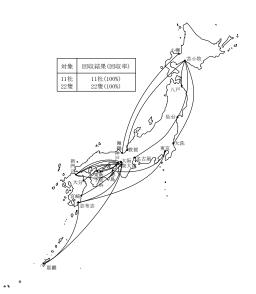


図-2 フェリーの対象航路図と回収結果

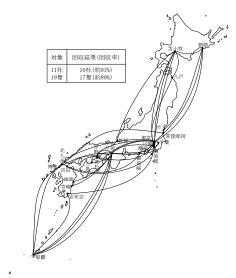


図-3 RORO船の対象航路図と回収結果

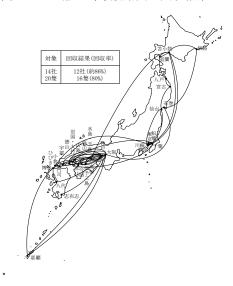


図-4 コンテナ船の対象航路図と回収結果

# 3. 内航ユニットロードの輸送実態に関するアンケート調査結果と分析

#### 3.1 船舶諸元の概要

2.2(2)でアンケート調査票を回収したフェリー22隻, RORO船17隻, コンテナ船16隻の総トン数や船長などの船舶諸元について,アンケート調査により得られた結果を示す.なお前述のとおり,船舶諸元は公表資料から事前に収集できた情報を回答者に示し,誤りがあれば修正を,事前に収集できなかった情報については記入を求める形式とした.修正や記入がなされた割合は,フェリーで34%(22隻11項目中35箇所),RORO船で26%(17隻10項目中45箇所),コンテナ船で24%(16隻9項目中35箇所)であった.

## (1)総トン数(G/T)

フェリーの総トン数(以下G/Tとする)を1,000t刻みで集計したものが $\mathbf{Z}$ - $\mathbf{5}$ であり,6,000t以上18,000t未満で分布している. 最頻値は11,000t以上12,000t未満であり、7隻がこの範囲に入っている. 平均値は約11,781tである.

RORO船のG/Tを1,000t刻みで集計したものが**図-6**であり、2,000t以上14,000t未満で分布している. 最頻値は7,000t以上8,000t未満であり、4隻がこの範囲に入っている. 平均値は約8,444tである.

コンテナ船のG/Tを1,000t刻みで集計したものが**図-7** であり,0t以上6,000t未満で分布している. 最頻値は0t以上1,000t未満であり,12隻がこの範囲に入っている. 平均値は約1,256tである.

#### (2) 載貨重量トン数(D/W)

フェリーの載貨重量トン数(以下D/Wとする)を1,000t 刻みで集計したものが図-8であり,1,000t以上7,000t未 満で分布している. 最頻値は4,000t以上5,000t未満, 5,000t以上6,000t未満,6,000t以上7,000t未満であり, 6隻ずつ各範囲に入っている. 平均値は約5,083tである.

RORO船のD/Wを1,000t刻みで集計したものが**図-9**であり,2,000t以上8,000t未満で分布している. 最頻値は6,000t以上7,000t未満であり,7隻がこの範囲に入っている. 平均値は約5,367tである.

コンテナ船のD/Wを1,000t刻みで集計したものが**図-10**であり、1,000t以上6,000t未満で分布している. 最頻値は 1,000t以上2,000t未満であり、10隻がこの範囲に入っている. 平均値は約2,357tである.

#### (3)船長

フェリーの船長を20m刻みで集計したものが**図-11**であり、120m以上240m未満で分布している. 最頻値は160m以

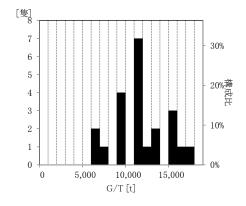


図-5 G/T(フェリー)

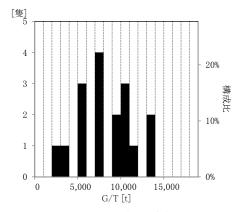
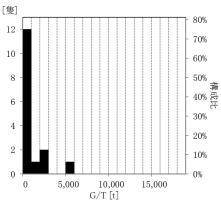


図-6 G/T (RORO船)



**図-7** G/T(コンテナ船)

上180m未満であり、10隻がこの範囲に入っている. 平均 値は約175mである.

RORO船の船長を20m刻みで集計したものが**図-12**であり、120m以上180m未満で分布している. 最頻値は160m以上180m未満であり、9隻がこの範囲に入っている. 平均値は約152mである.

コンテナ船の船長を20m刻みで集計したものが**図-13**であり、60m以上140m未満で分布している.最頻値は80m以上100m未満であり、9隻がこの範囲に入っている.平均値は約90mである.

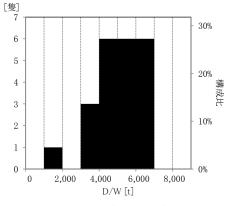


図-8 D/W(フェリー)

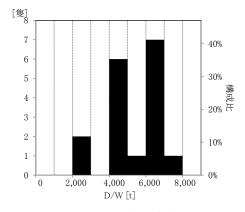


図-9 D/W(RORO船)

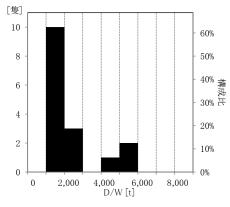


図-10 D/W(コンテナ船)

#### (4)船幅

フェリーの船幅を2m刻みで集計したものが2-14であり、20m以上28m未満で分布している. 最頻値は26m以上28m未満であり、11隻がこの範囲に入っている. 平均値は約25mである.

RORO船の船幅を2m刻みで集計したものが2m-15であり、16m以上28m未満で分布している.最頻値は24m以上26m未満であり、7隻がこの範囲に入っている.平均値は約24mである.

コンテナ船の船幅を2m刻みで集計したものが図-16であり、10m以上22m未満で分布している. 最頻値は12m以上

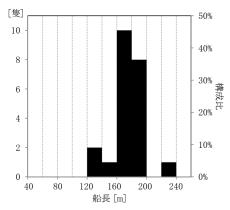


図-11 船長(フェリー)

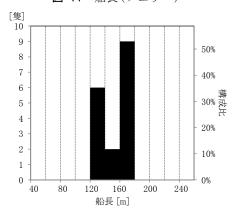


図-12 船長(RORO船)

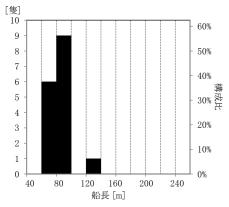


図-13 船長(コンテナ船)

14m未満であり、10隻がこの範囲に入っている. 平均値は 約14mである.

#### (5)満載喫水

フェリーの満載喫水を1m刻みで集計したものが20-17であり、4m以上8m未満で分布している。最頻値は6m以上7m未満であり、16隻がこの範囲に入っている。平均値は約6mである。

RORO船の満載喫水を1m刻みで集計したものが2m-18であり、4m以上5m未満で分布している。最頻値は5m0、5m0、5m0、5m0、5m0 を期に入っている。平均値は約5m0 平均値は約5m0 であり、5m0 であ

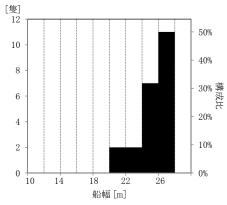


図-14 船幅(フェリー)

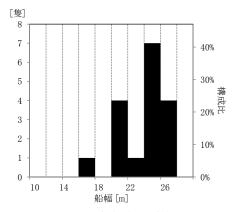


図-15 船幅(RORO船)

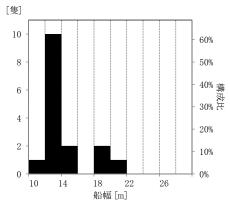


図-16 船幅(コンテナ船)

である.

コンテナ船の満載喫水を1m刻みで集計したものが**図** -19であり、3m以上7m未満で分布している. 最頻値は3m 以上4m未満であり、7隻がこの範囲に入っている. 平均値は約4mである. また、無回答の船が1隻あった. なお図の構成比は無回答のサンプルを除外して算出している(以下同様).

#### (6) 速力

フェリーの速力を2/ット刻みで集計したものが**図-20** であり、18/ット以上32/ット未満で分布している. 最

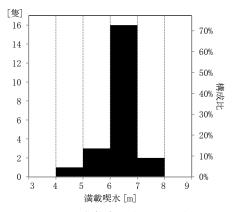


図-17 満載喫水(フェリー)

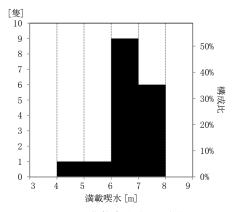


図-18 満載喫水(RORO船)

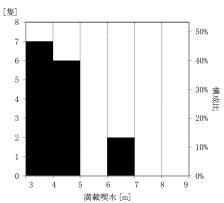


図-19 満載喫水(コンテナ船)

頻値は22ノット以上24ノット未満であり、8隻がこの範囲 に入っている. 平均値は約23ノットである.

RORO船の速力を2ノット刻みで集計したものが**図-21** であり、16ノット以上24ノット未満で分布している. 最頻値は20ノット以上22ノット未満であり、10隻がこの範囲に入っている. 平均値は約21ノットである.

コンテナ船の速力を2ノット刻みで集計したものが**図** -22であり、8ノット以上22ノット未満で分布している. 最頻値は12ノット以上14ノット未満であり、7隻がこの範囲に入っている. 平均値は約13ノットである.

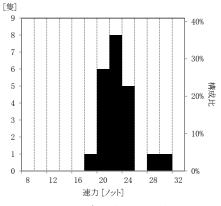


図-20 速力(フェリー)

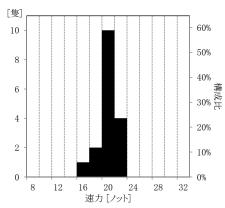


図-21 速力(RORO船)

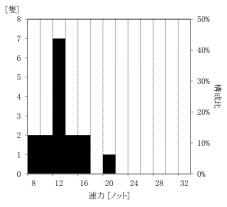


図-22 速力(コンテナ船)

#### (7)建造年

フェリーの建造年を集計したものが**図-23**であり、1988年~2011年で分布している. 最頻値は1996年、2002年であり、4隻ずつ各範囲に入っている.

RORO船の建造年を集計したものが**図-24**であり,1990年~2010年で分布している. 最頻値は2006年であり,4 隻がこの範囲に入っている.

コンテナ船の建造年を集計したものが**図-25**であり、1991年~2011年で分布している. 最頻値は2011年であり、3隻がこの範囲に入っている.

船齢で見ると0~9年のものはフェリー4隻, RORO船6隻,

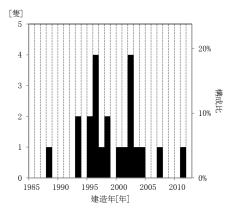


図-23 建造年(フェリー)

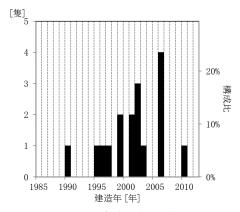


図-24 建造年(RORO船)

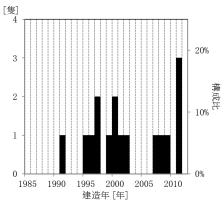


図-25 建造年(コンテナ船)

コンテナ船6隻,  $10\sim19$ 年のものはフェリー17隻, RORO船10隻, コンテナ船9隻, 20年以上のものはフェリー1隻, RORO船1隻, コンテナ船1隻と, いずれの船も $10\sim19$ 年が大半であった.

#### (8)主機出力

フェリーの主機出力を5,000kw刻みで集計したものが 図-26であり、10,000kw以上50,000kw未満で分布している. 最頻値は15,000kw以上20,000kw未満であり、7隻がこの範囲に入っている. 平均値は約22,841kwである.

RORO船の主機出力を5,000kw刻みで集計したものが図

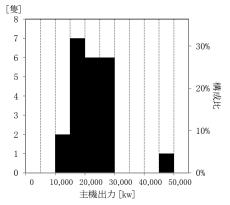


図-26 主機出力(フェリー)

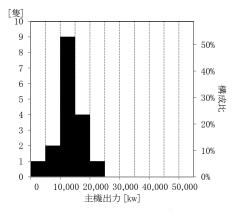


図-27 主機出力(RORO船)

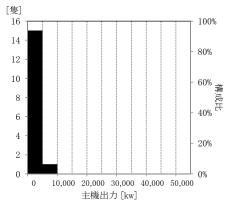


図-28 主機出力(コンテナ船)

-27であり、0kw以上25,000kw未満で分布している. 最頻値は10,000kw以上15,000kw未満であり、9隻がこの範囲に入っている. 平均値は約13,501kwである.

コンテナ船の主機出力を5,000kw刻みで集計したものが図-28であり、0kw以上10,000kw未満で分布している. 最頻値は0kw以上5,000kw未満であり、15隻がこの範囲に入っている. 平均値は約2,387kwである.

#### (9) 積載コンテナ個数

フェリーの最大積載コンテナ個数を50TEU刻みで集計したものが図-29であり、OTEU以上150TEU未満で分布して

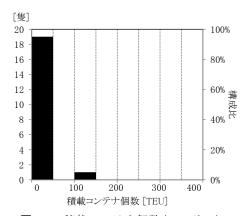


図-29 積載コンテナ個数(フェリー)

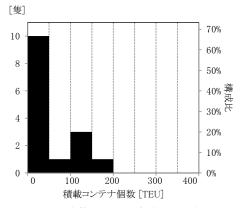


図-30 積載コンテナ個数(RORO船)

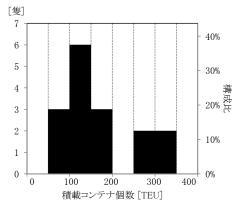


図-31 積載コンテナ個数(コンテナ船)

いる. 直積みでは積載せずOTEUであると回答した船が多くあったため最頻値はOTEU以上50TEU未満であり,19隻がこの範囲に入っている. 平均値は約7TEUである. また,無回答の船が2隻あった.

RORO船の積載コンテナ個数を50TEU刻みで集計したものが図-30であり、0TEU以上200TEU未満で分布している。直積みでは積載せず0TEUであると回答した船が多くあったため最頻値は0TEU以上50TEU未満であり、10隻がこの範囲に入っている。平均値は約43TEUである。また、無回答の船が2隻あった。

コンテナ船の積載コンテナ個数を50TEU刻みで集計し

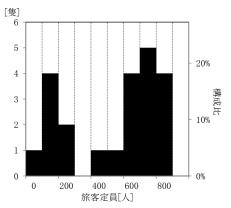


図-32 旅客定員(フェリー)

たものが**図-31**であり、50TEU以上350TEU未満で分布している. 最頻値は100TEU以上150TEU未満であり、6隻がこの範囲に入っている. 平均値は約162TEUである.

#### (10)旅客定員

フェリーの旅客定員を100人刻みで集計したものが**図** -32であり,0人以上900人未満で分布している.最頻値は700人以上800人未満であり,5隻がこの範囲に入っている. 平均値は約544人である.

なお旅客定員は、RORO船、コンテナ船に対しては質問していない.

#### (11) 積載車両台数(乗用車)

フェリーの最大積載車両台数(乗用車)を100台刻みで 集計したものが図-33であり,0台以上200台未満で分布し ている. 最頻値は0台以上100台未満であり,17隻がこの 範囲に入っている. 平均値は約72台である.

RORO船の積載車両台数(乗用車)を100台刻みで集計したものが図-34であり,0台以上900台未満で分布している. 最頻値は0台以上100台未満であり,7隻がこの範囲に入っている.平均値は約159台である.

なお積載車両台数(乗用車)は、コンテナ船に対しては 質問していない。

(12) 積載車両台数(トラック・トレーラー・シャーシ) フェリーの最大積載車両台数(トラック・トレーラー・シャーシ)を30台刻みで集計したものが図-35であり、60台以上240台未満で分布している. 最頻値は120台以上150台未満であり、8隻がこの範囲に入っている. 平均値は約149台である.

RORO船の積載車両台数(トラック・トレーラー・シャーシ)を100台刻みで集計したものが図-36であり、0台以上180台未満で分布している. 最頻値は120台以上150台未満

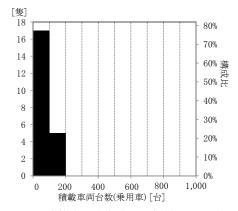


図-33 積載車両台数(乗用車)(フェリー)

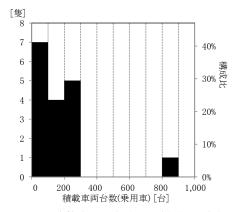


図-34 積載車両台数(乗用車)(RORO船)

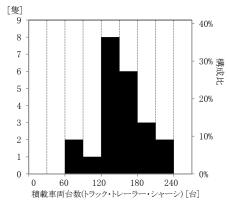


図-35 積載車両台数(トラック・トレーラー・シャーシ)(フェリー)

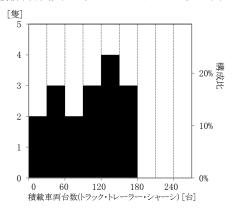


図-36 積載車両台数(トラック・トレーラー・シャーシ)(RORO船)

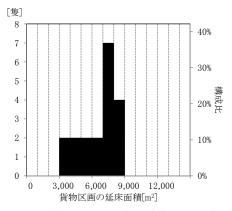


図-37 貨物区画の延床面積(フェリー)

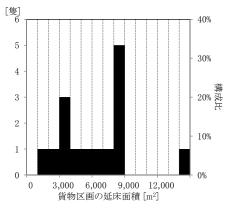


図-38 貨物区画の延床面積(RORO船)

であり、4隻がこの範囲に入っている. 平均値は約97台である.

なお積載車両台数(トラック・トレーラー・シャーシ) は、コンテナ船に対しては質問していない.

## (13)貨物区画の延床面積

フェリーの貨物区画の延床面積を1,000㎡刻みで集計したものが**図-37**であり、3,000㎡以上9,000㎡未満で分布している. 最頻値は7,000㎡以上8,000㎡未満であり、7隻がこの範囲に入っている. 平均値は約6,617㎡である. また, 無回答の船が3隻あった.

RORO船の貨物区画の延床面積を1,000 ㎡刻みで集計したものが図-38であり、1,000 ㎡以上15,000 ㎡未満で分布している。最頻値は8,000 ㎡以上9,000 ㎡未満であり、5 隻がこの範囲に入っている。平均値は約6,365 ㎡である。また、無回答の船が2 隻あった。

なお貨物区画の延床面積は、コンテナ船に対しては質 問していない.

#### (14)貨物区画と旅客区画の延床面積比

フェリーの貨物区画と延床区画の延床面積比を,(貨物 区画の延床面積)/(旅客区画の延床面積)として集計し

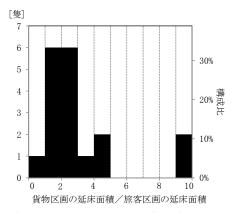


図-39 貨物区画と旅客区画の延床面積比(フェリー)

たものが図-39であり、0以上10未満で分布している. 最 頻値は1以上2未満,2以上3未満であり、6隻ずつ各範囲に 入っている. 平均値は約3である. また,無回答の船が4 隻あった. ほとんどの船が1以上であり、旅客区画よりも 貨物区画の延床面積が大きいという結果になった.

なお貨物区画と旅客区画の延床面積比は、RORO船、コンテナ船に対しては質問していない.

#### 3.2 航路区間ごとの運航に関する分析

2.2(2)でアンケート調査票を回収したフェリー22隻,RORO船17隻,コンテナ船16隻について,例えば1ラウンドがA港→B港→C港→A港という寄港であった場合の,A港→B港,B港→C港,C港→A港の各区間(以下航路区間とする)における運航について,アンケート調査により得られた結果を示すとともに分析を行う.対象となる航路区間の航海数は,フェリー52航海,RORO船56航海,コンテナ船72航海である.

#### (1) 航路区間ごとの航海距離

アンケート調査により得られた平均的な航路区間ごとの航海時間について,各船種の回答結果を示す.

フェリーの航路区間ごとの航海距離を100km刻みで集計したものが**図-40**であり,200km以上1,300km未満で分布している. 最頻値は500km以上600km未満であり,14航海がこの範囲に入っている. 平均値は約598kmである.

RORO船の航路区間ごとの航海距離を100km刻みで集計したものが**図-41**であり、0km以上1、300km未満で分布している. 最頻値は600km以上700km未満であり、12航海がこの範囲に入っている. 平均値は約725kmである.

コンテナ船の航路区間ごとの航海距離を100km刻みで集計したものが**図-42**であり、0km以上1、500km未満で分布している. 最頻値は0km以上100km未満であり、19航海がこの範囲に入っている. 平均値は約406kmである.

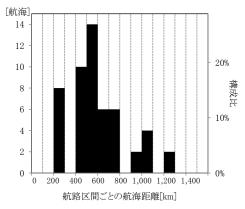


図-40 航路区間ごとの航海距離(フェリー)

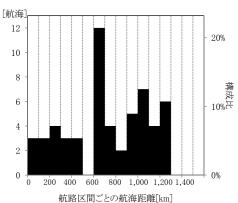


図-41 航路区間ごとの航海距離(RORO船)

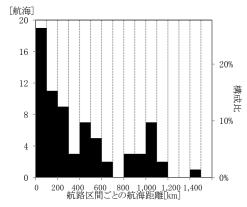


図-42 航路区間ごとの航海距離(コンテナ船)

#### (2) 航路区間ごとの航海時間

アンケート調査により得られた停泊時を除く平均的な 航路区間ごとの航海時間について,各船種の回答結果を 示す.

フェリーの航路区間ごとの航海時間を5時間刻みで集計したものが**図-43**であり,5時間以上40時間未満で分布している.最頻値は15時間以上20時間未満であり,18航海がこの範囲に入っている.平均値は約16時間である.

RORO船の航路区間ごとの航海時間を5時間刻みで集計したものが図-44であり、0時間以上45時間未満で分布している. 最頻値は20時間以上25時間未満であり、15航海

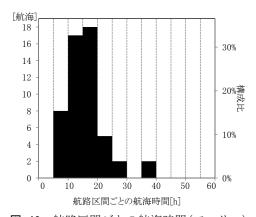


図-43 航路区間ごとの航海時間(フェリー)

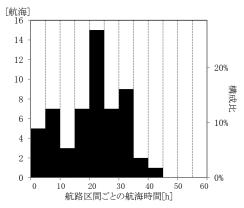


図-44 航路区間ごとの航海時間(RORO船)

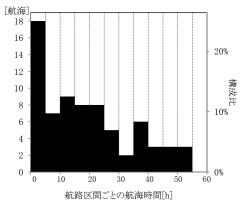


図-45 航路区間ごとの航海時間(コンテナ船)

がこの範囲に入っている. 平均値は約21時間である.

コンテナ船の航路区間ごとの航海時間を5時間刻みで集計したものが**図-45**であり、0時間以上55時間未満で分布している. 最頻値は0時間以上5時間未満であり、18航海がこの範囲に入っている. 平均値は約18時間である.

## (3) 航路区間ごとの燃料消費量

アンケート調査により得られた停泊時を除く平均的な 航路区間ごとの燃料消費量について,各船種の回答結果 を示す.

フェリーの航路区間ごとの燃料消費量を10t刻みで集

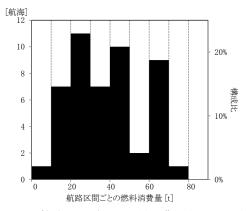


図-46 航路区間ごとの燃料消費量(フェリー)

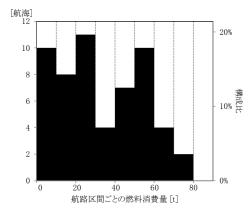


図-47 航路区間ごとの燃料消費量(RORO船)

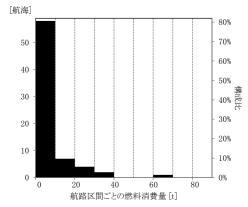


図-48 航路区間ごとの燃料消費量(コンテナ船)

計したものが**図-46**であり、0t以上80t未満で分布している. 最頻値は20t以上30t未満であり、11航海がこの範囲に入っている. 平均値は約38tである. また、無回答の航海が4航海あった. なお主な燃料油種は、全船においてC重油であった.

RORO船の航路区間ごとの燃料消費量を10t刻みで集計したものが図-47であり,0t以上80t未満で分布している. 最頻値は20t以上30t未満であり、11航海がこの範囲に入っている. 平均値は約33tである. なお主な燃料油種は,全船においてC重油であった.

コンテナ船の航路区間ごとの燃料消費量を10t刻みで

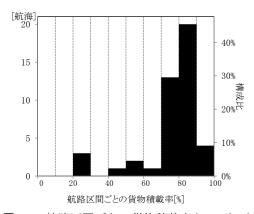


図-49 航路区間ごとの貨物積載率(フェリー)

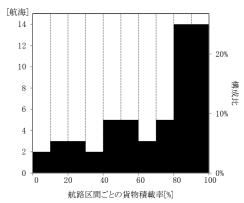


図-50 航路区間ごとの貨物積載率(RORO船)

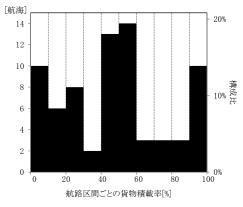


図-51 航路区間ごとの貨物積載率(コンテナ船)

集計したものが図-48であり、0t以上70t未満で分布している. 最頻値は0t以上10t未満であり、58航海がこの範囲に入っている. 平均値は約7tである. なお主な燃料油種は、13隻が0重油、03隻が0重油であった.

## (4) 航路区間ごとの貨物積載率

アンケート調査により得られた平均的な航路区間ごと の貨物積載率について,各船種の回答結果を示す.

フェリーの航路区間ごとの貨物積載率を10%刻みで集計したものが図-49であり、20%以上100%未満で分布している. 最頻値は80%以上90%未満であり、20航海がこの範

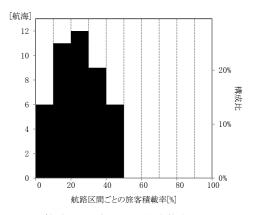


図-52 航路区間ごとの旅客積載率(フェリー)

囲に入っている. 平均値は約76%である. また, 無回答の 航海が8航海あった.

RORO船の航路区間ごとの貨物積載率を10%刻みで集計したものが**図-50**であり、0%以上100%未満で分布している. 最頻値は80%以上90%未満、90%以上100%未満であり、14 航海ずつ各範囲に入っている.平均値は約66%である.

コンテナ船の航路区間ごとの貨物積載率を10%刻みで集計したものが図-51であり、0%以上100%未満で分布している. 最頻値は50%以上60%未満であり、14航海がこの範囲に入っている. 平均値は約45%である.

なお、フェリー、RORO船は使用床面積割合で、コンテナ船はTEU割合で貨物積載率を質問した.

## (5) 航路区間ごとの旅客積載率

旅客の輸送も行うフェリーについて,アンケート調査 により得られた平均的な航路区間ごとの旅客積載率の回 答結果を示す.

フェリーの航路区間ごとの旅客積載率を10%刻みで集計したものが**図-52**であり、0%以上50%未満で分布している. 最頻値は20%以上30%未満であり、12航海がこの範囲に入っている. 平均値は約24%である. また、無回答の航海が8航海あった. なお旅客積載率は、RORO船、コンテナ船に対しては質問していない.

#### 3.3 1ラウンドの運航に関する分析

2.2(2)でアンケート調査票を回収したフェリー22隻、RORO船17隻、コンテナ船16隻について、例えば1ラウンドがA港→B港→C港→A港という寄港であった場合の、A港→B港→C港→A港の1ラウンドにおける運航について、アンケート調査により得られた結果を示すとともに分析を行う。

#### (1)1ラウンドの航路区間数

1ラウンドの航路区間数について,各船種の回答結果を

示す. 例えば1ラウンドがA港→B港→C港→A港という寄港であった場合, 航路区間数はA港→B港, B港→C港, C港→A港の3航海である.

フェリーの1ラウンドの航路区間数を求め、集計したものが図-53であり、2航海~4航海で分布している。最頻値は2航海であり、18隻がこの範囲に入っている。平均値は約2航海である。

RORO船の1ラウンドの航路区間数を求め,集計したものが図-54であり,2航海~6航海で分布している.最頻値は2航海であり,6隻がこの範囲に入っている.平均値は約3航海である.

コンテナ船の1ラウンドの航路区間数を求め、集計したものが $\mathbf{2}$ -55であり、2航海~10航海で分布している. 最頻値は2航海であり、6隻がこの範囲に入っている. 平均値は約5航海である.

フェリーはほとんどが往復の2航海であり、コンテナ船 は最頻値は2航海であったものの平均航路区間数が大き く、多数寄港している航路が存在することが把握できる.

#### (2)1ラウンドの時間

アンケート調査により得られた平均的な1ラウンドの時間について,各船種の回答結果を示す. なお1ラウンドの時間には停泊時間を含む.

フェリーの1ラウンドの時間を20時間刻みで集計したものが図-56であり,0時間以上140時間未満で分布している. 最頻値は40時間以上60時間未満であり,12隻がこの範囲に入っている. 平均値は約54時間である.

RORO船の1ラウンドの時間を20時間刻みで集計したものが図-57であり、40時間以上180時間未満で分布している. 最頻値は80時間以上100時間未満であり、7隻がこの範囲に入っている. 平均値は約97時間である.

コンテナ船の1ラウンドの時間を20時間刻みで集計したものが図-58であり、40時間以上180時間未満で分布している. 最頻値は140時間以上160時間未満であり、5隻がこの範囲に入っている. 平均値は約126時間である.

#### (3)1ラウンドの燃料消費量

アンケート調査により得られた平均的な1ラウンドの 燃料消費量について、各船種の回答結果を示す. なお1 ラウンドの燃料消費量には停泊時の燃料消費量を含む.

フェリーの1ラウンドの燃料消費量を30t刻みで集計したものが図-59であり、0t以上270t未満で分布している. 最頻値は60t以上90t未満、120t以上150t未満であり、5 隻ずつ各範囲に入っている. 平均値は約110tである.

RORO船の1ラウンドの燃料消費量を30t刻みで集計した

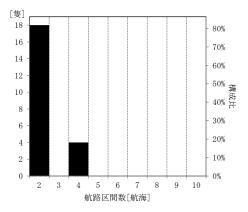


図-53 1ラウンドの航路区間数(フェリー)

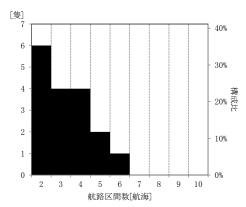
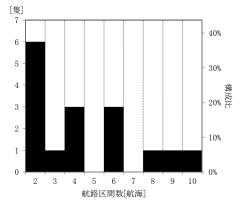


図-54 1ラウンドの航路区間数(RORO船)



**図-55** 1ラウンドの航路区間数(コンテナ船)

ものが**図-60**であり、0t以上210t未満で分布している. 最 頻値は90t以上120t未満であり、6隻がこの範囲に入って いる. 平均値は約116tである.

コンテナ船の1ラウンドの燃料消費量を30t刻みで集計したものが**図-61**であり、0t以上180t未満で分布している. 最頻値は0t以上30t未満であり、10隻がこの範囲に入っている. 平均値は約33tである.

#### 3.4 燃料消費量に関する分析

2.2(2)でアンケート調査票を回収したフェリー22隻, RORO船17隻, コンテナ船16隻の航路区間ごとに, アンケ

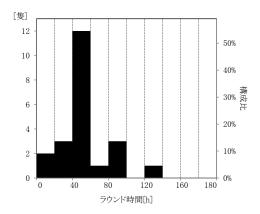
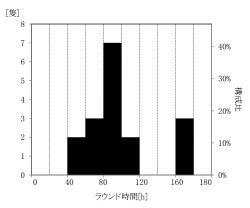


図-56 1ラウンドの時間(フェリー)



**図-57** 1ラウンドの時間(RORO船)

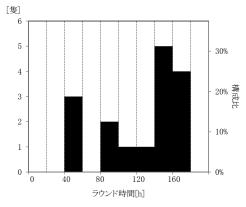


図-58 1ラウンドの時間(コンテナ船)

ート調査により得られた結果をもとに燃料消費量に係る分析を行う.対象となる航路区間数は,フェリー52航海,RORO船56航海,コンテナ船72航海である.

#### (1) 航路区間ごとの航海速度

燃料消費量は速度と関係があることがわかっている (鈴木ら(2012)). そこで、燃料消費量の分析をするにあ たり、まずアンケート調査により得られた航路区間ごと の航海距離と航海時間を用いて航路区間ごとの航海速度 を求めた.

フェリーの航路区間ごとの航海速度を求め,10km/h刻 みで集計したものが**図-62**であり,20km/h以上60km/h未満

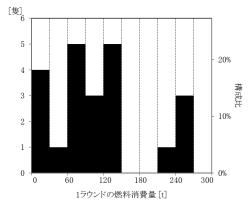


図-59 1ラウンドの燃料消費量(フェリー)

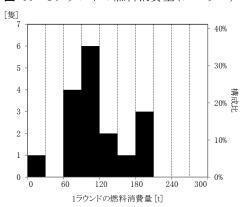


図-60 1ラウンドの燃料消費量(RORO船)

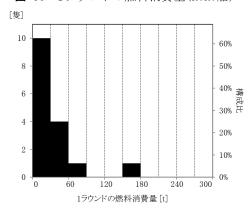


図-61 1ラウンドの燃料消費量(コンテナ船)

で分布している. 最頻値は30km/h以上40km/h未満であり,36航海がこの範囲に入っている. 平均値は約37km/hである.

RORO船の航路区間ごとの航海速度を求め、10km/h刻みで集計したものが図-63であり、20km/h以上40km/h未満で分布している. 最頻値は30km/h以上40km/h未満であり、48航海がこの範囲に入っている. 平均値は約35km/hである

コンテナ船の航路区間ごとの航海速度を求め、10km/h 刻みで集計したものが図-64であり、0km/h以上40km/h未 満で分布している. 最頻値は10km/h以上20km/h未満,

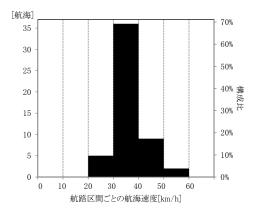


図-62 航路区間ごとの航海速度(フェリー)

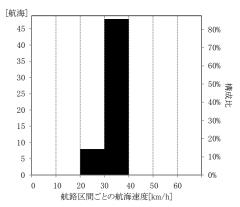


図-63 航路区間ごとの航海速度(RORO船)

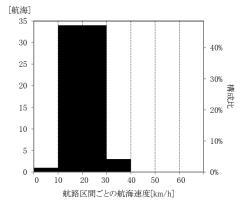


図-64 航路区間ごとの航海速度(コンテナ船)

20km/h以上30km/h未満であり、34航海ずつ各範囲に入っている. 平均値は約20km/hである.

航路区間ごとの航海速度の平均値はフェリーが最も大きく, 旅客を輸送している特性が現れている.

なお、瀬戸内海を航行する航海にのみ着目し、航路区間ごとの航海速度の平均値を求めた。対象となる隻数と航路区間数は、フェリー7隻14航海、RORO船4隻9航海、コンテナ船7隻34航海である。瀬戸内海を航行する航路の航路区間ごとの航海速度の平均値はフェリーが約35km/h、RORO船が約32km/h、コンテナ船が約17km/hと、いずれも全航路の平均値を下回った。これは瀬戸内海の狭隘で島

しょ群が存在するという地理的特性によるところが大きいと考えられる.

#### (2) 航路区間ごとの航海速度と速力の比

アンケート調査により得られた各船舶の諸元である速力と、上記(1)で求めた航路区間ごとの航海速度を用いて、航路区間ごとの速力に対する航海速度の比を求めた.なお速力はアンケート調査ではノット単位で回答を得たため、1海里1.852kmで換算してkm/h単位とした.

フェリーの航路区間ごとの速力に対する航海速度の比を求め、10%刻みで集計したものが図-65であり、60%以上100%以下で分布している. 最頻値は80%以上90%未満であり、26航海がこの範囲に入っている. 平均値は約86%である.

RORO船の航路区間ごとの速力に対する航海速度の比を求め、10%刻みで集計したものが図-66であり、60%以上100%以下で分布している. 最頻値は80%以上90%未満であり、25航海がこの範囲に入っている. 平均値は約89%である.

コンテナ船の航路区間ごとの速力に対する航海速度の比を求め、10%刻みで集計したものが図-67であり、40%以上100%以下で分布している. 最頻値は90%以上100%以下であり、27航海がこの範囲に入っている. 平均値は約85%である.

また、航路区間ごとの速力に対する航海速度の比に対し、航海距離を縦方向にプロットしたものが図-68~図-70である. 航路区間ごとの速力に対する航海速度の比が低い航海は、フェリー、RORO船、コンテナ船ともに航路区間ごとの航海距離が短い航海において現れている.

#### (3) 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量

アンケート調査により得られた航路区間ごとの燃料消費量と航路区間ごとの航海距離を用いて,式(1)により航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量を求めた.

$$FO_{ka} = \frac{FO}{S} \tag{1}$$

ここに,

 $FO_{ka}$ : 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費  $\mathbf{t}[\mathbf{t}/\mathbf{km}]$ 

FO: 航路区間ごとの燃料消費量[t]

S: 航路区間ごとの航海距離[km]

フェリーの航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量を求め、0.01t/km刻みで集計したものが2-71であり、

- 0.04t/km以上0.10t/km未満で分布している. 最頻値は
- 0.05t/km以上0.06t/km未満であり、13航海がこの範囲に

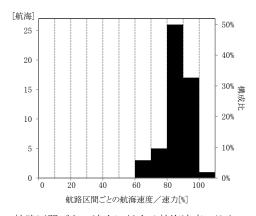


図-65 航路区間ごとの速力に対する航海速度の比(フェリー)

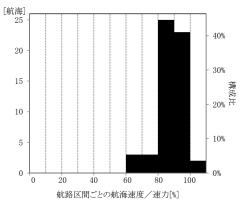


図-66 航路区間ごとの速力に対する航海速度の比(RORO船)

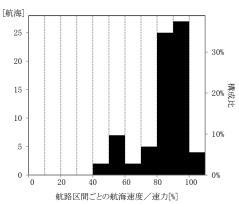


図-67 航路区間ごとの速力に対する航海速度の比(コンテナ船)

入っている. 平均値は約0.067t/kmである. また, 無回答により算出できない航海が4航海あった.

RORO船の航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量を求め、0.01t/km刻みで集計したものが図-72であり、0.02t/km以上0.08t/km未満で分布している。最頻値は0.03t/km以上0.04t/km未満であり、18航海がこの範囲に入っている。平均値は約0.044t/kmである。

コンテナ船の航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量を求め、0.01t/km刻みで集計したものが $\mathbf{Z}$ -73であり、0t/km以上0.05t/km未満で分布している.最頻値は0.01t/km以上0.02t/km未満であり、35航海がこの範囲に

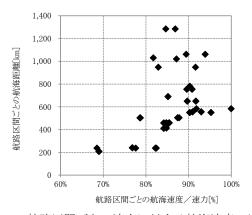


図-68 航路区間ごとの速力に対する航海速度の比と 航路区間ごとの航海距離(フェリー)

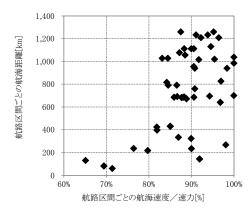


図-69 航路区間ごとの速力に対する航海速度の比と 航路区間ごとの航海距離(RORO船)

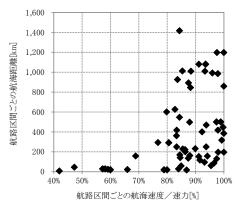


図-70 航路区間ごとの速力に対する航海速度の比と 航路区間ごとの航海距離(コンテナ船)

入っている. 平均値は約0.015t/kmである.

航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量の平均値は フェリーが最も大きく,(1)で示したように航路区間ごと の航海速度の平均値が大きいことが影響していると思わ れる.

なお、瀬戸内海を航行する航海にのみ着目し、航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量の平均値を求めた. 対象となる隻数と航路区間数は、フェリー7隻14航海、

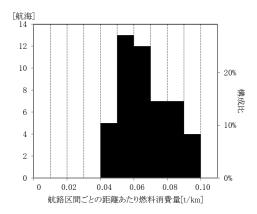


図-71 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量(フェリー)

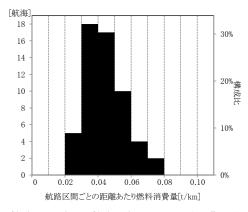


図-72 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量(RORO船)

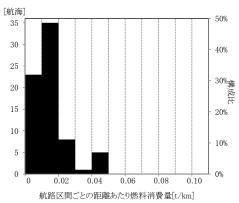


図-73 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量(コンテナ船)

RORO船4隻9航海,コンテナ船7隻34航海である。瀬戸内海を航行する航路の航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量の平均値はフェリーが約0.062t/km,RORO船が約0.041t/km,コンテナ船が約0.016t/kmと,フェリー,RORO船では全航路の平均を下回ったがコンテナ船では上回った。フェリー,RORO船については(1)で示したように航路区間ごとの航海速度の平均値が全航路の平均値を下回っているためであると考えられる。一方コンテナ船では航路区間ごとの航海速度の平均値が全航路の平均値を下回ったものの,航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量の平均値が全航路の平均値を上回ったことについては、

瀬戸内海は狭隘で島しょ群が存在するという地理的特性により一定速度で航行することが難しく、加速・減速を行う頻度が他の海域に比べて多いと推察されることが、 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量の平均値が全 航路の平均値を上回ったことの一因であると考えられる.

(4) 航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量の実績上記(3) で求めた航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量とアンケート調査により得られた貨物積載率等を用い、貨物輸送に用いられた航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量を当該航路区間の輸送貨物量で除することにより航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量の実績を求めた.

フェリーの航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量の実績は、旅客輸送に用いられた燃料消費量を控除するために燃料消費量の貨物分担率を式(2)により算出した上で、式(3)により求めた.

$$LS = \frac{(DWT - CW - PW)LF}{(DWT - CW - PW)LF + PW \cdot PF}$$
 (2)

$$FO_{tka} = \frac{FO_{ka} \cdot 1000 \cdot LS}{(DWT - CW - PW)LF} \tag{3}$$

ここに,

LS:燃料消費量の貨物分担率 DWT:船舶の載貨重量トン[t] CW:積載可能シャーシ重量[t]

PW: 積載可能旅客重量[t]

LF: 貨物積載率 PF: 旅客積載率

 $FO_{tka}$ : 航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費

量の実績[kg/t/km]

 $FO_{ka}$ : 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費 量 $\lceil t/km \rceil$ 

0.01 kg/t/km刻みで集計したものが**図-74**であり,0.01 kg/t/km以上0.11 kg/t/km未満で分布している.最頻値は0.02 kg/t/km以上0.03 kg/t/km未満であり,27航海がこの範囲に入っている.平均値は約0.026 kg/t/kmである.また,無回答により算出できない航海が8航海あった.

RORO船の航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量の 実績は式(4)により求めた。

$$FO_{tka} = \frac{FO_{ka} \cdot 1000}{(DWT - CW)LF} \tag{4}$$

ここに,

 $FO_{tka}$ : 航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費 量の実績[kg/t/km]

 $FO_{ka}$ : 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費

量[t/km]

DWT: 船舶の載貨重量トン[t] CW: 積載可能シャーシ重量[t]

LF: 貨物積載率

 $0.01 \, \mathrm{kg/t/km}$ 刻みで集計したものが**図-75**であり, $0 \, \mathrm{kg/t/km}$ 以上 $0.12 \, \mathrm{kg/t/km}$ 未満で分布している.最頻値は $0.01 \, \mathrm{kg/t/km}$ 以上 $0.02 \, \mathrm{kg/t/km}$ 未満であり, $25 \, \mathrm{m}$ 海がこの範囲に入っている.平均値は約 $0.023 \, \mathrm{kg/t/km}$ である.

コンテナ船の航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費 量の実績は式(5)により求めた.

$$FO_{tka} = \frac{FO_{ka} \cdot 1000}{DWT \cdot LF} \tag{5}$$

ここに,

 $FO_{tka}$ : 航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費

量の実績[kg/t/km]

FO<sub>ka</sub>: 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費

量[t/km]

DWT:船舶の載貨重量トン[t]

LF: 貨物積載率

0.01 kg/t/km刻みで集計したものが**図-76**であり,0 kg/t/km以上0.15 kg/t/km未満で分布している.最頻値は0 kg/t/km以上0.01 kg/t/km未満であり,28航海がこの範囲に入っている.平均値は約0.023 kg/t/kmである.また,積載率が0であるため算出できない航海が6航海あった.

上記(3)で求めた航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量の平均値はフェリーが約0.067t/km, RORO船が約0.044t/km, コンテナ船が約0.015t/kmであり, コンテナ船を1とすると,フェリーが約4.4倍, RORO船が約2.9倍であった.

一方本項で求めた航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量の実績の平均値はフェリーが約0.026 kg/t/km, RORO船が約0.023 kg/t/km, コンテナ船が約0.023 kg/t/km であり、コンテナ船を1とすると、フェリーが約1.1倍,RORO船が約1.0倍となった.

これは3.2(4)で示したように航路区間ごとの貨物積載率の平均値がフェリーは約76%, RORO船は約66%, コンテナ船は約45%とフェリーの積載率が高い一方でコンテナ船の積載率が低かったことが影響したためであり, コンテナ船では1航海あたりの貨物量が少なかったためにトンキロあたり燃料消費量が高く算出された.

(5) 航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量 上記(3) で求めた航路区間ごとの航海距離あたり燃料 消費量とアンケート調査により得られたDWT等を用いて

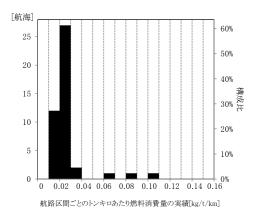


図-74 航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量の実績(フェリー)

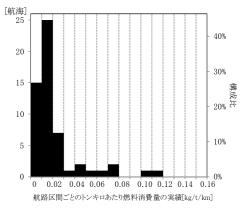


図-75 航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量の実績(RORO船)

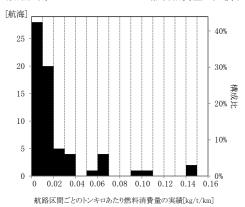


図-76 航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量の実績(コンテナ船)

航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量を求めた.

フェリーの航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量は式(6)により求めた. なおフェリーの燃料消費量は積載率の影響を受けないことが鈴木ら(2012)により示されているため、フェリーの航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量の算出において積載率は考慮しない.

FO<sub>tke</sub>: 航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり 燃料消費量[kg/t/km]

FOka: 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費

量[t/km]

DWT:船舶の載貨重量トン[t]CW:積載可能シャーシ重量[t]

PW: 積載可能旅客重量[t]

0.01 kg/t/km刻みで集計したものが**図-77**であり,0.01 kg/t/km以上0.10 kg/t/km未満で分布している.最頻値は0.01 kg/t/km以上0.02 kg/t/km未満であり,36航海がこの範囲に入っている.平均値は約0.020 kg/t/kmである.また,無回答により算出できない航海が4航海あった.

RORO船の航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量は式(7)により求めた. なおRORO船の燃料消費量は積載率の影響を受けないことが鈴木ら(2012)により示されているため、RORO船の航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量の算出において積載率は考慮しない.

$$FO_{tke} = \frac{FO_{ka} \cdot 1000}{DWT - CW} \tag{7}$$

ここに,

 $FO_{tke}$ : 航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり 燃料消費量[kg/t/km]

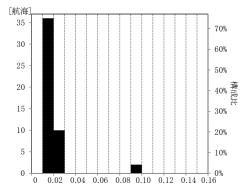
 $FO_{ka}$ : 航路区間ごとの航海距離あたり燃料消費量 $\lceil t/km \rceil$ 

DWT:船舶の載貨重量トン[t]CW:積載可能シャーシ重量[t]

0.01 kg/t/km刻みで集計したものが**図-78**であり,0 kg/t/km以上0.02 kg/t/km未満で分布している.最頻値は0 kg/t/km以上0.01 kg/t/km未満であり,36航海がこの範囲に入っている.平均値は約0.009 kg/t/kmである.

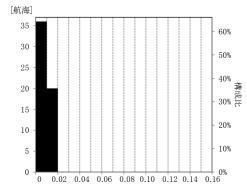
コンテナ船の航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり 燃料消費量を求めた. なおコンテナ船の燃料消費量は積 載率の影響を受けることが鈴木ら(2012)により示されているため, コンテナ船の航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量の算出においては積載率を考慮した. 具体的には, コンテナ船の航海距離あたり燃料消費量は式(8)により求められることが鈴木ら(2012)により示されており,満載時の航海距離あたり燃料消費量は式(9)となるため,任意の貨物積載率時の航海距離あたり燃料消費量の比は式(10)となる. これを用いてコンテナ船の航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量を式(11)により求めた.

$$FO_{LF} = (9.54 \times 10^{-5}) \cdot ((2.09 + LF) \cdot DWT)^{2/3} \cdot V^2$$
 (8)



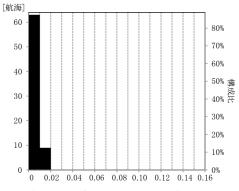
航路区間ごとの輸送可能トンキロ当たり燃料消費量[kg/t/km]

**図-77** 航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり 燃料消費量(フェリー)



航路区間ごとの輸送可能トンキロ当たり燃料消費量[kg/t/km]

図-78 航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり 燃料消費量(RORO船)



航路区間ごとの輸送可能トンキロ当たり燃料消費量[kg/t/km]

図-79 航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり 燃料消費量(コンテナ船)

$$FO_{full} = (9.54 \times 10^{-5}) \cdot ((2.09 + 1) \cdot DWT)^{2/3} \cdot V^2$$
 (9)

$$\frac{FO_{full}}{FO_{LF}} = \frac{\left((2.09+1) \cdot DWT\right)^{2/3}}{\left((2.09+LF) \cdot DWT\right)^{2/3}} = \left(\frac{3.09}{2.09+LF}\right)^{2/3} \tag{10}$$

ここに.

FO<sub>LF</sub>:任意の貨物積載率時の航海距離あたり燃 料消費量「kg/km]

 $FO_{full}$ :満載時の航海距離あたり燃料消費量

**DWT**:船舶の載貨重量トン[t]

LF: 貨物積載率

[kg/km]

$$FO_{tke} = \frac{FO_{ka} \cdot 1000 \cdot \frac{FO_{full}}{FO_{LF}}}{DWT}$$

$$= \frac{FO_{ka} \cdot 1000 \cdot \left(\frac{3.09}{2.09 + LF}\right)^{2/3}}{DWT}$$
(11)

ここに,

 $FO_{tke}$ : 航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり 燃料消費量[kg/t/km]

0.01 kg/t/km刻みで集計したものが**図-79**であり,0 kg/t/km以上0.02 kg/t/km未満で分布している.最頻値は0 kg/t/km以上0.01 kg/t/km未満であり,63航海がこの範囲に入っている.平均値は約0.007 kg/t/kmである.

上記(4)で求めた航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量の実績の平均値はフェリーが約0.026kg/t/km, RORO船が約0.023kg/t/km, コンテナ船が約0.023kg/t/kmであった一方, 本項で求めた航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量の平均値はフェリーが約0.020kg/t/km, RORO船が約0.009kg/t/km, コンテナ船が約0.007kg/t/kmであった.

つまり満載であった場合のトンキロあたり燃料消費量の平均値は、実績の平均値と比較してフェリーで約0.77倍、RORO船で約0.42倍、コンテナ船で約0.29倍とできることがわかった.

## 4. 省エネ輸送への取り組み状況に関するアンケー ト調査結果と分析

2.2(2)でアンケート調査票を回収した29社の省エネ輸送への取り組み状況について、アンケート調査により得られた結果を示すとともに分析を行う.

## 4.1 省エネ対策別取り組み状況の概要

船社の省エネ対策として減速運航や航路の短縮等について1.最大限実施,2.一部実施,3.検討中,4.関心あり,5.検討していない,6.その他(自由記述)の6段階で回答を求めた.2.2(2)でアンケート調査票を回収した29社の省エネ対策について,アンケート調査により得られた結果を示す.

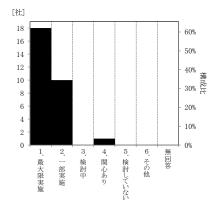


図-80 減速運航

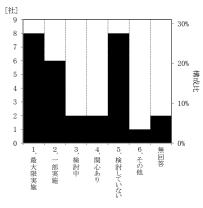


図-81 航路の短縮

#### (1)減速運航

減速運航に対する取り組み状況を集計したものが図-80である. 最大限実施とした船社が最も多く, 18社であった.

#### (2) 航路の短縮

航路の短縮に対する取り組み状況を集計したものが**図** -81である.最大限実施,もしくは検討していないとした船社が最も多く,各8社であった.また,無回答の船社が2社あった.図の構成比は無回答のサンプルを含めて算出している(以下同様).その他の回答としては,沿海区域の拡大要望との回答が得られた.

#### (3)海流や風の利用

海流や風の利用に対する取り組み状況を集計したものが図-82である. 一部実施とした船社が最も多く, 10社であった. また, 無回答の船社が1社あった.

#### (4)主機の高効率化

主機の高効率化に対する取り組み状況を集計したものが図-83である. 関心ありとした船社が最も多く,11社であった. また,無回答の船社が2社あった.

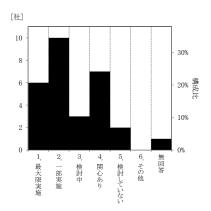


図-82 海流や風の利用

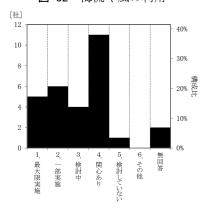


図-83 主機の高効率化

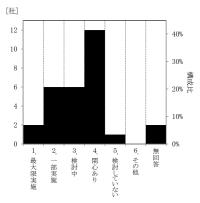


図-84 補機の省エネ化

#### (5)補機の省エネ化

補機の省エネ化に対する取り組み状況を集計したものが図-84である. 関心ありとした船社が最も多く, 12社であった. また, 無回答の船社が2社あった.

## (6)推進装置の改良

推進装置の改良に対する取り組み状況を集計したものが図-85である.一部実施,もしくは関心ありとした船社が最も多く,各8社であった.また,無回答の船社が2社あった.

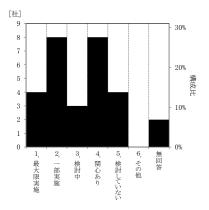


図-85 推進装置の改良

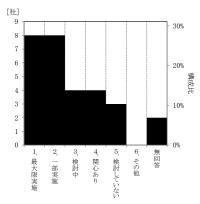


図-86 積載効率の向上

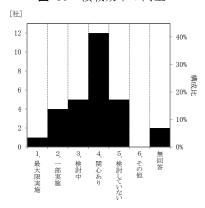


図-87 船体重量の低減

#### (7) 積載効率の向上

積載効率の向上に対する取り組み状況を集計したものが図-86である.最大限実施,もしくは一部実施とした船社が最も多く,各8社であった.また,無回答の船社が2社あった.

## (8)船体重量の低減

船体重量の低減に対する取り組み状況を集計したものが図-87である. 関心ありとした船社が最も多く, 12社であった. また, 無回答の船社が2社あった.

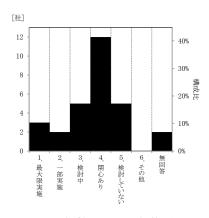


図-88 抵抗の少ない船体形状

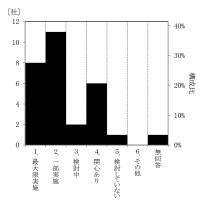


図-89 船底表面の抵抗低減

#### (9)抵抗の少ない船体形状

抵抗の少ない船体形状に対する取り組み状況を集計したものが図-88である. 関心ありとした船社が最も多く,12社であった. また,無回答の船社が2社あった.

## (10) 船底表面の抵抗低減

船底表面の抵抗低減に対する取り組み状況を集計した ものが図-89である.一部実施とした船社が最も多く,11 社であった.また,無回答の船社が1社あった.

## (11)機関排熱の利用

機関排熱の利用に対する取り組み状況を集計したものが図-90である. 関心ありとした船社が最も多く,10社であった. また,無回答の船社が2社あった.

## (12)船内設備の省エネ化

船内設備の省エネ化に対する取り組み状況を集計したものが図-91である。関心ありとした船社が最も多く,10社であった。また、無回答の船社が2社あった。

## (13)断熱·遮熱対策

断熱・遮熱対策に対する取り組み状況を集計したもの

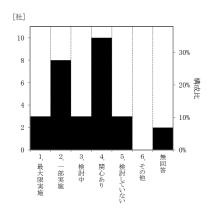


図-90 機関排熱の利用

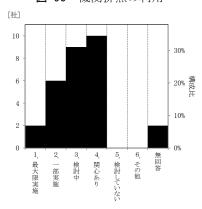


図-91 船内設備の省エネ化

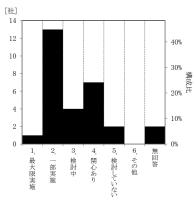


図-92 断熱・遮熱対策

が図-92である. 一部実施とした船社が最も多く、13社であった. また、無回答の船社が2社あった.

#### (14) 太陽エネルギーの利用

太陽エネルギーの利用に対する取り組み状況を集計したものが図-93である. 検討していないとした船社が最も多く,13社であった. また,無回答の船社が2社あった.

#### (15) 風力の利用

風力の利用に対する取り組み状況を集計したものが**図** -94である.検討していないとした船社が最も多く,14

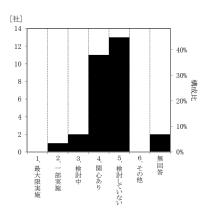


図-93 太陽エネルギーの利用

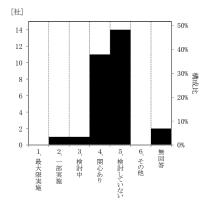


図-94 風力の利用

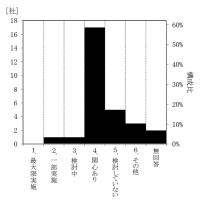


図-95 陸上電力の停泊時使用

社であった. また, 無回答の船社が2社あった.

## (16)陸上電力の停泊時使用

陸上電力の停泊時使用に対する取り組み状況を集計したものが図-95である. 関心ありとした船社が最も多く,17社であった. また,無回答の船社が2社あった. その他の回答としては,電圧の相違により不可,電気料・設備投資の費用がかさむ,陸電供給時間がかかる,昨今の電力不足により中止などの回答を得た.

#### (17) その他の対策

その他の対策として,以下の回答が得られた.

- ターミナルビルに緑のカーテンを設置
- ・荷役時間の短縮による減速運航時間の拡大
- ・気象・海象情報の提供による効率運航
- ・長時間停泊時における停泊用発電機使用
- 年一回の省エネ運航結果報告会実施

#### 4.2 省エネ輸送への取り組み状況の総括

回収した省エネ輸送への取り組み状況に関するアンケート調査結果の総括を行う.

最大限実施もしくは一部実施と回答した船社数を合計し、実施済みの船社数とみなして多い順に列挙してとりまとめたものが表-1である.最も多く実施されているのは減速運航であり、97%の船社が実施していた.また半数以上の船社が実施していた対策は減速運航の他に、船底表面の抵抗低減、海流や風の利用、積載効率の向上であった.これらの対策に概ね共通しているのは、設備投資が少なくても実施できる対策ということであり、着手しやすい対策からまずは実施しているという実態が把握できた.

表-1 省エネ対策と実施済みの船社数

	実施済みの船社数			A +1.1 =
質問項目		(最大限 実施)	(一部実施)	全社に 占める割合
減速運航	28社	(18社)	(10社)	97%
船底表面の抵抗低減	19社	(8社)	(11社)	66%
海流や風の利用	16社	(6社)	(10社)	55%
積載効率の向上	16社	(8社)	(8社)	55%
航路の短縮	14社	(8社)	(6社)	48%
断熱·遮熱対策	14社	(1社)	(13社)	48%
推進装置の改良	12社	(4社)	(8社)	41%
主機の高効率化	11社	(5社)	(6社)	38%
機関排熱の利用	11社	(3社)	(8社)	38%
補機の省エネ化	8社	(2社)	(6社)	28%
船内設備の省エネ化	8社	(2社)	(6社)	28%
船体重量の低減	5社	(1社)	(4社)	17%
抵抗の少ない船体形状	5社	(3社)	(2社)	17%
太陽エネルギーの利用	1社	(0社)	(1社)	3%
風力の利用	1社	(0社)	(1社)	3%
陸上電力の停泊時使用	1社	(0社)	(1社)	3%

## 5. まとめ

本分析では内航フェリー,RORO船,コンテナ船を運航する船社を対象としてアンケート調査を実施し,運航速度や燃料消費量などの内航ユニットロードの輸送実態や,船社の省エネ輸送への取り組み状況について分析を行った.

#### (1) 内航ユニットロードの輸送実態について

内航ユニットロードの輸送実態として,船舶の諸元や 航路区間ごとの運航,1ラウンドごとの運航を把握し,分 析した.主な結果を以下に示す.

航路区間ごとの運航では、航路区間ごとの速力に対する航海速度の比の平均がフェリー、RORO船、コンテナ船とも80%台であったことが把握できた。また航路区間ごとの速力に対する航海速度の比が小さい航海は、航海距離が短い航海において現れていた。

満載にできた場合の航路区間ごとの輸送可能トンキロあたり燃料消費量の平均値は、今回のアンケート調査結果より算出した実績の平均値と比較してフェリーで約0.77倍、RORO船で約0.42倍、コンテナ船で約0.29倍とできることがわかった.

#### (2)省エネ輸送への取り組み状況ついて

船社の省エネ輸送への取り組み状況を把握した.主な結果を以下に示す.

減速運航はほとんどの船社が実施しているとの回答で あった(97%).

陸上電力の停泊時使用についてはほとんど行われておらず(3%),費用や時間の負担が大きいという理由のほか,昨今の電力不足に対応して中止した船社もあった。今後の電力政策如何によっては船社の取り組み状況が変化する可能性もあり、注視が必要である。

傾向としては設備投資が少なくても実施できる対策が 多数の船社で実施されており、着手しやすい対策からま ずは実施しているという実態が把握できた.

## 6. おわりに

今回把握できた設備投資が少なくても実施できる対策が多数の船社で実施されているという現状を踏まえ、今後は安価で導入しやすい省エネ技術開発を行うとともに、船舶のリプレイスや新造時に省エネを考慮した設計が行えるように省エネ技術の迅速な開発が必要である.

なお行政の補助として、国土交通省海事局が2009年度 から4ヶ年計画で在来船に対して30%のCO<sub>2</sub>削減を可能と する技術の確立を目指した技術開発を補助(1/3補助)す る事業「船舶からのCO<sub>2</sub>削減技術開発支援事業」を実施している。他に国土交通省海事局は2009年度から海上交通低炭素化促進事業費補助金を実施しており、そのうち「低炭素化改造等事業」は、船舶運航事業者等による低炭素化を促進するための事業であり、内航海運業者等が燃料消費低減効果が認められる設備等の取り付け等を行うものに対して1/3補助(要件を満たすものは1/2補助)を行う。これらの制度も活用し、官民連携のもと迅速な省エネ技術の開発が求められる。

また技術開発や設備投資による航海距離あたりの燃料消費量の減少とともに、1航海あたりの積載率を上げて輸送量を増加させると航路区間ごとのトンキロあたり燃料消費量を減少させることができるため、さらなる集荷方策の検討や実施、船社と荷主とで生産や輸送のスケジュールを共有し設定すること、さらにはユーザーである荷主もトンキロあたりの $C0_2$ 排出量が小さい輸送モードである内航海運を選択し、内航海運の輸送スケジュールを意識した生産・輸送管理を行うことで、省エネ輸送の実現がより一層近づくといえる.

今後は2012年10月1日から段階的に施行されている,全化石燃料を課税ベースとする現行の石油石炭税にCO<sub>2</sub>排出量に応じた税率を上乗せする「地球温暖化対策のための課税の特例」などの環境やモーダルシフト等に係る政策が輸送費用や内航船舶の航海速度等に与える影響を把握し,今後の貨物輸送に関する政策立案に資するため,継続的な内航ユニットロードの輸送実態についての把握,分析が必要である.

(2013年2月14日受付)

#### 謝辞

本研究は、科研費(22360212)の助成を受けたものである。アンケート調査の実施にあたっては、フェリー、RORO船、コンテナ船を運航されている多数の船社の方々に多大なるご協力を頂いた。また、本研究をとりまとめるにあたっては、国総研港湾研究部の方々などをはじめ、多くの方々にご助言を頂いた。末尾ながらここに記して深く感謝致します。

#### 参考文献

赤倉康寛・鈴木武・松尾智征(2009): 我が国貨物の国際・ 国内海上輸送によるCO<sub>2</sub>排出量の推計, 国土技術政策 総合研究所資料, No. 497

国土交通省海事局(2011): 平成23年版海事レポート 国土交通省海事局内航課(2012): 2012春季号フェリー・ 旅客船ガイド

- 国立天文台編(2004):理科年表平成17年
- 後藤修一・渡部富博・安部智久・井山繁(2012):国際フェリー・RORO船による海上輸送の特性に関する基礎的分析,国土技術政策総合研究所資料,No.707
- 鈴木武・佐々木友子(2012): 国内航路を運航するフェリー・RORO貨物船・コンテナ船の諸元と燃料消費の特徴, 沿岸域学会誌, 第25巻第3号, 日本沿岸域学会
- 高橋宏直(2007):モーダルシフト化率の推計方法と動向 分析,国土技術政策総合研究所資料,No.407
- 田中淳・柴崎隆一・渡部富博(2003): 内貿ユニットロー ド貨物の輸送機関分担に関する分析, 国土技術政策 総合研究所資料, No. 60
- 内航ジャーナル株式会社(2012): 2012年版海上定期便ガイド
- 渡部富博・佐々木友子・赤倉康寛・井山繁(2012):国内 海上ユニットロード輸送に関わる経路選択と環境対 策についての一考察,国土技術政策総合研究所資料, No. 708

国土技術政策総合研究所資料 TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 716 March 2013 編集·発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019