

LCA 解析のための外航貨物船の運航状況分析と 海上輸送の大気環境負荷物質の排出係数

平岡 克英^{*}、亀山 道弘^{*}

Emission Factors of Gaseous Exhaust Emissions
Based on Analysis of Actual Voyage Logs of Oceangoing Cargo Ships
for Life Cycle Assessment of Seaborne Transportation

by

Katsuhide HIRAOKA and Michihiro KAMEYAMA

Abstract

Life Cycle Assessment (LCA) is a technique for assessing the environmental potential impacts associated with products throughout their life span from raw material acquisition to final disposal. Although Life Cycle Inventory (LCI) data are indispensable to perform LCA, reliable and accessible data for LCI analysis are limited. In particular, published and reliable data associated with transportation by oceangoing cargo-ships are very limited, in spite of the fact that a great quantity of natural and energy resources are imported and various kinds of manufactured products are exported by seaborne transportation in Japan.

The paper presents averaged fuel energy consumptions and gaseous exhaust emissions per unit transportation, being based on the analysis of navigation logbooks of oceangoing cargo-ships. The ships comprise of eight ships that are categorized in five types of ships, namely, two oil tankers, two bulk carriers, and two container ships with different sizes respectively, and a pure car carrier and an LNG carrier.

The gaseous exhaust emissions derived from combustion include carbon dioxide, sulfur oxides and nitride oxides. Averaged data of navigation distances, service speeds and ratios of loaded cargo to the maximum loading capacities, (in terms of dead weight, units of containers or cars), and averaged load factors of main engines, diesel generators and auxiliary boilers are provided.

^{*} 環境・エネルギー研究領域
原稿受付 平成17年2月25日
審査済 平成17年8月5日

目 次

1. まえがき	26
2. 調査した船の要目	27
3. 調査した船の運航概要	32
3.1 撒積貨物船 B 1 4 0	32
3.1.1 航海概要	32
3.1.2 燃料消費量とエンジン負荷率	34
3.1.3 輸送量あたりの油類消費量	35
3.2 撒積貨物船 B 9 1	36
3.2.1 航海概要	36
3.2.2 燃料消費量とエンジン負荷率	37
3.2.3 輸送量あたりの油類消費量	39
3.3 石油タンカー T 2 6 0	40
3.3.1 航海概要	40
3.3.2 燃料消費量とエンジン負荷率	41
3.3.3 輸送量あたりの油類消費量	42
3.4 石油タンカー T 9 6	43
3.4.1 航海概要	43
3.4.2 燃料消費量とエンジン負荷率	45
3.4.3 輸送量あたりの油類消費量	46
3.5 コンテナ船 C 6 1 0 0	47
3.5.1 航海概要	47
3.5.2 燃料消費量とエンジン負荷率	51
3.5.3 輸送量あたりの油類消費量	54
3.6 コンテナ船 C 4 7 0 0	55
3.6.1 航海概要	55
3.6.2 燃料消費量とエンジン負荷率	59
3.6.3 輸送量あたりの油類消費量	62
3.7 自動車運搬船 P C C 4 5 0 0	63
3.7.1 航海概要	63
3.7.2 燃料消費量とエンジン負荷率	66
3.7.3 輸送量あたりの油類消費量	68
3.8 L N G 船 L N G 1 2 7	69
3.8.1 航海概要	69
3.8.2 燃料消費量とボイラ負荷率	72
3.8.3 輸送量あたりの油類消費量	75
3.9 運航状況の船種による比較	76
4. 大気環境負荷物質	81
4.1 大気環境負荷物質の排出係数	81
4.1.1 二酸化炭素 (C O ₂)	81
4.1.2 硫酸酸化物 (S O _x)	81
4.1.3 窒素酸化物 (N O _x)	82
4.2 大気環境負荷物質の輸送量あたり 排出量	83
5. まとめ	85
参考文献	89

1. まえがき

近年、環境保護への関心のたかまりとともに、環境マネジメントの重要性が認識され、国際規格である ISO 14001（環境マネジメントシステム - 仕様及び利用の手引）が 1996 年に規格化された。その後、多くの環境 ISO が ISO 14000 シリーズとして規格化され、整備が継続されている。その中で、製品の環境影響を国際的に共通の方法によって評価するために、LCA（ライフサイクルアセスメント）の原則と枠組みが 1997 年に ISO 14040 として規格化された。その後インベントリ分析、適用事例、影響評価、解釈などの LCA 規格群が ISO 14040 シリーズとして整備されている。

LCA は、製品のライフサイクル、つまり原料調達から設計、製造、使用、リサイクル、最終的な廃棄処分まで製品の生涯に亘って、製品単位あたり使用する資源やエネルギーと排出する環境負荷物質を定量的に推定・評価し、製品の潜在的な環境影響を評価する手法である。LCA を実施する場合、その初期段階では LCI（ライフサイクルインベントリ）分析、すなわち製造から廃棄されるまでの各段階で投入される資源やエネルギー、あるいは排出される物質等の収支分析を行う必要があり、LCA の基本的な作業である。

LCI 分析を実施する場合、通常の生産現場で把握できるのは、電力、燃料油などのエネルギー、購入される資材、部品、出荷される製品と処理業者に委託される廃棄物等の入出量に限られるので、さらなる上流あるいは下流のデータはデータベースなどを利用することになる。日本では多くの資源や製品を海上輸送で輸出入しており、海上輸送段階のエネルギー消費量や環境負荷物質排出量は製品の LCI 分析において無視できないものがあり、データベースとしての需要も高い。

一方、船舶自身を製品と見なして LCI 分析を実施する場合も運航段階のデータが重要である。著者らは、主として CO₂ に関して船舶の LCI 分析を行い¹⁾、建造、運航、解体の各段階での CO₂ 排出量を把握した。その結果、排出される CO₂ の約 98% が運航段階で排出されており、運航段階のエネルギー消費量や環境負荷物質排出量が船舶の LCI 分析に大きな影響を与えることを示した。

船舶や海上輸送の LCI 分析において、運航段階のデータが重要な要素となるが、船舶運航の詳細に関しては公表されることが限られている。そのため、輸送量や燃料消費量は公称運航性能をもとに推定されることが多い。しかし、この推定値がどの程度信頼できるものかどうかは現状ではほとんど評価され

ていない。

また、船舶は輸送対象物によって船種、サイズなど多様に変化し、運航状況は一律ではない。しかし、これらに対応した運航モデルを作成するための適当なデータはほとんど見あたらない。

以上の背景のもとに本研究では船会社のご協力を得て各種外航貨物船の運航記録データを提供していただき、運航モデル作成のための平均的運航状況を分析するとともに、大気環境負荷物質の排出係数を算出した。

調査した船種は、我が国の主要輸入品である石油、石炭、LNGを輸送する石油タンカー、撒積貨物船とLNG船、主要輸出品である自動車専用輸送する自動車運搬船および一般貨物を輸送するコンテナ船の5船種である。さらに、タンカー、撒積貨物船、コンテナ船の3船種についてはサイズを変えたものも調査し、合計8隻を調査した。

運航分析はアブストラクトログと呼ばれる運航記録に基づき、運航距離、運航速度、停泊時間、燃料消費量、貨物輸送量などを分析し、平均的な運航状況を算出した。また、実際の運航条件と公称性能との差異が輸送量あたりの燃料消費量に及ぼす影響を分析した。

これらの調査結果に基づき、単位輸送量あたりの燃料消費量とその燃焼により発生する大気環境負荷物質の内、CO₂、SO_xおよびNO_xの排出量を推定した。

これらの調査結果の一部はすでに報告¹⁾しているが、本論文ではその後行った分析とあわせて以下に報告する。

2. 調査した船の要目

表-2.1に調査した船8隻の要目を、表-2.2に調査した船の就航年月、入手したアブストラクトログの最終年月、航海次数を示す。運航記録は一部欠落しており、表-2.2の航海次数の括弧内に調査した航海次数を示す。呼称記号は、本報告内で調査した船を識別するためのものである。表-2.1に示す諸量の算出条件などは以下に記す。

表-2.1の軽荷重量(LW)は満載排水量(Δ)から載貨重量(DW)を差し引いて算出した推定量である。搭載容量は、撒積貨物船は船倉容積、タンカーおよびLNGタンカーはタンク容積、コンテナ船は20フィートコンテナ(TEU)個数、自動車運搬船は台数をそれぞれ示している。

表-2.1の輸送量あたり燃料消費量は、次のように求めた。主機関の常用出力時における時間あたり燃料消費量(すなわち連続最大出力、常用出力負荷率および燃料消費率の積)を時間あたり輸送量(す

なわち載貨重量と満載航海速度の積)で割ったものである。これを以下では要目値による輸送量あたり燃料消費量と呼ぶことにする。なお、航海速度の単位(knot)は1時間あたり航海する距離の海里(mile)数であり、1海里は1,852kmである。

主機関の形式はLNG船を除く船種はディーゼルエンジンで、出力容量は連続最大出力(MCR)で示される。通常、運航に使用される負荷率は常用出力付近であり、その燃料消費率(kWh当たりの燃料消費量)を表-2.1に示している。常用出力負荷率で燃料消費率が最小となるよう設計されるのが一般的で、その例を図-2.1に示す。この例では負荷率85%の時、燃料消費率が最小である。

LNG船の主機関は蒸気タービンであり、定格出力は連続最大出力も常用出力も区別されないで、同じ出力で表される。主ボイラの燃料としてはボイルオフガスと燃料油が併用される。表-2.1の燃料消費率は、1日あたり燃料油消費量と定格出力から算出したものである。

燃料消費率の内、A重油の燃料消費率でデータを入手したものについては、低位発熱量(A重油: 42.7MJ/kg = 10,200kcal/kg、C重油: 40.6MJ/kg = 9,700kcal/kg)でC重油相当の消費率に換算したものである。補助ボイラの燃料消費率は給水温度60、ボイラ効率80%、負荷率100%と仮定して蒸発容量から算出した。

運航中の燃料消費量の大半は主機関によるものであるが、ディーゼル発電機、補助ボイラの燃料消費量も無視できない場合がある。これらの定格容量を図-2.2に比較して示す。図-2.2では主機関の連続最大出力(MCR)時の消費燃料の熱量すなわち入熱量を基準として、ディーゼル発電機搭載全基数の定格負荷容量時の燃料消費量、補助ボイラの定格蒸発量時の燃料消費量を比較して示した。

ディーゼル発電機の定格入熱容量は、LNG船とPCC船を除くと主機関のその約20%程度である。補助ボイラの中でタンカーのその定格入熱量

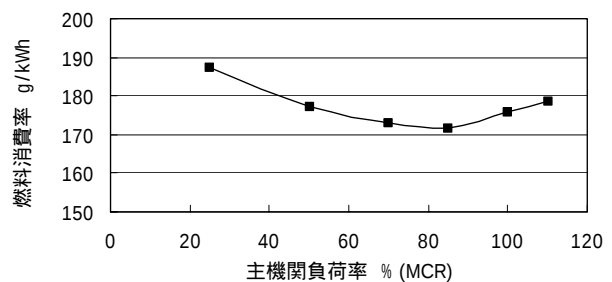


図-2.1 主機関の燃料消費率の例

表 - 2 . 1 調査した船舶の主要目

項 目	単 位	船 種			
		撒積貨物船 (B140)	撒積貨物船 (B91)	タンカー (T260)	タンカー (T96)
就航年月		1990年7月	1995年5月	1990年5月	1991年12月
総トン数(GT)	T	84,565	58,098	146,376	54,935
満載排水量(Δ)	t	161,829	106,337	295,330	110,340
載貨重量(DW)	t	142,235	91,443	259,998	96,106
軽荷重量(LW = Δ - DW)	t	19,594	14,894	35,332	14,234
搭載容量	m ³	181,689	118,600	317,199	112,580
満載航海速度	knot	13.7	14.0	15.0	14.0
輸送量当たり燃料消費量	g/t-mile	0.92	1.32	0.81	1.11
主機関					
連続最大出力(MCR)	kW × rpm	12,136 × 70	10,812 × 95	21,771 × 73	10,201 × 79
常用出力負荷率	%(MCR)	85	90	85	85
燃料消費率(C重油)	g/kWh	173.1	173.1	170.9	172.7
発電機					
ディーゼル(D/G)	kW × 台	680 × 3	530 × 3	740 × 4	610 × 3
燃料消費率(C重油)	g/kWh	218	218	222	222
ターボ(T/G)	kW × 台	-	-	740 × 1	-
軸発電機(S/G)	kW × 台	-	-	400 × 1	-
補助ボイラ					
蒸発容量	t/h	1.5	1.7	85	30
燃料消費率(C重油)	t/h	0.116	0.131	6.65	2.35
排ガスエコマイザ					
蒸発容量(高圧)	t/h	-	-	3.6	-
蒸発容量(低圧)	t/h	-	-	1.51	-
カーゴポンプ	m ³ /h × 台	-	-	5,500 × 3	2,500 × 3

項 目	単 位	船 種			
		コンテナ船 (C6100)	コンテナ船 (C4700)	自動車運搬船 (PCC4500)	LNG船 (LNG127)
就航年月		1998年1月	1995年2月	1994年1月	1993年3月
総トン数(GT)	T	76,847	60,117	41,931	106,151
満載排水量(Δ)	t	110,715	87,050	28,620	97,462
載貨重量(DW)	t	82,275	63,014	17,183	67,554
軽荷重量(LW = Δ - DW)	t	28,440	24,036	11,437	29,908
搭載容量	TEU/台/m ³	6,148	4,743	4,515	127,550
満載航海速度	knot	23.0	23.5	18.8	19.3
輸送量当たり燃料消費量	g/t-mile	4.21	4.43	5.21	4.98
主機関					(蒸気タービン)
連続最大出力(MCR)	kW × rpm	52,956 × 94	43,620 × 96.8	10,810 × 110	23,536 × 85
常用出力負荷率	%(MCR)	85	85	90	100
燃料消費率(C重油)	g/kWh	176.8	176.8	173.1	276.0
発電機					
ディーゼル(D/G)	kW × 台	2,100 × 4	1,600 × 4	800 × 3	1,380 × 1
燃料消費率(C重油)	g/kWh	212	212	218	212
ターボ(T/G)	kW × 台	1,500 × 1	1,500 × 1	-	2,500 × 2
軸発電機(S/G)	kW × 台	1,500 × 1	800 × 1	-	-
補助ボイラ					(主ボイラ)
蒸発容量	t/h	13	13	1.5	55
燃料消費率(C重油)	t/h	1.01	1.01	0.116	-
排ガスエコマイザ					
蒸発容量(高圧)	t/h	4.85	8.5	-	-
蒸発容量(低圧)	t/h	4.16	1.8	-	-
カーゴポンプ	m ³ /h × 台	-	-	-	1,400 × 8

表 - 2 . 2 調査した船舶の航海回数

船 種	呼称記号	就航年月	調査データ最終年月	航海期間	航海回数(調査数)
撒積貨物船	B140	1990年7月	2000年6月	9年11月	93 (58)
撒積貨物船	B91	1995年5月	2000年12月	5年7月	57 (57)
タンカー	T260	1990年5月	2000年7月	10年2月	76 (76)
タンカー	T96	1991年12月	1999年12月	8年	102 (63)
コンテナ船	C6100	1998年1月	2000年6月	2年5月	18 (16)
コンテナ船	C4700	1995年2月	2000年12月	5年10月	44 (44)
自動車運搬船	PCC4500	1994年1月	1999年12月	5年11月	59 (59)
LNG船	LNG127	1993年3月	1998年12月	5年9月	122 (122)

すなわち定格燃料消費量は主機関のそれより大きいことが注目される。排エコ(排ガスエコノマイザー)は主機関排ガスの廃熱を利用して蒸気(高圧、低圧)を発生する装置であり、直接燃料を消費しないボイラと見なされる。高圧蒸気はターボ発電機の駆動に利用し、低圧蒸気は一般の加熱熱源に利用される。排エコの入熱量を蒸発容量に等しいと仮定して図-2.2に参考のために示した。主機関の熱効率を約5%向上する程度の容量を有している。

3章において時間当たり平均燃料消費量から主機関、ディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を算出した。エンジンの燃料消費率は、図-2.1に示したように常用出力(85%MCR)近辺の負荷率(およそ60~90%MCR)では大きく変化しないので、燃料消費率は表-2.1の値で一定と仮定して平均負荷率を算出した。蒸気タービンは一般に低負荷率になるほど燃料消費率は大きくなるが、本報告では解析の簡単化のために表-2.1の値で一定と仮定して平均負荷率を算出した。

タンカーT260とコンテナ船C4700とC6100はターボ発電機と軸発電機を装備している。ターボ発電機は排エコの蒸気で運転されること、軸発電機は航走時に主機関動力を利用して発電されることによりそれぞれの所要燃料消費量は不明である。本報告ではこれらの稼働に関わる燃料消費量は主機関のそれに含めて考察した。

船舶は単品製品であり、同船種、同クラスでも主

機関出力、航海速度(knotを本報告ではktと略記する)載貨重量は一定ではない。本報告で調査した船が、同種・同クラスの船と比較してどのような特徴を有しているのかをみるために、日本船舶明細書²⁾に記載されている船の要目と比較した。とくに一種の輸送性能と考えられる要目値による単位輸送量あたりの燃料消費量がどのようになるのかを比較した。

図-2.3.1~図-2.3.5に、調査した船と船舶明細書記載船の比較を示す。各図(a)に載貨重量と主機関の連続最大出力、各図(b)に載貨重量と航海速度、および各図(c)に載貨重量と輸送量あたり燃料消費量との関係を示す。なお、日本船舶明細書記載船の燃料消費量は、補機の燃料消費量を含む1日の燃料消費量として表示されているが、ここではそのまま用いて輸送量あたり燃料消費量を算出した。また、図中には、船舶明細書記載船の竣工年と調査した船の就航年を示す。

図-2.3.1(c)は撒積貨物船の輸送量あたり燃料消費量を示す。撒積貨物船B91(91千DWt)の要目値による輸送量あたり燃料消費量はそのクラスの平均値の約99%、B140(14万DWt)の場合はそのクラスの平均値の約110%である。図-2.3.2(c)において、タンカーT96(96千DWt)の要目値による輸送量あたり燃料消費量はそのクラスの平均値の約93%、T260(26万DWt)はそのクラスの平均値の約1

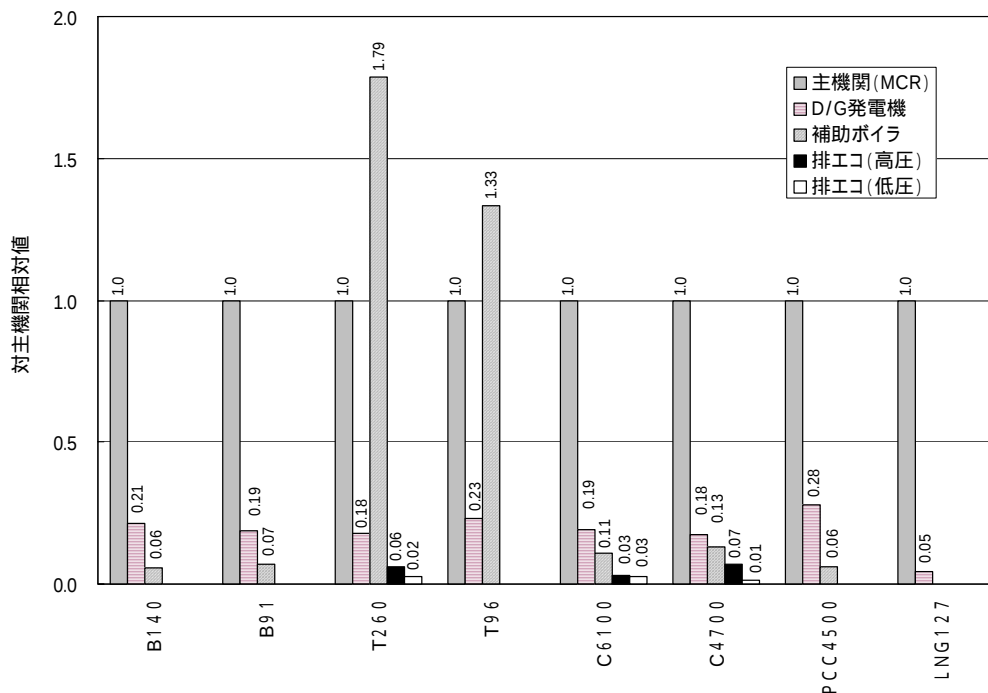


図-2.2 主機関、発電機、ボイラの定格入熱量の比較

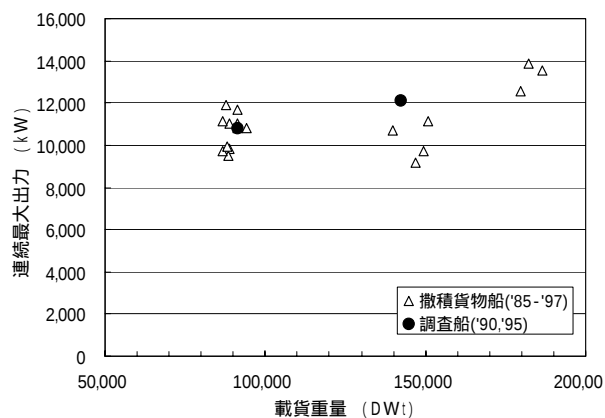


図 - 2 . 3 . 1 (a) 撒積貨物船の載貨重量と連続最大出力 (M C R)

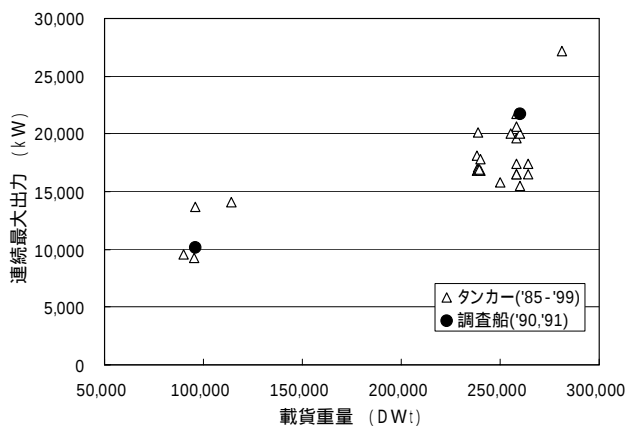


図 - 2 . 3 . 2 (a) タンカーの載貨重量と連続最大出力 (M C R)

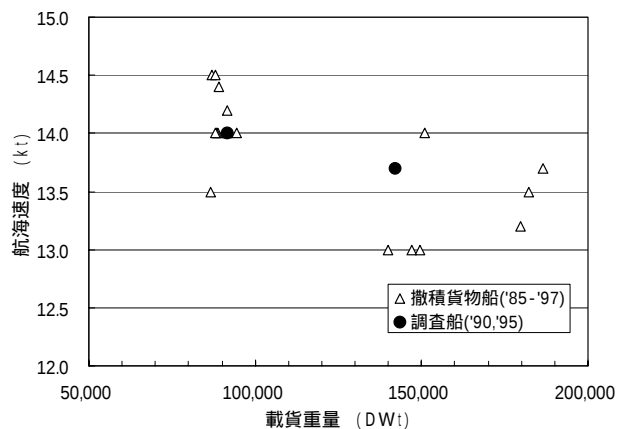


図 - 2 . 3 . 1 (b) 撒積貨物船の載貨重量と航海速度

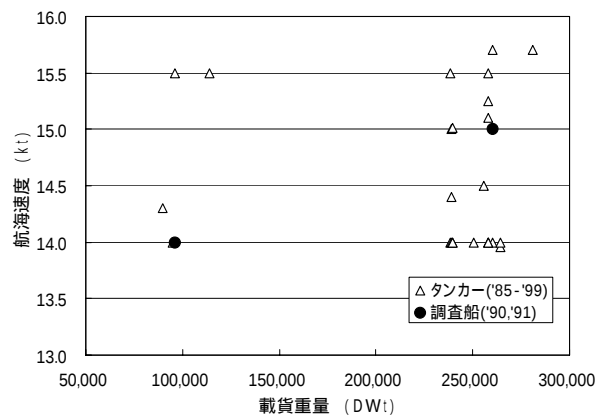


図 - 2 . 3 . 2 (b) タンカーの載貨重量と航海速度

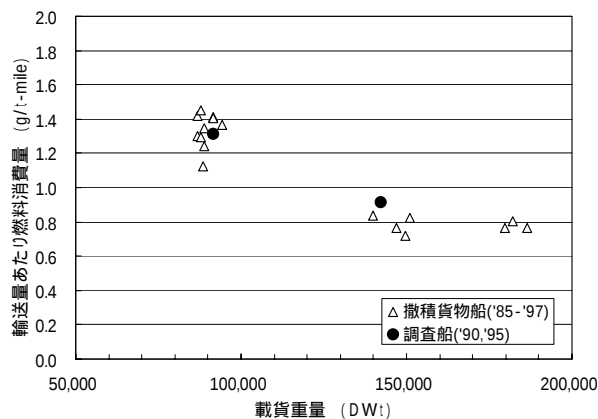


図 - 2 . 3 . 1 (c) 撒積貨物船の載貨重量と輸送量あたり燃料消費量

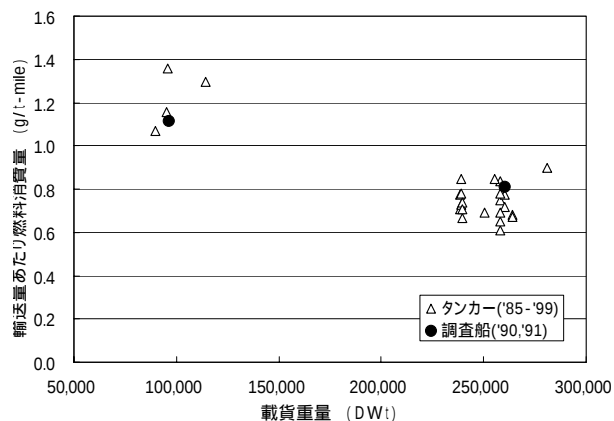


図 - 2 . 3 . 2 (c) タンカーの載貨重量と輸送量あたり燃料消費量

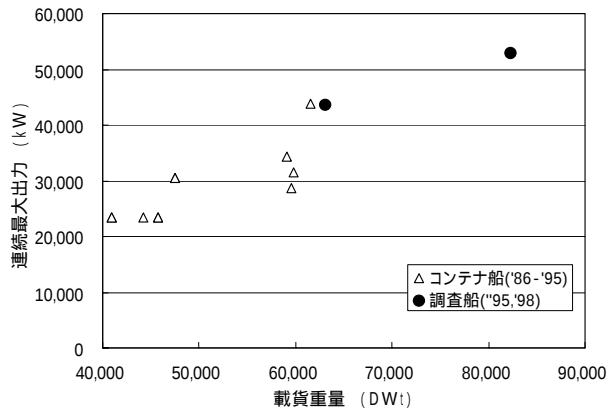


図 - 2 . 3 . 3 (a) コンテナ船の載貨重量と連続最大出力 (M C R)

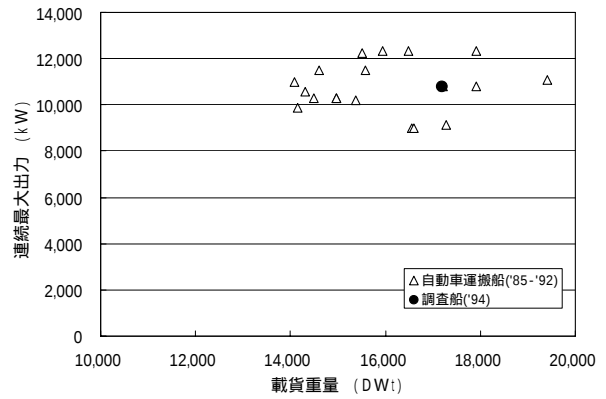


図 - 2 . 3 . 4 (a) 自動車運搬船の載貨重量と連続最大出力 (M C R)

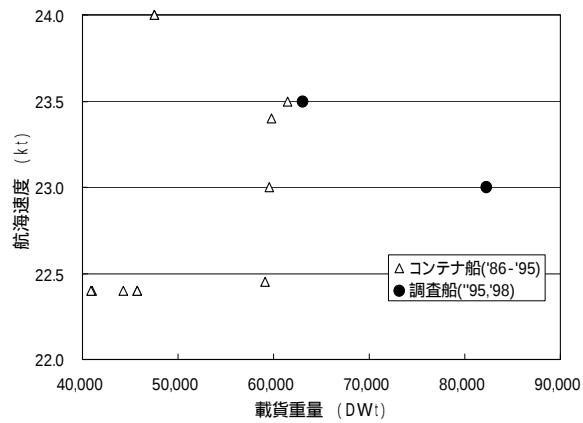


図 - 2 . 3 . 3 (b) コンテナ船の載貨重量と航海速度

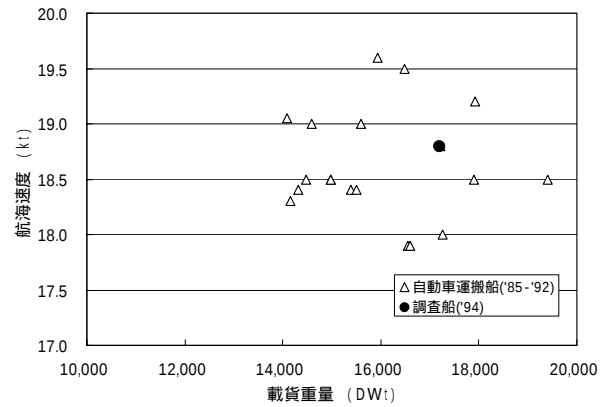


図 - 2 . 3 . 4 (b) 自動車運搬船の載貨重量と航海速度

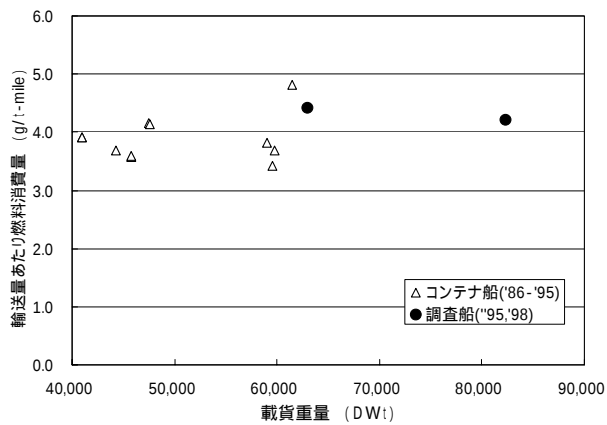


図 - 2 . 3 . 3 (c) コンテナ船の載貨重量と輸送量あたり燃料消費量

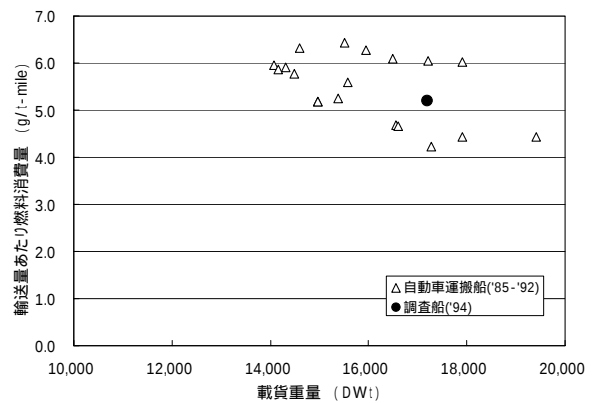


図 - 2 . 3 . 4 (c) 自動車運搬船の載貨重量と輸送量あたり燃料消費量

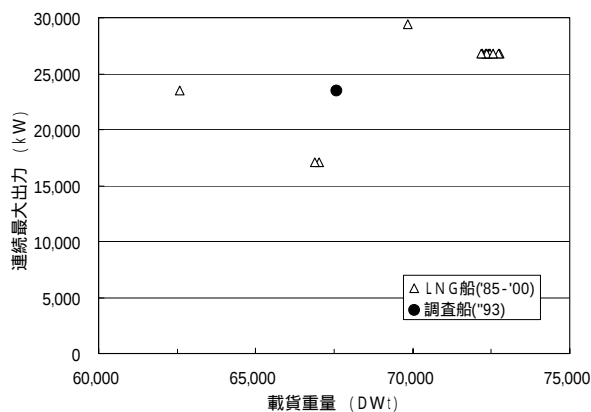


図 - 2 . 3 . 5 (a) L N G 船の載貨重量と連続最大出力 (M C R)

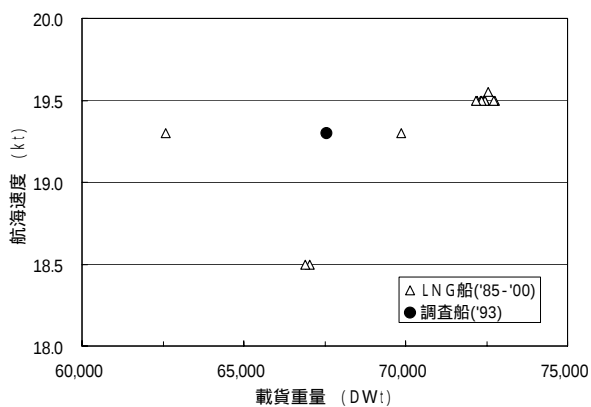


図 - 2 . 3 . 5 (b) L N G 船の載貨重量と航海速度

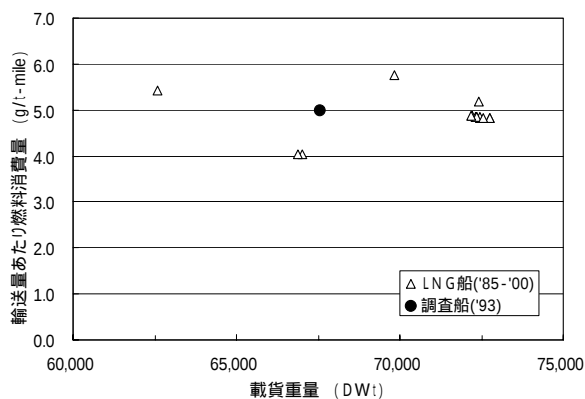


図 - 2 . 3 . 5 (c) L N G 船の載貨重量と輸送量あたり燃料消費量

10%である。

図 - 2 . 3 . 3 (c) はコンテナ船の輸送量あたり燃料消費量を示す。C 4 7 0 0 (6 3 千 D W t) と C 6 1 0 0 (8 2 千 D W t) はそれぞれ 20 フィートコンテナ (T E U) 4 , 7 4 3 個、6 , 1 4 8 個積の船で、船舶明細書記載船と比較すると就航年が新しく、しかもより大型のコンテナ船である。最近では 8 , 0 0 0 個積コンテナ船が就航するなど、コンテナ船はさらに大型化の傾向にある。両船の要目値による輸送量あたり燃料消費量は、日本船舶明細書記載船の平均値に対して C 4 7 0 0 が 1 1 4 %、C 6 1 0 0 が 1 0 8 % であるが、調査した船で最近の大型コンテナ船輸送を概ね反映すると思われる。

図 - 2 . 3 . 4 (c) は自動車運搬船の輸送量あたり燃料消費量を示す。P C C 4 5 0 0 (1 7 千 D W t) のそれは図に示した全船の平均値に対して約 9 5 % である。

図 - 2 . 3 . 5 (c) は L N G 船の輸送量あたり燃料消費量を示す。L N G 船は、就航プロジェクトによって航海速度、主機関出力、積載容量の計画が異なるが、調査した L N G 1 2 7 の要目値による輸送量あたり燃料消費量は、図に示した全船の平均値とほぼ等しい。

本報告で調査した船は、上で見てきたように、要目値による輸送量あたり燃料消費量が、各船種・各クラスの平均値から極端にはずれたものはなく、外航貨物船の平均的な輸送状況を概ね反映すると考えられる。

3 . 調査した船の運航概要

3 . 1 撤積貨物船 B 1 4 0

3 . 1 . 1 航海概要

本船は、日本の火力発電所と海外の石炭積出港を往復する航海を行っている。積み出し地はオーストラリアが主であるが、北米、南アフリカにも向かっている。

表 - 3 . 1 . 1 に航路毎および全航海の平均航海状況として、航走距離、航走時間、航進時間、航走速度、停泊時間、貨物積載量、貨物輸送量を示す。航走距離は航海した地理的距離 (O G : Over Ground)、航走時間 (H U W : Hours under weigh) は港を出て次の港に到着するまでの時間、航進時間 (H P : Hours Propelling) は航走時間の内、全速力で前進航海 (Propelling) を続ける時間である。

本船は航走時間のほとんど (9 9 %) を航進状態で運航している。停泊時間 (Hours in port) は、港内に滞在している時間で、積荷地の停泊時間を往航に、揚荷地の停泊時間を復航に割り当てた。

平均航走距離は、往航と復航ともほぼ同程度の約

4,600 mileであり、同じ航路を往復していると考えられる。

平均航走距離と平均航走時間から算出する平均航走速度は、全航海平均では13.3 ktで満載航海速度13.7 ktの97%である。空荷状態の往航では14.0 kt、積載状態の復航では12.6 ktであり、空荷航走が積載航走時より約10%速い。

平均停泊時間の1航海平均航海時間に占める割合は約29%である。平均停泊時間は、積荷地で平均146時間(最小27.7時間、最大412時間)、揚荷地で平均133時間(最小81時間、最大458時間)と平均では往航、復航ともに同程度であるが、個々の停泊時間にはかなり幅がある。

貨物の平均積載率は載貨重量(DW)の96%であり、ほぼ満載状態で運航されている。

図-3.1.1に各航海次における平均航走速度を空荷時および積載時別に示す。図中の直線は線形回帰線を示す。表-3.1.2に線形回帰式、線形回帰式を計算した標本の平均および標準偏差の平均に対する割合を示す。平均速度は空荷航走が積載航走時より約10%速い。速度の変動は、標準偏差で平均の約3~5%程度ある。図の範囲では入渠が47、68、91各航海次の後、合計3回行われている。速度は空荷航走および積載航走ともに概ね入渠間隔ごとに低下と改善を繰り返し、全体では低下傾向を示す。線形回帰式から計算される100航海(本船の場合約11年間)あたりの速度の変化率を表-3.1.2に示すが、約11年間で5~6%程度の速度低減傾向がある。

図-3.1.2に各航海次における平均プロペラ回転数、図-3.1.3に各航海次における主機関平均負荷率を示す。航走速度と同様に表-3.1.2に線形回帰式を示す。プロペラ回転数および主機関平均負荷率は空荷時と積載時とではほとんど差がない状況で運航されている。また、経年的変化は航走速度よりは小さい。

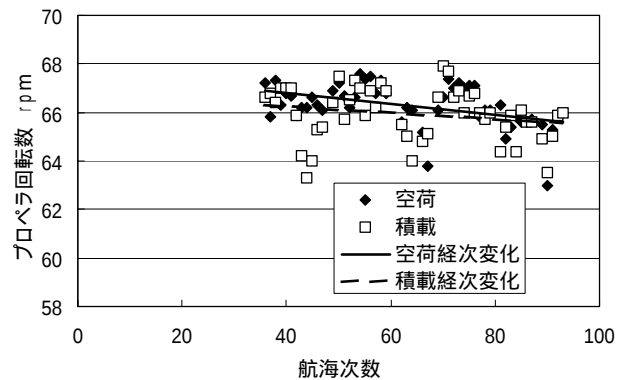


図-3.1.2 撒積貨物船B140のプロペラ回転数

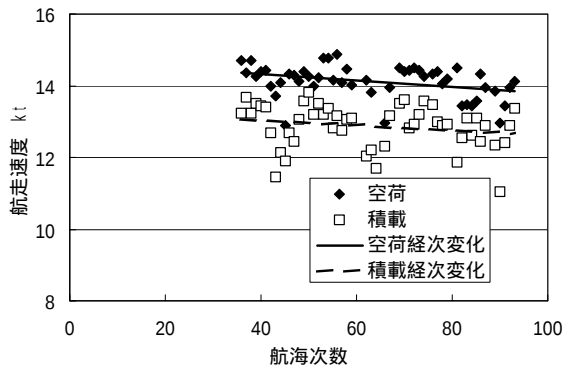


図-3.1.1 撒積貨物船B140の航走速度

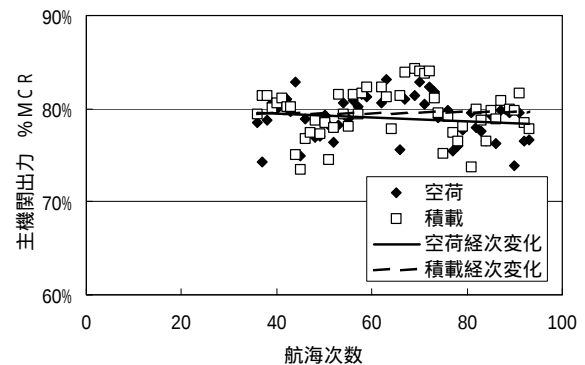


図-3.1.3 撒積貨物船B140の主機関負荷率

表-3.1.1 撒積貨物船B140の平均航海状況

Voyage			航走距離 (Distance run OG)	航走時間 (Hours under weigh)	航進時間 (Hours Propelling)	航進時間 / 航走時間	航走速度 (OG/HUW)	停泊時間 (Hours in Port)	排水量	積載貨物量	貨物輸送量
航海方面	航海数	航海種別	miles	hr	hr	%	kt	hr	ton	%	Mt-mile
豪州	48	往航	4,112	292	290	99%	14.1	156	76,590	47%	-
		復航	4,128	321	318	99%	12.9	132	157,164	97%	557.5
		一航海	8,240	613	608	99%	13.4	288	-	-	-
北米	3	往航	5,472	396	393	99%	13.8	72	74,964	46%	-
		復航	5,826	483	479	99%	12.1	107	161,680	100%	811.4
		一航海	11,297	879	872	99%	12.9	179	-	-	-
南ア	7	往航	7,280	534	529	99%	13.6	114	85,428	53%	-
		復航	7,210	598	595	99%	12.1	166	161,773	100%	1,007.2
		一航海	14,489	1,132	1,124	99%	12.8	280	-	-	-
全航海 平均	58	往航	4,563	326	323	99%	14.0	146	77,654	48%	-
		復航	4,588	363	360	99%	12.6	133	158,394	98%	628.6
		一航海	9,151	689	683	99%	13.3	278	-	-	-

表 - 3 . 1 . 2 撒積貨物船 B 1 4 0 の経次変化

	航海種別	線形回帰式	平均	標準偏差 / 平均	100航海 変化率
平均航走速度 (kt)	空荷	$y = -0.0093x + 14.701$	14.1	0.032	-6.3%
	積載	$y = -0.0073x + 13.333$	12.9	0.047	-5.5%
平均プロペラ回転数 (rpm)	空荷	$y = -0.0227x + 67.725$	66.3	0.013	-3.4%
	積載	$y = -0.0132x + 66.773$	65.9	0.016	-2.0%
平均主機負荷率 (%MCR)	空荷	$y = -0.02x + 80.31$	79.0	0.029	-2.5%
	積載	$y = 0.002x + 79.38$	79.5	0.033	0.3%

3 . 1 . 2 燃料消費量とエンジン負荷率

表 - 3 . 1 . 3 に燃料油と潤滑油の 1 航海あたりの平均消費量を航海別（航走時と停泊時）と機器別（主機関、ディーゼル発電機、補助ボイラ）に示す。なお潤滑油消費量は、容積データを比重 0 . 8 9 t / m³として重量に換算して示した。

図 - 3 . 1 . 4 に燃料油・潤滑油の消費割合を示すが、C 重油が約 9 8 %、シリンダ油が約 1 %である。

油類（燃料油・潤滑油）のうち最大の消費油である C 重油の航海・機器別消費割合を図 - 3 . 1 . 5 に示す。1 段目の航海別グラフで、航走中の燃料消費割合が約 9 6 %、停泊時が約 4 %であることを示す。それぞれの燃料消費割合の機器別内訳を 2 段目のグラフで示す。航走中の 9 6 %の内訳は、主機関が約 9 1 %、ディーゼル発電機が約 5 %で、補助ボイラはほとんど図には現れていない。停泊時の 4 %の内訳は、ディーゼル発電機と補助ボイラがそれぞれ

約 2 %である。3 段目のグラフは、1 航海あたり平均消費量の機器別消費割合を示すもので、主機関が約 9 1 %、ディーゼル発電機が約 7 %を占め、残り約 2 %は補助ボイラによるものである。

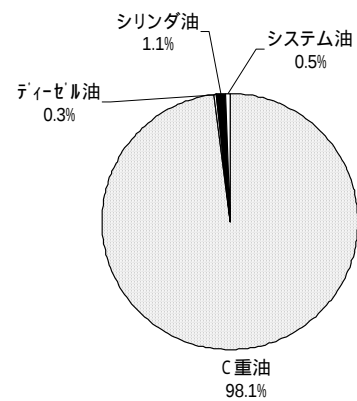


図 - 3 . 1 . 4 撒積貨物船 B 1 4 0 の油類消費割合

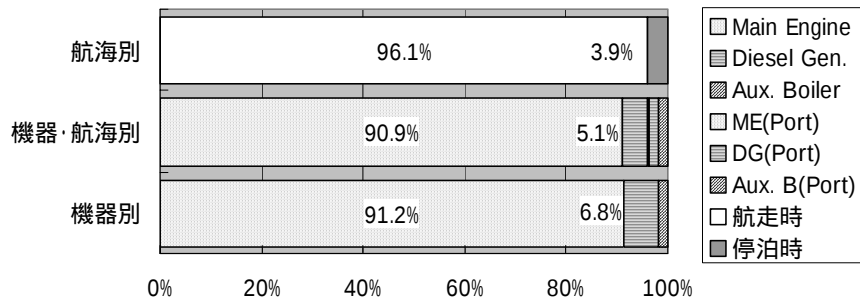


図 - 3 . 1 . 5 撒積貨物船 B 1 4 0 の C 重油消費割合

表 - 3 . 1 . 3 撒積貨物船 B 1 4 0 の 1 航海あたりの燃料油・潤滑油消費量

機関・機器	C 重油			ディーゼル油			潤滑油	
	一航海	単位: ton		一航海	単位: ton		シリンダ油	システム油
		航走時	停泊時		航走時	停泊時		
Total	1,261.5 100.0%	1,212.3 96.1%	49.2 3.9%	4.0 100.0%	1.9 47.2%	2.1 52.8%	13.8	6.4
Main Engine	1,150.4 91.2%	1,147.0 90.9%	3.4 0.3%	0.4 8.8%	0.0 1.2%	0.3 7.6%	13.8	3.4
Diesel Generator	85.6 6.8%	64.9 5.1%	20.7 1.6%	3.7 91.2%	1.8 46.0%	1.8 45.2%	-	3.0
Aux. Boiler	25.5 2.0%	0.4 0.0%	25.1 2.0%	-	-	-	-	-

表 - 3 . 1 . 4 に航走時間および停泊時間あたりの燃料消費量から算出した撒積貨物船 B 1 4 0 の主機関、ディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を示す。主機関の航走時負荷率は約 8 0 % M C R で常用出力負荷率 8 5 % M C R より約 5 % 低い。ディーゼル発電機は 3 台搭載されているが、航走時の平均負荷率は単機定格出力の約 6 5 % である。停泊時の平均負荷率は約 5 5 % で航走時とほぼ同程度の負荷率で利用されている。補助ボイラは航走時にはほとんど使用されず、停泊時の平均負荷率は約 8 0 % である。

表 - 3 . 1 . 5 に 3 台のディーゼル発電機の運転時間を示す。1 1 航海だけのデータの平均値ではあるが、ほぼ均等に運転されている。また、総運転時間は航海時間に対して 1 0 8 % であり、2 台並列で運転される時間は航海時間の 1 0 % 程度である。

表 - 3 . 1 . 6 に撒積貨物船 B 1 4 0 の入渠時間およびそのときの発電機・ボイラの平均負荷率を示す。入渠回数は就航以来 4 回になるが、データが有るのは 3 回分であり、表 3 . 1 . 5 には 3 回分の平均値を示した。約 2 . 5 年に 1 回入渠し、その期間は約 1 2 日である。

3 . 1 . 3 輸送量あたりの油類消費量

表 - 3 . 1 . 7 に 1 航海平均輸送量あたり油類(燃料・潤滑油)消費量を示す。輸送量は、積載貨物重量と積載航走距離の積である。1 航海平均の油類消費量は積載貨物重量の約 0 . 9 % ~ 1 . 5 % 程度であるが、これはほぼ航走距離に比例して増大している。しかし、輸送量あたり油類消費量は航路によって差はほとんど無い。

輸送量あたり油類消費量の全航海平均値は 2 . 0 5 g / t - m i l e である。一方、要目値による輸送量あたり燃料消費量は 0 . 9 2 g / t - m i l e (表 2 . 1 参照) であるから実績値は、要目値のその約 2 . 2 3 倍になる。この対要目値比率に影響を及ぼす因子としては、主機関負荷率、主機関燃料消費量の全油類消費量における割合、平均航走速度、貨物積載率、積載航走距離があり、これら要因の対要目値比率に及ぼすそれぞれの影響度を影響係数として表 - 3 . 1 . 8 および図 - 3 . 1 . 6 に示す。

燃料消費量に関しては、主機関の平均負荷率が連続最大出力(M C R)の 8 0 % と常用出力の 8 5 % M C R より低いので、時間あたり燃料消費量が少なくなり影響係数は 0 . 9 4 である。主機関の燃料消

表 - 3 . 1 . 4 撒積貨物船 B 1 4 0 のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	航走時			停泊時		
	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
	% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
往航	79.1%	67.4%	0.6%	0.7%	57.9%	75.0%
復航	79.5%	63.7%	0.4%	0.6%	51.7%	81.0%

表 - 3 . 1 . 5 撒積貨物船 B 1 4 0 の
ディーゼル発電機平均稼働時間

D G 平均稼働時間 hr (11 航海平均)	D G 稼働時間 / 航海時間	各発電機稼働割合		
		#1DG	#2DG	#3DG
1018.5	1.08	31%	35%	34%

表 - 3 . 1 . 6 撒積貨物船 B 1 4 0 の入渠時間および
発電機・ボイラの平均負荷率

入渠回数 (内データ有回数)	平均入渠間隔 年	平均入渠時間 日	発電機負荷率 % M A X	補助ボイラ負荷率 % M A X
4 (3)	2.4	11.8	18.2%	14.8%

表 - 3 . 1 . 7 撒積貨物船 B 1 4 0 の輸送量あたりの油類消費量

航海方面	航走距離 (OG)	積載貨物量	貨物輸送量	油類消費 量	油類消費 量 / 貨物	油類消費 量 / 輸送
	miles	ton	Mt-mile	ton	%	g / t-mile
豪州	8,240	135,052	557.5	1,152.8	0.85%	2.07
北米	11,297	139,287	811.3	1,563.3	1.12%	1.93
南ア	14,489	139,702	1,006.5	2,075.1	1.49%	2.06
全航海平均	9,151	137,018	628.6	1,285.8	0.94%	2.05

費量の全油類消費量（補機・停泊時を含む）に占める割合は 8.9 % であり、全油類消費量に関して影響係数は 1.12 になる。平均航走速度は満載航海速度の 97 % と遅いので航走時間すなわち燃料消費時間が長くなり、影響係数は 1.03 となる。以上の影響係数の積は、1.08 である。これは単位航走距離あたり全油類消費量実績値の対要目値比すなわち要目値による単位航走距離あたり主機関燃料消費量の推定値に対する比に等しい。

輸送量に関しては、積載率が 96 %（DW）と満載より少ないことにより、影響係数は 1.04 になる。輸送距離は、片道が空荷航走であり積載航走距離が全航走距離の 50 % になるので、影響係数は 2 となる。

以上すべての影響係数の積は 2.26 で対要目値比率の 2.23 にほぼ等しい。以上より、輸送量あたり油類消費量に及ぼす主機関平均負荷率、油類消費割合、航走速度、積載率、積載航走距離の各要因の影響度が概ね説明できる。

各要因の中で積載航走距離を除けば、油類消費割合、すなわち補機・停泊時の燃料消費割合の影響が大きい。

3.2 撒積貨物船 B 9 1

3.2.1 航海概要

本船も、日本の火力発電所と海外の石炭積出港を往復する航海を行っている。表 - 3.2.1 に航路毎および全航海の平均航海状況を示す。

積荷地はオーストラリアが主であるが、近距離の中国が入っているために B 1 4 0 と比較すると全航海平均の航走距離は多少短くなり、片道航走距離は 4,200 mile である。

平均航走速度は、全航海平均では 13.8 kt で満載航海速度 14.0 kt の 99 % である。空荷状態の往航では 14.5 kt、積載状態の復航では 13.2 kt であり、空荷航走が積載航走時より約 1

表 - 3.1.8 輸送量あたり油類消費量への影響項目と影響係数（撒積貨物船 B 1 4 0）

影響項目	影響係数	備 考
主機負荷率	0.94	主機負荷率 (%MCR) 80% 常用負荷率 (%MCR) 85%
油類消費割合	1.12	油類消費割合 (主機燃料消費 / 全油類消費) 0.89
平均航走速度	1.03	平均航走速度 (kt) 13.3 満載速度 (kt) 13.7
積載率	1.04	積載率 (%DW) 96%
積載航走距離	2	積載航走距離割合 0.5
総合影響	2.26	-

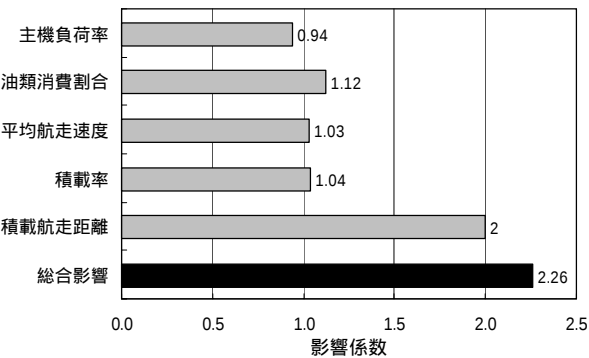


図 - 3.1.6 輸送量あたり油類消費量への影響係数（撒積貨物船 B 1 4 0）

0 % 速いのは B 1 4 0 と同じである。

平均航海時間に占める平均停泊時間の割合は約 28 % で B 1 4 0 と同様である。平均積載率も 97 % とほぼ満載状態で B 1 4 0 と同様である。

図 - 3.2.1 に各航海次における平均航走速度、図 - 3.2.2 に各航海次における平均プロペラ回転数、図 - 3.2.3 に各航海次における主機関平均負荷率を空荷時および積載時別に示す。図中の直線は線形回帰線を示す。表 - 3.2.2 に線形回帰式、線形回帰式を計算した標本の平均および標準偏差の平均に対する割合を示す。また、線形回帰式が

表 - 3.2.1 撒積貨物船 B 9 1 の平均航海状況

Voyage			航走距離 (Distance run OG)	航走時間 (Hours under weigh)	航進時間 (Hours Propelling)	航進時間 / 航走時間	航走速度 (OG/HUW)	停泊時間 (Hours in Port)	排水量		積載貨物量		貨物輸送 量
航海方面	航海数	航海種別	miles	hr	hr	%	kt	hr	ton	%	ton	%	Mt-mile
豪州	42	往航	4,177	288	285	99%	14.5	118	56,426	53%	-	-	-
		復航	4,170	312	308	99%	13.4	114	105,179	99%	88,731	97%	370.0
		一航海	8,347	600	593	99%	13.9	232	-	-	-	-	-
北米	13	往航	4,826	335	331	99%	14.5	159	61,650	58%	-	-	-
		復航	4,837	384	376	98%	12.7	106	104,952	99%	88,432	97%	427.7
		一航海	9,663	718	707	98%	13.5	265	-	-	-	-	-
中国	2	往航	1,374	98	95	97%	14.0	35	62,146	58%	-	-	-
		復航	1,388	100	98	98%	13.9	123	104,973	99%	88,738	97%	123.2
		一航海	2,762	198	193	97%	13.9	158	-	-	-	-	-
全航海 平均	57	往航	4,227	292	289	99%	14.5	124	57,843	54%	-	-	-
		復航	4,225	321	316	99%	13.2	113	105,119	99%	88,656	97%	374.6
		一航海	8,452	613	605	99%	13.8	237	-	-	-	-	-

ら計算される100航海(本船の場合約10年間)あたりの変化率を示す。

平均速度は空荷航走が積載航走時より約10%速く、B140と同様である。図の範囲では入渠が20、39各航海次の後、合計2回行われており、速度は概ね入渠間隔ごとに低下と改善を繰り返している。100航海あたりの速度の変化率は、空荷時は約-4%、積載時は約+4%であり、経年による低減傾向は明確ではない。

平均プロペラ回転数および主機関の平均負荷率はB140と同様に空荷航走と積載航走とでほとんど差がない状況で運航されている。100航海あたりの変化率は小さいがプラスであり、経年による低減傾向は明確には現れていない。

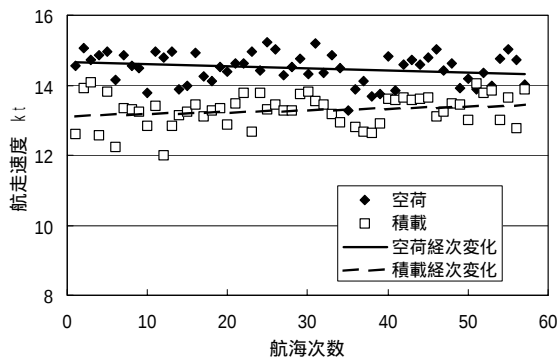


図-3.2.1 撤積貨物船B91の航走速度

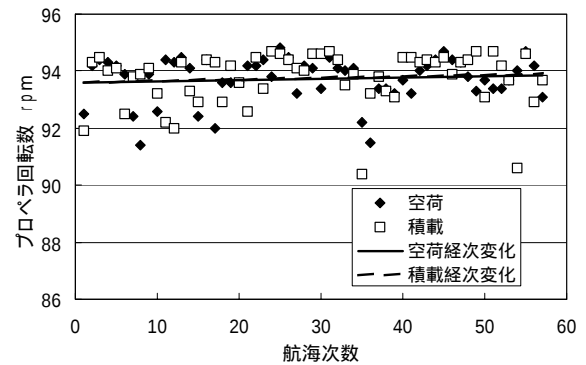


図-3.2.2 撤積貨物船B91のプロペラ回転数

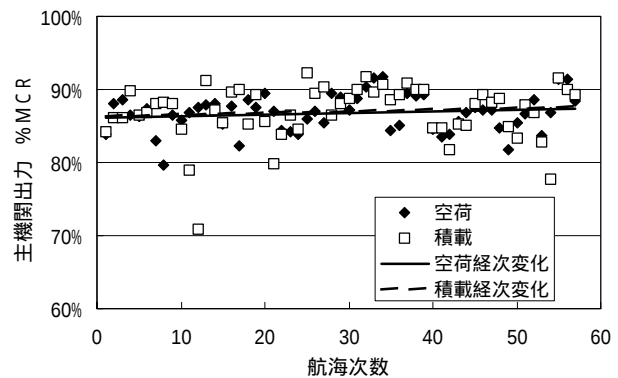


図-3.2.3 撤積貨物船B91の主機関負荷率

表-3.2.2 撤積貨物船B91の経次変化

	航海種別	線形回帰式	平均	標準偏差 / 平均	100航海 変化率
平均航走速度 (kt)	空荷	$y = -0.0057x + 14.645$	14.5	0.030	-3.9%
	積載	$y = 0.0054x + 13.087$	13.2	0.044	4.1%
平均プロペラ回転数 (rpm)	空荷	$y = 0.0047x + 93.585$	93.7	0.008	0.5%
	積載	$y = 0.0057x + 93.581$	93.7	0.010	0.6%
平均主機関負荷率 (%MCR)	空荷	$y = 0.02x + 86.07$	86.8	0.029	2.3%
	積載	$y = 0.02x + 86.25$	86.9	0.044	2.3%

3.2.2 燃料消費量とエンジン負荷率

表-3.2.3に燃料油と潤滑油の1航海あたりの平均消費量を航海別と機器別に示す。図-3.2.4に燃料油・潤滑油の消費割合、図-3.2.5に1航海平均のC重油消費割合を示す。

油類(燃料油・潤滑油)の消費割合は、C重油が98%、シリンダ油が1%を占め、B140と同様である。

C重油の消費割合では、停泊時の消費割合が約3%とB140の約4%と比較してわずかに低下した。また、補機ディーゼル発電機の消費割合は約6%、補助ボイラの消費割合はほとんど停泊時だけのものであるが約1%である。これらはB140と比較し

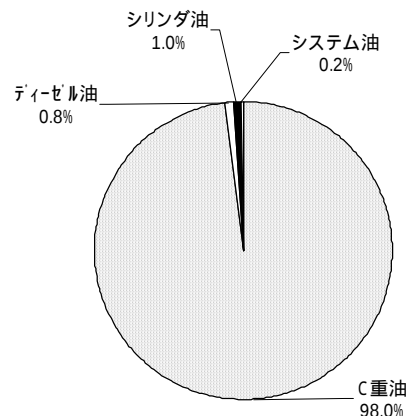


図-3.2.4 撤積貨物船B91の燃料油・潤滑油消費割合

て約１％低下しているが、同様の油類消費傾向と見て良い。

表 - ３．２．４に主機関、ディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を示す。Ｂ９１の主機関の平均負荷率は約８７％ＭＣＲとＢ１４０に比較して約７％高いが、Ｂ９１の常用出力負荷率が９０％ＭＣＲとＢ１４０の８５％ＭＣＲに対して高いので妥当なところである。

ディーゼル発電機の単機平均負荷率は往航と復航

を平均してみると、航走時、停泊時ともに約７０％である。これはＢ１４０に比較して５～１５％程度高めである。

補助ボイラは、航走時にほとんど使用されないことはＢ１４０と同様であるが、停泊時の平均負荷率は約４０％で、Ｂ１４０のその約半分程度である。表 - ３．２．５にＢ９１の入渠時間およびそのときの発電機・ボイラの平均負荷率を示す。Ｂ１４０に比較して入渠間隔、入渠時間が短い。

表 - ３．２．３ 撒積貨物船Ｂ９１の１航海あたりの燃料油・潤滑油消費量

単位: ton

機関・機器	Ｃ重油			ディーゼル油			潤滑油	
	一航海	航走時	停泊時	一航海	航走時	停泊時	シリンダ油	システム油
Total	1,075.9 100.0%	1,046.2 97.2%	29.8 2.8%	8.8 100.0%	3.0 33.7%	5.9 66.3%	10.7	2.3
Main Engine	997.8 92.7%	994.5 92.4%	3.3 0.3%	4.3 48.7%	1.0 11.1%	3.3 37.6%	10.7	1.9
Diesel Generator	63.6 5.9%	48.9 4.5%	14.7 1.4%	4.5 51.3%	2.0 22.5%	2.5 28.7%	-	0.4
Aux. Boiler	14.5 1.3%	2.7 0.3%	11.8 1.1%	-	-	-	-	-

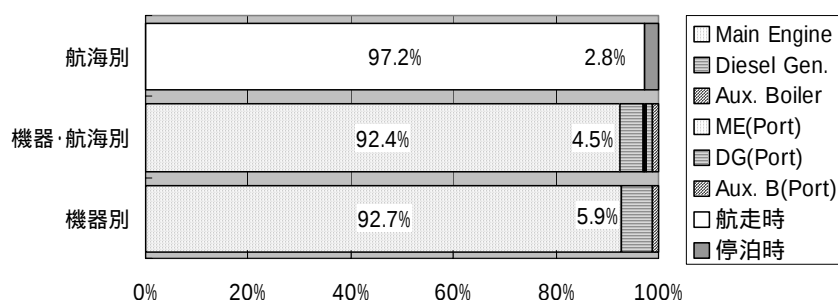


図 - ３．２．５ 撒積貨物船Ｂ９１のＣ重油消費割合

表 - ３．２．４ 撒積貨物船Ｂ９１のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	航走時			停泊時		
	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
	% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
往航	86.8%	74.7%	3.8%	2.0%	77.8%	37.1%
復航	86.9%	70.1%	2.9%	1.7%	59.7%	37.9%

表 - ３．２．５ 撒積貨物船Ｂ９１の入渠時間および発電機・ボイラの平均負荷率

入渠回数	平均入渠間隔	平均入渠時間	発電機負荷率	補助ボイラ負荷率
	年	日	% M A X	% M A X
2	2.0	7.3	25.2%	9.4%

3.2.3 輸送量あたりの油類消費量

表-3.2.6にB91の輸送量あたりの油類(燃料・潤滑油)消費量をB140と比較して示す。

B91の輸送量あたり油類消費量がB140の約1.4倍多い。この比率は、積載率がほぼ満載状態なので図-3.2.6に示す要目値の比によって示される。すなわちB91の要目値のB140に対するそれぞれの比率は、載貨重量比0.64、満載航海速度比1.02、常用出力比0.94であり、これらから算出される輸送量あたり主機関燃料消費量の比率は1.44で上の比率にほぼ等しい。

B91の輸送量あたり油類消費量の実績値は、要目値による輸送量あたり燃料消費量の2.22倍である。この対要目値比率に影響を及ぼす要因の影響係数を表-3.2.7および図-3.2.7に示す。

燃料消費量に関しては、主機関の平均負荷率が連続最大出力(MCR)の87%と高いが常用出力も90%MCRと高いので、時間あたり燃料消費量は要目値による推定値より少なくなり影響係数は0.96となる。これはB140の0.94と同程度である。主機関の燃料消費量の全油類消費量(補機・停泊時を含む)に占める割合は91%であり、全油類消費量に関して影響係数は1.10(B140は1.12)になる。平均航走速度は満載航海速度にほぼ等しく影響係数は1.01(B140は1.03)である。以上の影響係数の積、すなわち単位航走距離あたり主機関燃料消費量の要目値による推定値に対する単位航走距離あたり全油類消費量の比は1.07(B140は1.08)である。

輸送量に関しては、積載率が97%(DW)と満載より少ないことにより、影響係数は1.03(B140は1.04)になる。積載航走距離は全航走距離の50%であるので、影響係数は2となる。

以上すべての影響係数の積は2.20(B140は2.26)で対要目値比率の2.22(B140は2.23)にほぼ等しい。各要因の中で積載航走距離を除けば、油類消費割合、すなわち補機・停泊時の燃料消費割合の影響が大きく、B140と同様の傾向を示す。

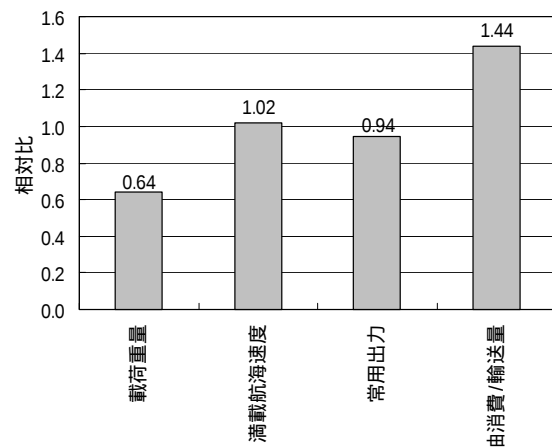


図-3.2.6 撒積貨物船の要目性能相対比

表-3.2.7 輸送量あたり油類消費量への影響項目と影響係数(撒積貨物船 B91)

影響項目	影響係数	備考
主機関負荷率	0.96	主機関負荷率(%MCR) 87% 常用負荷率(%MCR) 90%
油類消費割合	1.10	油類消費割合 (主機燃料消費/全油類消費) 0.91
平均航走速度	1.01	平均航走速度(kt) 13.8 満載速度(kt) 14.0
積載率	1.03	積載率(%DW) 97%
積載航走距離	2	積載航走距離割合 0.5
総合影響	2.20	-

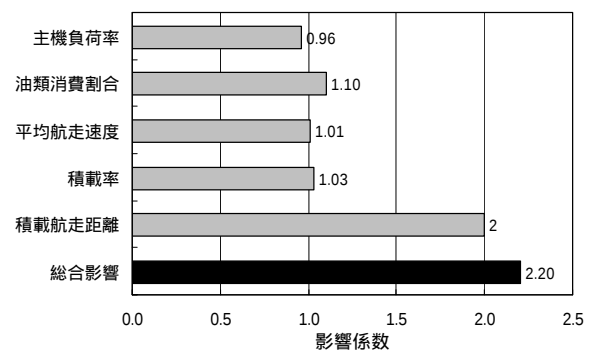


図-3.2.7 輸送量あたり油類消費量への影響係数(撒積貨物船 B91)

表-3.2.6 撒積貨物船の輸送量あたり油類消費割合比較

油類種別消費量	単位	B 91		B 140	
C重油	ton	1,076	98.0%	1,262	98.1%
ディーゼル油	ton	9	0.8%	4	0.3%
シリンダ油	ton	11	1.0%	14	1.1%
システム油	ton	2	0.2%	6	0.5%
全油種合計消費量	ton	1,098	100.0%	1,286	100.0%
1航海輸送量	Mt-mile	375		628	
輸送量あたり油類消費量					
実績値	g/t-mile	2.93		2.05	
要目値	g/t-mile	1.32		0.92	

3.3 石油タンカーT260

3.3.1 航海概要

本船はV L C C (Very large crude oil carrier) と称される大型タンカーで、ペルシャ湾と日本を主として往復するが、まれにシンガポール、南アフリカ、韓国に荷揚げしている。表-3.3.1に全76航海中、日本とペルシャ湾を往復した73航海のデータから作成した平均航海状況を示す。

積載航海は、貨油積み込みのために複数寄港する集荷航海、1航海の中で最大の積載状態で航海する最大積載航海、揚荷のために複数寄港する揚荷航海として整理した。積み込みのために寄港する回数は、1～4回、平均2.1回で、揚荷は、1～3回、平均1.8回である。

平均航走距離は空荷航海と最大積載航海のどちらも約6,500 mileで、日本中央部の四日市とペルシャ湾中央部やや東よりのU A E を結ぶ航海距離にほぼ等しい。集荷および揚荷のための平均航走距離はそれぞれ最大積載航海距離の約5%である。

平均航走速度は、全航海平均では13.8 ktで満載航海速度15.0 ktの92%である。空荷航走時14.9 kt、最大積載航走時13.1 ktで空荷航走時が最大積載時より約14%速い。

貨油積載率は最大積載航海では98%とほぼ満載状態であるが、集荷および揚荷航海時の平均積載率が約55%と低く、積載航海全体では94%になる。

停泊時間は、表-3.3.1に集荷時の停泊時間を空荷航海、揚荷時の停泊時間を積載航海の停泊時間に配分して示した。ともに約100時間で、カーゴポンプ最大容量から算出される荷揚げ最小時間19.2時間の約5倍である。平均停泊時間の1航海平均航海時間に占める割合は約16%で、撒積貨物船B91、B140の約30%より少ない。

図-3.3.1に各航海次における空荷航海および最大積載航海時の平均航走速度を示す。図-3.3.2に各航海次における平均プロペラ回転数、図-3.3.3に各航海次における主機関の平均負荷率を示す。初期の航海では平均航海速度、主機関平均負荷率は低く抑えられ、しかも変動が大きい状態で運航されているが、35次航以降では安定したブ

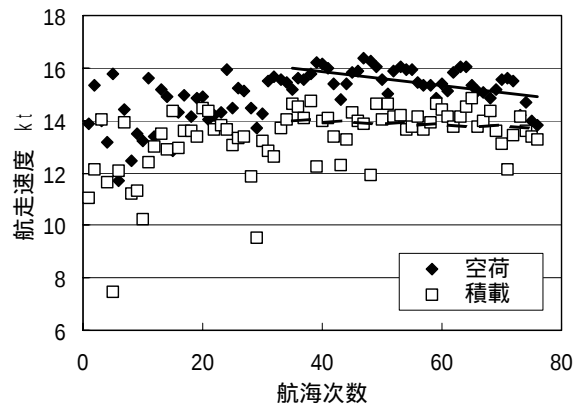


図-3.3.1 タンカーT260の航走速度

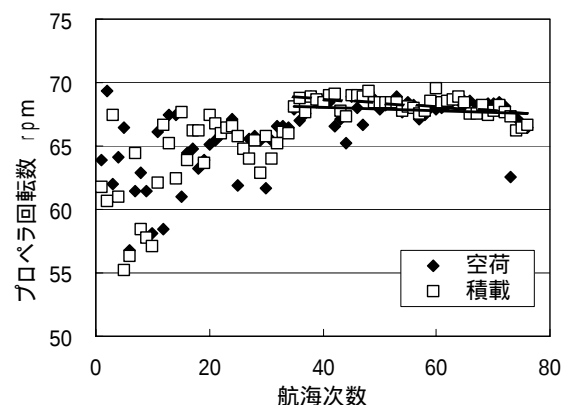


図-3.3.2 タンカーT260のプロペラ回転数

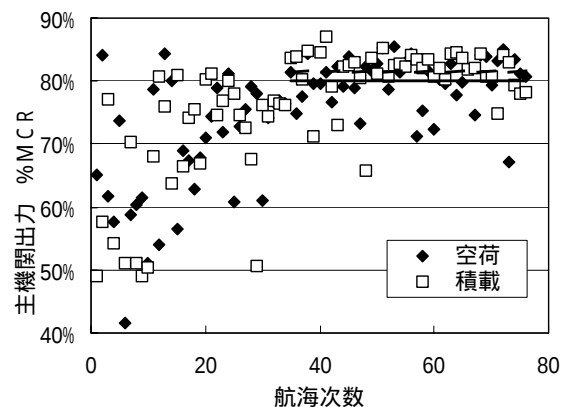


図-3.3.3 タンカーT260の主機関負荷率

表-3.3.1 タンカーT260の平均航海状況

航 海	航走距離 (Distance run OG)	航走時間 (Hours under weigh)	航進時間 (Hours Propelling)	航進時間 / 航走時間	航走速度 (OG/HUW)	停泊時間 (Hours in port)	排水量		貨物積載量		貨物輸送量
	miles	hr	hr	-	kt	hr	ton	%(Δ)	ton	%(DW)	Mt-mile
空荷航海	6,527	437.8	412.3	94.2%	14.9	98.4	129,956	44.0%	-	-	-
積載航海(小計)	7,196	556.5	494.3	88.8%	12.9	97.2	-	-	244,506	94.0%	1,759.4
集荷航海	325	25.2	19.6	77.7%	12.9	-	-	-	143,811	55.3%	46.7
最大積載航海	6,549	499.8	457.6	91.5%	13.1	-	292,402	99.0%	254,460	97.9%	1,666.4
揚荷航海	322	31.5	17.1	54.5%	10.2	-	-	-	143,653	55.3%	46.3
一航海(合計)	13,723	994.3	906.6	91.2%	13.8	195.6	-	-	-	-	-

ロペラ回転数で運航されている。図の範囲では入渠は13、29、43、58各航海次の後、合計4回行われており、入渠後の速度の改善が見られる。

35次航以降のデータに対する線形回帰線を図中に示す。実線は空荷航海、破線は積載航海を示す。これら35次航以降の線形回帰式、線形回帰式を計算した標本の平均および標準偏差の平均に対する割合、100航海（本船の場合約13年間）あたりの変化率を表-3.3.2に示す。平均速度は空荷航走が積載航走時より約12%速い。プロペラ回転数、主機関負荷率は空荷状態と積載状態とではほぼ同じ状態で運航されている。経年的変化は100航海当たりの変化率でみると、空荷航走の速度が-15%と大きい、積載航海の速度は-4%、プロペラ回転数は-2%~-5%の低減傾向にあり、主機関負荷率はほとんど変化が無い状態で運航されている。

3.3.2 燃料消費量とエンジン負荷率

1航海あたりの燃料油・潤滑油消費量を表-3.3.3に、燃料油・潤滑油の消費割合を図-3.3.4に、C重油の航海・機器別消費割合を図-3.3.5に示す。

油類消費割合は、C重油が約99%、シリンダ油が約1%を占めており、撒積貨物船2隻と同様の傾向である。

しかし、C重油の消費割合をみると、様子が異なる。航走中の燃料消費はほとんど主機関によるもの

で、ディーゼル発電機と補助ボイラの航走中の燃料消費は非常に少ない。ディーゼル発電機に関しては、本船が排ガスエコノマイザー（排エコ）を装備しており、その蒸気でターボ発電機を駆動することと軸発電機を駆動するためディーゼル発電機をほとんど稼働する必要がないことによる。停泊時の燃料消費量の割合は約7%で撒積貨物船2隻の3~4%より大きい。停泊中は、特に揚荷時は、貨油ポンプを蒸気タービンで駆動するので補助ボイラの燃料消費量が多くなり、これが停泊中の燃料消費量の大部分を占める。

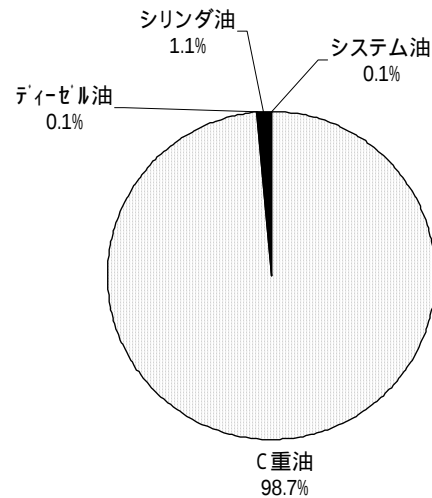


図-3.3.4 タンカーT260の油類消費割合

表-3.3.2 タンカーT260の経年変化

	航海種別	線形回帰式	平均	標準偏差 / 平均	100航海 変化率
平均航走速度 (kt)	空荷	$y = -0.0262x + 16.906$	15.5	0.039	-15.5%
	積載	$y = -0.0059x + 14.170$	13.8	0.051	-4.2%
平均プロペラ回転数 (rpm)	空荷	$y = -0.0148x + 68.648$	67.8	0.017	-2.2%
	積載	$y = -0.0327x + 70.009$	68.2	0.011	-4.7%
平均主機負荷率 (%MCR)	空荷	$y = -0.0004x + 80.06$	80.0	0.052	0.0%
	積載	$y = 0.0003x + 81.34$	81.4	0.049	0.0%

表-3.3.3 タンカーT260の1航海あたりの燃料油・潤滑油消費量

機関・機器	C重油			ディーゼル油			潤滑油	
	一航海	単位: ton		一航海	単位: ton		シリンダ油	システム油
		航走時	停泊時		航走時	停泊時		
Total	2,978.8 100.0%	2,767.4 92.9%	211.5 7.1%	2.9	1.9	1.0	34.3	3.5
Main Engine	2,714.2 91.1%	2,712.1 91.0%	2.1 0.1%	-	-	-	34.3	2.5
Diesel Generator	41.2 1.4%	15.7 0.5%	25.5 0.9%	2.9	1.9	1.0	-	1.0
Aux. Boiler	223.4 7.5%	39.5 1.3%	183.8 6.2%	-	-	-	-	-

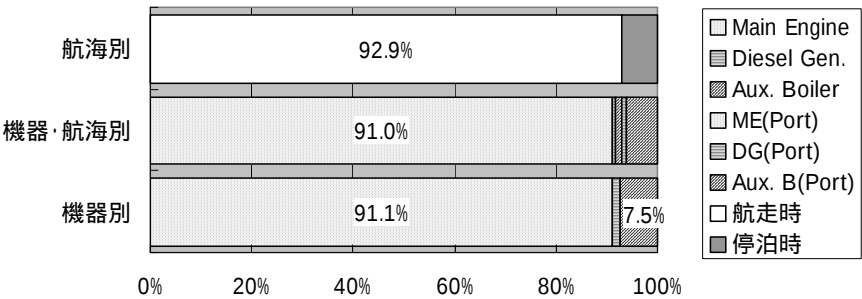


図 - 3 . 3 . 5 タンカー T 2 6 0 の C 重油消費割合

表 - 3 . 3 . 4 タンカー T 2 6 0 のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	航走時			停泊時		
	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
	% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
空荷航海	75.9%	10.5%	0.7%	-	-	-
集荷航海	63.1%	38.2%	1.3%	0.5%	71.2%	5.3%
最大積載航海	73.1%	7.9%	0.4%	-	-	-
揚荷航海	47.8%	38.2%	1.7%	0.2%	102.4%	24.8%

表 - 3 . 3 . 5 タンカー T 2 6 0 の入渠時間および
発電機・ボイラの平均負荷率

入渠回数	平均入渠間隔	平均入渠時間	発電機負荷率	補助ボイラ負荷率
	年	日	% MAX	% MAX
4	2.1	17.2	25.5%	1.7%

表 - 3 . 3 . 4 に 1 航海平均の航走時間および停泊時間あたり燃料消費量から算出した T 2 6 0 の主機関、ディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を示す。主機関の空荷航走時および最大積載航走時の平均負荷率は約 7 5 % M C R で、常用出力負荷率 8 5 % M C R より低い。1 航海平均では約 7 3 % M C R の平均負荷率になる。

ディーゼル発電機の平均負荷率は、航走時には本船が排エコを利用してターボ発電機を運転していることと軸発電機を駆動しているために単機平均負荷率が 1 0 % 程度と低い。集荷および揚荷航走時は主機関平均負荷率の低下に伴い排エコの出力が低下し、さらにターボ発電機の出力が不足するのでディーゼル発電機の平均負荷率がやや高く 4 0 % 程度になる。停泊時はさらに 7 0 % ～ 1 0 0 % と高くなる。

補助ボイラの平均負荷率は、停泊時が航走時より高いが、集荷航海停泊時に 5 %、揚荷航海停泊時 2 5 % と見かけは低い。ただし、揚荷航海停泊時の荷役時間で平均負荷率を算出すると約 4 0 % と高くなる。航走時の平均負荷率は 1 % 以下と低く、1 航海平均燃料消費量でみると 4 0 t 程度である(表 - 3 . 3 . 3 参照)。ただし、1 0 航海に 1 回の割合で約 1 7 0 t とかなり大量のボイラ用燃料を消費する一方、全航海次の約半数の航海次では約 1 1 t と少ない。

表 - 3 . 3 . 6 タンカー T 2 6 0 の輸送量あたり
油類消費量

油類種別消費量	単位	T 2 6 0	
C 重油	ton	2,979	98.7%
ディーゼル油	ton	3	0.1%
シリンダ油	ton	34	1.1%
システム油	ton	4	0.1%
全油種合計消費量	ton	3,020	100.0%
1航海輸送量	Mt-mile	1,759	
輸送量あたり油類消費量			
実績値	g/t-mile	1.72	
要目値	g/t-mile	0.81	

大量のボイラ用燃料を消費する時はタンク洗浄などが実施されていると考えられる。

表 - 3 . 3 . 5 にタンカー T 2 6 0 の入渠時間および発電機・補助ボイラの平均負荷率を示す。

3 . 3 . 3 輸送量あたりの油類消費量

表 - 3 . 3 . 6 に T 2 6 0 の輸送量あたり油類(燃料・潤滑油)消費量を示すが、これは要目値による輸送量あたり燃料消費量の約 2 . 1 倍である。この対要目値比率に影響を及ぼす要因の影響係数を表 - 3 . 3 . 7 および図 - 3 . 3 . 6 に示す。
燃料消費量に関しては、主機関の平均負荷率が連

統最大出力 (M C R) の 73% と常用出力の 85% M C R より低いので、時間あたり燃料消費量が少なくなり影響係数は 0.86 である。主機関の燃料消費量の全油類消費量 (補機・停泊時を含む) に占める割合は 90% であり、全油類消費量に関して影響係数は 1.11 になる。平均航走速度 13.8 kt は満載航海速度 15.0 kt の 92% で影響係数は 1.09 である。以上の影響係数の積、すなわち単位航走距離あたり主機関燃料消費量の要目値による推定値に対する単位航走距離あたり全油類消費量の比は 1.04 で、撒積貨物船 2 隻の場合より小さい。各要因の影響度の中では、主機関負荷率が常用負荷率より低いことの影響が大きい。

輸送量に関しては、積載率が 94% (DW) で影響係数は 1.06 になる。積載航走距離は全航走距離の 52% であるので、影響係数は 1.91 となる。

以上すべての影響係数の積は 2.12 で対要目値比率の 2.1 にほぼ等しい。

3.4 石油タンカー T 96

3.4.1 航海概要

本船は、A F R A M A X と称される不定期船で、東南アジアを中心として、オセアニア、日本、中東の海域を航行する。図 - 3.4.1 に各航海次の航走、停泊日数を示すが非常に不規則な運航が行われている。前節までに示してきた撒積貨物船と V L C C のように空荷状態での往航、積載状態で出発地への復航ということで各航海次が構成されていない。63 航海のうち、3 航海は空荷航行の回航だけ、3 航海は貨油を積載したまま次期航海次に移ったケースがある。表 - 3.4.1 に寄港用向きと 1 航海平均寄港回数を示す。1 航海で積荷 1 ~ 3 回、揚荷 1 ~ 4 回とそれぞれ複数回行われる場合がかなりある。

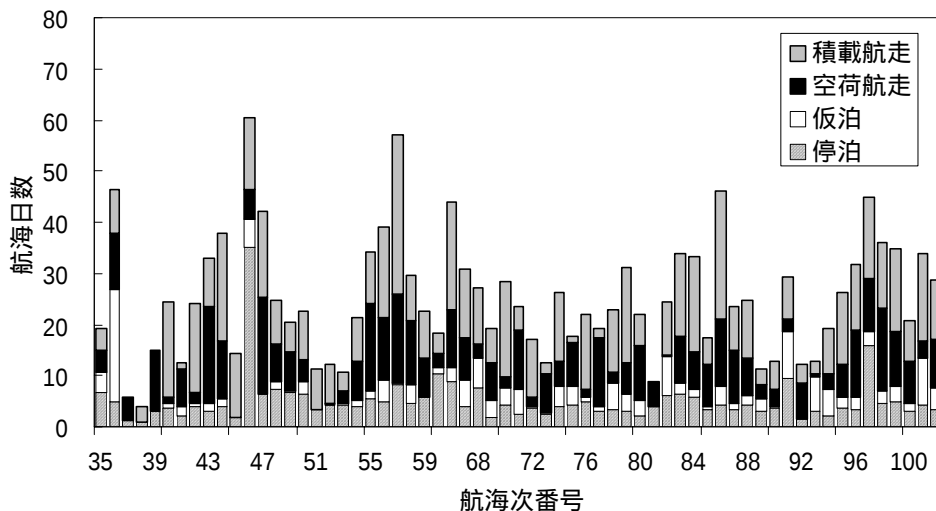


図 - 3.4.1 タンカー T 96 の各次航海日数

表 - 3.3.7 輸送量あたり油類消費量への影響項目と影響係数 (タンカー T 260)

影響項目	影響係数	備考
主機負荷率	0.86	主機負荷率 (%M C R) 73% 常用負荷率 (%M C R) 85%
油類消費割合	1.11	油類消費割合 (主機燃料消費 / 全油類消費) 0.90
平均航走速度	1.09	平均航走速度 (kt) 13.8 満載速度 (kt) 15.0
積載率	1.06	積載率 (%DW) 94%
積載航走距離	1.91	積載航走距離割合 0.52
総合影響	2.12	-

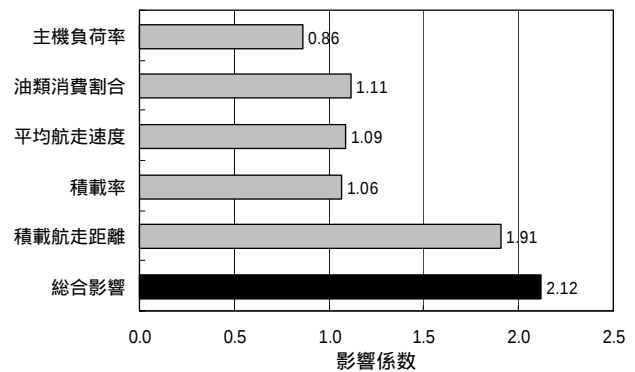


図 - 3.3.6 輸送量あたり油類消費量への影響係数 (タンカー T 260)

表 - 3.4.1 寄港用向きと 1 航海当たり平均寄港数

寄港用向き	寄港数	回数/航海	平均回数/航海
積み荷	95	1~3	1.58
揚げ荷	80	1~4	1.33
補油	24	-	0.40
その他	7	-	0.12
合計	206	-	3.43
内補油回数	41	-	0.68

また、補油のためにだけ寄港する場合もある。

表 - 3 . 4 . 2 に T 9 6 の平均航海状況を示す。本船は変化に富んだ航海を行うので、取り扱いを簡単にするため、空荷航海と積載航海の各々 6 0 航海の積算値からそれぞれ平均値を算出した。積載航海は、最初に積荷した港から最後に揚荷した港までの航海を積載航海とした。

1 航海平均の航走距離は 5,700 mile で、T 2 6 0 の約 4 0 % である。また、積載航海の割合が 5 7 % と多くなっている。

平均航走速度は、全航海平均では 13.0 kt で満載航海速度 14.0 kt の 9 3 % である。空荷航走時 13.5 kt、積載航走時 12.7 kt で空荷航走時が積載時より約 6 % 速い。

平均排水量、平均積載貨物量は、それぞれのトンマイル積算量を航走距離積算量で除したもので、それぞれ満載排水量、載貨重量に対する割合を示した。平均積載率約 7 4 % は T 2 6 0 の 9 4 % と比較するとかなり低い。最大積載量は、各航海中の最大積載量を平均したもので、積載率 8 0 % である。T 2 6 0 の最大積載航海時の積載率 9 8 % に比較するとこれもかなり低い。

平均停泊時間の 1 航海平均航海時間に占める割合は約 3 0 % で、T 2 6 0 の約 2 倍である。

図 - 3 . 4 . 2 に航走距離 2,000 mile 以上の航海区間を有する各航海次の空荷航走および積載航走時の平均航走速度を示す。図 - 3 . 4 . 3 に各航海次における平均プロペラ回転数、図 - 3 . 4 . 4 に各航海次における主機関平均負荷率を示す。図中に線形回帰線を示すが、線形回帰式、線形回帰式を計算した標本の平均および標準偏差の平均に対する割合を表 - 3 . 4 . 3 に示す。また、線形回帰式から計算される 1 0 0 航海（本船の場合約 8 年間）あたりの変化率も示す。

図 - 3 . 4 . 2 の航走速度の平均は空荷時 13.6 kt、積載時 13.0 kt で空荷航走が約 5 % 速い。図の範囲では入渠が 6 1、9 7 各航海次の後、合計 2 回行われており、速度は概ね入渠間隔ごとに改善、低下を繰り返している。1 0 0 航海あたりの速度の変化率は、空荷時も積載時も約 - 1 0 % で、経年による速度低減傾向を示している。

図 - 3 . 4 . 3 のプロペラ回転数および図 - 3 .

4 . 4 の主機関負荷率は平均値としては空荷航走および積載航走時とでほとんど差がない。1 0 0 航海あたりの変化率では、プロペラ回転数が - 2 % ~ - 6 % 程度、主機関負荷率が - 6 % ~ - 1 3 % 程度の経年による低減傾向を示している。

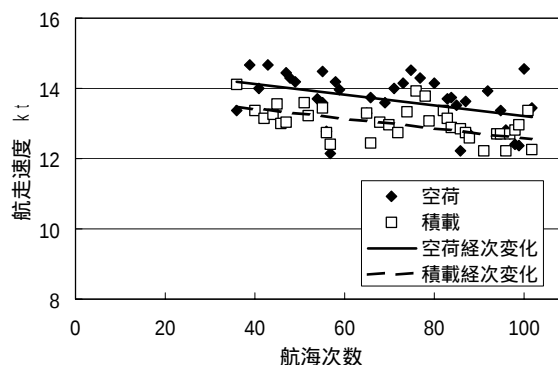


図 - 3 . 4 . 2 タンカー T 9 6 の航走速度

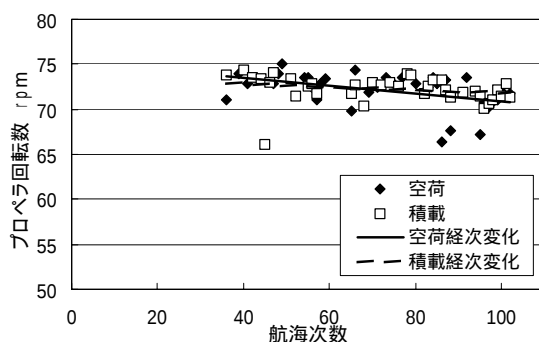


図 - 3 . 4 . 3 タンカー T 9 6 のプロペラ回転数

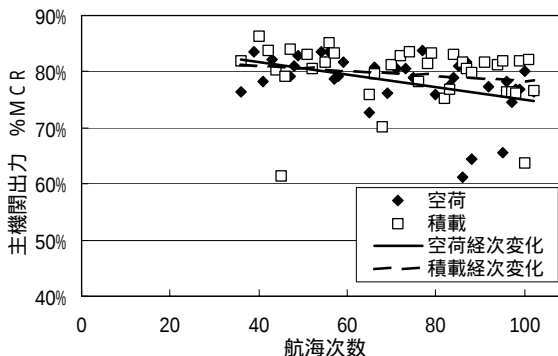


図 - 3 . 4 . 4 タンカー T 9 6 の主機関負荷率

表 - 3 . 4 . 2 タンカー T 9 6 の平均航海状況

航 海	航走距離 (Distance run OG)	航走時間 (Hours under weigh)	航進時間 (Hours Propelling)	航進時間 / 航走時 間	航走速度 (OG/HUW)	停泊時間 (Hours in port)	排水量		積載貨物量		最大積載量		貨物輸送量
	miles	hr	hr	%	kt	hr	ton	%(Δ)	ton	%(DW)	ton	%(DW)	Mt-mile
空荷航海	2,450	181.8	172.9	95.1%	13.5	87.3	52,031	47.2%	-	-	-	-	-
積載航海	3,299	260.5	242.3	93.0%	12.7	104.2	92,156	83.5%	71,170	74%	76,967	80%	234.8
一航海	5,749	442.3	415.2	93.9%	13.0	191.5	-	-	-	-	-	-	-

表 - 3 . 4 . 3 タンカー T 9 6 の経次変化

	航海種別	線形回帰式	平均	標準偏差 / 平均	100航海変化率
平均航走速度 (kt)	空荷	$y = -0.0153x + 14.734$	13.6	0.053	-10.4%
	積載	$y = -0.0144x + 14.017$	13.0	0.046	-10.3%
平均プロペラ回転数 (rpm)	空荷	$y = -0.0444x + 75.330$	72.2	0.027	-5.9%
	積載	$y = -0.0173x + 73.522$	72.3	0.021	-2.4%
平均主機負荷率 (%MCR)	空荷	$y = -0.11x + 86.20$	78.2	0.066	-12.8%
	積載	$y = -0.05x + 82.93$	79.5	0.066	-6.0%

表 - 3 . 4 . 4 タンカー T 9 6 の 1 航海あたりの燃料油・潤滑油消費量

単位: ton

機関・機器	C重油			ディーゼル油			潤滑油	
	一航海	航走時	停泊時	一航海	航走時	停泊時	シリンダ油	システム油
Total	861.5 100.0%	742.5 86.2%	119.0 13.8%	3.2	1.7	1.5	6.7	1.8
Main Engine	598.6 69.5%	598.4 69.5%	0.2 0.0%	-	-	-	6.7	0.5
Diesel Generator	73.9 8.6%	50.4 5.9%	23.5 2.7%	2.4	1.4	1.0	-	1.3
Aux. Boiler	189.0 21.9%	93.7 10.9%	95.3 11.1%	0.8	0.3	0.5	-	-

3 . 4 . 2 燃料消費量とエンジン負荷率

1 航海あたりの平均燃料油・潤滑油消費量を表 - 3 . 4 . 4 に、燃料油・潤滑油の消費割合を図 - 3 . 4 . 5 に、C 重油の航海・機器別消費割合を図 - 3 . 4 . 6 に示す。

油類（燃料油・潤滑油）消費割合は、C 重油が約 99 %、シリンダ油が約 1 % を占めるのは前節までの船と同様である。

C 重油の消費割合をみると、T 2 6 0 と比較して航走時の燃料消費割合が約 86 % と下がっている。これは 1 航海あたり航走距離が T 2 6 0 の約 40 % と短いためと考えられる。ディーゼル発電機の燃料消費量の割合は、航走時における T 2 6 0 のそれが 1 % に満たないのに対して約 6 % と増大している。これは T 9 6 がターボ発電機を装備していないため、撒積貨物船 2 隻と同程度の消費割合である。補助ボイラの燃料消費割合は航走時と停泊時を合わせ

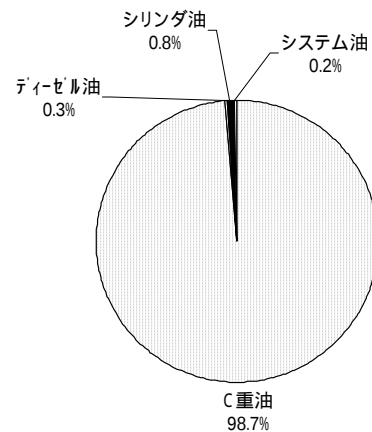


図 - 3 . 4 . 5 タンカー T 9 6 の燃料油・潤滑油消費割合

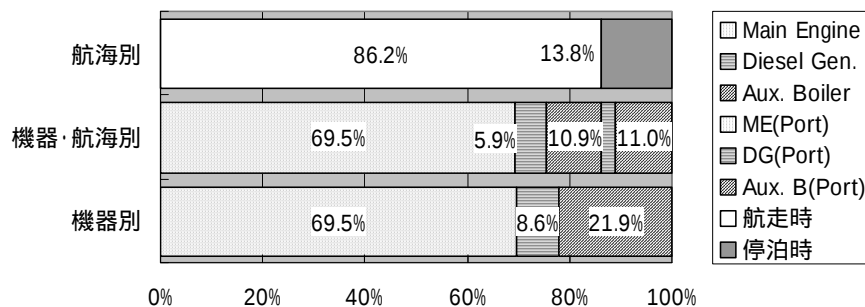


図 - 3 . 4 . 6 タンカー T 9 6 の C 重油消費割合

表 - 3 . 4 . 5 タンカーＴ９６のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	航走時			停泊時		
	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
	% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
空荷航海	76.5%	82.4%	2.9%	-	81.4%	6.6%
積載航海	77.0%	89.6%	13.3%	-	105.6%	33.6%

表 - 3 . 4 . 6 タンカーＴ９６の補助ボイラ燃料の主要用途別消費量

補助ボイラ燃料用途	揚げ荷 (Discharging Cargo)	タンク洗浄 (Butterworth)	タンク加熱 (Tank Heating)	合計
燃料消費量 (t)	3,534	298	4,995	8,828
(構成比)	(40%)	(3%)	(57%)	(100%)
実施航海数	58	5	33	-
平均消費量 (t/航海)	60.9	59.6	151.4	-
単位時間消費量 (t/h)	1.59	0.8	0.56	-
ボイラ負荷率	67.6%	32.2%	23.7%	-

表 - 3 . 4 . 7 タンカーＴ９６の入渠時間および発電機・ボイラの平均負荷率

入渠回数 (内データ有回数)	平均入渠間隔 年	入渠時間 日	発電機負荷率 % MAX	補助ボイラ負荷率 % MAX
3(1)	2.5	12.0	31.4%	1.9%

て約２２％で、今回調査した船舶の中では際だって高い。特に航走時における補助ボイラの燃料消費割合が約１１％と増大が顕著である。これは後でも述べるがＴ９６はＴ２６０と異なり高粘度の貨油を輸送することが多く、貨油加熱用蒸気を必要とするためである。

航走時間および停泊時間あたりの燃料消費量から算出した主機関、ディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を表 - 3 . 4 . 5 に示す。主機関の航走中の平均負荷率は空荷航走、積載航走時ともに約７７％ＭＣＲである。発電機の平均負荷率は単機定格出力の８０％～１０６％と高めである。特に揚荷作業を含む積載航海停泊時が高く、複数台運転の割合が高いことが考えられる。補助ボイラは、揚荷停泊中の平均負荷率が約３４％で、Ｔ２６０の約２５％より高い。積載航海時の平均負荷率は、前節までの船３隻が数％以下であることと比較すると約１３％と高い。

Ｔ９６は補助ボイラの燃料消費割合が高く、主要用途、すなわちタンク加熱、タンク洗浄およびカーゴポンプ駆動に対するボイラ稼働時間と燃料消費量が別途記録されている。このデータから算出した１航海平均燃料消費量およびボイラ負荷率を表 - 3 . 4 . 6 に示す。なお、この燃料消費量の積算値は、表 - 3 . 4 . 4 に示した補助ボイラの１航海あたり燃料消費量算出に使用した積算値の７８％に相当するが、残りに関しては不明である。貨油加熱はおよそ２航海に１回の頻度で実施され、加熱用の燃料消

表 - 3 . 4 . 8 タンカーＴ９６の輸送量あたり油類消費量

油類種別消費量	単位	T 9 6	
C重油	ton	861.5	98.7%
ディーゼル油	ton	3.2	0.4%
シリンダ油	ton	6.7	0.8%
システム油	ton	1.8	0.2%
全油種合計消費量	ton	873.2	100.0%
1航海輸送量	Mt-mile	234.8	
輸送量あたり油類消費量			
実績値	g/t-mile	3.72	
要目値	g/t-mile	1.11	

費量は主要用途消費量の５７％を占める。貨油ポンプ稼働時のボイラ平均負荷率は約７０％で、表 - 3 . 4 . 5 のボイラ平均負荷率の約２倍になる。

表 - 3 . 4 . 7 にタンカーＴ９６の入渠時間および発電機・ボイラの平均負荷率を示す。なお本船は約２．５年に１回の割合で３回入渠しているが、入渠時の入渠時間と燃料消費量の記録については１回だけであり、表 - 3 . 4 . 7 にはその平均負荷率を示した。

3 . 4 . 3 輸送量あたりの油類消費量

表 - 3 . 4 . 8 にＴ９６の輸送量あたり油類（燃料油・潤滑油）消費量を示す。これはＴ２６０の約２倍である。また、要目値による輸送量あたり燃料消費量の約３．３倍である。この対要目値比率に影響を及ぼす要因の影響係数を表 - 3 . 4 . 9 および図 - 3 . 4 . 7 に示す。

燃料消費量に関しては、主機関の平均負荷率が連続最大出力（MCR）の77%と常用出力85%MCRより低いので、時間あたり燃料消費量が少なくなり影響係数は0.90である。主機関の燃料消費量の全油類消費量（補機・停泊時を含む）に占める割合は69%であり、全油類消費量に関して影響係数は1.46になる。平均航走速度13.0ktは満載航海速度14.0ktの93%で影響係数は1.08である。以上の影響係数の積、すなわち単位航走距離あたり主機関燃料消費量の要目値による推定値に対する単位航走距離あたり全油類消費量の比は1.42と大きい。貨油加熱などのためにボイラの燃料消費割合が高いことの影響度が大きい。

輸送量に関しては、積載率が74%（DW）と低く影響係数は1.35になる。積載航走距離は全航走距離の57%であるので、影響係数は1.74となる。

以上すべての影響係数の積は3.34で対要目値比率の3.3倍とほぼ等しい。

3.5 コンテナ船C6100

3.5.1 航海概要

本船は、最初日本と欧州をスエズ運河経由で往復する欧州航路に就航し、途中、東南アジアと北米を往復する北米航路に就航した後、再び欧州航路に就いている。本報告では欧州航路4航海、北米航路9航海のデータに基づいてそれぞれの平均的な航海状況を算出した。

輸送量（t・mile）を算出するためには航行中の船上貨物積載量を必要とするが、本船のアブストラクトログには記載されていない。記載されているのは、各港において積み降ろしたコンテナ数と重量である。これら積み降ろし量を積算すれば各航路区間の船上貨物積載量を算出できるはずであるが、実際にはデータの脱落、誤記などによって算出できなかった。そこで、各港における積み降ろし量の算術平均を算出して、平均の荷役モデルを作成し、これに基づき輸送量を推定することにした。

コンテナには各種あるが、その代表的なコンテナの最大積載量と自重³⁾を表-3.5.1に示す。アブストラクトログに記載されているコンテナ数は、

表-3.4.9 輸送量あたり油類消費量への影響項目と影響係数（タンカーT96）

影響項目	影響係数	備考
主機関負荷率	0.90	主機関負荷率(%MCR) 77% 常用負荷率(%MCR) 85%
油類消費割合	1.46	油類消費割合 (主機燃料消費/全油類消費) 0.69
平均航走速度	1.08	平均航走速度(kt) 13.0 満載速度(kt) 14.0
積載率	1.35	積載率(%DW) 74%
積載航走距離	1.74	積載航走距離割合 0.57
総合影響	3.34	-

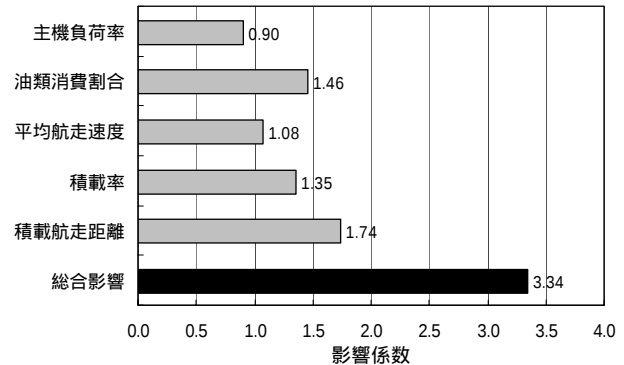


図-3.4.7 輸送量あたり油類消費量への影響係数（タンカーT96）

表-3.5.1 コンテナの最大積載重量と自重

コンテナ種類	最大積載重量 t	自重 t	最大総重量 t
20フィートドライコンテナ	18.46	1.86	20.32
20フィート冷凍コンテナ	17.80	2.52	20.32
40フィートドライコンテナ	27.38	3.10	30.48
40フィート冷凍コンテナ	27.48	3.00	30.48

TEU（20フィートコンテナ）単位で示される。本報告では正味貨物輸送量を推定する際に1TEUは全て20フィートドライコンテナと見なして、輸送重量からその自重を差し引いて算出した。

航海の中で、航走距離が4,900mile以上の航路区間における往航（Outward）および復航（Homeward）の平均航走速度を各航海回数に対して図-3.5.1に示す。また、図-3.5.2に平均プロペラ回転数、図-3.5.3に主機関の平均負荷率を示す。図中の直線は線形回帰線を示す。表

表-3.5.2 コンテナ船C6100の経次変化

	航海種別	線形回帰式	平均	標準偏差 / 平均	100航海 変化率
平均航走速度 (kt)	往航	$y = 0.0133x + 23.402$	23.5	0.022	5.7%
	復航	$y = -0.0286x + 23.486$	23.2	0.034	-12.2%
平均プロペラ回転数 (rpm)	往航	$y = 0.0972x + 87.385$	88.4	0.022	11.1%
	復航	$y = 0.0339x + 86.857$	87.2	0.029	3.9%
平均主機負荷率 (%MCR)	往航	$y = 0.14x + 76.91$	78.3	0.066	18.2%
	復航	$y = 0.12x + 74.71$	75.9	0.083	16.1%

- 3.5.2 に線形回帰式、線形回帰式を計算した標本の平均および標準偏差の平均に対する割合を示す。また、線形回帰式から計算される100航海(本船の場合約13年間)あたりの変化率を示す。

航走速度、平均プロペラ回転数、主機関負荷率の平均値は往航および復航で顕著な差異は見られない。また、航海次数が少なく、経年的な変化を判断するのは適切ではないが、平均プロペラ回転数と主機関負荷率が上昇傾向を示す。

(1) 北米航路の航海概要

北米航路は、マレーシアのPort Kelangを起点に、シンガポール、中国の塩田と香港を経由して北米ロングビーチに行き、帰路は台湾の高雄を経由してPort Kelangに戻るループを描く。

表-3.5.3に各港間の平均の航走距離、航走時間、航進時間、航走速度、停泊時間を示す。

航走速度は1航海平均では22.7ktとほぼ満載航海速度23.0ktで運航されている。しかし、航走距離が350mile以下の短距離区間では航

走時間に占める航進時間の割合が低く、見かけ上航走速度が遅くなっている。一方、航走距離が1,000mile以上の区間では航進時間の割合が高く、航走速度が満載航海速度を上回る速度で運航されている。

停泊時間はロングビーチの約5日を除くと各港1日以下と短い。平均では約30時間である。平均航海時間に占める平均停泊時間の割合は約27%で、撒積貨物船2隻やT96と同程度である。

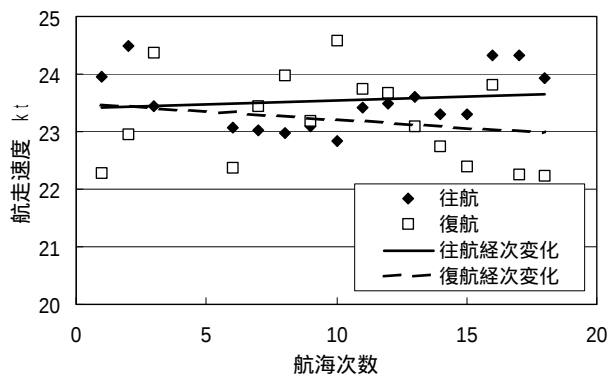


図-3.5.1 コンテナ船C6100の航走速度

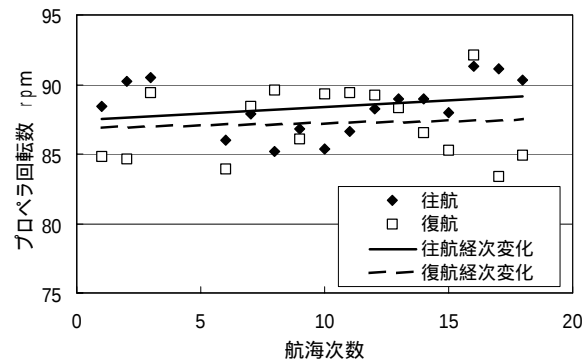


図-3.5.2 コンテナ船C6100のプロペラ回転数

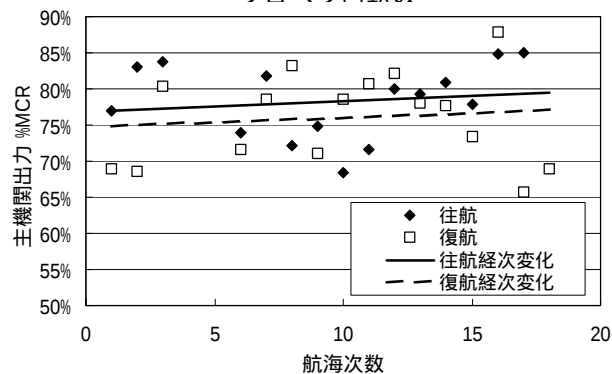


図-3.5.3 コンテナ船C6100の主機関負荷率

表-3.5.3 コンテナ船C6100(北米航路)航海状況

Voyage	港名	航走距離 (Distance run OG) miles	航走時間 (Hours under Weigh) hr	航進時間 (Hours Propelling) hr	航進時間 / 航走時間	航走速度 (OG/HUW) kt	航進速度 (OG/HP) kt	停泊時間 (Hours in port) hr
Outward	Port Kelang	↓	↓	↓	-	-	-	24.2
	Singapore	197	11.8	9.4	0.796	16.8	21.0	13.5
	Yantian	1,475	63.9	62.1	0.972	23.2	23.8	22.5
	Hong Kong	36	4.8	1.9	0.409	7.7	18.7	19.9
	Long Beach	6,494	279.6	274.8	0.983	23.2	23.6	-
	Sub Total/Average	8,201	360.0	348.2	0.967	22.8	23.6	80.1
Homeward	Long Beach	↓	↓	↓	-	-	-	116.1
	Kaohsiung	6,454	275.6	272.3	0.988	23.4	23.7	19.4
	Hong Kong	333	21.2	15.5	0.732	16.0	21.5	18.0
	Yantian	35	4.5	1.9	0.420	7.8	18.7	17.2
	Singapore	1,458	63.3	61.0	0.964	23.0	23.9	21.3
	Port Kelang	188	10.7	8.4	0.781	17.6	22.5	-
Sub Total/Average		8,468	375.4	359.1	0.957	22.6	23.6	192.0
Round trip total/Average		16,669	735.4	707.4	0.962	22.7	23.6	272.0

表 - 3.5.4 コンテナ船C6100 (北米航路) 荷役状況

Voyage	港名	Loaded Cargo			Discharged Cargo			停泊時間 (Hours in port) hr	コンテナ 時間当 たり積降数 TEUS/hr
		TEUS	tons	t/TEU	TEUS	tons	t/TEU		
Outward	Port Kelang	1,022	9,560	9.4	-	-	-	24.2	83
	Singapore	1,952	14,402	7.4	265	2,624	9.9	13.5	164
	Yantian	1,121	7,097	6.3	307	2,183	7.1	22.5	64
	Hong Kong	2,146	15,524	7.2	668	6,621	9.9	19.9	141
	Long Beach	-	-	-	4,979	36,140	7.3	-	-
	Sub Total/Average	6,241	46,583	7.5	6,219	47,568	7.6	80.1	-
Homeward	Long Beach	5,045	38,026	7.5	-	-	-	116.1	86
	Kaohsiung	552	6,123	11.1	1,322	12,533	9.5	19.4	97
	Hong Kong	451	4,540	10.1	1,297	13,298	10.3	18.0	97
	Yantian	524	4,083	7.8	1,235	3,590	2.9	17.2	102
	Singapore	254	2,476	9.8	2,154	20,191	9.4	21.3	113
	Port Kelang	-	-	-	994	6,604	6.6	-	-
	Sub Total/Average	6,826	55,247	8.1	7,002	56,216	8.0	192.0	-
Round trip	Total Average	13,067	101,831	7.8	13,221	103,784	7.8	272.0	97

表 - 3.5.5 コンテナ船C6100 (北米航路) 輸送量の推定

Voyage	港名	Cargo Loaded on Ship (推定値)						航走路程		コンテナ輸送量				純貨物輸送量	
		TEUS	積載率	コンテナtons	積載率%	tons/TEU	純貨物 t	mile	%	M・TEU-mile	%	M・t-mile	%	M・t-mile	%
Outward	Port Kelang	846	13.8%	8,591	10.4%	10.2	7,018	-	-	-	-	-	-	-	-
	Singapore	2,533	41.2%	20,369	24.8%	8.0	15,658	197	2.4%	0.2	0.5%	1.7	0.7%	1.4	0.7%
	Yantian	3,347	54.4%	25,283	30.7%	7.6	19,057	1,475	18.0%	3.7	10.6%	30.9	11.8%	23.1	12.2%
	Hong Kong	4,825	78.5%	34,186	41.6%	7.1	25,212	36	0.4%	0.1	0.3%	0.9	0.4%	0.7	0.4%
	Long Beach	-	-	-	-	-	-	6,494	79.2%	31.3	88.6%	222.0	87.2%	163.7	86.7%
	Average/Sub Total	4,311	70.1%	31,049	37.7%	7.2	23,030	8,201	100.0%	35.4	100.0%	254.6	100.0%	188.9	100.0%
Homeward	Long Beach	5,045	82.1%	38,026	46.2%	7.5	28,643	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaohsiung	4,275	69.5%	31,616	38.4%	7.4	23,664	6,454	76.2%	32.6	85.2%	245.4	84.1%	184.9	83.7%
	Hong Kong	3,430	55.8%	22,858	27.8%	6.7	16,479	333	3.9%	1.4	3.7%	10.5	3.6%	7.9	3.6%
	Yantian	2,718	44.2%	23,350	28.4%	8.6	18,294	35	0.4%	0.1	0.3%	0.8	0.3%	0.6	0.3%
	Singapore	818	13.3%	5,635	6.8%	6.9	4,114	1,458	17.2%	4.0	10.4%	34.0	11.7%	26.7	12.1%
	Port Kelang	-	-	-	-	-	-	188	2.2%	0.2	0.4%	1.1	0.4%	0.8	0.3%
	Average/Sub Total	4,514	73.4%	34,467	41.9%	7.6	26,072	8,468	100.0%	38.2	100.0%	291.9	100.0%	220.8	100.0%
Round trip	Average/Total	4,414	71.8%	32,785	39.8%	7.4	24,575	16,669	-	73.6	-	546.5	-	409.6	-
満載数量		6,148	100%	82,275	100%										

表 - 3.5.6 コンテナ船C6100 (北米航路) のバラスト推定値

Voyage	港名	排水量		コンテナ積載重量	バラスト (推定値)	
		tons	% Δ	tons	tons	% Δ
Outward	Port Kelang	60,613	54.7%	8,591	23,582	21.3%
	Singapore	72,543	65.5%	20,369	23,734	21.4%
	Yantian	77,188	69.7%	25,283	23,464	21.2%
	Hong Kong	87,198	78.8%	34,186	24,572	22.2%
	Long Beach	-	-	-	-	-
	Average	83,881	75.8%	31,049	24,392	22.0%
Homeward	Long Beach	83,798	75.7%	38,026	17,332	15.7%
	Kaohsiung	76,525	69.1%	31,616	16,470	14.9%
	Hong Kong	69,270	62.6%	22,858	17,972	16.2%
	Yantian	70,372	63.6%	23,350	18,581	16.8%
	Singapore	59,515	53.8%	5,635	25,440	23.0%
	Port Kelang	-	-	-	-	-
	Average	80,603	72.8%	34,467	17,695	16.0%
Round trip	Average	82,216	74.3%	32,785	20,990	19.0%
軽荷重量 (LW)		28,440	25.7%	-	-	-
満載排水量 (Δ)		110,715	100%	-	-	-

表 - 3.5.4 に各港における平均の荷役状況を示す。単位停泊時間当たりのコンテナの積み降ろし数は平均 9.7 TEUS/hr でありシンガポール、香港が平均を上回る。1 TEU あたりのコンテナ自重を含む平均重量は、約 8 t である。コンテナの積み降ろし数の 1 航海積算値は一致しないが、1 ~ 2 % の差であるので、この積み降ろし数をモデルとして輸送量を算出した。

輸送量の算出において、アジアからの貨物は主として北米向けであり、北米でキャリアオーバーされるものは少ないと考えられる。そこで北米で積載さ

れたコンテナだけがアジアに向けて輸送されるものと仮定して、本船積載量の初期値を設定し、以下各港での積み降ろし量から各航間の本船積載量を算出した。表 - 3.5.5 に推定した積載量と輸送量を示す。コンテナ積載容量に対する平均積載率は、TEU 基準で約 70 % であるが、載貨重量 (DW) 基準で約 40 % となり、重量基準では積載率が低い。

表 - 3.5.6 に推定したコンテナ積載重量と平均排水量および軽荷重量から算出したバラスト量を示す。ほぼ一定のバラストが張られており、おおよそ満載排水量の約 20 % である。

(2) 欧州航路の航海概要

欧州航路は、神戸を起点に、名古屋、東京、清水で日本国内での荷役を行い、途中シンガポールでも荷役を行う。そしてスエズ運河を経由し、サザンブトンにて往航を終える。復航はロッテルダムで主として荷降ろしと燃料補給を行い、一度ハンブルグまで上った後再びロッテルダムに戻って、積み荷作業を行う。さらにルアーブルで欧州最後の荷役を行い、シンガポール、神戸へと向かう。

表 - 3.5.7 に各港間の平均の航走距離、航走時間、航進時間、航走速度、停泊時間を示す。1 航海平均の航走速度は 22.3 kt で満載航海速度の約 97% である。

表 - 3.5.8 に各港における平均の荷役状況を示す。コンテナの積み降ろし数の 1 航海積算値は、荷降ろし量が積荷量の 96 ~ 97% と若干少ない。停泊時間は神戸、東京が約 2 日、他が 1 日程度である。単位停泊時間当たりのコンテナの積み降ろし数は平均 79 TEUS/hr であり神戸、東京、ルアーブルが平均を下回る。1 TEU あたりのコンテナ自重を含む平均重量は 10 t であり、北米航路より重い。

輸送量の算出においては、欧州域内で積まれたコンテナは全てシンガポールと日本向けに輸送されるものと仮定してルアーブル港での本船積載量初期値を設定した。表 - 3.5.9 に推定輸送量を示す。

表 - 3.5.7 コンテナ船 C 6 1 0 0 (欧州航路) 航海状況

Voyage	港名	航走距離 (Distance run OG) miles	航走時間 (Hours under Weigh) hr	航進時間 (Hours Propelling) hr	航進時間 / 航走時間	航走速度 (OG/HUW) kt	航進速度 (OG/HP) kt	停泊時間 (Hours in port) hr
Outward	Kobe	↓	↓	↓	-	-	-	39.8
	Nagoya	186	14.5	8.7	0.602	12.8	21.4	19.6
	Tokyo	154	13.3	6.8	0.506	11.6	22.9	43.9
	Shimizu	98	7.9	4.5	0.562	12.4	22.1	15.5
	Singapore	2,852	118.6	116.1	0.979	24.1	24.6	22.1
	Suez	4,956	206.2	205.1	0.995	24.0	24.2	9.8
	Port Said	89	11.1	-	-	8.1	-	-
	Southampton	3,090	133.4	128.3	0.961	23.2	24.1	-
	Sub Total/Average	11,425	504.9	469.4	0.930	22.6	24.3	150.6
Homeward	Southampton	↓	↓	↓	-	-	-	28.3
	Rotterdam	232	13.7	9.8	0.715	16.9	23.7	21.3
	Hamburg	212	16.3	9.1	0.560	13.0	23.2	29.7
	Rotterdam	224	18.0	10.0	0.557	12.5	22.4	20.0
	Le Havre	229	13.1	10.3	0.781	17.5	22.4	18.8
	Port Said	3,123	131.0	129.0	0.984	23.8	24.2	6.5
	Suez	89	12.3	-	-	7.2	-	2.3
	Singapore	4,972	216.8	213.3	0.984	23.0	23.3	18.0
	Kobe	2,675	113.9	110.2	0.968	23.5	24.3	-
	Sub Total/Average	11,755	535.1	491.6	0.919	22.0	23.9	144.9
	Round trip total/Average	23,179	1,040.1	961.0	0.924	22.3	24.1	295.5

表 - 3.5.8 コンテナ船 C 6 1 0 0 (欧州航路) 荷役状況

Voyage	港名	Loaded Cargo			Discharged Cargo			停泊時間 (Hours in port) hr	コンテナ 時間当 り積降数 TEUS/hr
		TEUS	tons	t/TEU	TEUS	tons	t/TEU		
Outward	Kobe	750	6,648	8.9	-	-	-	39.8	42
	Nagoya	806	6,728	8.4	481	6,421	13.4	19.6	66
	Tokyo	1,579	12,144	7.7	1,658	22,410	13.5	43.9	74
	Shimizu	893	6,404	7.2	596	3,899	6.5	15.5	96
	Singapore	1,873	20,529	11.0	630	4,854	7.7	22.1	113
	Southampton	-	-	-	1,627	15,135	9.3	-	-
	Sub Total/Average	5,899	52,452	8.9	4,992	52,719	10.6	140.9	-
Homeward	Southampton	788	6,032	7.7	-	-	-	28.3	85
	Rotterdam	262	3,703	14.1	1,858	16,184	8.7	21.3	100
	Hamburg	1,340	16,251	12.1	1,343	13,134	9.8	29.7	90
	Rotterdam	1,762	21,436	12.2	-	-	-	20.0	88
	Le Havre	664	7,234	10.9	267	2,534	9.5	18.8	50
	Singapore	416	5,323	12.8	1,305	12,275	9.4	18.0	95
	Kobe	-	-	-	923	12,160	13.2	-	-
	Sub Total/Average	5,231	59,979	11.5	5,697	56,287	9.9	136.2	-
Round trip	Total	11,131	112,431		10,689	109,006		277.0	
	Average			10.1			10.2	25.2	79

コンテナ積載容量に対する平均積載率はT E U基準で約80%、載貨重量(DW)基準で約60%となり、北米航路より積載率が高い。

表-3.5.10に推定したバラスト量を示す。欧州航路は北米航路よりDW積載率が高く、排水量も満載排水量(Δ)の約80%と北米航路より5%高い。一方、バラストは約10%と北米航路の約20%より少ない。

3.5.2 燃料消費量とエンジン負荷率

C6100の北米航路と欧州航路の1航海あたり平均燃料油・潤滑油消費量を表-3.5.11に示す。また、燃料油・潤滑油の消費割合を図-3.5.4(北米航路)と図-3.5.5(欧州航路)に、C重油の航海・機器別消費割合を図-3.5.6(北米航路)と図-3.5.7(欧州航路)に示す。C重油が約98~99%、シリンダ油が約1%を占めるのはこれまでと同様である。

C重油の消費割合をみると、主機関の燃料消費量の割合が約95%と前節までの船種に比して高く、航走時の燃料消費量のほとんどを占める。本船は排エコ、ターボ発電機および軸発電機を装備しているので、航走時のディーゼル発電機、補助ボイラの燃料消費割合が非常に少ない。停泊中は、ターボ発電機を使用するために、補助ボイラの燃料消費量が停泊時燃料消費量の大部分を占めている。

航走時間および停泊時間あたりの燃料消費量から算出したエンジンと補助ボイラの平均負荷率を、表-3.5.12(北米航路)と表-3.5.13(欧州航路)に示す。主機関の1航海平均負荷率は約74~75%MC Rであり、常用出力85%MC Rの約87~88%である。ディーゼル発電機の1航海平均負荷率は、航走時には北米航路も欧州航路も往航では3%以下と負荷率が低く、復航では約35%と負荷率が上昇する。停泊時は北米航路で約50%、欧州航路で約70%の負荷率で運転され、タ

表-3.5.9 コンテナ船C6100(欧州航路)輸送量の推定

Voyage	港名	Cargo Loaded on Ship(推定値)						航走距離		コンテナ輸送量				純貨物輸送量	
		TEUS	積載率	tons	積載率	tons/TEU	純貨物 t	mile	%	M・TEU・mile	%	M・t・mile	%	M・t・mile	%
Outward	Kobe	3,752	61.0%	42,193	51.3%	11.2	35,213	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nagoya	4,077	66.3%	42,500	51.7%	10.4	34,916	186	1.6%	0.70	1.2%	7.8	1.5%	6.5	1.6%
	Tokyo	3,998	65.0%	32,233	39.2%	8.1	24,797	154	1.4%	0.63	1.1%	6.6	1.2%	5.4	1.3%
	Shimizu	4,295	69.9%	34,738	42.2%	8.1	26,750	98	0.9%	0.39	0.7%	3.2	0.6%	2.4	0.6%
	Singapore	5,538	90.1%	50,413	61.3%	9.1	40,114	2,852	25.0%	12.25	20.8%	99.1	18.8%	76.3	18.3%
	Southampton	-	-	-	-	-	-	8,135	71.2%	45.05	76.3%	410.1	77.9%	326.3	78.3%
	Average/Sub Total	5,165	84.0%	46,104	56.0%	8.9	36,496	11,425	100.0%	59.01	100.0%	526.7	100.0%	417.0	100.0%
	Southampton	4,256	69.2%	37,885	46.0%	8.9	29,969	-	-	-	-	-	-	-	-
Homeward	Rotterdam	2,660	43.3%	25,404	30.9%	9.6	20,457	232	2.0%	0.99	1.9%	8.8	1.4%	6.9	1.4%
	Hamburg	2,656	43.2%	28,520	34.7%	10.7	23,580	212	1.8%	0.56	1.1%	5.4	0.9%	4.3	0.9%
	Rotterdam	4,418	71.9%	49,956	60.7%	11.3	41,738	224	1.9%	0.59	1.1%	6.4	1.1%	5.3	1.0%
	Le Havre	4,815	78.3%	54,656	66.4%	11.4	45,700	229	2.0%	1.01	1.9%	11.5	1.9%	9.6	1.9%
	Singapore	3,926	63.9%	47,705	58.0%	12.2	40,402	8,184	69.6%	39.41	74.3%	447.3	73.7%	374.0	73.6%
	Kobe	-	-	-	-	-	-	2,675	22.8%	10.50	19.8%	127.6	21.0%	108.1	21.3%
	Average/Sub Total	4,514	73.4%	51,628	62.8%	11.4	43,232	11,755	100.0%	53.06	100.0%	606.9	100.0%	508.2	100.0%
	Round trip Average/Total	4,835	78.6%	48,905	59.4%	10.1	39,912	23,180	-	112.1	-	1,133.6	-	925.1	-
満載数量		6,148	100%	82,275	100%										

表-3.5.10 コンテナ船C6100(欧州航路)のバラスト推定値

Voyage	港名	排水量		コンテナ積載重量	バラスト(推定値)	
		tons	%Δ	tons	tons	%Δ
Outward	Kobe	80,814	73.0%	42,193	10,181	9.2%
	Nagoya	82,595	74.6%	42,500	11,656	10.5%
	Tokyo	73,862	66.7%	32,233	13,189	11.9%
	Shimizu	78,815	71.2%	34,738	15,637	14.1%
	Singapore	90,781	82.0%	50,413	11,927	10.8%
	Southampton	-	-	-	-	-
	Average	87,376	78.9%	46,104	12,832	11.6%
	Southampton	81,523	73.6%	37,885	15,198	13.7%
Homeward	Rotterdam	69,751	63.0%	25,404	15,907	14.4%
	Hamburg	72,370	65.4%	28,520	15,410	13.9%
	Rotterdam	91,376	82.5%	49,956	12,980	11.7%
	Le Havre	93,400	84.4%	54,656	10,304	9.3%
	Singapore	84,292	76.1%	47,705	8,147	7.4%
	Kobe	-	-	-	-	-
	Average	90,228	81.5%	51,628	10,160	9.2%
Round trip Average		88,822	80.2%	48,905	11,477	10.4%
軽荷重量(LW)		28,440	25.7%	-	-	-
満載排水量(Δ)		110,715	100%	-	-	-

表 - 3 . 5 . 1 1 コンテナ船 C 6 1 0 0 の 1 航海当たりの燃料油・潤滑油消費量

単位: ton

航路	機関・機器	C重油			ディーゼル油			潤滑油	
		一航海	航走時	停泊時	一航海	航走時	停泊時	シリンダ油	システム油
北米航路	Total	5,463.0 100.0%	5,203.2 95.2%	259.8 4.8%	17.6 100.0%	4.5 25.4%	13.1 74.6%	57.6	10.0
	Main Engine	5,161.4 94.5%	5,134.4 94.0%	27.0 0.5%	6.9 39.1%	1.8 10.1%	5.1 29.0%	57.6	9.6
	Diesel Generator	113.2 2.1%	59.1 1.1%	54.1 1.0%	10.7 60.9%	2.7 15.4%	8.0 45.5%	-	0.4
	Aux. Boiler	188.4 3.4%	9.7 0.2%	178.7 3.3%	-	-	-	-	-
欧州航路	Total	7,629.4 100.0%	7,292.8 95.6%	336.6 4.4%	61.9 100.0%	23.4 37.9%	38.4 62.1%	82.9	11.0
	Main Engine	7,280.1 95.4%	7,208.5 94.5%	71.6 0.9%	1.4 2.2%	0.2 0.3%	1.2 1.9%	82.9	9.9
	Diesel Generator	122.4 1.6%	68.8 0.9%	53.6 0.7%	60.5 97.8%	23.2 37.6%	37.3 60.3%	-	1.1
	Aux. Boiler	226.9 3.0%	15.5 0.2%	211.4 2.8%	-	-	-	-	-

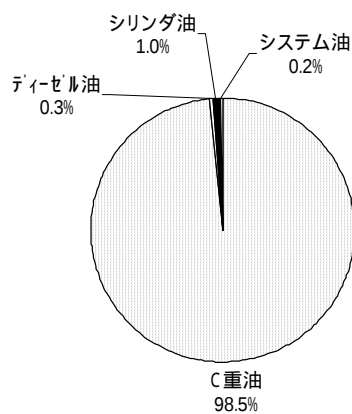


図 - 3 . 5 . 4 コンテナ船 C 6 1 0 0 (北米航路) の燃料油・潤滑油消費割合

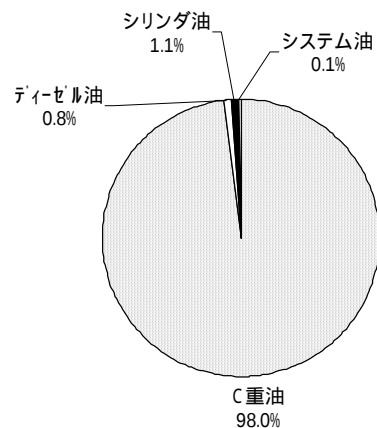


図 - 3 . 5 . 5 コンテナ船 C 6 1 0 0 (欧州航路) の燃料油・潤滑油消費割合

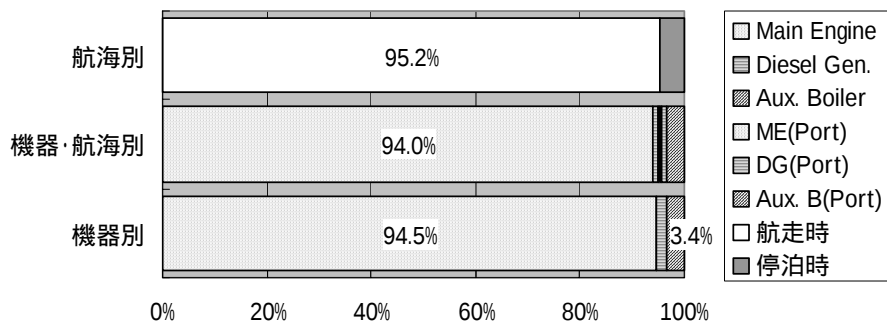


図 - 3 . 5 . 6 コンテナ船 C 6 1 0 0 (北米航路) の C 重油消費割合

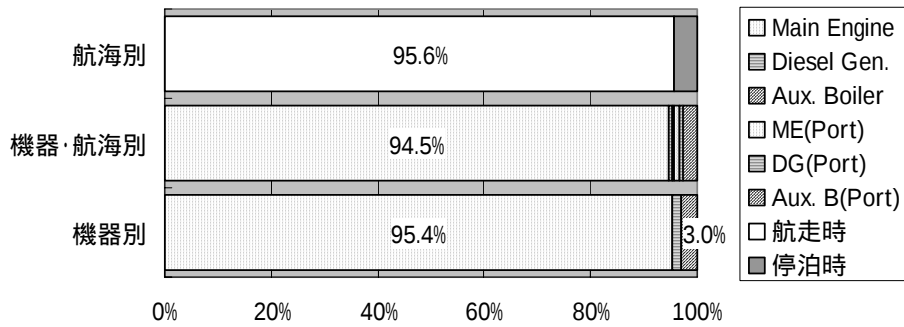


図 - 3 . 5 . 7 コンテナ船 C 6 1 0 0 (欧州航路) の C 重油消費割合

表 - 3 . 5 . 1 2 コンテナ船 C 6 1 0 0 (北米航路) の
エンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	港 名	航走時			停泊時		
		Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
		% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
Outward	Port Kelang	↓	↓	↓	2.1%	44.1%	64.6%
	Singapore	45.6%	14.7%	3.0%	2.0%	56.3%	70.7%
	Yantian	78.8%	8.5%	1.4%	1.7%	51.6%	62.0%
	Hong Kong	16.3%	23.3%	5.3%	2.1%	62.7%	61.2%
	Long Beach	76.3%	0.8%	1.2%	-	-	-
	Average	75.0%	2.9%	1.4%	2.0%	52.9%	64.1%
Homeward	Long Beach	↓	↓	↓	0.5%	41.3%	60.5%
	Kaohsiung	78.1%	38.1%	1.0%	1.7%	74.9%	79.1%
	Hong Kong	43.5%	35.0%	2.3%	2.5%	73.4%	83.2%
	Yantian	18.7%	53.2%	2.5%	1.4%	57.5%	69.3%
	Singapore	76.5%	19.1%	1.3%	1.4%	54.7%	61.7%
	Port Kelang	45.9%	14.2%	3.5%	-	-	-
Round trip Average		74.6%	18.9%	1.3%	1.3%	51.3%	65.0%

表 - 3 . 5 . 1 3 コンテナ船 C 6 1 0 0 (欧州航路) の
エンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	港 名	航走時			停泊時		
		Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
		% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
Outward	Kobe	↓	↓	↓	1.9%	62.5%	67.3%
	Nagoya	36.4%	16.7%	3.4%	5.9%	88.7%	79.5%
	Tokyo	37.4%	24.0%	2.8%	2.2%	57.5%	51.1%
	Shimizu	37.3%	7.8%	1.3%	0.9%	54.9%	72.5%
	Singapore	81.5%	1.1%	0.6%	0.7%	58.7%	70.5%
	Suez	85.2%	1.3%	0.6%	7.3%	116.9%	112.2%
	Southampton	80.8%	0.6%	1.1%	-	-	-
	Average	77.9%	2.2%	0.9%	2.6%	66.6%	68.1%
Homeward	Southampton	↓	↓	↓	1.3%	50.9%	50.8%
	Rotterdam	56.7%	14.7%	5.8%	0.8%	45.4%	55.7%
	Hamburg	46.9%	11.4%	5.0%	6.1%	50.7%	70.2%
	Rotterdam	46.2%	16.8%	7.7%	0.9%	55.5%	73.7%
	Le Havre	63.7%	23.1%	7.7%	1.3%	71.6%	81.7%
	Port Said	81.6%	27.9%	1.5%	9.9%	126.1%	91.6%
	Singapore	71.6%	45.2%	1.7%	1.2%	102.4%	83.3%
	Kobe	72.5%	45.0%	1.1%	-	-	-
Average		70.4%	36.6%	2.1%	2.7%	71.6%	73.7%
Round trip Average		74.0%	19.9%	1.5%	2.6%	69.0%	70.8%

ーボ発電機の出力低下を補っている。補助ボイラの1航海平均負荷率は、航走時にはほとんど使用されず2%以下である。停泊時は、北米航路で約65%、欧州航路で約70%の負荷率で運転されている。

表-3.5.14に平均入渠間隔、平均入渠時間および入渠時のディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を示す。コンテナ船C6100の入渠間隔、入渠時間は前節までの船種より短い。

3.5.3 輸送量当たりの油類消費量

表-3.5.15にC6100の輸送量あたり油類(燃料・潤滑油)消費量を示す。輸送量は、コンテナ重量を含まない正味輸送量、コンテナ重量を含むコンテナ輸送量、TEU(20フィートコンテナ)

数量基準の輸送量を示した。

コンテナ重量基準の輸送量あたり油類消費量は、撒積貨物船やタンカーのそれに比較して、2～5倍程度大きい。輸送速度が速く、主機関出力が大きいことと積載率が低いことが重量基準の輸送量あたり油類消費量が大きくなる主要因である。

要目値から算出できるコンテナ重量基準の輸送量あたり燃料消費量に対して、北米航路の輸送量あたり油類消費量は約2.4倍、欧州航路では約1.6倍である。この対要目値比率に影響を及ぼす要因の影響係数を表-3.5.16(北米航路)と図-3.5.8(北米航路)および表-3.5.17(欧州航路)と図-3.5.9(欧州航路)に示す。

北米航路の場合、燃料消費量に関しては、主機関

表-3.5.14 コンテナ船C6100の入渠時間
および発電機・ボイラの平均負荷率

入渠回数	平均入渠間隔	平均入渠時間	発電機負荷率	補助ボイラ負荷率
	年	日	%MAX	%MAX
2	1.0	8.0	7.9%	10.0%

表-3.5.15 コンテナ船C6100の
輸送量あたり油類消費量

油類種別消費量	単位	北米航路		欧州航路	
C重油	ton	5,463	98.0%	7,629	98.0%
ディーゼル油	ton	18	0.8%	62	0.8%
シリンダ油	ton	58	1.1%	83	1.1%
システム油	ton	10	0.1%	11	0.1%
全油種合計消費量	ton	5,548	100.0%	7,785	100.0%
1航海輸送量					
正味重量輸送量	Mt-mile	410		925	
コンテナ輸送量(重量)	Mt-mile	546		1,134	
コンテナ輸送量(数量)	Mteu-mile	73.6		112.1	
輸送量あたり油類消費量					
実績値(正味重量)	g/t-mile	13.5		8.4	
実績値(コンテナ・重量)	g/t-mile	10.2		6.9	
要目値(コンテナ・重量)	g/t-mile	4.2		4.2	
実績値(コンテナ・数量)	g/teu-mile	75.4		69.5	
要目値(コンテナ・数量)	g/teu-mile	56.3		56.3	

表-3.5.16 輸送量あたり油類消費量への
影響項目(コンテナ船C6100 北米航路)

影響項目	影響係数	備 考	
主機負荷率	0.88	主機負荷率(%MCR)	75%
		常用負荷率(%MCR)	85%
油類消費割合	1.08	油類消費割合 (主機燃料消費/全油類消費)	0.93
平均航走速度	1.01	平均航走速度(kt)	22.7
		満載速度(kt)	23.0
積載率	2.51	積載率(%DW)	40%
積載航走距離	1.00	積載航走距離割合	1.00
総合影響	2.41	-	

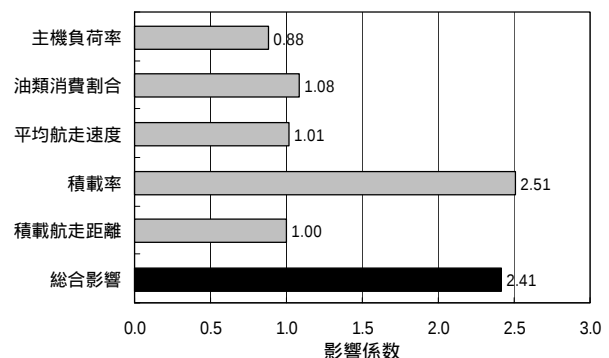


図-3.5.8 輸送量あたり油類消費量への
影響係数(コンテナ船C6100 北米航路)

表 - 3.5.17 輸送量あたり油類消費量への影響項目 (コンテナ船 C 6 1 0 0 欧州航路)

影響項目	影響係数	備考
主機負荷率	0.87	主機負荷率 (% MCR) 74% 常用負荷率 (% MCR) 85%
油類消費割合	1.08	油類消費割合 (主機燃料消費 / 全油類消費) 0.93
平均航走速度	1.03	平均航走速度 (kt) 22.3 満載速度 (kt) 23.0
積載率	1.68	積載率 (% DW) 59%
積載航走距離	1.00	積載航走距離割合 1.00
総合影響	1.63	-

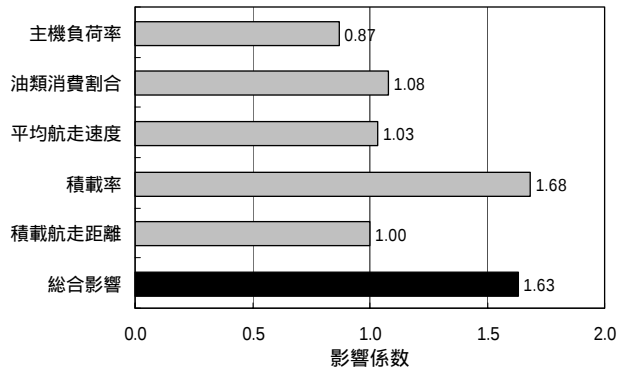


図 - 3.5.9 輸送量あたり油類消費量への影響係数 (コンテナ船 C 6 1 0 0 欧州航路)

の1航海平均負荷率75%MCRが常用出力85%MCRの約88%で、影響係数は0.88である。主機関が航走時に消費する燃料の全油類消費量（補機・停泊時消費を含む）に占める割合は93%であり、全油類消費量に関して影響係数は1.08になる。1航海平均航走速度は満載航海速度にほぼ等しく、影響係数は1.01になる。以上の影響係数の積、すなわち単位航走距離あたり主機関燃料消費量の要目値による推定値に対する単位航走距離あたり全油類消費量の比は0.96であり、要目値による主機関燃料消費量の推定値よりも、燃料油・潤滑油消費量の実績値の方が少ないことを意味する。各要因の影響度の中では、主機関の負荷率が常用負荷率より低いことの影響が大きい。

輸送量に関しては、DW基準の積載率が約40%と低いので影響係数は2.51になる。積載航海距離の割合は100%であり、影響係数は1である。

以上すべての影響係数の積は2.41で対要目値比率と等しい。

欧州航路の場合も北米航路と同様の傾向であるが、DW基準の積載率が約60%と高いので影響係数の積が北米航路より小さい1.63になる。

TEU基準での輸送量あたり油類消費量に関しては、1航海平均積載率が北米航路は約72%、欧州航路は約79%といずれもDW基準より高いので、対要目値比率は、北米航路で約1.34倍、欧州航

路で約1.23倍と小さくなる。また、TEU基準の積載率は航路による差が小さいので対要目値比率の差もDW基準より小さくなる。

コンテナ船C 6 1 0 0においては、輸送量あたり油類消費量への影響をおよぼす要因のなかでは、重量基準あるいはTEU基準のいずれにおいても積載率が大きい。

3.6 コンテナ船 C 4 7 0 0

3.6.1 航海概要

本船は、C 6 1 0 0と同じく、最初欧州航路に就航し、途中、東南アジアと北米を結ぶ北米航路に就航した後、再び欧州航路に就航している。本報告では、寄港パターンが同じでデータが揃っている航海のデータに基づいて、北米航路および欧州航路それぞれの平均的な航海状況を算出した。すなわち、全44航海の内、北米航路が24航海あり、そのうち9航海のデータによって平均的な航海状況を算出した。欧州航路は20航海あり、そのうち6航海のデータを用いた。

1航海の中で、航走距離が最大の航路区間（3,000～4,900 mile）における往航（Outward）および復航（Homeward）の平均航走速度を各航海回数に対して図-3.6.1に示す。また、図-3.6.2に平均プロペラ回転数、図-3.6.3に主機関の平均負荷率を示す。図中の直線は線形回帰線を示す。表-3.6.1に線形回帰式、線形回帰式を計算した標本の平均および標準偏差の平均に対する割合を示す。また、線形回帰式から計算される100航海（本船の場合約13年間）あたりの変化率を示す。

表-3.6.1において、航走速度、平均プロペラ回転数、主機関負荷率の平均値はいずれも往航が復航より大きく、復航で若干の減速運航傾向が見られる。100航海あたりの変化率は、往航で上昇傾向、復航で下降傾向を示しており、経年劣化の傾向は明らかではない。

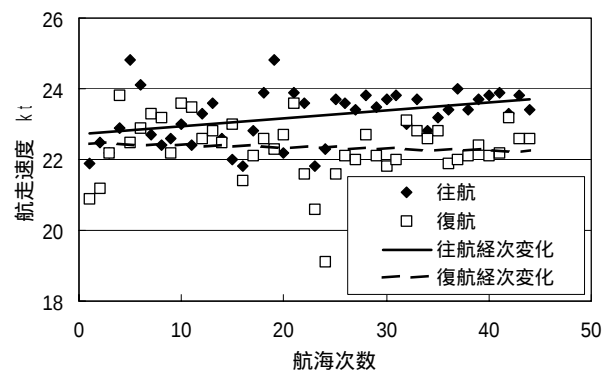


図 - 3.6.1 コンテナ船 C 4 7 0 0 の航走速度

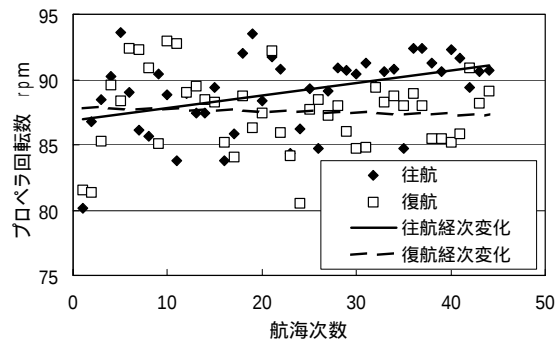


図 - 3 . 6 . 2 コンテナ船 C 4 7 0 0 の
プロペラ回転数

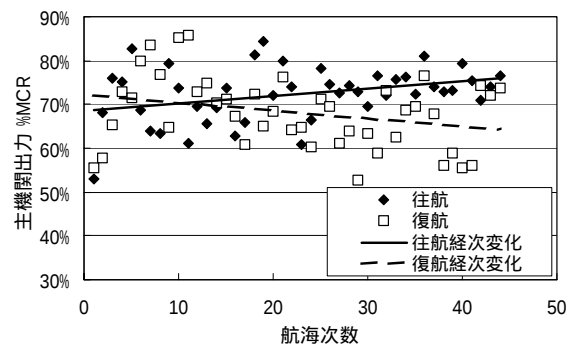


図 - 3 . 6 . 3 コンテナ船 C 4 7 0 0 の
主機関負荷率

表 - 3 . 6 . 1 コンテナ船 C 4 7 0 0 の経次変化

	航海種別	線形回帰式	平均	標準偏差 / 平均	100航海 変化率
平均航走速度 (kt)	往航	$y = 0.0224x + 22.701$	23.2	0.032	9.9%
	復航	$y = -0.0045x + 22.433$	22.3	0.038	-2.0%
平均プロペラ回転数 (rpm)	往航	$y = 0.0966x + 86.825$	89.0	0.033	11.1%
	復航	$y = -0.0126x + 87.802$	87.5	0.034	-1.4%
平均主機負荷率 (%MCR)	往航	$y = 0.17x + 68.52$	72.4	0.089	24.8%
	復航	$y = -0.18x + 72.13$	68.0	0.120	-25.0%

(1) 北米航路の航海概要

北米航路の平均航海状況を算出した9航海は、香港を起点に台湾の高雄を経由して北米ロスアンゼルスに行き、復航はオークランド、日本を経由して香港に戻るループを描く。表 - 3 . 6 . 2 に各港間の平均の航走距離、航走時間、航進時間、航走速度、停泊時間を示す。

平均航走距離は、C 6 1 0 0 と比較すると航路の起点がマレーシアから香港に変わっているので20

%ほど短い。

平均航走速度は、往航は22.8ktでC 6 1 0 0 と同程度であるが、復航は航進時間の割合が低く、18.8ktと往航より約17%遅い。1航海平均の航走速度では20.6ktと満載航海速度23.5ktの約88%である。

1航海平均航海時間に占める平均停泊時間の割合は約25%でC 6 1 0 0 の約27%よりわずかに小さい。

表 - 3 . 6 . 2 コンテナ船 C 4 7 0 0 (北米航路) 航海状況

Voyage	港名	航走距離 (Distance run OG) miles	航走時間 (Hours under Weigh) hr	航進時間 (Hours Propelling) hr	航進時間 / 航走時 間	航走速度 (OG/HUW) kt	航進速度 (OG/HP) kt	停泊時間 (Hours in port) hr
Outward	Hong Kong	↓	↓	↓	-	-	-	25.5
	Kaohsiung	308	18.6	13.3	0.718	16.6	23.1	38.9
	Los Angeles	6,144	264.8	260.1	0.982	23.2	23.6	-
	Sub Total/Average	6,452	283.4	273.5	0.965	22.8	23.6	64.3
Homeward	Los Angeles	↓	↓	↓	-	-	-	73.3
	Oakland	327	20.1	14.8	0.737	16.2	22.0	26.7
	Tokyo	4,678	230.1	211.0	0.917	20.3	22.2	16.0
	Nagoya	119	13.7	5.3	0.385	8.7	22.5	8.0
	Kobe	156	15.3	7.2	0.472	10.2	21.6	21.0
	Hong Kong	1,303	70.1	58.8	0.839	18.6	22.2	-
	Sub Total/Average	6,582	349.4	297.1	0.851	18.8	22.2	145.0
Round trip total/Average		13,034	632.7	570.6	0.902	20.6	22.8	209.3

各港における平均の荷役状況を表-3.6.3に示す。コンテナの積み降ろし数の1航海積算値は、ほぼ一致している。C6100と同じく北米で積載されたコンテナがアジアに向けて輸送されるものと仮定して、本船積載量の初期値を設定し、輸送量を算出した。

表-3.6.4に推定した積載量と輸送量を示す。コンテナ積載容量に対する1航海平均積載率は、TEU基準で約75%、載貨重量(DW)基準で約4

0%であり、C6100(北米航路)とほぼ同様の傾向を示す。しかし、C4700の場合は航行方向別にDW基準積載率をみると、往航は約50%、復航は約30%と差が大きい。

表-3.6.5にコンテナ積載推定重量と平均排水量および軽荷重量から算出したバラスト量を示す。1航海に亘ってほぼ一定のバラストが張られているが、バラスト量はC6100(北米航路)より少なく満載排水量の約15%である。

表-3.6.3 コンテナ船C4700(北米航路)荷役状況

Voyage	港名	Loaded Cargo			Discharged Cargo			停泊時間 (Hours in port) hr	コンテナ 時間当たり 積降数 TEUS/hr
		TEUS	tons	t/TEU	TEUS	tons	t/TEU		
Outward	Hong Kong	1,860	13,823	7.4	-	-	-	25.5	116
	Kaohsiung	2,271	18,953	8.3	1,067	4,328	4.1	38.9	86
	Los Angeles	-	-	-	3,934	30,587	7.8	-	-
	Sub Total/Average	4,131	32,776	7.9	5,001	34,914	7.0	64.3	-
Homeward	Los Angeles	2,496	15,318	6.1	-	-	-	73.3	88
	Oakland	849	7,717	9.1	121	1,495	12.3	26.7	36
	Tokyo	361	1,522	4.2	891	8,818	9.9	16.0	78
	Nagoya	61	609	10.1	558	4,458	8.0	8.0	77
	Kobe	132	1,203	9.1	340	4,055	11.9	21.0	22
	Hong Kong	-	-	-	1,090	5,466	5.0	-	-
	Sub Total/Average	3,898	26,369	6.8	3,000	24,292	8.1	145.0	-
Round trip	Total	8,029	59,145		8,002	59,207		209.3	
	Average			7.4			7.4	29.9	77

表-3.6.4 コンテナ船C4700(北米航路)輸送量の推定

Voyage	港名	Cargo Loaded on Ship(推定値)					航走距離		コンテナ輸送量				純貨物輸送量		
		TEUS	積載率	tons	積載率	tons/TEU	純貨物 t	mile	%	M・TEU-mile	%	M・t-mile	%	M・t-mile	%
Outward	Hong Kong	2,879	60.7%	17,395	27.6%	6.0	12,041	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaohsiung	4,082	86.1%	32,020	50.8%	7.8	24,427	308	4.8%	0.89	3.4%	5.4	2.6%	3.7	2.4%
	Los Angeles	-	-	-	-	-	-	6,144	95.2%	25.08	96.6%	196.7	97.4%	150.1	97.6%
	Average/Sub Total	4,025	84.9%	31,322	49.7%	7.8	23,836	6,452	100.0%	25.97	100.0%	202.1	100.0%	153.8	100.0%
Homeward	Los Angeles	2,644	55.7%	16,751	26.6%	6.3	11,834	-	-	-	-	-	-	-	-
	Oakland	3,372	71.1%	22,973	36.5%	6.8	16,701	327	5.0%	0.87	4.3%	5.5	4.3%	3.9	4.3%
	Tokyo	2,815	59.4%	15,740	25.0%	5.6	10,504	4,678	71.1%	15.77	78.5%	107.5	83.7%	78.1	85.8%
	Nagoya	2,317	48.9%	11,890	18.9%	5.1	7,580	119	1.8%	0.33	1.7%	1.9	1.5%	1.2	1.4%
	Kobe	2,109	44.5%	9,038	14.3%	4.3	5,115	156	2.4%	0.36	1.8%	1.8	1.4%	1.2	1.3%
	Hong Kong	-	-	-	-	-	-	1,303	19.8%	2.75	13.7%	11.8	9.2%	6.7	7.3%
	Average/Sub Total	3,051	55.5%	19,513	31.0%	6.4	13,838	6,582	100.0%	20.08	100.0%	128.4	100.0%	91.1	100.0%
Round trip	Average/Total	3,533	74.5%	25,358	40.2%	7.2	18,787	13,034	-	46.0	-	330.5	-	244.9	-
満載数量		4,743	100%	63,014	100%										

表-3.6.5 コンテナ船C4700(北米航路)のバラスト推定値

Voyage	港名	排水量		コンテナ積載重量	バラスト(推定値)	
		tons	%Δ	tons	tons	%Δ
Outward	Hong Kong	54,313	62.4%	17,395	12,882	14.8%
	Kaohsiung	68,624	78.8%	32,020	12,568	14.4%
	Los Angeles	-	-	-	-	-
	Average	67,941	78.0%	31,322	12,583	14.5%
Homeward	Los Angeles	54,261	62.3%	16,751	13,473	15.5%
	Oakland	60,400	69.4%	22,973	13,390	15.4%
	Tokyo	52,757	60.6%	15,740	12,981	14.9%
	Nagoya	50,221	57.7%	11,890	14,295	16.4%
	Kobe	49,498	56.9%	9,038	16,424	18.9%
	Hong Kong	-	-	-	-	-
Average		57,558	66.1%	19,513	14,009	16.1%
Round trip Average		62,698	72.0%	25,358	13,303	15.3%
軽荷重量(LW)		24,036	27.6%			
満載排水量(Δ)		87,050	100%			

(2) 欧州航路の航海概要

表 - 3 . 6 . 6 に各港間の平均の航走距離、航走時間、航進時間、航走速度、停泊時間を示す。この欧州航路は、神戸を起点に日本国内での荷役を行い、シンガポール、スエズ運河を経由してサザンプトンで往航を終えるのは C 6 1 0 0 と同じである。復航は少し異なり、ロッテルダムで主として荷降ろしと燃料補給を行い、ハンブルグまで上って再びロッテルダムに戻り積み荷作業を行うまでは C 6 1 0 0 と

同じであるが、ジェッダ、コロンボなどに寄港するなど神戸までの寄港数が増加している。

表 - 3 . 6 . 7 に各港における平均の荷役状況を示す。コンテナの積み降ろし数の 1 航海積算値は、T E U 降ろし数が積荷数の約 9 3 % と若干少ないが重量ではほぼ一致している。表 - 3 . 6 . 8 に推定輸送量を示す。

輸送量の算出は、C 6 1 0 0 と同様に欧州域内で積まれたコンテナは全てアジア向けに輸送されると

表 - 3 . 6 . 6 コンテナ船 C 4 7 0 0 (欧州航路) 航海状況

Voyage	港名	航走距離 (Distance run OG) miles	航走時間 (Hours under Weigh) hr	航進時間 (Hours Propelling) hr	航進時間 / 航走時間	航走速度 (OG/HUW) kt	航進速度 (OG/HP) kt	停泊時間 (Hours in port) hr
Outward	Kobe	↓	↓	↓	-	-	-	32.4
	Nagoya	175	14.7	8.1	0.550	11.9	21.6	21.1
	Tokyo	146	13.7	6.7	0.489	10.6	21.7	35.2
	Shimizu	99	10.4	4.9	0.467	9.5	20.3	12.6
	Singapore	2,799	122.4	118.8	0.970	22.9	23.6	23.4
	Suez	4,933	219.5	217.3	0.990	22.5	22.7	-
	Port Said	-	-	-	-	-	-	25.3
	Southampton	3,084	139.5	135.6	0.972	22.1	22.8	-
	Sub Total/Average	11,235	520.3	491.3	0.944	21.6	22.9	149.9
Homeward	Southampton	↓	↓	↓	-	-	-	21.9
	Rotterdam	215	15.3	9.5	0.620	14.0	22.7	17.4
	Hamburg	211	17.4	9.5	0.549	12.2	22.2	29.8
	Rotterdam	219	18.1	9.9	0.544	12.1	22.2	20.6
	Southampton	212	14.8	9.8	0.665	14.3	21.5	20.1
	Port Said	3,084	139.9	135.6	0.970	22.1	22.7	-
	Suez	-	-	-	-	-	-	30.7
	Jeddah	612	30.5	26.7	0.875	20.1	22.9	30.1
	Colombo	2,791	130.4	124.7	0.956	21.4	22.4	25.8
	Port Kelang	1,374	72.8	63.7	0.875	18.9	21.6	17.6
	Singapore	179	13.7	8.6	0.628	13.1	20.8	16.5
	Kaohsiung	1,594	74.6	72.2	0.968	21.4	22.1	24.9
	Kobe	1,122	52.5	47.0	0.895	21.3	23.8	-
	Sub Total/Average	11,613	580.0	517.4	0.892	20.0	22.4	255.5
Round trip total/Average		22,848	1,100.3	1,008.7	0.917	20.8	22.7	405.4

表 - 3 . 6 . 7 コンテナ船 C 4 7 0 0 (欧州航路) 荷役状況

Voyage	港名	Loaded Cargo			Discharged Cargo			停泊時間 (Hours in port) hr	コンテナ 時間当 り積降 数 TEUS/hr
		TEUS	tons	t/TEU	TEUS	tons	t/TEU		
Outward	Kobe	613	6,920	11.3	-	-	-	32.4	40
	Nagoya	711	5,815	8.2	693	7,423	10.7	21.1	66
	Tokyo	1,625	10,383	6.4	813	10,236	12.6	35.2	69
	Shimizu	402	2,729	6.8	257	2,632	10.3	12.6	52
	Singapore	1,990	16,766	8.4	1,033	8,598	8.3	23.4	129
	Southampton	-	-	-	1,549	12,570	8.1	-	-
	Sub Total/Average	5,341	42,614	8.0	4,343	41,460	9.5	124.6	-
Homeward	Southampton	138	508	3.7	-	-	-	21.9	77
	Rotterdam	0	0	-	1,479	10,875	7.4	17.4	85
	Hamburg	1,302	16,002	12.3	1,348	11,139	8.3	29.8	89
	Rotterdam	1,466	18,617	12.7	13	28	2.3	20.6	72
	Southampton	1,206	12,396	10.3	24	116	4.8	20.1	61
	Jeddah	419	2,293	5.5	249	3,063	12.3	30.1	22
	Colombo	199	2,529	12.7	361	4,075	11.3	25.8	22
	Port Kelang	394	3,623	9.2	741	8,507	11.5	17.6	65
	Singapore	599	7,570	12.6	1,199	11,881	9.9	16.5	109
	Kaohsiung	54	409	7.6	532	6,934	13.0	24.9	24
	Kobe	-	-	-	676	8,411	12.5	-	-
	Sub Total/Average	5,775	63,947	11.1	5,944	65,030	10.9	224.8	-
Round trip	Total	11,116	106,562		10,287	106,490		349.4	
	Average			9.6			10.4	23.3	61

仮定してサザンプトン港での本船積載量の初期値を設定した。コンテナ積載容量に対する平均積載率は、TEU基準で約85%、載貨重量(DW)基準で約60%であり、DW基準ではC6100(欧州航路)と同程度である。

表-3.6.9に推定したバラスト量を示す。バラストは1航海平均で満載排水量の約12%であり、C6100(欧州航路)よりわずかに多い。

3.6.2 燃料消費量とエンジン負荷率

C4700の北米航路と欧州航路の1航海あたり平均燃料油・潤滑油消費量を表-3.6.10に示す。また、燃料油・潤滑油の消費割合を図-3.6.4(北米航路)と図-3.6.5(欧州航路)に、C重油の航海・機器別消費割合を図-3.6.6(北米航路)と図-3.6.7(欧州航路)に示す。

油類消費割合でC重油が約98%、シリンダ油が約1%を占めるのはこれまでと同様である。

C重油の機器別消費割合をみると、主機関の燃料消費量の割合が約94%と高い。ほとんどは航走時の消費であるが停泊時にも約2%の消費がある。これはC6100の1%弱より若干多い。ディーゼル発電機、補助ボイラの航走時の燃料消費割合は非常に小さい。これはC6100と同様に排ガスエコマイザー、ターボ発電機と軸発電機を装備しているためである。停泊時は、補助ボイラの燃料消費割合が約5%と停泊時消費割合の大部分を占めている。

航走時間および停泊時間あたりの燃料消費量から算出した主機関、ディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を表-3.6.11(北米航路)と表-3.6.12(欧州航路)に示す。主機関の1航海平均負荷率は約64~65%MCRであり、常

表-3.6.8 コンテナ船C4700(欧州航路)輸送量の推定

Voyage	港名	Cargo Loaded on Ship(推定値)						航走距離		コンテナ輸送量				純貨物輸送量	
		TEUS	積載率	tons	積載率	tons/TEU	純貨物 t	mile	%	M・TEU-mile	%	M・t-mile	%	Mt-mile	%
Outward	Kobe	2,633	55.5%	27,996	44.4%	10.6	23,099	↓	-	↓	-	↓	-	↓	-
	Nagoya	2,652	55.9%	26,388	41.9%	10.0	21,456	175	1.6%	0.5	1.0%	4.9	1.3%	4.0	1.5%
	Tokyo	3,464	73.0%	26,535	42.1%	7.7	20,092	146	1.3%	0.4	0.8%	3.8	1.1%	3.1	1.1%
	Shimizu	3,609	76.1%	26,633	42.3%	7.4	19,919	99	0.9%	0.3	0.7%	2.6	0.7%	2.0	0.7%
	Singapore	4,566	96.3%	34,800	55.2%	7.6	26,307	2,799	24.9%	10.1	21.1%	74.6	20.4%	55.8	20.2%
	Southampton	-	-	-	-	-	-	8,017	71.4%	36.6	76.4%	278.0	76.5%	210.9	76.5%
	Average/Sub Total	4,263	89.9%	32,478	51.5%	7.6	24,548	11,235	100.0%	47.9	100.0%	364.9	100.0%	275.8	100.0%
Homeward	Southampton	3,155	66.5%	22,738	36.1%	7.2	16,869	↓	-	↓	-	↓	-	↓	-
	Rotterdam	1,676	35.3%	11,863	18.8%	7.1	8,745	215	1.9%	0.7	1.6%	4.9	1.0%	3.6	0.9%
	Hamburg	1,630	34.4%	16,726	26.5%	10.3	13,695	215	1.8%	0.4	0.8%	2.5	0.5%	1.8	0.5%
	Rotterdam	3,083	65.0%	35,315	56.0%	11.5	29,580	219	1.9%	0.4	0.8%	3.7	0.8%	3.0	0.7%
	Southampton	4,111	86.7%	47,524	75.4%	11.6	39,876	212	1.8%	0.7	1.5%	7.5	1.5%	6.3	1.6%
	Jeddah	4,281	90.3%	46,753	74.2%	10.9	38,790	3,696	31.8%	15.2	34.9%	175.7	36.3%	147.4	36.5%
	Colombo	4,119	86.8%	45,206	71.7%	11.0	37,545	2,791	24.0%	11.9	27.4%	130.5	26.9%	108.3	26.8%
	Port Kelang	3,772	79.5%	40,323	64.0%	10.7	33,306	1,374	11.8%	5.7	13.0%	62.1	12.8%	51.6	12.8%
	Singapore	3,172	66.9%	36,011	57.1%	11.4	30,111	179	1.5%	0.7	1.5%	7.2	1.5%	6.0	1.5%
	Kaohsiung	2,695	56.8%	29,487	46.8%	10.9	24,474	1,594	13.7%	5.1	11.6%	57.4	11.8%	48.0	11.9%
	Kobe	-	-	-	-	-	-	1,122	9.7%	3.0	6.9%	33.1	6.8%	27.5	6.8%
	Average/Sub Total	3,755	79.2%	41,719	66.2%	11.1	34,735	11,613	100.0%	43.6	100.0%	484.5	100.0%	403.4	100.0%
Round trip	Average/Total	4,005	84.4%	37,175	59.0%	9.3	29,726	22,848	-	91.5	-	849.4	-	679.2	-
満載数量		4,743	100%	63,014	100%										

表-3.6.9 コンテナ船C4700(欧州航路)のバラスト推定値

Voyage	港名	排水量		コンテナ積載重量		バラスト(推定値)	
		tons	%Δ	tons		tons	%Δ
Outward	Kobe	61,600	70.8%	27,996		9,568	11.0%
	Nagoya	61,458	70.6%	26,388		11,033	12.7%
	Tokyo	63,325	72.7%	26,535		12,754	14.7%
	Shimizu	64,554	74.2%	26,633		13,885	16.0%
	Singapore	68,857	79.1%	34,800		10,021	11.5%
	Southampton	-	-	-		-	-
	Average	67,528	77.6%	32,478		11,014	12.7%
Homeward	Southampton	56,643	65.1%	22,738		9,868	11.3%
	Rotterdam	51,670	59.4%	11,863		15,771	18.1%
	Hamburg	57,107	65.6%	16,726		16,345	18.8%
	Rotterdam	72,678	83.5%	35,315		13,327	15.3%
	Southampton	81,748	93.9%	47,524		10,188	11.7%
	Jeddah	80,407	92.4%	46,753		9,618	11.0%
	Colombo	78,892	90.6%	45,206		9,650	11.1%
	Port Kelang	76,355	87.7%	40,323		11,997	13.8%
	Singapore	71,512	82.2%	36,011		11,465	13.2%
	Kaohsiung	64,940	74.6%	29,487		11,417	13.1%
	Kobe	-	-	-		-	-
	Average	76,333	87.7%	41,719		10,578	12.2%
Round trip Average		72,003	82.7%	37,175		10,793	12.4%
軽荷重量(LW)		24,036	27.6%			-	
満載排水量(Δ)		87,050	100%			-	

表 - 3 . 6 . 1 0 コンテナ船 C 4 7 0 0 の 1 航海当たりの燃料油・潤滑油消費量

単位: ton

航路	機関・機器	C重油			ディーゼル油			潤滑油	
		一航海	航走時	停泊時	一航海	航走時	停泊時	シリンダ油	システム油
北米航路	Total	3,364.9 100.0%	3,119.5 92.7%	245.4 7.3%	14.0 100.0%	0.8 5.6%	13.2 94.4%	46.7	4.3
	Main Engine	3,171.7 94.3%	3,096.7 92.0%	75.1 2.2%	0.2 1.2%	0.0 0.0%	0.2 1.2%	46.7	4.0
	Diesel Generator	41.7 1.2%	22.7 0.7%	19.1 0.6%	13.9 98.8%	0.8 5.6%	13.1 93.2%	-	0.33
	Aux. Boiler	151.4 4.5%	0.1 0.0%	151.3 4.5%	-	-	-	-	-
欧州航路	Total	6,043.0 100.0%	5,571.8 92.2%	471.2 7.8%	21.5 100.0%	2.8 12.9%	18.7 87.1%	71.9	6.8
	Main Engine	5,674.3 93.9%	5,551.2 91.9%	123.1 2.0%	2.6 12.3%	0.0 0.0%	2.6 12.3%	71.9	6.7
	Diesel Generator	77.2 1.3%	17.3 0.3%	59.9 1.0%	18.8 87.7%	2.8 12.9%	16.1 74.7%	-	0.04
	Aux. Boiler	291.5 4.8%	3.3 0.1%	288.2 4.8%	-	-	-	-	-

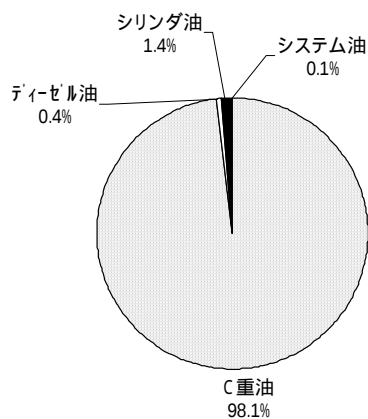


図 - 3 . 6 . 4 コンテナ船 C 4 7 0 0 (北米航路) の燃料油・潤滑油消費割合

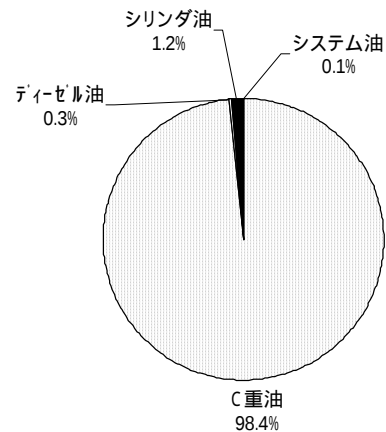


図 - 3 . 6 . 5 コンテナ船 C 4 7 0 0 (欧州航路) の燃料油・潤滑油消費割合

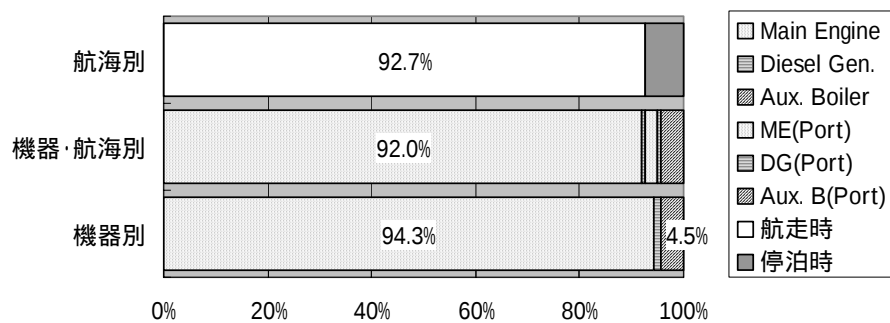


図 - 3 . 6 . 6 コンテナ船 C 4 7 0 0 (北米航路) のC重油消費割合

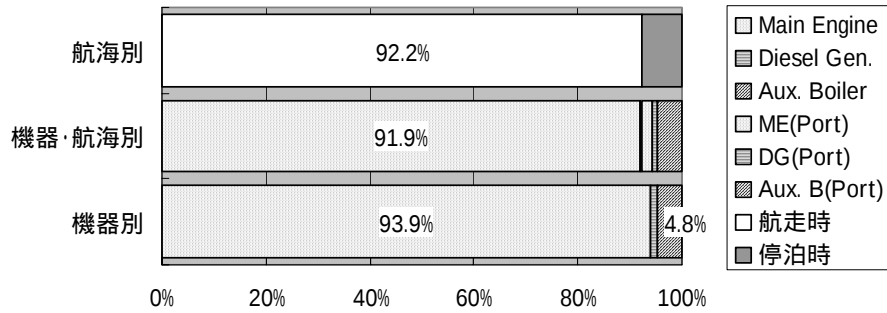


図 - 3 . 6 . 7 コンテナ船 C 4 7 0 0 (欧州航路) の C 重油消費割合

表 - 3 . 6 . 1 1 コンテナ船 C 4 7 0 0 (北米航路) のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	港 名	航走時			停泊時		
		主機関	D発電機	ボイラ	主機関	D発電機	ボイラ
		% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
Outward	Hong Kong	↓	↓	↓	4.3%	50.4%	73.1%
	Kaohsiung	44.4%	2.0%	0.0%	2.0%	27.3%	71.8%
	Los Angeles	73.9%	1.4%	0.0%	-	-	-
	Average	72.0%	1.4%	0.0%	2.9%	36.5%	72.3%
Homeward	Los Angeles	↓	↓	↓	1.0%	21.3%	56.6%
	Oakland	47.6%	3.8%	0.0%	5.0%	59.5%	75.1%
	Tokyo	61.3%	26.4%	0.0%	12.6%	152.8%	129.2%
	Nagoya	23.9%	6.8%	0.0%	24.2%	120.4%	87.6%
	Kobe	30.9%	9.1%	0.0%	8.9%	36.0%	66.6%
	Hong Kong	55.6%	1.8%	0.1%	-	-	-
	Average	56.6%	18.6%	0.0%	5.4%	50.5%	71.2%
Round trip Average		63.5%	10.9%	0.0%	4.7%	46.2%	71.6%

表 - 3 . 6 . 1 2 コンテナ船 C 4 7 0 0 (欧州航路) のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	港 名	航走時			停泊時		
		主機関	D発電機	ボイラ	主機関	D発電機	ボイラ
		% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
Outward	Kobe	↓	↓	↓	5.3%	50.7%	59.9%
	Nagoya	32.5%	8.9%	0.2%	7.9%	51.2%	74.0%
	Tokyo	30.1%	5.2%	0.2%	3.4%	29.5%	67.5%
	Shimizu	28.0%	13.8%	1.5%	1.7%	56.7%	69.1%
	Singapore	71.1%	1.5%	0.3%	2.8%	46.4%	63.7%
	Suez	67.9%	0.8%	0.1%	-	-	-
	Port Said	-	-	-	4.9%	65.4%	65.2%
	Southampton	72.0%	1.3%	0.5%	-	-	-
	Average	66.9%	1.7%	0.3%	4.3%	48.3%	64.2%
Homeward	Southampton	↓	↓	↓	5.3%	48.5%	65.5%
	Rotterdam	43.3%	7.5%	0.6%	2.7%	39.7%	73.9%
	Hamburg	37.3%	4.9%	0.5%	9.8%	36.9%	71.8%
	Rotterdam	39.4%	4.1%	0.2%	2.2%	38.1%	67.7%
	Southampton	46.3%	6.6%	1.0%	7.0%	66.8%	78.1%
	Port Said	75.4%	9.1%	0.1%	-	-	-
	Suez	-	-	-	4.7%	69.5%	63.5%
	Jeddah	66.5%	10.0%	0.6%	1.6%	67.0%	78.5%
	Colombo	70.5%	12.2%	0.3%	1.8%	87.3%	73.1%
	Port Kelang	56.8%	8.5%	0.4%	4.5%	99.6%	100.1%
	Singapore	39.7%	8.7%	0.9%	3.5%	88.3%	84.6%
	Kaohsiung	65.6%	6.7%	0.2%	1.8%	62.6%	68.9%
	Kobe	63.4%	6.8%	0.2%	-	-	-
	Average	64.2%	8.8%	0.3%	3.9%	60.2%	74.0%
Round trip Average		65.4%	5.4%	0.3%	4.0%	55.8%	70.4%

用出力負荷率85%MCRの約75～76%に相当する。ディーゼル発電機の平均負荷率は、航走時には北米航路も欧州航路も往航では2%以下と負荷率が低く、復航では約9～19%と負荷率が上昇する。停泊時は、約46～56%で運転され、ターボ発電機の出力低下を補っている。補助ボイラの平均負荷率は、航走時はほとんど使用されず、停泊時の負荷率が約70%である。以上の負荷率をC6100と比較すると、主機関とディーゼル発電機の負荷率が約10%程度低く、補助ボイラはほぼ同程度の負荷率で運転されている。

表-3.6.13に平均入渠間隔、平均入渠時間および入渠時のディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を示す。入渠間隔が2年半に延びているの除くとコンテナ船C6100とは同様の傾向である。

3.6.3 輸送量当たりの油類消費量

表-3.6.14にC4700の輸送量あたり油類（燃料油・潤滑油）消費量を示す。

C4700のコンテナ重量基準の輸送量あたり油類消費量は、C6100と比較すると1.02～1.04倍とわずかに増加している。一方、要目値から算出できる輸送量あたり燃料消費量のC6100に対する比は図-3.6.8に示すように1.05倍であるから、実績値が多少低目である。図-3.6.8にはC4700の要目値（載貨重量、満載航海速度、常用出力）のC6100に対する比も参考のため

めに示した。

C4700のコンテナ重量基準の輸送量あたり油類消費量は、要目値による輸送量あたり燃料消費量の推定値に対して、北米航路では約2.4倍、欧州航路では約1.6倍で、比率はC6100とほぼ同じである。

この対要目値比率に影響を及ぼす要因の影響係数を表-3.6.15（北米航路）と表-3.6.16（欧州航路）および図-3.6.9（北米航路）と図-3.6.10（欧州航路）に示す。

北米航路の場合、燃料消費量に関しては、主機関の1航海平均負荷率63.5%MCRが常用出力85%MCRの約75%に相当し、影響係数は0.7

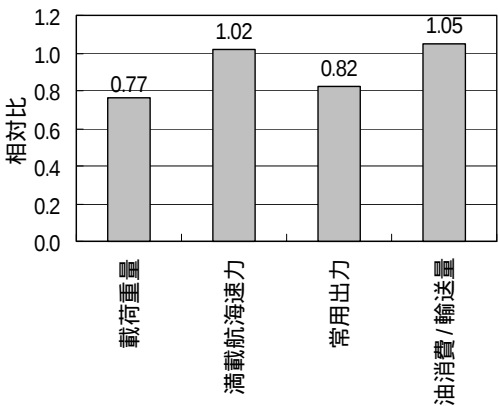


図-3.6.8 コンテナ船の要目性能相対比 (C4700/C6100)

表-3.6.13 コンテナ船C4700の入渠時間
および発電機・ボイラの平均負荷率

入渠回数	平均入渠間隔	平均入渠時間	発電機負荷率	補助ボイラ負荷率
	年	日	%MAX	%MAX
2	2.4	8.9	13.7%	12.3%

表-3.6.14 コンテナ船C4700の
輸送量あたり油類消費量

油類種別消費量	単位	北米航路		欧州航路	
C重油	ton	3,365	98.1%	6,043	98.4%
ディーゼル油	ton	14	0.4%	21	0.3%
シリンダ油	ton	47	1.4%	72	1.2%
システム油	ton	4	0.1%	7	0.1%
全油種合計消費量	ton	3,430	100.0%	6,143	100.0%
1航海輸送量					
正味重量輸送量	Mt-mile	245		679	
コンテナ輸送量(重量)	Mt-mile	331		849	
コンテナ輸送量(数量)	Mteu-mile	46.0		91.5	
輸送量あたり油類消費量					
実績値(正味重量)	g/t-mile	14.0		9.0	
実績値(コンテナ・重量)	g/t-mile	10.4		7.2	
要目値(コンテナ・重量)	g/t-mile	4.4		4.4	
実績値(コンテナ・数量)	g/teu-mile	74.5		67.1	
要目値(コンテナ・数量)	g/teu-mile	58.8		58.8	

5 (C6100は0.88)である。主機関の航走時における燃料消費量の全油類消費量に占める割合は約90%であり、全油類消費量に関して影響係数は1.11 (C6100は1.08)になる。1航海平均航走速度は満載航海速度の約88%で、影響係数は1.14 (C6100は1.01)になる。

以上の影響係数の積、すなわち単位航走距離あたり主機関燃料消費量の要目値による推定値に対する単位航走距離あたり全油類消費量の比は0.95 (C6100は0.96)である。油類消費量はC4700もC6100と同様に要目値による推定値より実績値の方が少ない。

輸送量に関しては、DW基準の積載率が約40% (C6100も約40%)と低いので影響係数は2.49になる。積載航海距離の影響係数は1である。

以上すべての影響係数の積は2.35で対要目値比率とほぼ等しく、C6100の北米航路の対要目値比率2.41と同程度である。

欧州航路の場合は、北米航路と燃料消費量に関しては同様の傾向であるが、DW基準の積載率が約59%と高いので影響係数の積は1.63と小さくなり、この係数はC6100と同じである。

TEU基準での輸送量あたり油類消費量に関しては、1航海平均積載率が北米航路は約75% (C6

100は約72%)、欧州航路は約84% (C6100は約79%)とDW基準の積載率より高く、しかもC6100と比較しても高いので、対要目値比率は、北米航路で約1.26倍 (C6100は約1.34倍)、欧州航路で約1.14倍 (C6100は約1.23倍)とDW基準より小さくなる。また、C6100と比較しても小さい。TEU基準の積載率は航路による差がDW基準より小さく、対要目値比率も航路による差がDW基準のものより小さい。これはC6100と同様である。

コンテナ船C6100とC4700においては、輸送量あたり油類消費量に影響を及ぼす要因の中では、重量基準あるいはTEU基準のいずれにおいても積載率の影響が大きい。またC4700の場合は、主機関の平均負荷率の影響も大きい。

3.7 自動車運搬船PCC4500

3.7.1 航海概要

本船は、日本を中心として運航されているが世界各地の自動車の製造地域から需要地域へ輸送しており、その航海状況は表-3.7.1に示すように多様である。

1航海の多くは複数港で積荷を行う集荷航海、その航海で最大積載状態になった最大積載航海、複数

表-3.6.15 輸送量あたり油類消費量への影響項目 (コンテナ船C4700 北米航路)

影響項目	影響係数	備考
主機負荷率	0.75	主機負荷率(%MCR) 63% 常用負荷率(%MCR) 85%
油類消費割合	1.11	油類消費割合 (主機燃料消費/全油類消費) 0.90
平均航走速度	1.14	平均航走速度(kt) 20.6 満載速度(kt) 23.5
積載率	2.49	積載率(%DW) 40%
積載航走距離	1.00	積載航走距離割合 1.00
総合影響	2.35	-

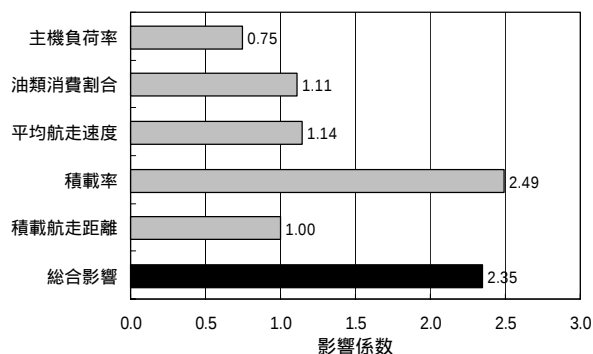


図-3.6.9 輸送量あたり油類消費量への影響係数 (コンテナ船C4700 北米航路)

表-3.6.16 輸送量あたり油類消費量への影響項目 (コンテナ船C4700 欧州航路)

影響項目	影響係数	備考
主機負荷率	0.77	主機負荷率(%MCR) 65% 常用負荷率(%MCR) 85%
油類消費割合	1.11	油類消費割合 (主機燃料消費/全油類消費) 0.90
平均航走速度	1.13	平均航走速度(kt) 20.8 満載速度(kt) 23.5
積載率	1.69	積載率(%DW) 59%
積載航走距離	1.00	積載航走距離割合 1.00
総合影響	1.63	-

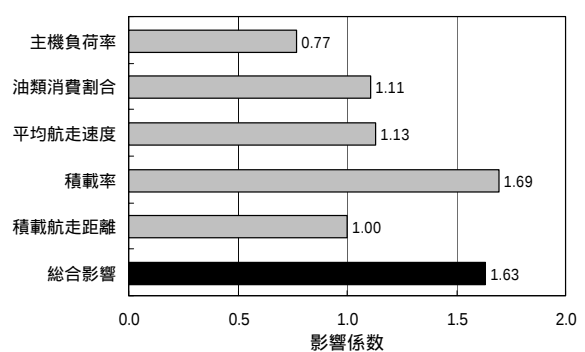


図-3.6.10 輸送量あたり油類消費量への影響係数 (コンテナ船C4700 欧州航路)

港で揚荷を行う揚荷航海、さらに次に積荷を行うところまで空荷状態のバラスト航海をもって1航海次となる。表-3.7.1では日本から豪州、ペルシャ湾・紅海、カリブ海方面などへの航海はこのような運航が行われている。一方、日本から欧州、北米向けの航海では揚げ荷地の欧州や北米で再び積荷を行って日本を含む揚げ荷地へ向けて新たな航海次につく場合があり、全ての航海が空荷状態のバラスト航海を含むわけではない。また、欧州と北米東海岸では双方においてそれぞれ揚荷と積荷を行う航海を繰り返す場合があり、表-3.7.1の欧州北米航路の9航海がそれである。

荷役のために寄港する回数は、集荷航海、揚荷航海ともに平均で約3.5港であるが、1港で積み、1港で揚げ荷を行う航海は非常に限られており、日本北米西海岸航路だけであった。豪州、カリブ海向

けの積荷地は韓国も含んでおり、集荷航海距離が全航海平均より長い。揚荷航海では、カリブ海航路の寄港数が15港と極端に多い場合もあった。

集荷、揚荷のための寄港数が多く、またそのための航走距離が長いのが自動車運搬船の特徴である。全航海平均の航走距離割合では、最大積載航海が約50%、集荷および揚荷航海が合わせて約22%あり、積載航海距離割合が約72%になる。これは撒積貨物船、タンカーなどと比較すると高い。

全航海平均の航走速度は、最大積載航海時に17.0ktであるが、積載航海平均では集荷航海と揚荷航海において航進時間の割合が低いので15.9ktと遅くなる。バラスト航海時は17.5ktと速く、1航海平均では16.4ktと満載航海速度18.8ktの87%になる。

全航海平均の航海時間に占める平均停泊時間の割

表-3.7.1 自動車運搬船PCC4500の平均航海状況

平均航海状況			航走距離 (Distance run OG)	航走時間 (Hours Under Weigh)	航進時間 (Hours Propelling)	航進時間 / 航走時間	航走速度 (OG /HUW)	停泊時間 (Hours in Port)	荷役寄 港数	平均寄 港時間
航路	航海数	航海モード	miles (%)	hr	hr	%	kt	hr	-	hr/port
全航海平均	59	集荷航海	837 7%	69	47	68%	12.2	105	3.5	29.8
		最大積載航海	5,693 50%	334	319	95%	17.0	7	-	-
		揚荷航海	1,631 14%	109	90	82%	15.0	53	3.6	15.0
		バラスト航海	3,247 28%	185	177	95%	17.5	2	-	-
		一航海合計・平均	11,408 100%	697	632	91%	16.4	167	-	-
日本 欧州 航路	日欧往路	集荷航海	347 3%	24	18	75%	14.4	124	2.3	55.2
		最大積載航海	10,594 88%	618	593	96%	17.1	-	-	-
		揚荷航海	1,071 9%	102	60	59%	10.5	80	6.3	12.7
		往路合計・平均	12,011 100%	745	671	90%	16.1	204	-	-
	日欧復路	集荷航海	2,356 20%	150	133	89%	15.7	83	4.0	20.7
		最大積載航海	9,498 79%	550	524	95%	17.3	-	-	-
		揚荷航海	180 1%	31	18	57%	5.8	29	3.5	8.2
		復路合計・平均	12,033 100%	731	675	92%	16.5	112	-	-
	復路バラスト航海	集荷航海	11,191 100%	596	566	95%	18.8	9	-	-
		バラスト航海	11,191 100%	596	566	95%	18.8	9	-	-
日本 北米 西海 岸 航 路	日米西海岸往路	集荷航海	51 1%	6	3	48%	8.1	82	1.4	57.4
		最大積載航海	4,471 82%	270	258	95%	16.5	-	-	-
		揚荷航海	787 14%	55	43	78%	14.3	33	2.0	16.4
		バラスト航海	168 3%	12	9	72%	13.7	-	-	-
	日米西海岸復路	往路合計・平均	5,477 100%	332	304	92%	16.5	115	-	-
		集荷航海	-	-	-	-	-	15	1.0	14.7
		最大積載航海	5,237 92%	307	295	96%	17.0	-	-	-
		揚荷航海	-	-	-	-	-	33	1.0	32.9
	復路バラスト航海	バラスト航海	449 8%	32	24	74%	14.0	-	-	-
		復路合計・平均	5,686 100%	339	319	94%	16.8	48	-	-
日本 豪州 航路	日豪往路	集荷航海	5,059 100%	309	291	94%	16.4	-	-	-
		最大積載航海	1,036 9%	91	56	61%	11.3	140	4.7	29.7
		揚荷航海	3,597 30%	204	195	96%	17.7	-	-	-
		往路合計・平均	3,108 26%	193	174	90%	16.1	58	4.3	13.6
	日豪復路	バラスト航海	4,293 36%	240	234	97%	17.9	-	-	-
		一航海合計・平均	12,034 100%	729	660	91%	16.5	198	-	-
		集荷航海	534 3%	61	32	53%	11.3	105	5.0	20.9
		最大積載航海	6,729 43%	383	372	97%	17.7	-	-	-
	日豪往復	揚荷航海	1,625 10%	134	113	84%	16.1	73	6.2	11.8
		バラスト航海	6,749 43%	381	367	96%	17.9	-	-	-
日本 ペル シャ 湾・ 紅海 航路	日ペ往路	一航海合計・平均	15,637 100%	959	884	92%	16.3	178	-	-
		集荷航海	956 5%	90	55	61%	10.6	181	7.0	25.8
		最大積載航海	8,139 39%	463	457	99%	17.6	0	-	-
		揚荷航海	2,526 12%	187	145	78%	13.5	196	15.0	13.1
	日ペ復路	バラスト航海	9,185 44%	525	508	97%	17.5	13	-	-
		一航海合計・平均	20,806 100%	1,264	1,165	92%	16.5	390	-	-
		集荷航海	591 16%	64	35	55%	9.3	90	3.8	23.9
		最大積載航海	3,167 84%	199	193	97%	16.0	-	-	-
	日ペ往復	往路合計・平均	3,757 100%	262	228	87%	14.3	90	-	-
		集荷航海	122 3%	20	7	35%	6.2	76	2.0	38.0
日本 カリ ブ 海 航 路	日カリ往路	最大積載航海	3,515 97%	208	193	93%	16.9	-	-	-
		一航海合計・平均	3,637 100%	228	200	88%	16.0	76	-	-
	日カリ復路	集荷航海	591 16%	64	35	55%	9.3	90	3.8	23.9
		最大積載航海	3,167 84%	199	193	97%	16.0	-	-	-
		往路合計・平均	3,757 100%	262	228	87%	14.3	90	-	-
		集荷航海	122 3%	20	7	35%	6.2	76	2.0	38.0
	日カリ往復	最大積載航海	3,515 97%	208	193	93%	16.9	-	-	-
		一航海合計・平均	3,637 100%	228	200	88%	16.0	76	-	-
日本 ペル シャ 湾・ 紅海 航路	日ペ往路	集荷航海	591 16%	64	35	55%	9.3	90	3.8	23.9
		最大積載航海	3,167 84%	199	193	97%	16.0	-	-	-
		往路合計・平均	3,757 100%	262	228	87%	14.3	90	-	-
		集荷航海	122 3%	20	7	35%	6.2	76	2.0	38.0
	日ペ往復	最大積載航海	3,515 97%	208	193	93%	16.9	-	-	-
		一航海合計・平均	3,637 100%	228	200	88%	16.0	76	-	-
	日ペ復路	集荷航海	591 16%	64	35	55%	9.3	90	3.8	23.9
		最大積載航海	3,167 84%	199	193	97%	16.0	-	-	-
		往路合計・平均	3,757 100%	262	228	87%	14.3	90	-	-
		集荷航海	122 3%	20	7	35%	6.2	76	2.0	38.0
日本 カリ ブ 海 航 路	日カリ往路	最大積載航海	3,515 97%	208	193	93%	16.9	-	-	-
		一航海合計・平均	3,637 100%	228	200	88%	16.0	76	-	-
	日カリ復路	集荷航海	591 16%	64	35	55%	9.3	90	3.8	23.9
		最大積載航海	3,167 84%	199	193	97%	16.0	-	-	-
		往路合計・平均	3,757 100%	262	228	87%	14.3	90	-	-
		集荷航海	122 3%	20	7	35%	6.2	76	2.0	38.0
	日カリ往復	最大積載航海	3,515 97%	208	193	93%	16.9	-	-	-
		一航海合計・平均	3,637 100%	228	200	88%	16.0	76	-	-
日本 ペル シャ 湾・ 紅海 航路	日ペ往路	集荷航海	591 16%	64	35	55%	9.3	90	3.8	23.9
		最大積載航海	3,167 84%	199	193	97%	16.0	-	-	-
		往路合計・平均	3,757 100%	262	228	87%	14.3	90	-	-
		集荷航海	122 3%	20	7	35%	6.2	76	2.0	38.0
	日ペ往復	最大積載航海	3,515 97%	208	193	93%	16.9	-	-	-
		一航海合計・平均	3,637 100%	228	200	88%	16.0	76	-	-
	日ペ復路	集荷航海	591 16%	64	35	55%	9.3	90	3.8	23.9
		最大積載航海	3,167 84%	199	193	97%	16.0	-	-	-
		往路合計・平均	3,757 100%	262	228	87%	14.3	90	-	-
		集荷航海	122 3%	20	7	35%	6.2	76	2.0	38.0

合は約20%で、他の船種と比較すると少ない方である。また1港あたりの停泊時間も約24時間と短い方である。

表-3.7.2に平均積載状況と輸送量を示す。全航海平均の積載率は、最大積載航海において台数(Unit)基準で約71%、重量(DW)基準で約27%、積載航海全体の積載率では、台数(Unit)基準で約62%、重量(DW)基準で約23%と撤積貨物船やVLCと比較すると非常に低い。

航路別に最大積載航海の積載率を見ると、日本起点の航路の往路では、台数基準で74%~96%と全航海平均より高い。一方、欧州北米航路では、31%~52%と平均より低い。しかし、重量基準の積載率ではどちらも全航海平均の積載率と大差はない。これは1台の平均重量が欧州北米航路では2.3t/台であるのに対して、日本起点の航路では1.2~1.49t/台と軽いことによる。

なお、表-3.7.2の欧州北米航路では、揚荷と積荷が同じ港で行われており、この両大陸沿岸の

航海部分はデータ整理上すべて集荷航海に割り当てた。そのため復路において最大積載航海の平均積載量が集荷航海のそれより低くなっている。

表-3.7.2には積載重量と平均排水量および軽荷重量から算出したバラスト量を合わせて示しているが、積載航海時とバラスト航海時とでバラスト量の変化はほとんど無い。

図-3.7.1に航走距離2,000mile以上の航海区間を有する各航海次の平均航走速度を示す。図では、最大積載航海時の航走速度を積載、バラスト航海時のそれを空荷として示した。図-3.7.2に各航海次における平均プロペラ回転数、図-3.7.3に各航海次における主機関平均負荷率を示す。図中に線形回帰線を示すが、線形回帰式、線形回帰式を計算した標本の平均および標準偏差の平均に対する割合を表-3.7.3に示す。また、線形回帰式から計算される100航海(本船の場合約10年間)あたりの変化率も示す。表-3.7.3の速度と平均プロペラ回転数および主機関平均負荷率の平

表-3.7.2 自動車運搬船PCC4500の平均輸送量と積載状況

平均航海状況		航走距離 (Distance run OG)	平均排水量		推定バラスト量		平均輸送量		平均積載台数		平均積載重量		平均ユニット 重量	
航路	航海モード	miles	ton	%Δ	ton	%Δ	MUnit-mile	MTon-mile	Units	%MAX	ton	%DW	t/unit	
全航海平均	集荷航海	837	21,241	74%	6,777	24%	1.8	2.5	2,193	49%	3,026	18%	1.38	
	最大積載航海	5,693	22,565	79%	6,538	23%	18.4	26.1	3,226	71%	4,590	27%	1.42	
	揚荷航海	1,631	20,233	71%	6,587	23%	2.5	3.6	1,554	34%	2,209	13%	1.42	
	バラスト航海	3,247	18,120	63%	6,683	23%	-	-	-	-	-	-	-	
	一航海合計・平均	11,408	20,881	73%	-	-	22.7	32.3	2,786	62%	3,954	23%	1.42	
日本 欧州 航路	日欧往路	集荷航海	347	19,481	68%	6,378	22%	0.5	0.6	1,547	34%	1,666	10%	1.08
		最大積載航海	10,594	23,187	81%	6,509	23%	45.9	55.5	4,336	96%	5,240	30%	1.21
		揚荷航海	1,071	21,133	74%	6,656	23%	2.7	3.3	2,505	55%	3,041	18%	1.21
		往路合計・平均	12,011	22,897	80%	-	-	49.1	59.3	4,092	91%	4,941	29%	1.21
	日欧復路	集荷航海	2,356	21,532	75%	6,933	24%	5.4	7.4	2,305	51%	3,162	18%	1.37
		最大積載航海	9,498	22,379	78%	6,673	23%	31.2	40.5	3,286	73%	4,269	25%	1.30
		揚荷航海	180	20,635	72%	7,681	27%	0.2	0.3	1,212	27%	1,516	9%	1.25
	復路合計・平均	12,033	22,187	78%	-	-	36.9	48.3	3,063	68%	4,011	23%	1.31	
	復路バラスト航海	11,191	16,785	59%	5,348	19%	-	-	-	-	-	-	-	
	日本 北米 西海岸 航路	日米西海岸往路	集荷航海	51	21,533	75%	6,228	22%	0.1	0.2	2,705	60%	3,867	23%
最大積載航海			4,471	23,544	82%	6,489	23%	17.0	25.1	3,811	84%	5,619	33%	1.47
揚荷航海			787	21,770	76%	6,510	23%	2.0	3.0	2,546	56%	3,823	22%	1.50
バラスト航海			168	18,721	65%	7,284	25%	-	-	-	-	-	-	-
日米西海岸復路		往路合計・平均	5,477	23,123	81%	-	-	19.2	28.3	3,613	80%	5,336	31%	1.48
		最大積載航海	5,237	19,343	68%	6,829	24%	4.6	5.6	879	19%	1,077	6%	1.22
		バラスト航海	449	17,998	63%	6,561	23%	-	-	-	-	-	-	-
復路合計・平均		5,686	19,237	67%	-	-	4.6	5.6	879	19%	1,077	6%	1.22	
復路バラスト航海		5,059	18,755	66%	7,318	26%	-	-	-	-	-	-	-	
日本豪州航路		集荷航海	1,036	20,295	71%	6,877	24%	1.7	2.1	1,600	35%	1,981	12%	1.24
	最大積載航海	3,597	22,332	78%	6,739	24%	12.0	14.9	3,349	74%	4,156	24%	1.24	
	揚荷航海	3,108	19,256	67%	6,336	22%	3.7	4.6	1,190	26%	1,483	9%	1.25	
	バラスト航海	4,293	17,831	62%	6,394	22%	-	-	-	-	-	-	-	
	一航海合計・平均	12,034	19,756	69%	-	-	17.4	21.6	2,248	50%	2,792	16%	1.24	
日本 ベルシャ 湾・紅海 航路	集荷航海	534	21,456	75%	6,457	23%	1.3	1.9	2,394	53%	3,562	21%	1.49	
	最大積載航海	6,729	22,033	77%	5,241	18%	24.2	36.0	3,591	80%	5,356	31%	1.49	
	揚荷航海	1,625	18,980	66%	6,539	23%	1.1	1.6	659	15%	1,004	6%	1.52	
	バラスト航海	6,749	17,618	62%	6,181	22%	-	-	-	-	-	-	-	
	一航海合計・平均	15,637	19,791	69%	-	-	26.5	39.6	2,983	66%	4,452	26%	1.49	
日本・カリブ海航路	集荷航海	956	19,283	67%	6,595	23%	1.1	1.2	1,122	25%	1,252	7%	1.12	
	最大積載航海	8,139	22,819	80%	6,698	23%	31.8	38.1	3,912	87%	4,683	27%	1.20	
	揚荷航海	2,526	21,443	75%	7,454	26%	5.4	6.4	2,132	47%	2,551	15%	1.20	
	バラスト航海	9,185	18,733	65%	7,296	25%	-	-	-	-	-	-	-	
	一航海合計・平均	20,806	20,685	72%	-	-	38.3	45.8	3,296	73%	3,938	23%	1.19	
欧州 北米 航路	欧州北米往路	集荷航海	591	22,357	78%	7,864	27%	0.8	1.8	1,422	31%	3,056	18%	2.15
		最大積載航海	3,167	23,861	83%	7,056	25%	7.4	17.0	2,340	52%	5,368	31%	2.29
		往路合計・平均	3,757	23,625	83%	-	-	8.2	18.8	2,195	49%	5,004	29%	2.28
	欧州北米復路	集荷航海	122	22,661	79%	6,896	24%	0.2	0.5	1,667	37%	4,327	25%	2.60
		最大積載航海	3,515	21,331	75%	6,688	23%	4.9	11.3	1,388	31%	3,207	19%	2.31
復路合計・平均	3,637	21,376	75%	-	-	5.1	11.8	1,397	31%	3,244	19%	2.32		

均値は、空荷時が積載時に比較してわずかに大きいが大差なく運航されているといって良い。平均速度と主機関平均負荷率は100航海で約10%程度の低減傾向を示す。

3.7.2 燃料消費量とエンジン負荷率

PCC4500の1航海あたり平均燃料油・潤滑油消費量を表-3.7.4に示す。燃料油・潤滑油の消費割合を図-3.7.4に、C重油の航海・機器別消費割合を図-3.7.5に示す。

全油類消費の割合は、これまでと同様でC重油が約97%、シリンダ油が約1%を占める。

C重油の消費割合をみると、航走時が約94%を

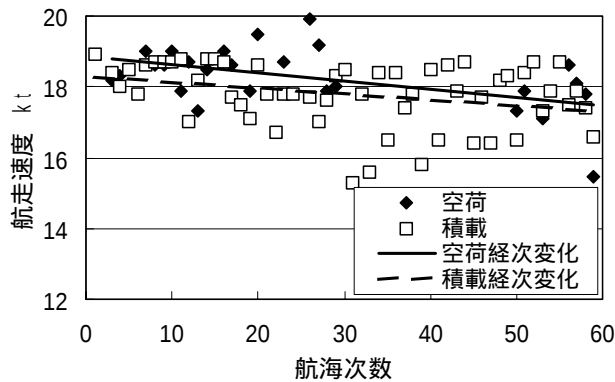


図-3.7.1 自動車船PCC4500の航走速度

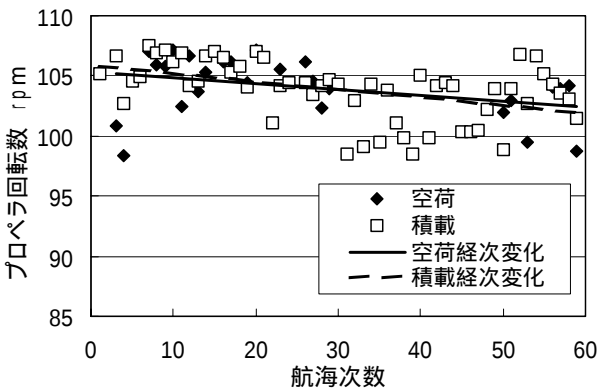


図-3.7.2 自動車船PCC4500のプロペラ回転数

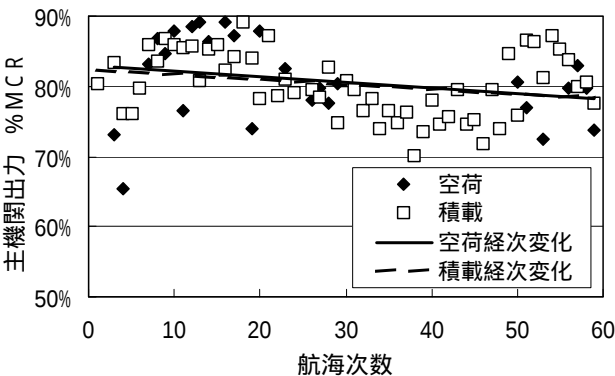


図-3.7.3 自動車船PCC4500の主機負荷率

表-3.7.3 自動車運搬船PCC4500の経次変化

	航海種別	線形回帰式	平均	標準偏差 / 平均	100航海 変化率
平均航走速度 (kt)	空荷	$y = -0.0231x + 18.874$	18.3	0.048	-12.2%
	積載	$y = -0.0160x + 18.274$	17.8	0.050	-8.8%
平均プロペラ回転数 (rpm)	空荷	$y = -0.0480x + 105.29$	104.0	0.024	-4.6%
	積載	$y = -0.0661x + 105.81$	103.8	0.024	-6.2%
平均主機負荷率 (%MCR)	空荷	$y = -0.08x + 83.04$	80.9	0.076	-9.6%
	積載	$y = -0.07x + 82.42$	80.2	0.057	-8.5%

表-3.7.4 自動車運搬船PCC4500の燃料油・潤滑油消費量

機関・機器	C重油			ディーゼル油			潤滑油	
	一航海	単位: ton		一航海			シリンダ油	システム油
		航走時	停泊時		航走時	停泊時		
Total	1,099.1 100.0%	1,029.1 93.6%	70.0 6.4%	15.0 100.0%	1.4 9.3%	13.6 90.7%	11.5	4.6
Main Engine	1,019.1 92.7%	982.9 89.4%	36.2 3.3%	0.5 3.1%	0.0 0.3%	0.4 2.9%	11.5	4.1
Diesel Generator	62.1 5.6%	45.8 4.2%	16.3 1.5%	14.5 96.9%	1.4 9.0%	13.2 87.9%	-	0.5
Aux. Boiler	17.9 1.6%	0.4 0.0%	17.5 1.6%	-	-	-	-	-

占め、そのうち主機関によるものが約90%、ディーゼル発電機が約4%で、補助ボイラは航走時にはほとんど使用されていない。この傾向はB140と似ている。しかし、停泊時の燃料消費割合をみると、主機関による燃料消費割合が約3%あり、前節までの船と異なって非常に多い。この主機関による港内消費量は停泊時消費量の約半分に相当する。停泊時消費量の残りの約3%は、ディーゼル発電機と補助ボイラがそれぞれ半分を占めている。

表-3.7.5に全航海平均の燃料消費量と航走時間から算出した主機関、ディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を示す。

主機関の平均負荷率は、最大積載航海時およびバラスト航海時には約80%MCRであるが、1航海平均では約75%MCRになり、常用出力負荷率の84%に相当する。

ディーゼル発電機は航走時に単機定格出力の約40%、停泊時に約100%で運転されている。本船のディーゼル発電機の搭載容量は、主機関容量に対する割合(図-2.2参照)で見ると他の船種に比較して大きい。このことを考慮すると、ディーゼル発電機はよく利用されていると考えられ、電力の主な需要は庫内換気用ファンの駆動動力が考えられる。

補助ボイラは航走時にはほとんど使用されないが、停泊時は約90%とほぼ定格で運転されている。

表-3.7.5に平均入渠間隔、平均入渠時間および入渠時のディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を示す。なお本船は2回入渠しているが、入渠時間と燃料消費量のデータがあるのは1回だけであったので、表-3.7.5の平均負荷率は入渠1回のものである。

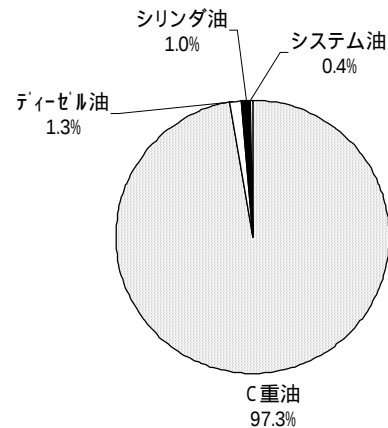


図-3.7.4 自動車船PCC4500の燃料油・潤滑油消費割合

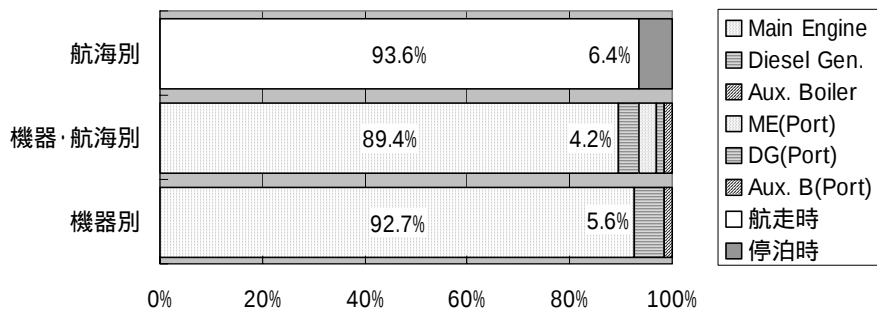


図-3.7.5 自動車船PCC4500のC重油消費割合

表-3.7.5 自動車運搬船PCC4500のエンジン・ボイラの平均負荷率

航海モード	全航海平均の平均負荷率					
	航走時			停泊時		
	主機関	D発電機	補助ボイラ	主機関	D発電機	補助ボイラ
	% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
集荷航海	57%	28%	0%	11%	94%	87%
最大積載航海	79%	41%	0%	10%	117%	107%
揚荷航海	68%	35%	0%	14%	121%	95%
バラスト航海	80%	41%	1%	-	-	-
一航海平均	75%	39%	0%	12%	103%	91%

表-3.7.6 自動車運搬船PCC4500の入渠時間および発電機・ボイラの平均負荷率

入渠回数 (内データ有回数)	平均入渠間隔 年	平均入渠時間 日	発電機負荷率 % MAX	補助ボイラ負荷率 % MAX
2 (1)	2.5	8.9	16.8%	32.6%

3.7.3 輸送量当たりの油類消費量

表 - 3.7.7 に自動車運搬船 P C C 4 5 0 0 の輸送量あたり油類消費量を示す。本船の輸送量（重量基準）あたり油類消費量は他の船種のそれに比較して 3 ～ 2 0 倍とかなり大きい。輸送量あたり油類消費量の実績値は、要目値による輸送量あたり燃料消費量の推定値に対して、重量基準で約 6.7 倍、台数基準で 2.5 倍である。

この対要目値比率に影響を及ぼす要因の影響係数を、重量基準輸送量に関しては表 - 3.7.8 と図

表 - 3.7.7 自動車船 P C C 4 5 0 0 の輸送量あたり油類消費量

消費油類	単位	平均消費量	
C 重油	ton	1,099	97.3%
ディーゼル油	ton	15	1.3%
Cylinder Oil	ton	11	1.0%
System Oil	ton	5	0.4%
合計消費量	ton	1,130	100.0%
1 航海輸送量			
輸送量(重量)	Mt-mile	32	
輸送量(数量)	Munit-mile	22.7	
輸送量あたり油類消費量			
実績値(重量)	g/t-mile	35.0	
要目値(重量)	g/t-mile	5.2	
実績値(数量)	Munit-mile	49.7	
要目値(数量)	Munit-mile	19.8	

表 - 3.7.8 輸送量（重量）あたり油類消費量への影響項目（P C C 4 5 0 0）

影響項目	影響係数	備 考	
主機負荷率	0.84	主機負荷率 (% M C R)	75%
		常用負荷率 (% M C R)	90%
油類消費割合	1.15	油類消費割合 (主機燃料消費 / 全油類消費)	0.87
平均航走速度	1.15	平均航走速度 (k t)	16.4
		満載速度 (k t)	18.8
積載率	4.35	積載率 (% D W)	23%
積載航走距離	1.39	積載航走距離割合	0.72
総合影響	6.66	-	

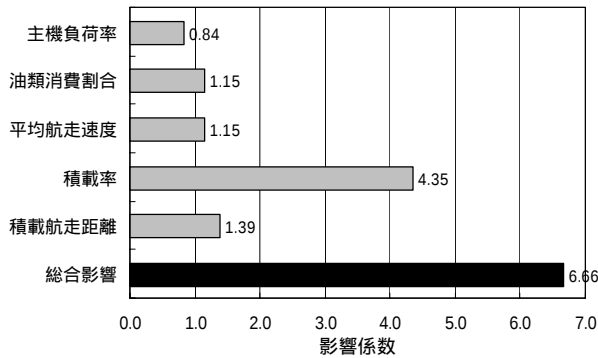


図 - 3.7.6 輸送量（重量）あたり油類消費量への影響係数（P C C 4 5 0 0）

- 3.7.6 に示し、台数基準輸送量に関しては表 - 3.7.9 と図 - 3.7.7 に示す。

燃料消費量に関しては、主機関の平均負荷率が 7 7 % M C R と常用出力 9 0 % M C R より低いので、影響係数は 0.8 4 である。主機関の航走時における燃料消費量の全油類消費量に占める割合は 8 7 % であり、全油類消費量に関して影響係数は 1.1 5 になる。1 航海平均航走速度 1 6.4 k t は満載航海速度 1 8.8 k t の 8 7 % であり、影響係数は 1.1 5 である。以上の影響係数の積、すなわち要目値による単位航走距離あたり主機関燃料消費量の推定値に対する単位航走距離あたり全油類消費量の比は 1.1 1 である。

輸送量に関しては、重量基準の積載率が約 2 3 % と低いので影響係数は 4.3 4 になる。積載航海距離割合が約 7 2 % なので影響係数は 1.3 9 である。以上すべての影響係数の積は 6.6 6 で対要目値比率とほぼ等しい。

台数基準では、積載率は約 6 2 % で、その影響係数は 1.6 1 である。すべての影響係数の積は 2.4 8 となり対要目値比率とほぼ等しい。

重量基準の積載率が前節までの船種と比較して最小であり、積載率が輸送量あたり油類消費量に大きな影響を及ぼしている。

表 - 3.7.9 輸送量（数量）あたり油類消費量への影響項目（P C C 4 5 0 0）

影響項目	影響係数	備 考	
主機負荷率	0.84	主機負荷率 (% M C R)	75%
		常用負荷率 (% M C R)	90%
油類消費割合	1.15	油類消費割合 (主機燃料消費 / 全油類消費)	0.87
平均航走速度	1.15	平均航走速度 (k t)	16.4
		満載速度 (k t)	18.8
積載率	1.61	積載率 (% 台数)	62%
積載航走距離	1.39	積載航走距離割合	0.72
総合影響	2.48	-	

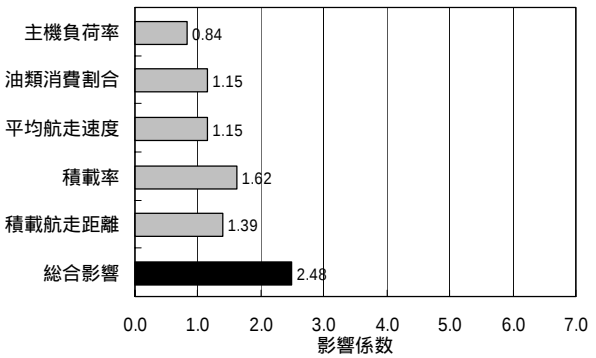


図 - 3.7.7 輸送量（数量）あたり油類消費量への影響係数（P C C 4 5 0 0）

3.8 LNG船LNG127

3.8.1 航海概要

LNG127は、インドネシアのパダック（ボンタン港）から日本各地へLNGを輸送する。全航海平均の航海状況を表-3.8.1に示す。

平均航海距離は全航海平均では片道約2,500 mileである。揚荷地は表-3.8.2に示す5カ所で、それぞれの平均航海距離と航海数を表に示した。各揚荷地への航海距離はほとんどの航海次でほぼ同じ距離を示し、その平均航海距離を算出した航海数は括弧付き数字で示した。各航路の中で平均航海距離よりも約10%前後長い航海距離を示す航海次が全体の約10%程度あり、その航海距離の例をDetourとして表-3.8.2に示した。

航海時間については、本船のアブストラクトログには前節までに記した航走時間の記録は無く、航進（Propelling）、漂流（Drifting）、港内（in Port）の3分類で記録されている。本節においても航海時間をこの3分類で整理した。

全航海平均の航海時間は、往航と復航ともにおおよそ航進時間7日、港内滞在時間1日で運航され、往航では漂流を1日行っている。漂流は入港時間調

整のためにしばしば行われており、2航海に1回の割合である。漂流を含めて停泊時間は航海時間の約18%で、T260と同程度に停泊時間割合が低い。

平均航進速度は、往航は15.3kt、復航は15.8ktで積載航海である復航の方が往航より約3%速い。これは前節までの船種と傾向が異なるが、LNG127の運航の特徴については後で別途述べる。1航海平均では15.6ktで満載航海速度19.3ktの約80%である。

LNGのタンク積み付け量はアブストラクトログには記載されていないが、全航海において満載状態で輸送されるので、タンク容積の98%まで積載されるものとした。積載重量算出のための液密度は、表-3.8.3に示すインドネシアのLNGガス組成の例⁴⁾に基づき、-160における液密度を文献⁴⁾の方法により推定した。重量基準の積載率が87%DWと低いが、推定した液密度が設計載貨重量によるものよりも小さく、見かけ上低くなっている。

表-3.8.4に全航海平均排水量と軽荷重量LWおよび上で算出したLNG積載重量から推定したバラスト量を示す。空荷航海時には満載排水量の約40%のバラストを積んで航海している。

表-3.8.1 LNG127の平均航海概要

航 海	航海距離 (Distance run OG)	航進時間 (Hours Propelling)	航進速度 (O G /HP)	漂流時間 (Drifting)	停泊時間 (Hours in Port)	航海時間 合計	平均排水量		平均貨物積載量			輸送量	備考	
	miles	h r	kt	h r	h r	h r	ton	% (Δ)	% (m ³)	ton	% (DW)	Mt-mile	漂流頻度	1回平均 漂流時間 (h r)
往 航	2,513	164.2	15.3	26.2	20.3	210.7	69,703	72%	-	-	-	-	47%	56.1
復 航	2,490	157.5	15.8	0.1	24.7	182.4	91,736	94%	98%	58,562	87%	145.8	1.6%	7.3
1航海	5,003	321.7	15.6	26.4	45.0	393.1	-	-	-	-	-	-	-	-

表-3.8.2 LNG揚荷場所と平均航海距離

揚荷地	航海数	平均航海距離		Detour時距離	
		mile	(航海数)	mile	
大阪	72	2,449	(63)	2,539	2,653
姫路	13	2,499	(12)	2,839	-
知多	5	2,517	(5)	-	-
袖ヶ浦	30	2,575	(27)	2,642	2,722
扇島	2	2,591	(2)	-	-

表-3.8.3 LNGのガス組成例

成分	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	iC_4H_{10}	nC_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2
MOL%	89.55	5.57	3.30	0.73	0.77	0.04	0.03

表-3.8.4 LNG127のバラスト推定値

	平均排水量		積載貨物重量		バラスト(推定値)	
	ton	%(Δ)	ton	%(Δ)	ton	%(Δ)
積載航海	91,736	94%	58,562	60%	3,266	3%
空荷航海	69,703	72%	0%	0%	39,795	41%
軽荷重量(LW)	29,908	31%			-	
満載排水量(Δ)	97,462	100%			-	

各航海次の航海時間を図 - 3 . 8 . 1 (往航) と図 - 3 . 8 . 2 (復航) に示す。航海時間は両図を比較してすぐわかるように、復航がほぼ一定しているのに対して往航はかなり幅がある。復航が 6 ~ 7 日の航進時間で漂流がほとんど無いのに対して、往航は 6 ~ 8 日の航進時間、漂流が時には 1 週間程度行われるなど航海時間に幅がある。航進時間については、表 - 3 . 8 . 5 に示すように往航、復航ともにおよそ 3 つのグループに分けられる。それぞれの平均航進時間の差は約 1 日の差である。往航は第 2 のグループの航海が最も多く、復航は第 1 の航進時間の短いグループの航海が最も多い。

表 - 3 . 8 . 5 L N G 1 2 7 の航進時間

	航海数	航進時間 (hr)		
		平均	MIN	MAX
往航 (全平均)	122	164.2	140.2	208.9
往航 1グループ	27	142.7	140.2	144.9
往航 2グループ	81	166.8	150.3	179.9
往航 3グループ	14	189.9	183.7	208.9
復航 (全平均)	122	157.5	141.4	201.3
復航 1グループ	89	150.8	141.4	160.2
復航 2グループ	31	174.0	161.8	178.2
復航 3グループ	2	200.3	199.3	201.3

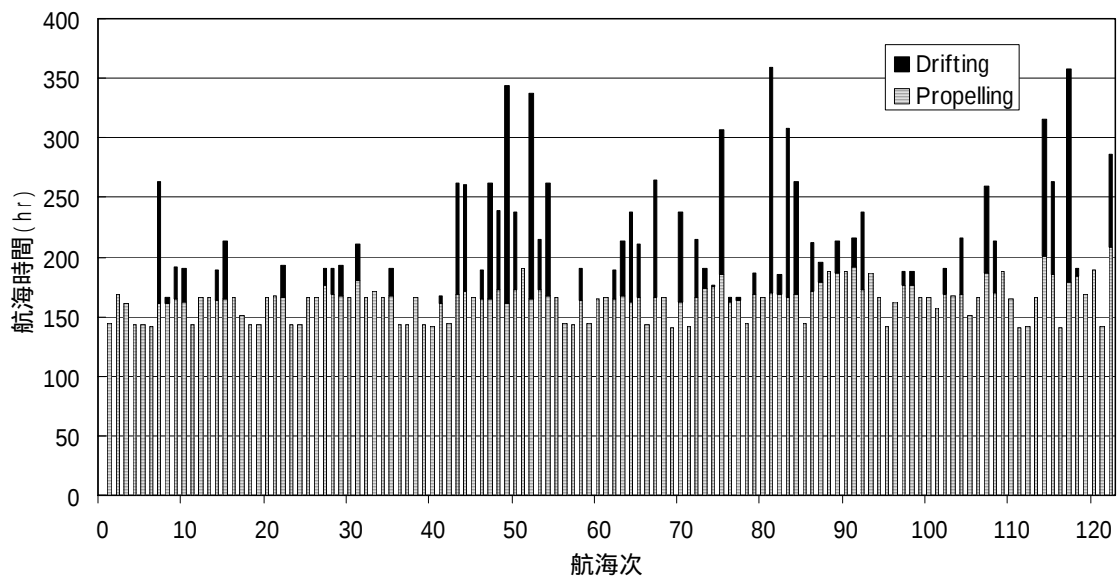


図 - 3 . 8 . 1 L N G 1 2 7 の航海時間 (往航)

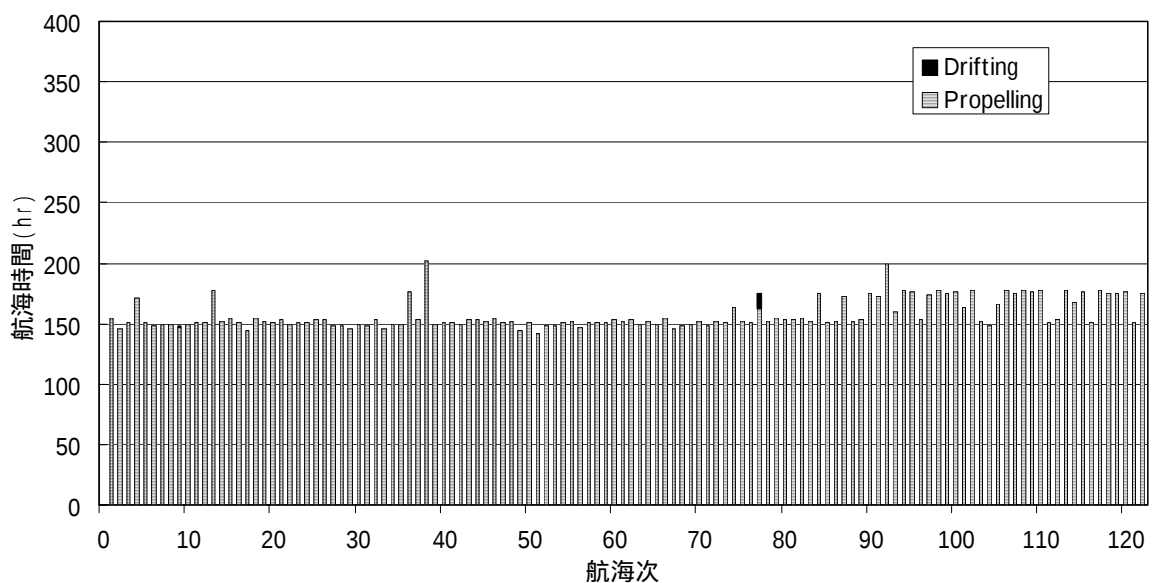


図 - 3 . 8 . 2 L N G 1 2 7 の航海時間 (復航)

航進時間が3つのグループに分かれるのは積荷地と揚荷地の荷役時間に関係があると考えられる。そこで積荷地と揚荷地の出入港時刻、停泊時間を図 - 3.8.3 (ボンタン港)、図 - 3.8.4 (日本) に示す。また、平均出入港時刻と停泊時間を表 - 3.8.6 に示す。表 - 3.8.6 の抽出航海は出入港時刻と停泊時間が大きく異なる約10%の航海を除いた航海で、それらの平均を示している。平均的な出入港時刻は、おおまかには積荷地で午前8時に入

港し、午前3時に出港する。揚荷地で午前11時に入港し、午前9時に出港する。停泊時間は積荷地で約20時間、揚荷地で約24時間であり、ほぼ一定している。積荷地の停泊時間が1日を越えるのは、処女航海とドック直後の航海だけであり、タンク冷却時間が関係していると考えられる。ほとんどの出入港が計画的に行われており、航進時間がおおよそ1日単位で変化し、航進時間がグループ分けできる理由と考えられる。

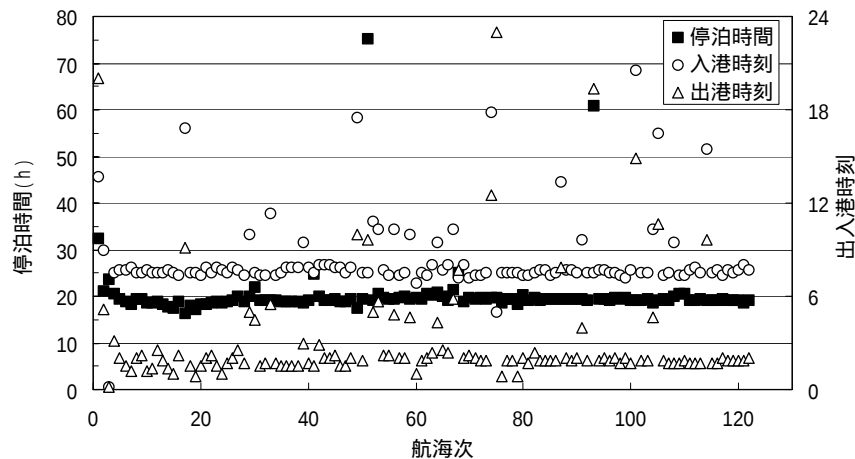


図 - 3.8.3 LNG 127 の停泊時間、出入港時刻 (ボンタン港)

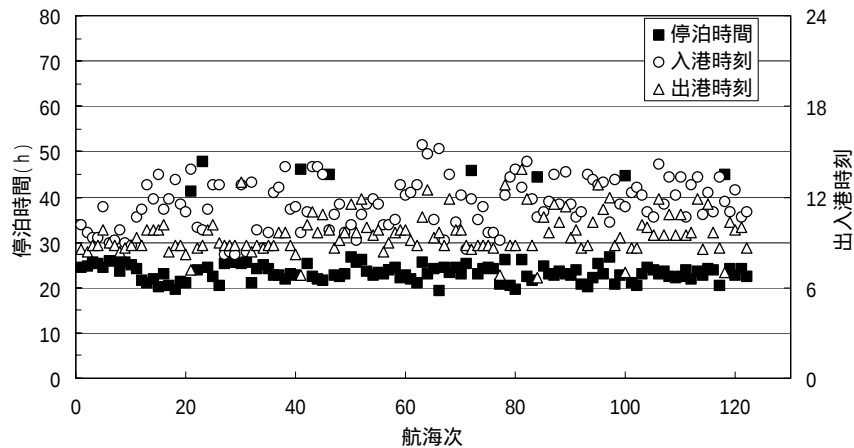


図 - 3.8.4 LNG 127 の停泊時間、出入港時刻 (日本)

表 - 3.8.6 LNG 127 の港内滞在時間と平均出入港時刻

		平均 (全122航海)	抽出航海の平均			
			抽出航海数	平均	MIN	MAX
BONTANG	入港時刻	8:20	113	7:49	5:00	11:20
	出港時刻	3:12	110	2:08	0:10	5:50
	港内時間	20.3	119	19.4	16.3	25.1
日本	入港時刻	11:29	117	11:21	8:10	14:00
	出港時刻	9:33	117	9:24	6:40	12:00
	港内時間	24.7	114	23.3	19.5	26.9

航進速度の経年的な傾向を見るために航海距離と航進時間から算出した各航海次の平均航進速度を図 - 3 . 8 . 5 に示す。図で概ね見られるように、往航の平均速度は、速いグループと遅いグループの 2 つに分かれる。また、復航の平均速度は 2 度目の入渠後である 93 航海次以降はそれまでより減速して航海をしている。そこで速度の高い航海次グループ、すなわち往航の平均速度 16 k t 以上の 32 航海および復航の 92 航海次までの航進速度を選択して線形回帰線を図中に示した。また、線形回帰式、線形回帰式を計算した標本の平均および標準偏差の平均に対する割合を表 - 3 . 8 . 7 に示す。線形回帰式から計算される 100 航海（本船の場合約 5 年間）あたりの変化率も示す。

往航すなわちバラスト航海時の平均速度が復航すなわち積載航海時の平均速度より約 7 % 早い。100 航海あたりの変化率は往航がわずかにプラス、復航がマイナスで航進速度の経年的な低下傾向は明瞭ではない。

図 - 3 . 8 . 6 に各航海次における平均プロペラ回転数、図 - 3 . 8 . 7 に各航海次における主ボイラ平均負荷率を示す。航進速度と同じ航海次に対して線形回帰線を図中に示し、線形回帰式などを表 - 3 . 8 . 7 に示す。

平均プロペラ回転数は往航と復航であまり差がない。経年的変化はわずかにプラスであるが小さい。主ボイラ平均負荷率は復航が往航より約 7 % 高い。100 航海あたりの変化率は、往航、復航いずれも + 10 % 以上で高負荷率化の傾向を示す。

3 . 8 . 2 燃料消費量とボイラ負荷率

表 - 3 . 8 . 8 に 1 航海平均燃料消費量、図 - 3 . 8 . 8 に航海別・燃料種別燃料消費割合を示す。本船は、燃料油（F O）と積載貨物 L N G の B O G（ボイルオフガス）を併用しているが、アブストラクトログでは B O G の消費量を燃料の発熱量で換算した等価な燃料油消費量として記録している。表 - 3 . 8 . 8 の B O G の消費量も等価燃料油消費量である。換算係数は契約によって異なるようで、本船の場合

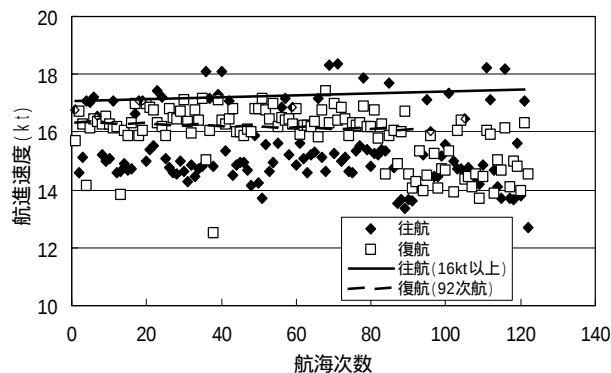


図 - 3 . 8 . 5 LNG 127 の平均航進速度

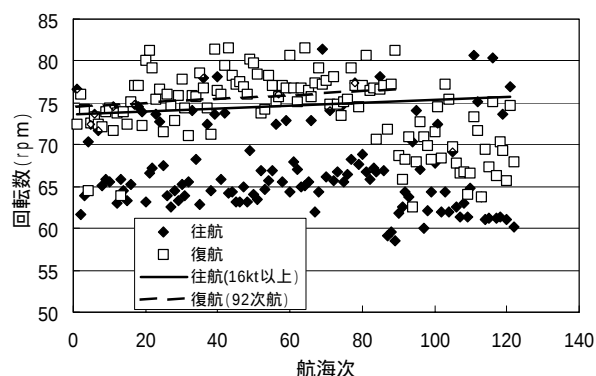


図 - 3 . 8 . 6 LNG 127 の平均プロペラ回転数

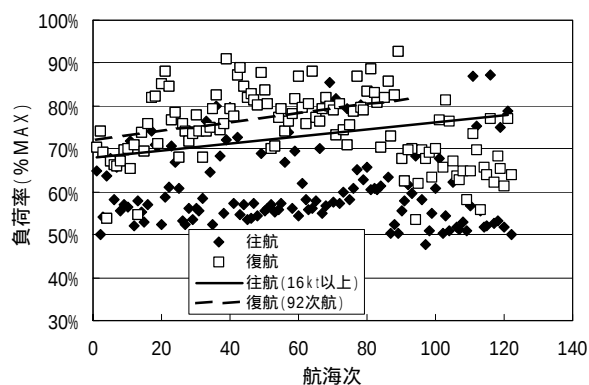


図 - 3 . 8 . 7 LNG 127 の平均主ボイラ負荷率

表 - 3 . 8 . 7 LNG 127 の経次変化

	航海種別	線形回帰式	平均	標準偏差 / 平均	100航海変化率
平均航進速度 (kt)	往航	$y = 0.0033x + 17.095$	17.3	0.033	1.9%
	復航	$y = -0.0027x + 16.324$	16.2	0.048	-1.7%
平均プロペラ回転数 (rpm)	往航	$y = 0.0185x + 73.557$	74.6	0.043	2.5%
	復航	$y = 0.0239x + 74.498$	75.6	0.046	3.2%
平均主機負荷率 (%MCR)	往航	$y = 0.08x + 67.83$	72.3	0.107	11.8%
	復航	$y = 0.1x + 72.13$	77.0	0.096	13.9%

注1) 往航は 16 kt 以上の航海次の線形回帰式。

注2) 復航は、92 航海次までの線形回帰式。

は1.17倍である。潤滑油については、本船の主機関は蒸気タービンであり、主機ディーゼルエンジンに比較すると消費は皆無と言ってよい。

1 航海平均燃料消費量の約1,500 tは、ほとんど主機関によるものであり、ディーゼル発電機はほとんど使用されていない。この燃料消費量は発熱量基準で積載貨物LNGの約2%に相当する。

1 航海平均燃料消費量における燃料消費割合(図-3.8.8参照)は、航進中の燃料消費が約93%を占め、その燃料油とBOGの消費割合はほぼ同じである。停泊時の燃料消費割合は約4%でその約2/3は燃料油(FO)である。漂流中の燃料消費は

約2.5%でその約3/4がBOGである。

全航海平均ではBOGと燃料油をほぼ同量消費する。しかし、各航海次ではBOGの消費割合はかなり変化する。その様子を図-3.8.9(往航)と図-3.8.10(復航)に示す。また、航進時、港内停泊時および漂流時の全航海平均BOG消費割合を図-3.8.11に示す。航進時のBOG消費割合は各航海次では約30%~約80%程度の範囲で変化するが、全航海平均では往航および復航ともにほぼ50%である。港内停泊時のBOG消費割合は、往航が約60%であるが、復航は約13%と小さい。漂流時は往航が約70%と高い。

表-3.8.8 LNG127の1航海平均燃料消費量

		単位: ton		
		航進	港内	漂流
往航	燃料油(FO)	341	11	9
	BOG	302	14	28
	ディーゼル油(DO)	-	-	0.4
復航	燃料油(FO)	375	33	0
	BOG	383	6	0
合計	FO + DO + BOG	1,401	65	37
	FO + DO	716	44	9
		BOG	685	20
				小計
				361
				344
				0.4
				408
				389
				1,503
				769
				734

注) BOGは発熱量(1.17倍)で換算したFO等価量

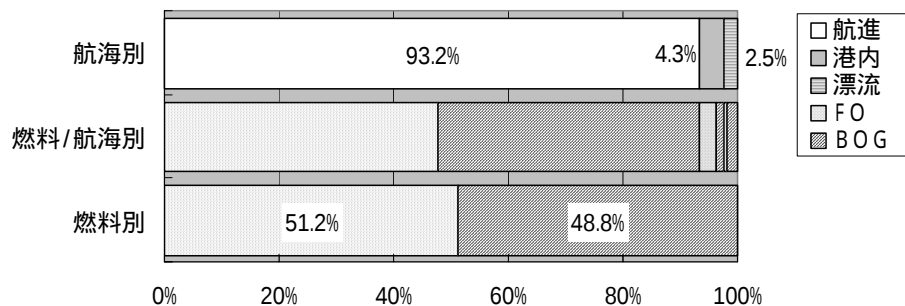


図-3.8.8 LNG127の燃料消費割合

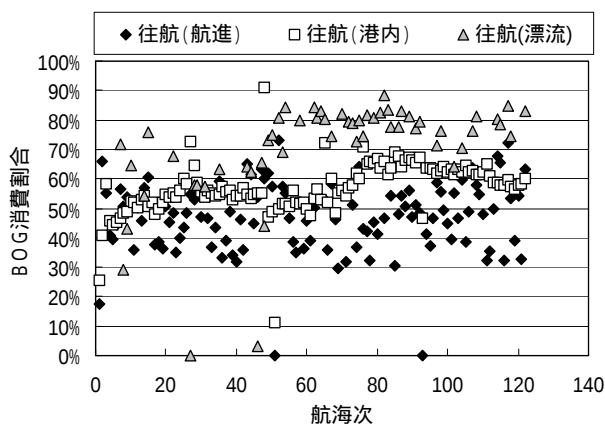


図-3.8.9 BOG消費割合(往航)

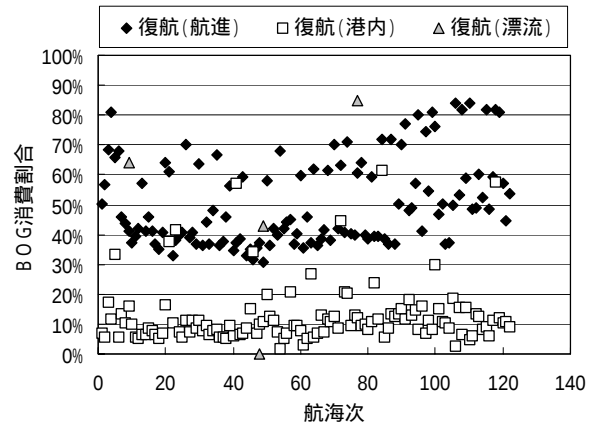


図-3.8.10 BOG消費割合(復航)

時間あたり燃料消費量から算出した各航海次の航進時、港内停泊時および漂流時における主ボイラ平均負荷率を図 - 3.8.12 (往航) と図 - 3.8.13 (復航) に示し、全航海平均の平均負荷率を表 - 3.8.9 に示す。平均負荷率は主機タービン連続最大出力時における燃料消費量に対する割合であるが、航進時および停泊時に対する平均負荷率であるので主ボイラ平均負荷率として表記した。

主ボイラ平均負荷率は、航進中は各航海次によっ

て約 50% ~ 90% と幅広く変動する。全航海平均では往航が約 60%、復航が約 75% となり、復航がやや高い。港内停泊時および漂流時は、往航が約 20% 程度であるが、復航は約 25% ~ 35% とやや高くなる。

表 - 3.8.10 に 1 航海平均の清水製造量と主ボイラへの供給量を示す。ボイラ水消費量は航進中の消費量が清水製造量の約 50% を占め、1 日当たりでは 25 t を消費する。

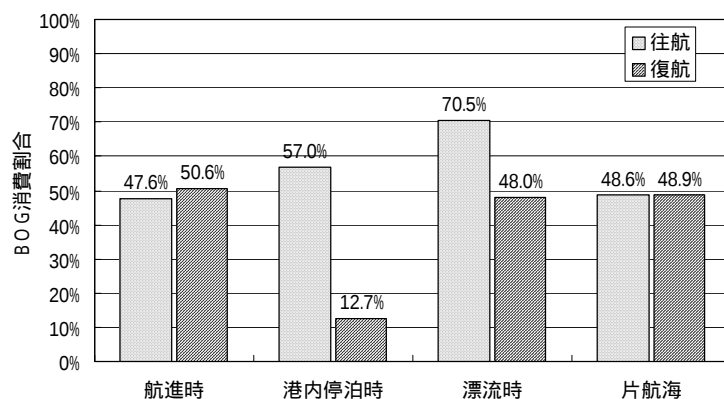


図 - 3.8.11 消費燃料中に占める BOG の平均消費割合 (発熱量基準)

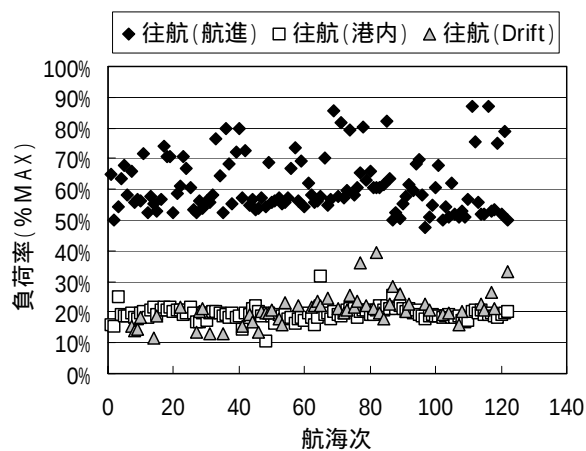


図 - 3.8.12 主ボイラ平均負荷率 (往航)

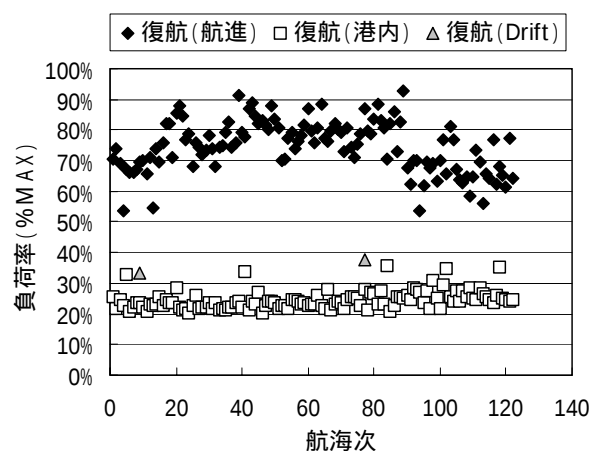


図 - 3.8.13 主ボイラ平均負荷率 (復航)

表 - 3.8.9 主ボイラ平均負荷率

	航進	港内	漂流
往航	61.0%	19.4%	20.8%
復航	74.5%	24.5%	35.6%

表 - 3.8.10 1 航海平均清水製造量・消費量

		清水製造量	デッキ供給	ボイラ供給		
				小計	航進中消費	停泊時消費
製造・消費量	t	676	297	378	336	41
対製造量割合	%	100%	44%	56%	50%	6%
平均1日消費量	t/d	-	-	-	25.0	13.9

表 - 3 . 8 . 1 1 に入渠時間および発電機とボイラの平均負荷率を示す。入渠回数は2回であるが、その平均的な入渠工程と燃料消費量を表 - 3 . 8 . 1 2 に示す。入渠工程は、オフハイアになってからドックまで回航し、ドリフティング中にガスパーズを行う。実質的な入渠と考えられる Lying は約2週間で、主ボイラも発電機も稼働しない無稼働状態の Lying が約3週間ある。入渠工程は回航から試運転（または出航待ちのための停船）まで含めると約7週間であり、他の船種に比較して入渠時間が非常に長い。

3 . 8 . 3 輸送量あたりの燃料消費量

LNG 127 の輸送量あたり燃料消費量を表 - 3 . 8 . 1 3 に示す。

重量基準の単位輸送量あたりの等価 F O 消費量は 10.3 g/t-mile で、要目値による輸送量あたり燃料消費量の約2倍である。この対要目値比率に影響を及ぼす要因の影響係数を表 - 3 . 8 . 1 4 および図 - 3 . 8 . 1 4 に示す。

燃料消費量に関しては、主ボイラの平均負荷率が常用出力（連続最大出力と同じ負荷率）の $67\% \text{ MCR}$ なので影響係数は 0.67 である。主ボイラの航進時における燃料消費量の全燃料消費量に対する

割合は 93% であり、油類消費量に関して影響係数は 1.07 になる。平均航走速度 15.6 kt は満載航海速度 19.3 kt の 81% で影響係数は 1.24 である。以上の影響係数の積、すなわち単位航走距離あたり主ボイラ燃料消費量の要目値による推定値に対する単位航走距離あたり全燃料消費量の比は 0.89 で、調査した船種の中で最小である。

輸送量に関しては、容積ではほぼ満載であるが、重量基準では見かけ上積載率が 87% と低く、影響係数は 1.15 である。積載航走距離割合は 0.5 であるからその影響係数は 2 である。

以上すべての影響係数の積は 2.06 で対要目値比率とほぼ等しい。なお容積基準では 1.83 になる。

表 - 3 . 8 . 1 4 輸送量あたり油類消費量への影響項目 (LNG 127)

影響項目	影響係数	備 考
主機負荷率	0.67	主機負荷率 (%MCR) 67% 常用負荷率 (%MCR) 100%
油類消費割合	1.07	油類消費割合 (主機燃料消費 / 全油類消費) 0.93
平均航走速度	1.24	平均航走速度 (kt) 15.6 満載速度 (kt) 19.3
積載率	1.15	積載率 (%DW) 87%
積載航走距離	2.00	積載航走距離割合 0.50
総合影響	2.06	-

表 - 3 . 8 . 1 3 LNG 輸送量あたり燃料消費量

載荷容積	127,550 m^3
積載率	98%
LNG 比重	468.5 kg/m^3
LNG 輸送重量	58,562 t
平均輸送距離	2,490 mile
輸送量(重量)	145.8 百万 t-mile
輸送量(容積)	311.2 百万 m^3 -mile
BOG 消費量	627.2 t
対 LNG 輸送量比	1.1%
等価 FO 総消費量	1,503 t
等価 FO 消費量/輸送量(重量)	10.3 g/t-mile
FO 消費量/輸送量(要目・重量)	5.0 g/t-mile
等価 FO 消費量/輸送量(容積)	$4.8 \text{ g/m}^3\text{-mile}$
FO 消費量/輸送量(要目・容積)	$2.6 \text{ g/m}^3\text{-mile}$

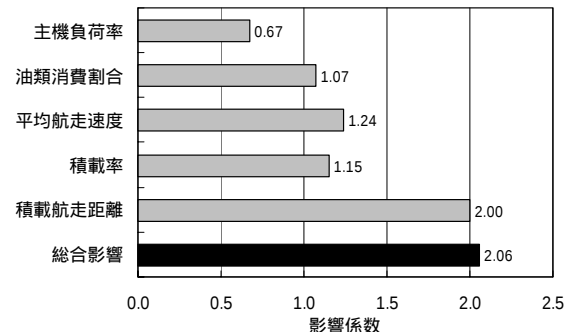


図 - 3 . 8 . 1 4 輸送量あたり油類消費量への影響係数 (LNG 127)

表 - 3 . 8 . 1 1 LNG 127 の入渠時間および発電機・ボイラの平均負荷率

入渠回数	平均入渠間隔	平均入渠時間	発電機負荷率	ボイラ負荷率
	年	日	% MAX	% MAX
2	2.1	13.4	9.8%	9.9%

表 - 3 . 8 . 1 2 LNG 127 の平均的な入渠工程と燃料消費量

工 程	時間		移動距離 mile (LOG)	燃料消費量 (ton)		
	hr	(day)		FO	BOG	DO
回航	48	(2.0)	647.5	113.5	96.9	0.2
Drifting (ガスパーズ)	42	(1.7)	-	38.8	35.0	0.0
Drifting	93	(3.9)	-	95.4	0.0	0.0
Lying	321	(13.4)	-	205.7	0.0	9.2
Lying (無稼働)	516	(21.5)	-	0.0	0.0	1.0
試運転 / 停船	130	(5.4)	28.0	117.2	0.0	0.9
合計	1,150	(47.9)	675.5	570.5	131.9	11.3

3.9 運航状況の船種による比較

以上の節において、8隻の運航状況を個別にみてきた。本節では各船の平均的運航状況を比較し、船種による運航状況の特徴をまとめる。

図-3.9.1に各船の積載航海と空荷航海の航走距離による割合を示す。撒積貨物船B91、B140、LNG船LNG127は積載航海と空荷航海の航走距離はほぼ等しく、コンテナ船C4700、C6100は全航海が積載航海である。タンカーと自動車運搬船(PCC)は複数港における積荷と揚荷を行う集荷航海と揚荷航海を積載航海に含めると積載航海の割合が高く、タンカーT96は57%、T240は52%、PCC4500は72%である。

図-3.9.2に各船の積載航海、空荷航海、停泊状態の時間による割合を示す。停泊時間の割合が大きいのが、撒積貨物船船B91、B140、タンカーT96で約30%である。コンテナ船C4700、C6100は1港当たりの停泊時間は1日程度と短い、寄港数が多いので停泊時間の割合が約25%を占める。T240、PCC4500、LNG127の停泊時間の割合は20%以下である。

図-3.9.3に各船の最大積載航海時と空荷航海時における軽荷重量(LW)、平均積載貨物重量、平均バラスト、平均排水量を満載排水量に対する割合として示す。B91、B140とT260の最大積載航海時の排水量は、ほぼ満載排水量である。T96は不定期船であり積載時の平均排水量が約80%と低い。これらの船は空荷時すなわちバラスト航海時の排水量が約45~54%で、積載時と空荷時の排水量の差が他の船種より大きい。コンテナ船2隻とPCC4500は積載時の排水量が約70~80%であるが、バラストも排水量の約10~23%積載している。LNG127の排水量は積載時約

90%、バラスト航海時約70%であり、全般に高い排水量で運航されている。PCC4500、LNG127、コンテナ船2隻は、軽荷重量の対排水量割合が26~40%で、撒積貨物船2隻とタンカー2隻より高い。

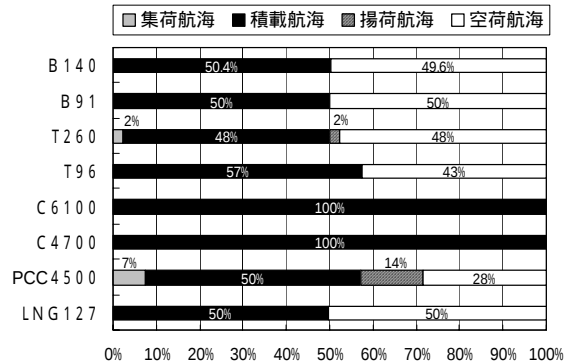


図-3.9.1 各船種の航海モードの航走距離割合による比較

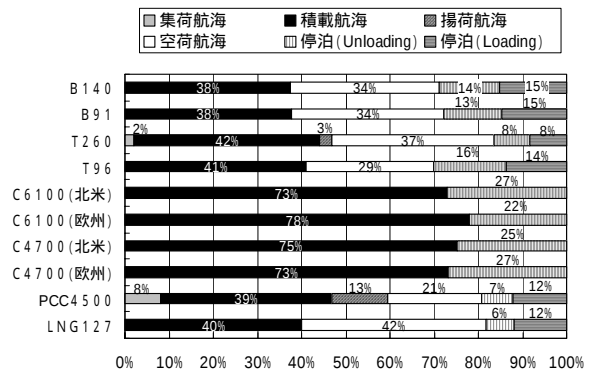


図-3.9.2 各船種の航海モードの航海時間割合による比較

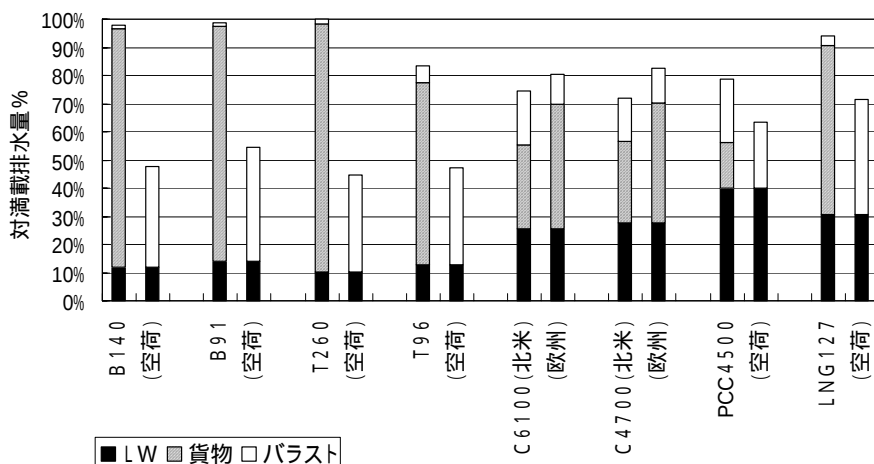


図-3.9.3 航海時平均排水量・貨物・バラストの対満載排水量百分率

図 - 3 . 9 . 4 に各船のDW重量基準の平均積載率を示す。B 9 1、B 1 4 0、T 2 6 0の積載率は、ほぼ満載であるが、T 9 6は不定期船でもあり積載率は約74%と下がる。コンテナ船は、欧州航路が約60%、北米航路が約40%である。自動車運搬船PCC4500はさらに低く約23%である。LNG127は、容積による積載率ではほぼ満載であるが、DW重量基準では約87%に下がる。

図 - 3 . 9 . 5 に各船の満載航海速度、積載時と空荷時の平均航走速度を示す。なお同図中、コンテナ船の平均航走速度は、北米航路を積載時として示し、欧州航路を空荷時として示して凡例を略記している。また、1航海平均航走速度の満載航海速度に対する比を図 - 3 . 9 . 6 に示す。

撒積貨物船B 9 1、B 1 4 0とタンカーT 9 6、T 2 6 0の満載航海速度は約14～15ktであるのに対して、PCC4500とLNG127は約19ktと約1.3倍、コンテナ船2隻は約23ktと約1.5倍の高速で設計されている。撒積貨物船2隻とタンカーT 2 4 0は最大積載時と空荷時の排水量の差が大きく、積載時の速度は空荷時の約87～90%に低下する。タンカーT 9 6のそれは約94%である。PCC4500の最大積載時の速度は空荷時の約97%であるが、積載時全体の平均速度は、集荷航海と揚荷航海の航走時間に占める航進時間の割合が小さいために積載航海全体では平均航走速度が低下し、空荷時の約90%に低下する。LNG127は、積載時の平均航走速度が空荷時より約3%大きい。これは他の船種と傾向が異なるが、空荷航海が荷役のために時間調整されて運航される航

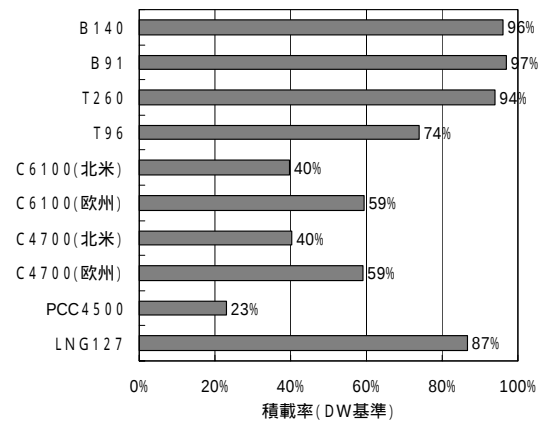


図 - 3 . 9 . 4 平均積載率 (DW重量基準)

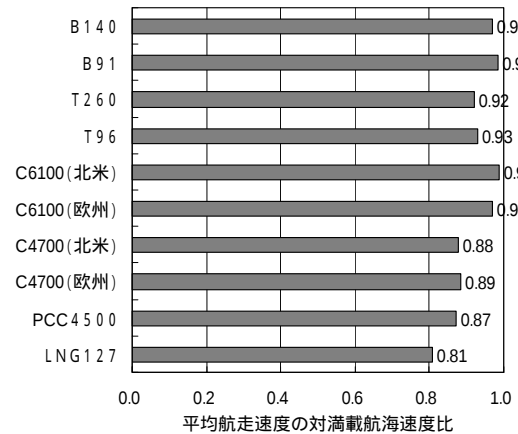


図 - 3 . 9 . 6 1航海平均航走速度の対満載航海速度比

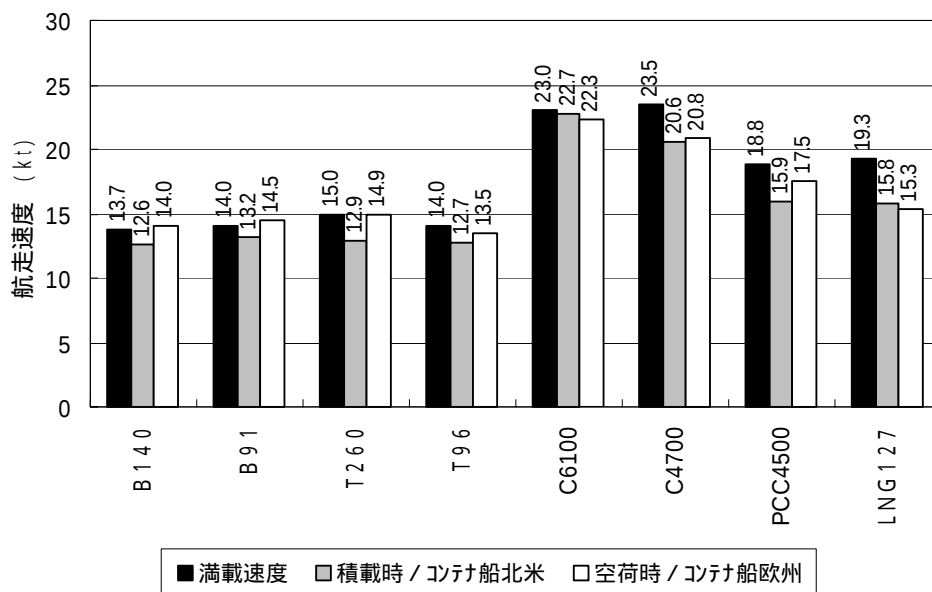


図 - 3 . 9 . 5 各船種の満載航海速度および積載時と空荷時の航走速度比較

海次数が多いために、結果としてこのような平均航走速度になっている。

1 航海平均航走速度を満載航海速度と比較すると（図 - 3.9.6 参照）撒積貨物船 2 隻とコンテナ船 C 6 1 0 0 は 9 7 ~ 9 9 % とほぼ満載航海速度に等しい。タンカー 2 隻は満載航海速度の 9 2 ~ 9 3 %、C 4 7 0 0 は 8 8 ~ 8 9 %、P C C 4 5 0 0 は約 8 7 % とおおよそ満載航海速度の 9 0 % 程度で運航されている。L N G 1 2 7 は約 8 1 % と他の船種に比べると一段と遅い平均速度で運航されている。

図 - 3.9.7 に各船の輸送量（重量基準）あたり油類消費量の実績値と要目値から算出できる輸送量あたり燃料消費量の推定値を示す。また、これら輸送量あたり油類消費量実績値の要目値による推定値に対する比を図 - 3.9.8 に示す。

輸送量あたり燃料消費量の要目値による推定値（図 - 3.9.7 参照）は、航走速度の遅いタンカー T 2 6 0 と撒積貨物船 B 1 4 0 が 0.81 ~ 0.92 g / t - mile と 1 g / t - mile 程度であるが、これらより小型のタンカー T 9 6 と撒積貨物船 B 9 1 が 1.11 ~ 1.32 g / t - mile と少し増大する。航走速度の速いコンテナ船 C 4 7 0 0 と C 6 1 0 0 で 4.21 ~ 4.43 g / t - mile、L N G 船 L N G 1 2 7 と自動車運搬船 P C C 4 5 0 0 で 4.98 ~ 5.21 g / t - mile と大きく増大する。

輸送量あたり油類消費量の実績値（図 - 3.9.7 参照）はタンカー T 2 6 0 が 1.7 g / t - mile と最少で、P C C 4 5 0 0 が 35.0 g / t - mile と最大である。これら輸送量あたり油類消費量実績値の対要目値比（図 - 3.9.8 参照）は、積載率が高い撒積貨物船 B 1 4 0、B 9 1 とタンカー T 2 6 0 および L N G 1 2 7 が 2.06 ~ 2.23 である。これらの実績値と要目値推定値との差には、積載航海距離割合が約 0.5 であることの影響

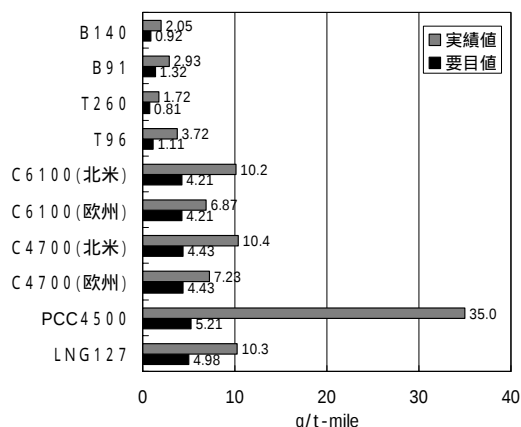


図 - 3.9.7 輸送量（重量基準）当たり油類消費量の実績値と要目値による推定値

が大きい。タンカー T 9 6 の対要目値比は 3.33 であるが、貨油加熱などのために補助ボイラの燃料消費割合が高いことと積載航海距離割合が約 0.5 であることの影響が大きい。コンテナ船 C 4 7 0 0 と C 6 1 0 0 の輸送量あたり油類消費量の実績値は両者ほとんど同じであるが、欧州航路と北米航路で差がある。これは航路によって積載率に差があるためである。対要目値比は 1.64 ~ 2.42 であるが、積載率が 40 ~ 59 % と低いことの影響が大きい。P C C 4 5 0 0 の対要目値比は 6.73 と非常に大きい、積載率が重量基準では 23 % と低いことの影響が大きい。

図 - 3.9.9 に各船の数量基準の積載率、すなわち、コンテナ船の T E U 基準、P C C 4 5 0 0 の台数基準、L N G 1 2 7 のタンク容積基準の積載率を示す。各船の数量基準の積載率は D W 重量基準の積載率より高く、コンテナ船 C 4 7 0 0 と C 6 1 0 0 の航路による積載率の差も D W 基準より小さい。

輸送量（数量基準）あたり油類消費量の実績値の対要目値比、すなわち要目値による輸送量あたり燃料消費量の推定値に対する比を図 - 3.9.10 に示す。数量基準の輸送量あたり油類消費量は、要目

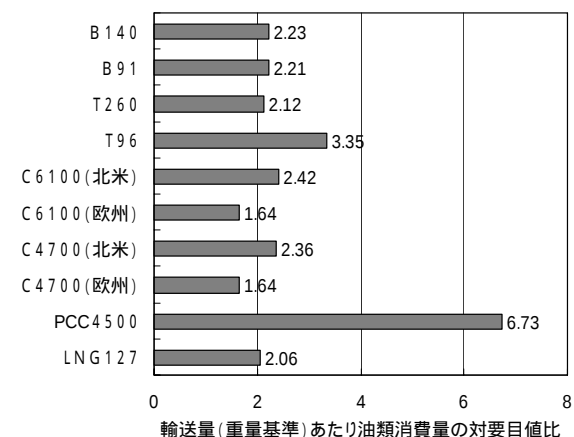


図 - 3.9.8 輸送量（重量基準）あたり油類消費量の実績値と要目値による推定値に対する比

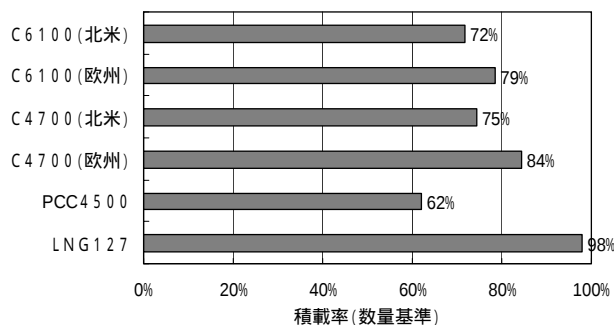


図 - 3.9.9 平均積載率（数量基準）

値による推定値との差が重量基準のそれより小さく、コンテナ船の航路による差も重量基準のものより小さい。

図 - 3.9.11 に各船の単位航走距離あたり油類消費量実績値の要目値による単位航走距離あたり主機関燃料消費量の推定値に対する比を示す。油類消費量は補機の燃料消費量を含み、要目値による推定値は、常用負荷時および満載航海速度航行時における主機関の燃料消費量である。従って実績値の要目値による推定値に対する比に影響する項目は、つぎの3項目になる。「主機関平均負荷率」、「補機による燃料消費量の油類消費量に占める割合」および「平均航走速度の満載航海速度に対する比」である。

コンテナ船 C 4 7 0 0、C 6 1 0 0 と L N G 1 2 7 は対要目値比が1より小さく、油類消費量実績値が要目値推定値より少ないが、主機関負荷率が低いことの影響が他の影響より大きい。撒積貨物船 B 1 4 0、B 9 1 の対要目値比は1.07～1.08、タンカー T 9 6 の比は1.46であるが、補機の燃料消費割合が高いことの影響が他の影響より大きい。タンカー T 2 6 0 の比は1.04、P C C 4 5 0 0 の比は1.11であるが、3項目が同程度に影響している。

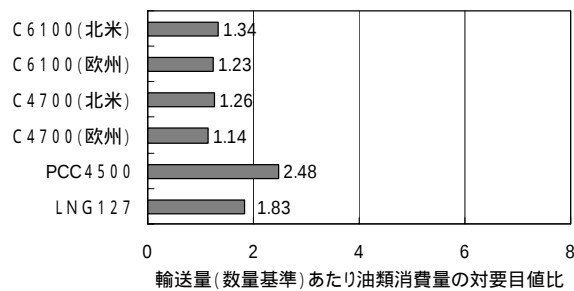


図 - 3.9.10 輸送量（数量基準）あたり油類消費量の要目値による推定量に対する比

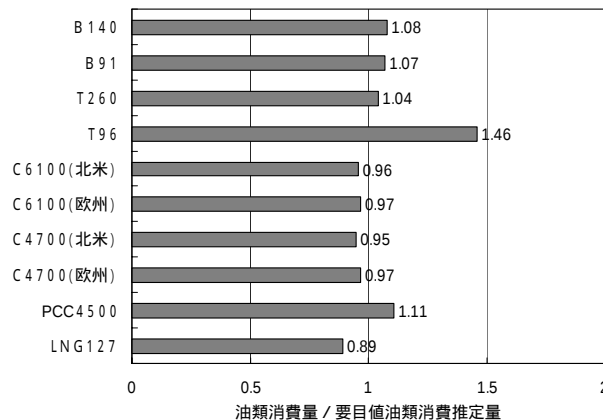


図 - 3.9.11 単位航走距離あたり油類消費量の要目値による主機関燃料消費量推定値に対する比

図 - 3.9.12 に各船の C 重油の機器別消費割合を示す。コンテナ船 C 4 7 0 0、C 6 1 0 0 とタンカー T 2 6 0 はターボ発電機と軸発電機を搭載しているためディーゼル発電機の燃料消費割合が2%以下と少ない。B 1 4 0、B 9 1、T 9 6、P C C 4 5 0 0 はディーゼル発電機を航走中も停泊中も常時運転するためその燃料消費割合は約6～9%になる。タンカー T 9 6 と T 2 6 0 はカーゴポンプ駆動用に蒸気タービンを駆動するので補助ボイラの燃料消費割合が約8～22%と高い。T 9 6 は貨油加熱にも補助ボイラを使用するので T 2 6 0 の3倍近い補助ボイラの燃料消費割合になっている。

図 - 3.9.13 に各船の主機関平均負荷率とそ

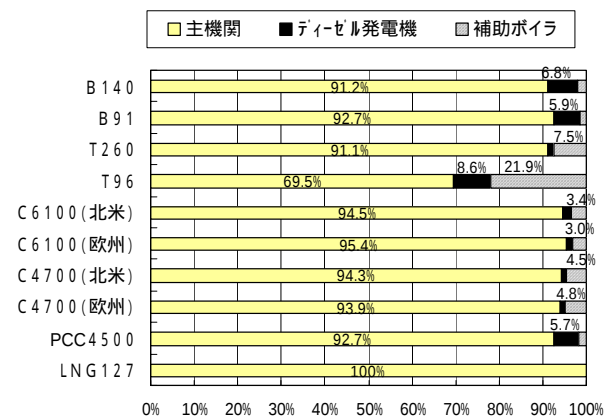


図 - 3.9.12 機器別 C 重油消費割合の船種による比較

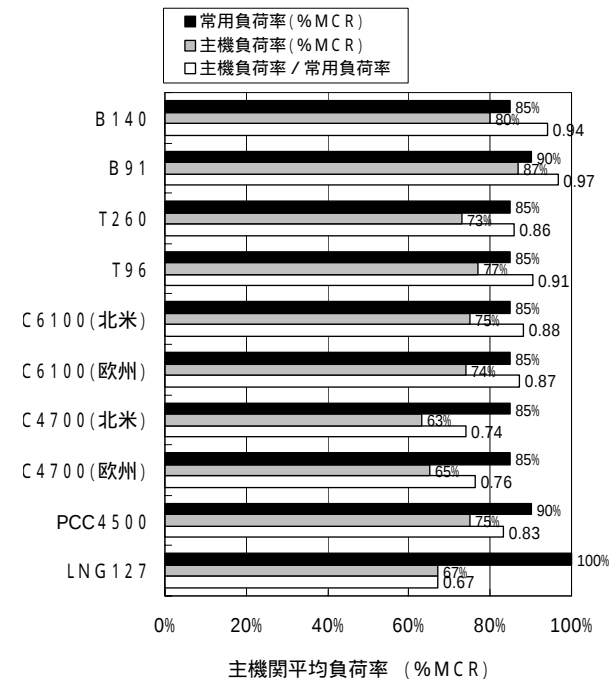


図 - 3.9.13 主機関平均負荷率と常用負荷率に対する比

の常用負荷率に対する割合を示す。主機関の常用負荷率は、85% MCRである船が8隻中5隻あり、撒積貨物船B91と自動車運搬船PCC4500は90% MCR、LNG127は100% MCRと高い。平均負荷率は63~87% MCRで、全体に常用負荷率より低く、その常用負荷率に対する割合は、0.67~0.97である。個別には、撒積貨物船B91が0.97、B140が0.94と高く、タンカーT96が0.91と続き、コンテナ船C6100が0.87~0.88、タンカーT260が0.86、自動車運搬船PCC4500が0.83、コンテナ船C4700が0.74~0.76、LNG127が0.67と下がる。

ディーゼル発電機の前平均負荷率を図-3.9.14(航走時)と図-3.9.15(停泊時)に示す。いずれも時間当たり燃料消費量から算出した単機定格出力に対する平均負荷率であり、100%を超える場合もある。

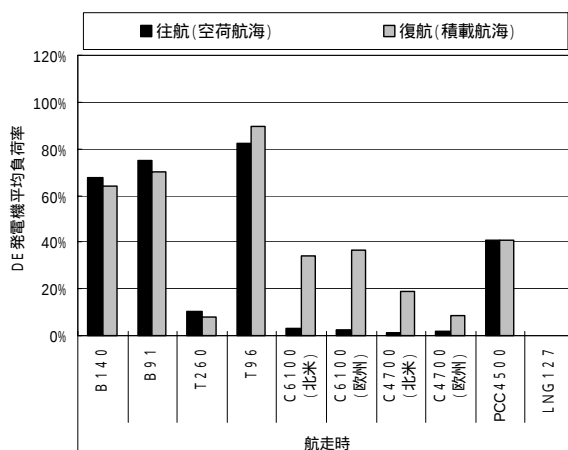


図-3.9.14 ディーゼル発電機の前平均負荷率（航走時）

航走時の負荷率はターボ発電機と軸発電機を搭載していない主機関出力が比較的小さい船種が高い。タンカーT96が約90%、撒積貨物船B91が約75%、B140が約65%、自動車運搬船PCC4500が約40%と高い。一方、ターボ発電機と軸発電機を搭載しているコンテナ船とタンカーの前平均負荷率は低い。すなわちC6100、C4700は、往航は3%以下、復航は約10~35%であり、T260は往復ともに約10%である。

停泊時の負荷率は、撒積貨物船B91、B140が約55~80%、タンカーT96が約80~106%と航走時とほぼ同程度である。自動車運搬船PCC4500は換気ファン駆動などのために約95~120%と高くなる。タンカーT260とコンテナ船は、停泊時は軸発電機の出力が無く、ターボ発電機の出力も低下しているため、ディーゼル発電機の前平均負荷率はT260が約70~100%、C6100が約50~70%、C4700が約35~6

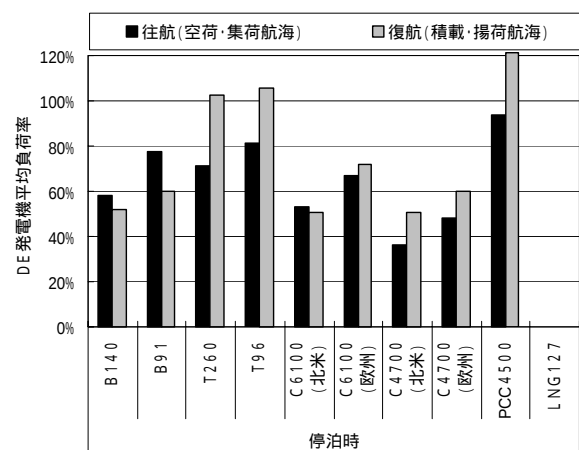


図-3.9.15 ディーゼル発電機の前平均負荷率（停泊時）

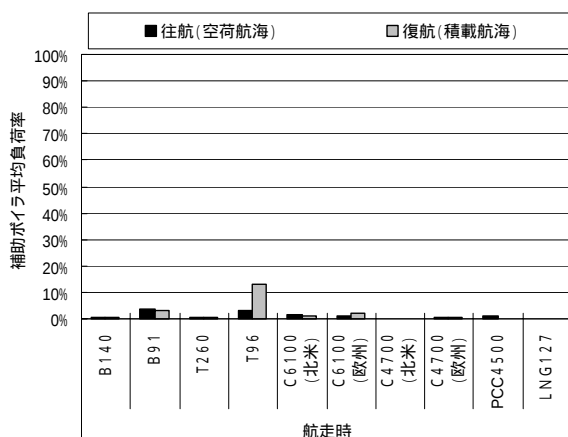


図-3.9.16 補助ボイラの前平均負荷率（航走時）

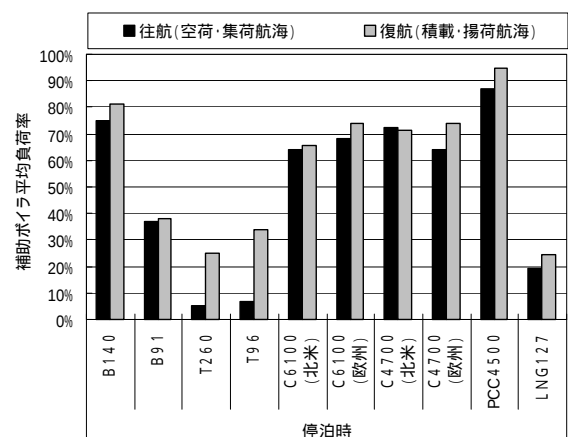


図-3.9.17 補助ボイラの前平均負荷率（停泊時）

0%と上昇する。

LNG127のディーゼル発電機はほとんど使用されない。

補助ボイラの平均負荷率を図-3.9.16(航走時)と図-3.9.17(停泊時)に示す。補助ボイラの航走時の平均負荷率は貨油加熱を行うT96が積載航海時に約13%であるのを除くとB91が約4%、C6100が約2%以下などと低い。

補助ボイラの停泊時の平均負荷率は、ボイラ容量の小さい撒積貨物船B140が約75~81%、PCC4500が87~95%と高いが、撒積貨物船B91は約40%と低い。コンテナ船とタンカーのボイラ容量は前者より約10倍以上大きく、C6100とC4700は約64~74%とやや低い平均負荷率を示す。タンカーT96とT260の平均負荷率はさらに下がり、復航すなわち揚荷停泊時で約25~34%、往航停泊時で約5~7%に下がる。タンカーの補助ボイラの平均負荷率は、表面上は低いが、定格容量が大きいので燃料消費量が多い。

LNG127は、補助ボイラではなく主ボイラではあるが停泊時の負荷率である約20~25%を図に示した。

4. 大気環境負荷物質

4.1 大気環境負荷物質の排出係数

4.1.1 二酸化炭素(CO₂)

船用エンジンから排出される大気環境負荷物質のうちCO₂は燃料中の炭素分質量含有率に比例して排出されるが、市販される燃料油中のC分含有率にはかなりの幅がある。しかし、IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)ではC分含有率は質量あたりのそれよりも発熱量あたりのC分含有率の方が変動の幅が比較的小さいとしてデフォルト値を与えている⁵⁾。またA重油、C重油および潤滑油に相当する油種の低位発熱量として、それぞれGas/Diesel Oil、Residual Fuel OilおよびLubricantsのデフォルト値が与えられている。

表-4.1.1 燃料のC分含有率・低位発熱量
(IPCCデフォルト値)とCO₂排出係数

	単位	A重油	C重油	潤滑油	LNG
C分含有率	g C/MJ	20.2	21.1	20.0	15.3
低位発熱量(LHV)	MJ/kg fuel	43.33	40.19	40.19	49.29
CO ₂ 排出係数	g CO ₂ /kg fuel	3,209	3,109	2,947	2,765

注) LNGのLHVは表-3.8.3の組成から算出した。

表-4.1.2 世界で補給された燃料油の性状例

	単位	A重油(378サンプル)			C重油(1,246サンプル)		
		平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値
比重量	kg/L	0.8642	0.8353	0.8887	0.9810	0.9550	0.9927
低位発熱量(LHV)	MJ/kg	42.39	42.01	42.93	40.36	40.01	41.26
S分含有率	%(mass)	0.97	0	2.5	2.92	0.53	4.46

表-4.1.1にC分含有率と低位発熱量のデフォルト値を示す。LNGの発熱量は表-3.8.3に示すLNGガス組成から算出した。以上の値を用いて算出した燃料消費量当たりのCO₂排出量であるCO₂排出係数を表-4.1.1に併せて示す。

市販される燃料油の諸物性値にはかなりの幅がある。表-4.1.2に堤ら⁶⁾によって報告された世界で補給された燃料油の比重、発熱量、S分含有量を抜粋して示す。表-4.1.2のA重油はMDO/MGOと分類された油で378サンプル、C重油はIF380と分類された油で1,246サンプルである。発熱量の最大値と最小値の幅はかなりあるが平均値はIPCCのデフォルト値と大きな差異はないので、IPCCのデフォルト値で算出したCO₂排出係数は適切であると考えられる。

燃料の不完全燃焼によりCOなどが排出されるが、通常、CO₂の0.1%程度であるので、本報告では全ての炭素分が完全燃焼してCO₂として排出されるものとした。

4.1.2 硫黄酸化物(SO_x)

船用エンジンから排出される大気環境負荷物質のうち硫黄酸化物(SO_x)は燃料中の硫黄分が酸化されて主としてSO₂とSO₃が排出されるが、通常は全てSO₂として算定される。燃料中のS分含有量についてIPCCのデフォルト値⁵⁾は、Diesel OilのHeavyに対して1%、Residual Fuel OilのMediumに対して3%を与えている。これらは表-4.1.2のA重油とC重油のS分含有率と大きな差異はない。それ故IPCCのデフォルト値を用いて表-4.1.3に示すSO_x排出係数を算出した。LNGはほとんどS分を含まないのでゼロとした。

表-4.1.3 燃料のS分含有率
(IPCCデフォルト値)とSO_x排出係数

	単位	A重油	C重油	LNG
S分含有率	%(mass)	1	3	0
SO _x 排出係数	g SO ₂ /kg fuel	20	60	0

4.1.3 窒素酸化物 (NO_x)

(1) ディーゼルエンジン

船用エンジンから排出される窒素酸化物 (NO_x) は主としてNOとNO₂が排出されるがNO_x排出量としては全てNO₂として算定される。IPCCの外航船に対するNO_x排出係数 (g NO₂ / kg fuel) のデフォルト値 (Default Marine Emission Factor) は、Lloyd's Register の報告に基づいている。そのNO_x排出係数を表-4.1.4に示す。

Lloyd's Register の報告⁷⁾は6船種、50隻の調査結果であるが、1990年当時の平均船齢が中速機関で14年、低速機関で13年とかなり古いエンジンのデータである。また、NO_x排出率 (g NO₂ / kWh) は、機種、定格出力および負荷率によってかなりの幅がある。表-4.1.4の低速機関と中速機関のNO_x排出率は運転頻度の高い負荷率50%と85%のデータを平均したものであるが変動の幅は低速機関の場合は平均値の50%~140%程度、中速機関の場合は平均値の70%~160%程度の幅がある。なお、表-4.1.4の17 g / kWhは130 rpm以下の低速機関に対するIMO (International Maritime Organization) 規制値と数値が同じである。また、12 g / kWhは750 rpmの中速機関のそれと同じである。

IMO規制値に適合した新しい機種のNO_x排出率の例を図-4.1.1に示す。これらのエンジンは2ストローク機関5機種、4ストローク機関9機種で、定格出力と定格回転数を表-4.1.5に示す。図-4.1.1に示すNO_x排出率は、IMO・NO_xテクニカルコード⁸⁾で定義する重み付き平均排出率で、E3サイクルはプロペラ則に基づき、D2サイクルは発電機則に基づく平均値である。表-4.1.5のエンジンの負荷率50%と75%におけるNO_x排出率および燃料消費率 (g / kWh) の平均値を2ストロークと4ストローク、およびE3サイクルとD2サイクルに分類して表-4.1.6に示す。NO_x排出係数はNO_x排出率と燃料消費率から算出したものである。

表-4.1.6の値はA重油を使用した陸上試験のデータであり、実際に運航されている海上ではC重油が使用されることと運転環境が異なることからNO_x排出率が高くなることが報告されている。報告⁹⁾によると海上試験のNO_x排出率は平均的に陸上試験の約10%高を示し、海上試験の燃料消費率 (g / kWh) はA重油とC重油の発熱量を補正した上で、陸上試験の1~1.1倍、平均で1.05倍ほど多くなる。

上の報告⁹⁾に基づきIMO規制値に適合した機種が海上でC重油を使用して運転される場合のNO_x排出係数を推定した。推定値を表-4.1.7に

表-4.1.4 船用ディーゼルエンジンのNO_x排出係数

	NO _x 排出係数 g NO ₂ /kg fuel	NO _x 排出率 g NO ₂ /kWh
低速機関	87	17
中速機関	57	12

(Lloyd's Register報告)

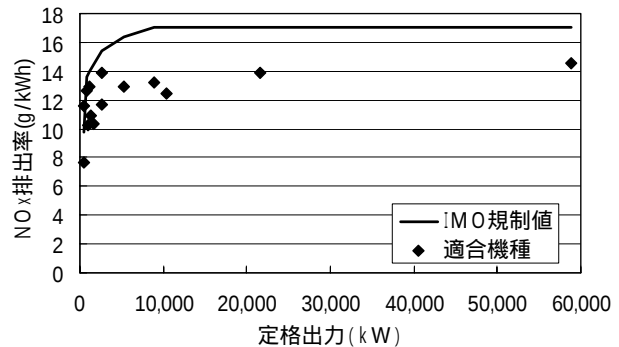


図-4.1.1 IMO規制値適合機種のNO_x排出率の例

表-4.1.5 IMO規制値適合機関の例

ストローク	テストサイクル	定格出力 (kW)	回転数 (rpm)
2	E3	58,840	90
2	E3	21,662	91
2	E3	10,388	89
2	E3	8,828	115
2	E3	5,301	158
4	E3	2,700	210
4	E3	1,176	346
4	E3	753	394
4	E3	441	2,150
4	D2	2,600	720
4	D2	1,618	720
4	D2	1,350	720
4	D2	960	900
4	D2	552	720

表-4.1.6 IMO規制値適合機関のNO_x排出率と燃料消費率の例
(A重油使用、陸上試験結果)

ストローク	サイクル	NO _x 排出係数	NO _x 排出率	燃料消費率
		g NO ₂ /kg fuel	g NO ₂ /kWh	g/kWh
2	E3	82	14	174
4	E3	71	14	193
4	D2	55	11	200

注) 負荷率50%と75%の平均値

表-4.1.7 IMO規制値適合機関のNO_x排出率と燃料消費率の推定値
(C重油使用、海上運転時)

ストローク	サイクル	NO _x 排出係数	NO _x 排出率	燃料消費率
		g NO ₂ /kg fuel	g NO ₂ /kWh	g/kWh
2	E3	82	16	191
4	E3	71	15	212
4	D2	55	12	220

示す。同表において、NO_x排出率 (g / kWh) は表 - 4 . 1 . 6 のその 10 % 増しになり、燃料消費率 (g / kWh) は発熱量の補正量を含めて表 - 4 . 1 . 6 のその 10 % 増しになっている。NO_x排出率と燃料消費率がそれぞれ 10 % 増しになっているので NO_x排出係数 (g NO₂ / kg fuel) は同じ数値を示す。表 - 4 . 1 . 7 の NO_x排出係数は表 - 4 . 1 . 4 に示す Lloyd's Register の NO_x排出係数の 95 % 程度であるが、本報告では一般に利用されている Lloyd's Register のデータを使用することにした。

なお、文献^{10) 11)}では主機ディーゼルエンジンおよびディーゼル発電機の NO_x排出量が定格出力の指数関数として与えられているが、NO_x排出係数が出力に依存し、出力の大きい方が大きくなる傾向があり、本報告では使用しなかった。

(2) ボイラ

船用ボイラの NO_x排出率は、公表データがほとんど見あたらないので、本報告では、IPCC の Industrial Boilers 分類中の Residual Fuel Oil Boilers に対する NO_x排出率のデフォルト値を使用した。IPCC のデフォルト値は 170 g NO₂ / GJ であり、これと C 重油の発熱量のデフォルト値から表 - 4 . 1 . 8 に示す NO_x排出係数 (g NO₂ / kg fuel) を算出した。

表 - 4 . 1 . 8 船用ボイラの NO_x排出係数

燃料種類	NO _x 排出係数	NO _x 排出率	NO _x 相当濃度
	g NO ₂ /kg fuel	g NO ₂ /GJ	ppm (4% O ₂)
C 重油	6.83	170	250
BOG	3.16	64	120

本報告の燃料油を使用する補助ボイラの定格入力 は、1.5 MW ~ 7.5 MW、排気ガス流量は 1,700 m³ / h ~ 87,000 m³ / h である。これらは窒素酸化物総量規制⁷⁾で分類する小型 ~ 中型ボイラに属し、その規制濃度は 150 ~ 180 ppm (4% O₂) である。これに対して IPCC の Residual Fuel Oil Boilers のデフォルト値は、250 ppm 程度と高めの濃度に相当する。

本報告の LNG 船用ボイラは、入熱量 7.3 MW で C 重油と BOG を併用する。C 重油使用時の NO_x排出率は上の工業用ボイラの数値を使用し、BOG については、IPCC の Industrial Boilers、Natural Gas 分類中の Small boilers (2.9 ~ 3.3 MW) のデフォルト値 (64 g NO₂ / GJ) を使用する。BOG の発熱量は表 - 4 . 1 . 1 の値を使用し、算出した NO_x排出係数を表 - 4 . 1 . 8 に示す。

4.2 大気環境負荷物質の輸送量あたり排出量

前節において、主機関、ディーゼル発電機、補助ボイラによって消費される燃料と潤滑油の燃焼によって排出されるガスとして CO₂、SO_x および NO_x を選択し、それぞれの排出係数を求めた。まとめて表 - 4 . 2 . 1 に示す。

3 章において各船種の輸送量あたり油類消費量を主機関、ディーゼル発電機、補助ボイラそれぞれについて分析した。これらの結果と表 - 4 . 2 . 1 の排出係数に基づいて、各船種の単位輸送量あたり排ガス排出量を算出した。表 - 4 . 2 . 2 に重量基準の輸送量あたりの各排ガス排出量を示す。表 - 4 . 2 . 2 には、単位輸送量あたり油類消費量を参考のために再掲するとともに、タンカー T 260 の輸送

表 - 4 . 2 . 1 大気環境負荷ガスの排出係数

排出係数		単位	A 重油	C 重油	潤滑油	LNG
CO ₂ 排出係数		g CO ₂ /kg fuel	3,209	3,109	2,947	2,765
SO _x 排出係数		g SO ₂ /kg fuel	20	60	0	0
NO _x 排出係数	主機関	g NO ₂ /kg fuel	87			-
	DE 発電機	g NO ₂ /kg fuel	57			-
	ボイラ	g NO ₂ /kg fuel	-	6.83	-	3.16

表 - 4 . 2 . 2 単位輸送量 (重量基準) あたり排ガス排出量の船種比較

船 種	CO ₂ 排出量		SO _x 排出量		NO _x 排出量		油類消費量	
	g CO ₂ / t-mile	対 T260 相対比	g SO ₂ / t-mile	対 T260 相対比	g NO ₂ / t-mile	対 T260 相対比	g 油 / t-mile	対 T260 相対比
T260	533	1.0	0.102	1.0	0.138	1.0	1.72	1.0
T96	11.6	2.2	0.220	2.2	0.249	1.8	3.72	2.2
B140	6.36	1.2	0.121	1.2	0.172	1.2	2.05	1.2
B91	9.11	1.7	0.173	1.7	0.246	1.8	2.93	1.7
C6100 (欧州)	21.3	4.0	0.405	4.0	0.577	4.2	6.87	4.0
C4700 (欧州)	22.5	4.2	0.427	4.2	0.598	4.3	7.23	4.2
C6100 (北米)	31.6	5.9	0.600	5.9	0.849	6.1	10.2	5.9
C4700 (北米)	32.2	6.0	0.612	6.0	0.861	6.2	10.4	6.0
LNG127	28.2	5.3	0.315	3.1	0.049	0.4	10.3	6.0
PCC4500	109	20.4	2.053	20.2	2.931	21.2	35.0	20.4

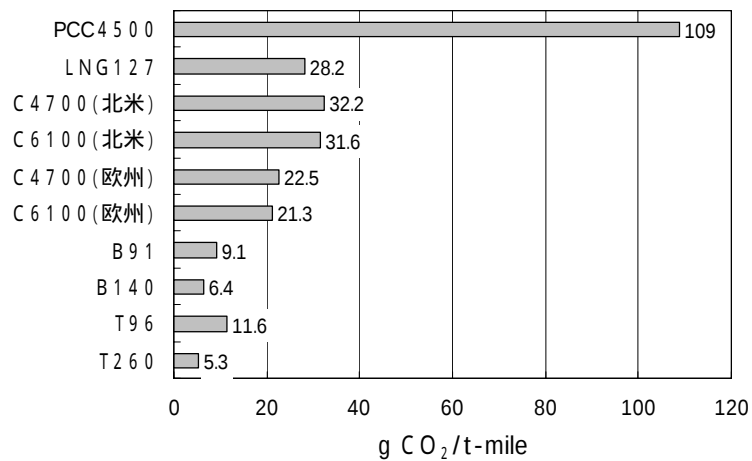


図 - 4 . 2 . 1 単位輸送量（重量基準）当たり
CO₂排出量の船種比較

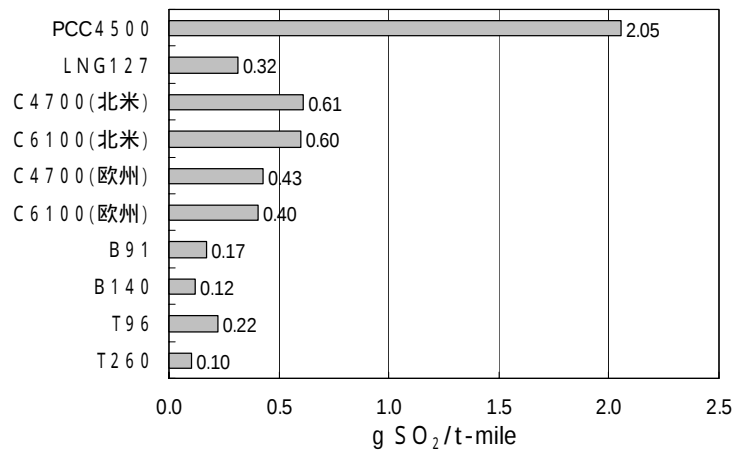


図 - 4 . 2 . 2 単位輸送量（重量基準）当たり
SO_x排出量の船種比較

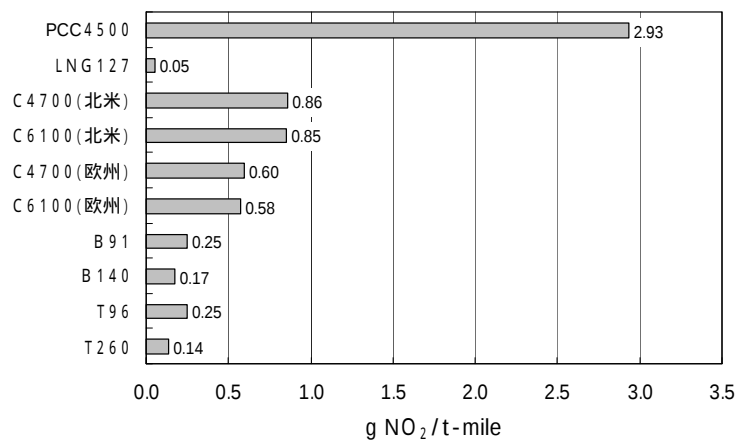


図 - 4 . 2 . 3 単位輸送量（重量基準）当たり
NO_x排出量の船種比較

量当たり油類消費量が一番少ないのでT260を基準として、各船の輸送量当たり排ガス排出量および油類消費量の相対比を併せて示した。また、各船種の単位輸送量当たり排ガス排出量を比較するために、図-4.2.1にCO₂排出量を、図-4.2.2にSO_x排出量を、図-4.2.3にNO_x排出量を示した。

各船種のCO₂とSO_xの輸送量当たり排出量の相対比は、LNG127を除いて輸送量当たり油類消費量の相対比と同様の傾向を示す。これは、7隻の油類消費割合のうちC重油が97.3～98.7%と大半を占めていることによる。LNG127は炭素と硫黄の含有率の低いBOGの消費量が燃料消費量の約50%を占めるので、CO₂、SO_xの輸送量当たり排出量の相対比が油類消費量の相対比より小さい。

輸送量当たりNO_x排出量については、油類消費量と主機関(ディーゼル、タービン)、ディーゼル発電機、補助ボイラによる燃料消費割合が影響する。

LNG127はNO_x排出係数がディーゼルエンジンより一桁小さい主ボイラでBOGとC重油を燃焼するので、8隻の中で輸送量当たりNO_x排出量が最小である。また、NO_x排出量の相対比も油類消費量の相対比より一桁小さい。

タンカーT96は補助ボイラの燃料消費割合がT260に比して高いので、NO_x排出量の相対比は油類消費量の相対比より小さくなる。T260に比較して、主機ディーゼルエンジンおよびディーゼル発電機の消費割合が大きいB91、C4700、C6100およびPCC4500はわずかではあるがNO_x排出量の相対比が、油類消費量の相対比より大きい。

表-4.2.3には数量基準の輸送量当たりの各排ガス排出量を示す。なお、表中unitは、コンテナ船にあってはTEU、PCC船にあっては台、LNG船にあってはm³を意味する。コンテナ船C4700とC6100の輸送量当たり排ガス排出量の航路による差は、油類消費量と同じく、数量基準の方が重量基準によるものよりは小さい。

5. まとめ

LCA解析のための海上輸送データベースとして資するために、8隻の外航貨物船の運航記録に基づいて平均的運航状況および単位輸送量あたり燃料・潤滑油消費量を分析した。また、燃料の燃焼によって発生する大気環境負荷物質のうち、CO₂、SO_x、NO_xの単位輸送量あたり排出量を算出した。

単位輸送量あたり燃料・潤滑油消費量については、公称運航性能に基づく輸送量あたり燃料消費量の推定値と比較し、実際の運航条件の影響度を分析した。

IPCCのCO₂、SO_x、NO_x排出係数については、IMO規制値適合エンジンのNO_x排出率の例および補給燃料油性状の調査結果をもとに評価し、適切さを確認した。

以下に各船の平均的運航状況、燃料・潤滑油消費量割合、主機関・ディーゼル発電機・補助ボイラの平均負荷率、輸送量あたり燃料・潤滑油消費量、CO₂、SO_x、NO_xの単位輸送量あたり排出量の分析結果、のまとめを記す。

1) 各船の平均的運航状況

1.1) 撒積貨物船B140

石炭を専用に運搬する船で、日本の火力発電所と主としてオーストラリアを往復する。平均片道航走距離は約4,600mileで、平均航走速度は空荷航走時14.0ktで、積載航走時の12.6ktより約10%速い。1航海平均航走速度は13.3ktで、満載航海速度13.7ktの97%である。平均停泊時間は、全航海時間の約29%である。平均積載率は載貨重量の約96%、平均排水量は、積載航走時が約98%、空荷航走時が約48%である。

1.2) 撒積貨物船B91

B140と同じく石炭専用運搬船で、日本の火力発電所と主としてオーストラリアを往復する。平均片道航走距離は約4,200mileで、平均航走速度は空荷航走時14.5ktで、積載航走時の13.

表-4.2.3 単位輸送量(数量基準)あたり
排ガス排出量の船種比較

船 種	CO ₂ 排出量	SO _x 排出量	NO _x 排出量
	g CO ₂ / unit-mile	g SO ₂ / unit-mile	g NO ₂ / unit-mile
C4700(北米)	231	4.39	6.18
C4700(欧州)	209	3.97	5.55
C6100(北米)	234	4.46	6.30
C6100(欧州)	216	4.10	5.83
PCC4500	155	2.91	4.16
LNG127	13.3	0.148	0.023

注) unitは、それぞれTEU、台、m³を意味する。

2 k tより約10%速い。1航海平均航走速度は13.8 k tで、満載航海速度14.0 k tの99%である。平均停泊時間は、全航海時間の約28%である。平均積載率は載貨重量の約97%で、平均排水量は、積載航走時が約99%、空荷航走時が約54%である。

1.3) タンカーT260

V L C Cと称される大型タンカーで、ペルシャ湾と日本を主として往復する。貨油積み込みのために1~4回、平均2.1回寄港し、揚荷には1~3回、平均1.8回寄港する。平均航走距離は、空荷航海と最大積載航海が約6,500 m i l eと等しく、集荷および揚荷のための平均航走距離はそれぞれ最大積載航海距離の約5%である。平均航走速度は空荷航走時14.9 k tで、最大積載航走時の13.1 k tより約14%速い。1航海平均航走速度は13.8 k tで、満載航海速度15.0 k tの92%である。平均停泊時間は、全航海時間の約16%である。貨油積載率は最大積載航海時には載貨重量の約98%とほぼ満載状態であるが、積載航海全体の平均積載率では約94%である。平均排水量は、積載航走時が約99%、空荷航走時が約44%である。

1.4) タンカーT96

A F R A M A Xと称される不定期船で、東南アジアを中心として、オセアニア、日本、中東の海域を航行する。航海状況は不規則であり空荷航海と積載航海の全積算値から平均航海状況を算出した。1航海平均航走距離は約5,700 m i l eで、積載航海の割合が約57%である。平均航走速度は空荷航走時13.5 k tで、積載航走時の12.7 k tより約6%速い。1航海平均航走速度は13.0 k tで、満載航海速度14.0 k tの93%である。平均停泊時間は、全航海時間の約30%である。平均積載率は載貨重量の約74%、平均排水量は、積載航走時が約84%、空荷航走時が約47%である。

1.5) コンテナ船C6100

日本と欧州をスエズ運河経由で往復する欧州航路に就航し、途中、東南アジアと北米を往復する北米航路に就航した後、再び欧州航路に就いている。平均的な航海状況は、北米航路9航海、欧州航路4航海のデータに基づいて算出した。

北米航路の航走距離は往復で約16,700 m i l e、1航海平均航走速度22.7 k tは、満載航海速度23.0 k tの99%である。平均停泊時間は全航海時間の約27%で、1港平均の停泊時間は約30時間である。平均積載率は、T E U基準で約70%、載貨重量基準では貨物重量にコンテナ自重

を含めて約40%である。平均排水量は約74%である。

欧州航路の航走距離は往復で約23,200 m i l e、1航海平均航走速度22.3 k tは満載航海速度23.0 k tの97%である。平均停泊時間は全航海時間の約22%で、1港平均の停泊時間は約25時間である。平均積載率は、T E U基準で約79%、載貨重量基準で約59%である。平均排水量は約80%である。

1.6) コンテナ船C4700

C6100と同じく、最初欧州航路に就航し、途中、東南アジアと北米を往復する北米航路に就航した後、再び欧州航路に就航している。平均的な航海状況は、北米航路9航海、欧州航路6航海のデータを用いて算出した。

北米航路の航走距離は往復で約13,000 m i l e、1航海平均航走速度20.6 k tは満載航海速度23.5 k tの約88%である。平均停泊時間は全航海時間の約25%で、1港平均の停泊時間は約30時間である。平均積載率は、T E U基準で約75%、載貨重量基準で約40%である。平均排水量は約72%である。

欧州航路の航走距離は往復で約22,800 m i l e、1航海平均航走速度20.8 k tは満載航海速度23.5 k tの89%である。平均停泊時間は全航海時間の約27%で、1港平均の停泊時間は約23時間である。平均積載率は、T E U基準で約79%、載貨重量基準で約59%である。平均排水量は約83%である。

1.7) 自動車運搬船PCC4500

日本を中心として運航されているが世界各地の自動車の製造地域から需要地域へ輸送しており、その航海状況は多様である。集荷および揚荷にそれぞれ平均約3.5回寄港する。1航海平均航走距離は約11,400 m i l e、そのうち最大積載航海が約50%、集荷および揚荷航海が約22%あり、合わせて積載航海距離の割合が約72%である。1航海平均航走速度16.4 k tは、満載航海速度18.8 k tの87%である。平均停泊時間は全航海時間の約20%で、1港平均の停泊時間は約24時間である。全航海平均の積載率は、台数基準で約62%、載貨重量基準で約23%である。平均排水量は積載航走時の排水量が79%、空荷航走時の排水量が63%である。

1.8) L N G船L N G127

L N G127は、インドネシアから日本各地へL N Gを輸送する。平均片道航走距離は約2,500 m

ile、全航海平均の航海時間は、およそ往航と復航ともに航進時間7日、港内滞在時間1日であり、往航では入港時間調整のために漂流を1日行う。漂流頻度はおよそ2航海に1回の割合である。漂流を含めて停泊時間は航海時間の約18%である。積載航海である復航の平均航進速度15.8ktが往航の15.3ktより約3%速い。1航海平均航進速度15.6ktは満載航海速度19.3ktの約80%である。積載率は、タンク容積の98%であり、LNGの液密度を推定して重量基準の積載率約87%を算出した。平均排水量は、積載航走時が約94%、空荷航走時が約72%である。

2) 燃料油・潤滑油消費量割合

2.1) ディーゼルエンジンを主機関とする船7隻の燃料油と潤滑油消費量の割合は、算術平均ではC重油98.2%(最小値97.3%、最大値98.7%)、シリンダ油1.1%(最小値0.8%、最大値1.4%)、ディーゼル油0.5%(最小値0.1%、最大値1.3%)、システム油0.3%(最小値0.1%、最大値0.5%)であり、C重油の消費量が油類消費量のほとんどを占める。また、船種による消費割合の差はほとんど無い。

2.2) LNG船LNG127は燃料としてBOG(ボイルオフガス)とC重油を併用する。燃料消費量に占めるBOGの割合は、全航海平均では発熱量基準で約50%であるが、各航海次の航進中は約30~80%の範囲で変化する。ディーゼル油と潤滑油の消費量はほとんど無い。

2.3) 油類消費量のほとんどを占めるC重油消費量の機器別消費割合では、主機ディーゼルエンジンによる消費割合が最も多く、約91~95%である。ただし、貨油加熱を行うタンカーT96は約70%と低い。

2.4) ディーゼル発電機のC重油消費量に占める割合は、ターボ発電機と軸発電機を搭載していない船種、すなわち主機関出力が比較的小さい船種において多く、約6~9%の消費割合である。個別には自動車運搬船PCC4500が5.7%、撒積貨物船B91が5.9%、B140が6.8%、タンカーT96が8.6%である。ターボ発電機と軸発電機を搭載しているコンテナ船C4700、C6100とタンカーT260は2%以下と消費割合が少ない。

2.5) 補助ボイラのC重油消費量に占める割合は、ボイラ定格容量の大きいタンカーおよびコンテ

ナ船が多い。すなわちカーゴポンプと貨油加熱用に補助ボイラを使用するタンカーT96が21.9%と最も多く、カーゴポンプ駆動用に蒸気ターピンを駆動するタンカーT260の補助ボイラの燃料消費割合が7.5%である。コンテナ船はターボ発電機を駆動するために補助ボイラ定格容量が大きく、補助ボイラの燃料消費割合はC4700が4.5~4.8%、C6100が3~3.4%である。ボイラ定格容量の小さい撒積貨物船(B140、B91)と自動車運搬船PCC4500の補助ボイラの燃料消費割合は2%以下と少ない。

また、補助ボイラの燃料消費は貨油加熱を除くとほとんど停泊時のものである。

3) エンジン・補助ボイラの平均負荷率

3.1) 主機関の常用負荷率は、連続最大出力(MCR)の85%である船が8隻中5隻であるが、撒積貨物船B91と自動車運搬船PCC4500は90%MCR、LNG127は100%MCRと高い。

主機関の時間当たり燃料消費量から算出した1航海平均負荷率は、全体に常用負荷率より低く、63~87%MCRである。個別には撒積貨物船B91が87%MCRと最も高く、B140が80%MCRと続く。タンカーT96、T260、コンテナ船C6100、PCC4500の平均負荷率は75%MCR程度に下がり、コンテナ船C4700とLNG127は約65%MCRと低い。

平均負荷率の常用負荷率に対する割合は、0.67~0.97である。個別には、撒積貨物船B91が0.97と最も高い。撒積貨物船B140が0.94、タンカーT96が0.91と続き、コンテナ船C6100が0.87~0.88、タンカーT260が0.86、自動車運搬船PCC4500が0.83、コンテナ船C4700が0.74~0.76、LNG127が0.67と下がる。

3.2) ディーゼル発電機の平均負荷率は、時間当たり燃料消費量から算出した単機定格出力に対する負荷率で表した。

航走時のディーゼル発電機の平均負荷率は、ターボ発電機と軸発電機を搭載していない主機関出力が比較的小さい船種が高い。すなわちタンカーT96が約90%、撒積貨物船B91が約75%、B140が約65%、自動車運搬船PCC4500が約40%である。一方、ターボ発電機と軸発電機を搭載しているコンテナ船C6100、C4700は、往航ではほとんど使用されず、復航の負荷率が約10~35%であり、タンカーT260は往復ともに約10%と低い。

停泊時の平均負荷率は、航走時とほぼ同程度ない

しは上昇する。すなわちタンカーT96が約80～106%、撒積貨物船B91が約60～80%、B140が約55～60%と航走時とほぼ同程度である。自動車運搬船PCC4500は約95～120%と高くなるが、換気ファン駆動用電力のためと考えられる。タンカーT260とコンテナ船の停泊時には軸発電機は停止し、ターボ発電機は出力が低下しているため、ディーゼル発電機の平均負荷率は上昇する。タンカーT260は約70～100%、コンテナ船C6100は約50～70%、C4700は約35～60%と航走時に比較して高い。

なお、LNG127のディーゼル発電機はほとんど使用されない。

3.3) 補助ボイラの航走時の平均負荷率は、貨油加熱を行うタンカーT96が積載航海時に約13%であるのを除くと4%以下と低い。

停泊時の平均負荷率は、ボイラ容量の小さい撒積貨物船B140が約75～81%、PCC4500が87～95%と高いが、撒積貨物船B91は約40%と低い。コンテナ船とタンカーのボイラ容量は前者より約10倍以上大きく、C6100とC4700は約64～74%とやや低い平均負荷率を示す。タンカーT96とT260の平均負荷率はさらに下がり、復航すなわち揚荷停泊時で約25～34%、往航停泊時で約5～7%に下がる。タンカーの補助ボイラの平均負荷率は、表面上は低い、定格容量が大きいので燃料消費量は多い。

4) 単位航走距離あたり燃料消費量

4.1) 各船の単位航走距離あたり油類消費量の実績値は、要目値による単位航走距離あたり主機関燃料消費量の推定値を指標として評価できる。すなわち「常用負荷時および満載航海速度における単位航走距離あたり主機関の燃料消費量推定値」に対する「単位航走距離あたり油類消費量の実績値」の比は、次の3つの影響項目により評価できる。

- ・主機関平均負荷率の常用負荷率に対する割合
- ・主機関による航走中燃料消費量の全油類消費量に占める割合
- ・1航海平均航走速度の満載航海速度に対する比

4.2) 各船の単位航走距離あたり油類消費量実績値の対要目値比は、0.89～1.46の範囲であった。

コンテナ船C4700とC6100およびLNG127の対要目値比は0.89～0.97と1より小さい。上記3つの影響項目のなかでは主機関平均負荷率が低いことの影響が大きい。

撒積貨物船B140、B91の対要目値比は1.

07～1.08で全油類消費量に占める補機の燃料消費割合が高いことの影響が大きい。

タンカーT260の対要目値比は1.04、自動車運搬船PCC4500の対要目値比は1.11であるが、3つの影響項目が同程度に影響する。

タンカーT96の対要目値比は1.46と最も大きい、貨油加熱を行うなど補機の燃料消費割合が高いことの影響が大きい。

これらの対要目値比は、主機関平均負荷率、補機の燃料消費量の全油類消費量に占める割合、平均航走速度の満載航海速度に対する比を適切に考慮することにより精度が良くなる。

5) 単位輸送量あたり油類消費量

5.1) 各船の単位輸送量あたり油類消費量は、要目値による輸送量あたり主機関燃料消費量の推定値を指標として評価できる。要目値による推定値は、「常用出力時における時間当たり主機関燃料消費量」を「時間当たり輸送量」すなわち「載貨重量(または搭載容量)と満載航海速度の積」で割ったものである。したがって輸送量あたり油類消費量の要目値による推定値に対する比は、4.1)項で述べた主機関負荷率、油類消費割合、平均航走速度に加えて積載率と積載航走距離割合、の5つの影響項目により評価できる。

5.2) 輸送量あたり燃料消費量の要目値による推定値は、航走速度の遅いタンカーT260と撒積貨物船B140が0.81～0.92 g/t-mileであるが、これらより小型のタンカーT96と撒積貨物船B91が1.11～1.32 g/t-mileと少し増大する。航走速度の速いコンテナ船C4700とC6100で4.21～4.43 g/t-mile、LNG船LNG127と自動車運搬船PCC4500で4.98～5.21 g/t-mileと大きく増大する。

5.3) 各船の重量基準の輸送量あたり油類消費量は、タンカーT260が1.7 g/t-mileと最少で、撒積貨物船B140がT260の1.2倍(2.1 g/t-mile)と続き、小型の撒積貨物船B91が1.7倍(2.9 g/t-mile)、タンカーT96で2.2倍(3.7 g/t-mile)と増える。航走速度の速いコンテナ船C4700とC6100で4～6倍(約7～10 g/t-mile)、LNG127で6倍(10.3 g/t-mile)と増大し、自動車運搬船PCC4500が20.4倍(35.0 g/t-mile)と大きく増大する。

5.4) 重量基準の輸送量あたり油類消費量実績値の対要目値比は、1.64～6.73であった。

積載率が高い撒積貨物船B140、B91とタンカーT260およびLNG127の対要目値比は、2.06～2.23である。これらの実績値と要目値推定値との差には、積載航海距離割合が約0.5であることの影響が大きい。

タンカーT96の対要目値比は3.33であるが、貨油加熱などのために補助ボイラの燃料消費割合が高いことと積載航海距離割合が約0.57であることの影響が大きい。

コンテナ船C4700とC6100の対要目値比は1.64～2.42である。これには積載率が40～59%と低いことの影響が大きく、航路による積載率の差も影響している。

PCC4500の対要目値比は6.73と非常に大きい、積載率が重量基準では23%と低いことの影響が大きい。

5.5) コンテナ船、自動車運搬船、LNG船は、数量基準(TEU、台数、タンク容積基準)の輸送量あたり油類消費量実績値の対要目値比が、重量基準のものに比べて小さい。すなわちコンテナ船C4700、C6100が1.14～1.34、LNG127が1.83、自動車運搬船PCC4500が2.48である。これらの船種の輸送実績を評価するには数量基準の評価が適している。

6) 大気環境負荷物質の排出係数

6.1) 世界で補給された燃料油サンプルの発熱量と硫黄分含有量の平均値を基に評価すると、IPCCのCO₂排出係数、SO_x排出係数に関するデフォルト値は適切である。

6.2) IPCCの船用ディーゼルエンジンのNO_x排出率はLloyd's Registerの1990年に計測したデータを基にしているが、IMO・NO_x規制値適合機関にも適用できる。すなわち、IMO規制値適合機関14機種のNO_x排出率は、海上ではNO_x排出率が平均的に陸上試験の約10%高になること、燃料消費率はA重油とC重油の発熱量を補正した上で陸上試験の約5%高になること、の2点を考慮するとLloyd's RegisterによるNO_x排出率の約95%であり、両者には大きな差がない。

6.3) 船用ボイラのNO_x排出率の公表値は限られており、補助ボイラの定格容量に相当するIPCCのIndustrial Boilersのデフォルト値を適用した。

6.4) ディーゼルエンジンを主機関とする船7隻のCO₂とSO_xの輸送量あたり排出量については、タンカーT260が5.33g CO₂/t-mile、0.102g SO₂/t-mileと最小である。他船のCO₂とSO_x排出量は、輸送量あたり油類消費量に比例して増大する。これは燃料消費量に占めるC重油の割合が約98%と高いためである。

なお、LNG127は輸送量あたり油類消費量がT260の6倍であるのに対して、燃料油とBOG(ボイルオフガス)を併用しているので、CO₂排出量はT260の5.3倍、SO_x排出量はT260の3.1倍と相対的に少なくなる。

6.5) 輸送量あたりNO_x排出量には、主機関(ディーゼル、タービン)ディーゼル発電機、補助ボイラによる燃料消費割合が影響する。

LNG127は主ボイラでの燃焼になるので輸送量あたりNO_x排出量は、0.049g NO₂/t-mileと最小で、T260の0.4倍である。タンカーT96も補助ボイラの燃料消費割合が高いので、輸送量あたり油類消費量がT260の2.2倍であるのに対してNO_x排出量は1.8倍と相対的に少なくなる。

撒積貨物船B91、コンテナ船C4700、C6100および自動車運搬船PCC4500は主機ディーゼルエンジンおよびディーゼル発電機の燃料消費割合がタンカーT260に比較して大きいので、NO_x排出量のT260に対する倍率は油類消費量の倍率よりわずかではあるが大きくなる。

謝辞

本研究は、地球環境保全等試験研究費(公害防止)「船舶へのLCAの適用研究」(平成13年度～15年度)の一環として行った。本研究の実施に際し、「船舶LCA研究委員会」を本研究所に設置し、委員会委員の方々からは有益な助言をいただいた。運航データは日本郵船株式会社殿および(株)商船三井殿より提供された。IMO規制値適合機種のNO_x排出率のデータは(財)日本海事協会殿より提供された。ここに記して関係者の方々に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 木原 洸 他、「船舶へのLCAの適用に関する調査研究」、海上技術安全研究所報告、第2巻第2号、2002年
- 2) 日本海運集会所、2002年版日本船舶明細書

- 3) 山下新日本汽船海務部、コンテナ船への積付実務、成山堂書店、1973年
- 4) 恵美洋彦、改訂増補 LNG 船 / LPG 船技術資料、船舶技術協会、1991年、PP163-168
- 5) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gli/invs1.htm>
- 6) 堤裕司、山口智彦、最近の燃料油の地域別性状について、日本船用機関学会35-2マリンエンジニアリング月例講演会、平成12年12月
- 7) Lloyd's Register, Marine Exhaust Emissions Research Programme, 1995
- 8) 日本海事協会、船用ディーゼルエンジンからのNOx排出規制に関するテクニカルコード、1998年
- 9) 泉 泰智、串山 弘、実船排気ガス計測、日本船用機関学会誌、第33巻5号(1998年5月)、PP325-331
- 10) 窒素酸化物総量規制マニュアル[新版]、公害研究対策センター、2000年
- 11) 日本船用機関学会、平成10年度環境庁委託調査船舶排出大気汚染物質削減手法検討調査報告書、1999年3月