内航中小形船の輸送エネルギー効率 の現状とその改善*

西川 栄一**・橋本 淳**・畑 浦 潔***

The Actual Condition and Its Improvement of Transport Energy Efficiency
of Small- and Medium-Sized Coastwise Vessels

By Eiichi Nishikawa, Jun Hashimoto, Kiyoshi Hataura

At present small- and medium-sized vessels under 2000G/T occupy 97.3% of the total number and 65% of the total gross tonnage of Japanese coastwise shipping, and they carry 65% of cargo volume (ton-kilometers) by homewaters. Firstly this report researches the present situation of the fuel consumption and reveals that those small- and medium-sized vessels consume about 80% of the fuels for the freight transportation by homewaters. Therefore small- and medium-sized vessels, especially cargo-boats and tankers, should be paid attention for the fuel economy. So secondly the actual condition of the transport energy efficiency of those vessels is researched. The three main factors, which determine the transport energy efficiency, that is, hull resistance, propeller efficiency, and payload-to-total weight ratio are discussed in regard to present vessels. The result shows there is some room for the improvement of about three main factors, especially, with respect to the hull resistance and the propeller efficiency. Finally the report estimates that, if the former would be reduced to the level estimated according to the Yamagata's method, and if, as for the latter, the propeller diameter would be increased so far as the after draught at ballast voyage permits, then the amounts of fuel consumption could be cut down to about 64% of the present one.

1. 緒 言

国内輸送活動で直接消費されるエネルギーは大部分石油系であり、我が国全体の一次消費エネルギーの14%程度であるが、石油系に限れば約18%にのぼる。この比率は今後とも次第に増大すると予測されており、輸送部門に対する省エネルギーも強く要請され、これをうけてエネルギー消費実態や効率化の研究が始まっている¹⁾。内航海運は主として貨物輸送で重要な位置を占め、トンキロベースでは最近国内貨物輸送の50%を越えるに至っているが、船舶の輸送エネルギー効率(出力を単位輸送量トンキロ、入力を単位量の輸送に要したエネルギーとして定義する)は他の交通機関に比べて高く、エネルギー消費量では22%程度を占めるにすぎない。かかる輸送エネルギー効率の良さで、環境問題も関係して、内航輸送は将来分担の増大が期待されている。しかし、船舶が相対的に効率が良いといっても、それ自体の効率向上が要請されることは

内航輸送も例外ではない。そこで本稿では、内航船の輸送性能の実態分析を行い、その輸送エネルギー効率向上の可能性について検討する。

一般に交通機関、取り分け船舶は大形化、低速化するほど輸送エネルギー効率は向上する。しかし、輸送需要は輸送エネルギー効率だけでなく、需要側からみた全体の輸送コストで決まり、輸送ロットや速度は需要側の事情が大きく影響するので、その事情を無視して大形化、低速化を図っても現実的でない。よって、ここでは内航輸送の現状分析に重点をおき、船舶の輸送エネルギー効率およびそれに影響する要因の実態を把握し、それに基づいて改善の可能性を検討することにする。輸送エネルギー効率に影響する因子は多いが、本稿ではその最も主要な因子である船舶の乗物効率、すなわち、船舶輸送性能について検討することにし、他の要因、たとえばロードファクタ、関連施設の直接消費エネルギーなどについては取り扱わないことにする。

2. 内航輸送の実態

2.1 輸送実態 現在、内航輸送に供されている船舶の船形別船腹量は図1のようであり²⁾、総船腹量(総ト

* 原稿受付 昭和54年11月2日

昭和54年秋季学術講演(昭和54年10月24日)

** 正会員 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

*** 論文会員 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

図1 内航船の船形別船腹量, 隻数, 輸送量(トンキロ)割合 (数字は%)

図2 船種別1隻あたり平均総トン数

図3 船種別の船腹量, 隻数割合 (数字は%)

ン数)のうち1,000総トン未満の船舶は56%, 2,000総トン未満では65%以上を占め, 隻数ではそれぞれ95%, 97%以上と大部分を占める. 図2は船種別の平均船形をみたものである. これをみても内航船は小形が主要であり, 特に貨物船, タンカーは300総トンオーダーである. 一方, 内航輸送量(トンキロ)の船形別分担割合をみると, 1,000総トン未満の船舶で全体の約55%, 2,000総トン未満では約65%を分担している現状にあり, 内航輸送では中小形船が主要な役割を果たしていることが分る. また, 船種別に船腹量をみると図3のようであり, 総トン数では貨物船, タンカー, 専用船, 自動車航送船が多いが, 貨物船, タンカーで全体の約半分を占める. この二者は図3(b)の隻数でみる

と更に比率は増え全体の約65%を占める.更に輸送量でも後掲する図7(b)にみるように, この二者が担当する品目の輸送量が全体の70%以上に及んでいる.

以上, 内航輸送の現状を概観したが, 内航輸送で主要な役割を果たしているのは, 2,000総トン未満の中小形の貨物船, タンカーであるとみることができよう. よって, 以下ではこれら内航船に重点をおきつつ検討をすすめることにする.

2.2 中小形船の主要目 中小形内航船の主要目を75年版船舶明細書を利用して調べる. 総トン数と載荷重量(DW), 速度(V)および主機出力(HP)との関係を見ると, 貨物船の場合では図4.1, 2, 3, のようである. 図では年代による変化をみるため, 就航年によって'65年以前, '66~'70年, '71年以後の三つのグループに大別してある.

まず, 図4.1によってDWをみると, 総トンにはほぼ比例して増大するのは当然として, 注目されるのは船の年代が新しくなるに従い同じ総トンでもDWは大きく増大していることで, たとえば, 499形でみると'65年以前でDWは総トンの約2倍, '66~'70年で約2.3倍, '71年以後で約3倍という関係になっている. 速度でも図4.2のようにDW同様年代とともに増大している. 図1でみた総トンの構成は大きな変化はないが, 実際の船形は大形化しており, また, 交通機関の高速化という一般的すう勢は船舶にも反映されているといえる. DW, Vの増大に伴い図4.3にみるように主機出力も増大していることがわかる. 以上は貨物船の場合であるが,

図 4.1 荷重量トン DW と総トン数の関係(貨物船)

図 4.3 主機出力と総トン数の関係(貨物船)

図 4.2 航海速力と総トン数の関係(貨物船)

タンカーでも同様の傾向がみられる。貨物船、タンカー、フェリーの代表的な中小形船形について、主要項目の平均的値を求めると表 1 のようである。船舶は同じ総トン数でも年々大形化の傾向にあり、また、高速化が進んでおり、結果として主機出力も大きくなっているといえよう。なお、表 2 は船の主要寸法を示している。総トン数

は同じでも DW の増大に伴い事実上大形化している傾向ははっきりしている。表で目につくのは長さとの比 L/B の動向で、一般に大形化すると L/B は大きくなる傾向にあるが、表によると 199 級を除いて他は大形化しているにもかかわらず L/B は不変か逆に小さくなっていることである。これは新しい船ほど船体形状が相対的に幅広になっていることを示している。

3. 輸送エネルギー消費実態

本章では内航船の運輸で消費されるエネルギーの現状について検討する。まず、その算出根拠となる乗物効率の現状をみよう。ただ、交通機関では乗物効率よりもその逆数すなわち単位輸送量当りの燃料消費量が用いられることが多いので、ここでもそれを用いる。

$$\begin{aligned} \text{〔単位輸送量当り燃料消費量〕} &= \frac{HP \cdot L_t / V}{DW \cdot L_t} \cdot SFC \\ &= \frac{HP}{DW \cdot V} \cdot SFC \quad (1) \end{aligned}$$

ここで L_t は輸送距離、 SFC は主機燃料消費率である。

SFC は原動機性能であるから、船自体の輸送性能としては $HP/(DW \cdot V)$ が問題となる。まず、この値の現状をみよう。貨物船の場合についてみると図 5 のようである。船舶では大形になると船体抵抗は相対的に低下し、一般的には大形船ほど輸送性能は向上するが、図もその

表1 船種別、船形別のD/W, V, HPの平均値

船種	総トン	D/W (トン)			V (ノット)			HP (PS)		
		～'65	'66～'70	'71～	～'65	'66～'70	'71～	～'65	'66～'70	'71～
貨物船	199	320	420	450	9.0	9.8	10.2	320	440	550
	499	950	1150	1400	10.2	11.1	11.3	820	1120	1510
	999	1750	2000	2500	11.3	11.6	13.0	1350	1500	2000
	1999	3300	3500	4000	12.2	12.6	12.7	2040	2450	2900
タンカー	199	350	400	450	8.6	9.0	10.0	260	420	520
	499	850	1100	1200	10.5	10.8	11.1	740	960	1300
	999	1800	2100	2300	11.1	11.6	12.0	1270	1660	2010
	1999	3500	4400	4500	11.6	11.8	12.6	1950	2300	2800
フェリー	199	100	130	160	11.9	12.5	13.0	800	900	1100
	999	300	380	420	15.3	15.7	16.0	1700	2400	3300
	2500	800	1000	1000	17.0	19.0	19.1	3500	5500	7000
	5000		2000	2000		18.2	19.4		10500	11700

表2 貨物船、タンカーの主要寸法の動向

船 種		貨 物 船					タ ン カ ー				
船形	年 代	L	B	d	CB	L/B	L	B	d	CB	L/B
199	～'65	34.7	6.9	3.0	0.65	5.1	31.0	6.8	2.9	0.72	4.6
	'66～'70	38.8	7.4	3.2	0.65	5.3	36.8	7.5	2.9	0.75	5.0
	'71～	49.5	8.9	3.2	0.69	5.6	38.4	7.5	3.0	0.66	5.1
499	～'65	52.9	8.3	3.8	0.71	6.4	49.6	8.6	3.9	0.72	5.8
	'66～'70	55.2	9.2	4.2	0.72	6.0	52.0	9.0	4.1	0.74	5.8
	'71～	64.9	10.8	4.3	0.73	6.0	54.5	9.7	4.1	0.79	5.7
999	～'65	67.8	10.4	4.9	0.75	6.5	69.0	10.0	4.8	0.72	6.9
	'66～'70	71.6	11.0	5.1	0.72	6.5	71.0	10.8	5.1	0.70	6.6
	'71～	77.5	11.8	5.3	0.77	6.6	75.0	11.7	5.2	0.70	6.4
1999	～'65	81.0	12.7	5.7	0.75	6.4	81.1	12.7	5.7	0.78	6.4
	'66～'70	82.0	13.3	5.7	0.76	6.2	81.9	12.9	6.0	0.77	6.4
	'71～	83.0	14.6	5.6	0.83	5.7	85.1	13.5	6.3	0.78	6.3

図5 輸送性能 $\frac{HP}{DW \cdot V}$ の総トン数による変化 (貨物船)

傾向を示している。ただ、6,000 総トン当り以上では、低下率が小さくなっているが、これはさきに図 4.2 でみたように、それより大形船では速度の増大率が大きくなっているためと考えられる。図で注目されるのは同じ総トンの船で比較すると新しく就航した船ほど $HP/DW \cdot V$ が大きくなっている点であり、その傾向は小形船ほど強いことである。これは一つは新しい船ほど速度が増大しているためといえるが、しかし、同じ総トン数でも DW はずいぶん大きくなっているものであり、にもかかわらず、輸送性能としてはかえって悪くなっている事実は注目されてよいだろう。タンカーなど他の船種についても図 5 同様に $HP/(DW \cdot V)$ をは握できる。

一方、 SFC であるが、主機出力との関係を最近の船用ディーゼル機関についてみると図 6 のようである³⁾。主機出力による SFC の相対変化はこの図を利用して求めることができる。以上で単位輸送量当りの消費燃料の現状がわかったので、これに輸送量をかければ内航船の燃料消費の構成内容について相対的評価が可能となる。図 7 がその結果である。消費エネルギーの観点からみると、中小形船の内航輸送に占める位置はさらに増大する。図に

図6 船用ディーゼル機関の定格出力と燃料消費率
SFCとの関係³⁾

(a) 船形別輸送量(トンキロ)割合およびエネルギー消費割合

(b) 輸送品目別輸送量(トンキロ)割合およびエネルギー消費割合

図7 内航貨物輸送における船形別および
輸送品目別燃料消費割合

よれば、1,000 総トン未満の中小形船の燃料消費量は全内航船全体のその約73%を、2,000 総トン未満では80%を占めることが分る。

なお、図7には輸送品目別のエネルギー消費の割合も示してある。これによると石油類では20%、鉄鋼約17%を占めている。原油は輸送量割合に比べて消費エネルギー割合は極端に低いが、これは大形船輸送のためである。また、品目を特定できない雑貨(図ではその他と記している)は輸送量割合に比して消費エネルギー割合が多い。

以上内航船の輸送実態をみてきたが、2,000総トン未満の中小形船が内航輸送では主な役割を果たし、特に輸送エネルギー消費は全体の80%を占めることが明らかとなった。したがって、内航輸送の輸送エネルギー効率の改善を考える場合、貨物船、タンカーを中心とした中小形船に注目

する必要があるといえよう。

4. 中小形船の輸送性能の内容分析

消費エネルギーの観点から内航で注目すべきは中小形船(特に1,000 総トン未満)であることが分ったので、次にこれら中小形船に重点をおき、やや立ち入って輸送性能の内容について分析する。

輸送性能 $HP/(DW \cdot V)$ は次式のように三つの部分で構成されている⁴⁾。

$$\frac{HP}{DW \cdot V} = \frac{EHP}{W_T \cdot V} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{W_T}{DW} = \frac{R}{W_T} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{W_T}{DW} \quad (2)$$

ここで EHP : 有効馬力 R : 船体抵抗

η : 推進効率, $\eta = \eta_T \cdot \eta_P$

η_T : 伝達効率 η_P : プロペラ効率

W_T : 排水トン(全備重量)

である。

上式において、 $EHP/(W_T \cdot V)$ は右辺に示すように船体抵抗性能を、 W_T/DW は荷荷性能を表わす。また、 $1/\eta$ は推進性能を表わすが伝達効率 η_T は1に近くその変化は大きくないので、事実上プロペラ効率 η_P に支配される。以上これらの要因についてその現状を調べる。なお、輸送性能、特に抵抗性能に直接影響するのは総トン数でなく W_T なので、本章では W_T で区分して検討する。したがって、就航年代による比較も W_T をそろえて行うことにする。ただし、以下の図表には W_T とともに目安として総トンの値も並記してあるが、この値は'66~'70年就航の船にみあった値である。

4.1 プロペラ効率 プロペラ効率 η_P の現状値を推定するには、表1, 2に示した要目以外にプロペラ直径、プロペラ回転数が必要であるが、

これらについては瀬角が調べたデータ⁵⁾を利用することにする。以上のデータから η_P の現状値を推定すると表3のようになった。なお、プロペラ形状はAU-4-55、また、 η_T は0.95と仮定してある。表によると、 η_P の現状値は貨物船、タンカーともに0.55~0.59の範囲にあり、大形船に比べかなり低い値となっている。これらに比べ、フェリーでは0.63~0.70と高い効率を示している。これはフェリーは2機2軸船が多く貨物船、タンカーの1機1軸船と違い主機出力に対するプロペラ直径の大きいことが一つの理由と考えられる。

4.2 荷荷性能 W_T/DW '75年版船舶明細書を利用して W_T/DW と W_T の関係をみると図8(貨物船の場合)のようになる。 W_T/DW は一般的には大形船ほど有利で小さくなるとみられるが、図によれば内航船の規模では

表 3 η_p の現状

貨物船												
W_T (G/T)	400-500 (199)				1300-1600 (499)				2500-3000 (999)			
船 年	D	N	CB	η_p	D	N	CB	η_p	D	N	CB	η_p
'65	1.40	390	0.665	0.549	2.05	320	0.752	0.529	2.30	280	0.769	0.563
'66- '70	1.55	375	0.590	0.569	2.10	310	0.752	0.553	2.35	280	0.755	0.537
'71-	1.65	360	0.548	0.578	2.40	290	0.543	0.576	2.72	255	0.777	0.574

タンカー												
W_T (G/T)	450-550 (199)				1300-1600 (499)				2500-3000 (999)			
船 年	D	N	CB	η_p	D	N	CB	η_p	D	N	CB	η_p
'65	1.40	395	0.745	0.532	1.85	340	0.763	0.548	2.50	275	0.760	0.540
'66- '70	1.55	375	0.712	0.534	2.00	330	0.760	0.530	2.60	270	0.751	0.554
'71-	1.65	360	0.625	0.565	2.60	270	0.751	0.544	2.70	260	0.736	0.567

フェリー												
W_T (G/T)	450-550 (350)				1300-1600 (999)				2500-3000 (2500)			
船 年	D	N	CB	η_p	D	N	CB	η_p	D	N	CB	η_p
'65	1.60	370	0.542	0.632	2.40	290	0.520	0.667				
'66- '70	1.70	355	0.448	0.634	2.56	270	0.550	0.669	3.05	236	0.421	0.704
'71-	1.85	340	0.404	0.647	2.60	270	0.566	0.667	3.15	230	0.499	0.702

図中の実線は表 2 にまとめた現在の船の平均的な L , B , CB を用いて山縣の方法⁶⁾で求めた計算値であり、摩擦抵抗には船体よごれの増分も考慮してある。山縣の方法は多数の船形の抵抗試験結果に基づいて提案されたものである。また、この方法で求めた図の実線に示す値は池田⁷⁾が提案している内航小形船の貨物船、タンカーの抵抗推定値ともほぼ一致している。したがって、図の実線は平均的な抵抗性能を表わしていると考えられる。そこでこの実線を判断基準として現状の特徴をみていくことにする。

貨物船、タンカーの場合はかなり興味のある特徴がうかがえる。第 1 に、 W_T 5,000~10,000 以上では点は実線のまわりにばらついており、抵抗性能の一般的水準どおりになっているが、中小形船では点は実線より高い位置にあり、現状は推定される性能よりも悪くなっている。第 2 に、中小形船では抵抗性能のばらつきがひどい。抵抗に関して一定の配慮のもとに船が建造されていれば、抵抗性能はおおよそ実線のように速度とともに増大していくはずで、事実 W_T 10,000 トン以上ではその傾向がはっきりでているが、1,500 トン以下では、速度の関係がみられないほどばらついていて、第 3 に、年代が新しくなっても抵抗性能はほとんど改善されておらず、むしろ悪

図 8 W_T/DW と W_T との関係(貨物船)

ほとんどその傾向はみられず、ほぼ一定で 1.4 程度になっている。図で注目される特徴は 2 点ある。一つは船が新しくなっても W_T/DW はほとんど変わらず、ほぼ一定の値をとっていることである。さらに同じ総トン数でも新しい船ほど DW が大きく増大していることをみたが、しかし、図 8 によればこの DW の増大は載荷性能などの向上によってもたらされたものではないといえ、この点での改善はほとんど進んでいないとみられる。特徴の第 2 点は小形船ほどばらつきが大きいことで、小形船における W_T/DW に対する設計上の配慮が弱くなっているといえよう。かかる特徴はタンカーについても同様に指摘できる。

4.3 船体抵抗性能 $EHP/(W_T \cdot V)$ 推進性能、載荷性能がは握できたので、次に船体抵抗性能について調べる。船体抵抗性能の現状値を W_T をパラメータにして船速 V との関係でプロットしてみると貨物船、タンカー、フェリーについてそれぞれ図 9.1, 2, 3 のようである。

図 9.1 貨物船の $\frac{EHP}{W_T \cdot V}$ と速度の関係

図中の実線は一般的な船体形状から計算で求めたもの、また( )内は '66~'70 の W_T を基準とした総トン数

図9.2 タンカーの $\frac{EHP}{W_T \cdot V}$ と速度の関係

図中の実線は一般的船体形状から計算で求めたもの、また( )内は'66~'70の W_T を基準とした総トン数

図9.3 フェリーの $\frac{EHP}{W_T \cdot V}$ と速度の関係

図中の実線は一般的船体形状から計算で求めたもの

くなっているようにみうけられる。そして、これら諸特徴は小形船になるほど強くなっている。第1点に指摘した性能値が悪いということについていえば、小形になるほど実線からのかい離が大きくなり、199級相当の W_T 450トンの船では実績値の平均は実線の値の2倍近くにもなっている。船体抵抗性能の現状は以上のように、特にここで問題としている中小形船において、一般的水準を示していると考えられる山縣の方法による性能よりもかなり悪くなっていることが明らかになった。

なぜこのような傾向がみられるのであろうか。さきに新しい船ほど総トン当り DW の増大していることが指摘されたが、このことと表2でみた船体形状が幅広になる傾向とは無関係ではないように思われる。すなわち、同じ総トン数で DW をかせぐために船体形状が変わってきているとみれる。しかし、この変化は船体抵抗性能からみれば明らかにマイナスである。海運コストには燃料コス

ト以外に、船員費などのように公的な規制の影響をうけるコストがかなりの部分を占めるが、現在こうした規制の多くは総トン数基準で算定されている。船体抵抗へのマイナス効果にもかかわらず DW の増大をもたらしたことにについては、かかる総トン数に關係するコスト節減という事情も一つの要因として働いているとみられよう。このようにみると、現在の中小形内航船の設計要因には、燃料消費以外の他の要因がかなり働いているように思われる。また、小形船になるほど各性能値がばらついていることから、外航大形船と比べて中小形内航船は、系統的総合的観点から輸送性能をみて船を設計するという技術的体制が弱いのではないかと、この問題も指摘されよう。

以上、船舶の輸送性能を決定する3要因、 $EHP/(W_T \cdot V)$ 、 W_T/DW 、 η_p の現状についてみてきたが、内航船燃料消費の大部分を占める中小形船の性能はかなり問題があるといえ、輸送エネルギー効率の観点からみれば一定の改善の余地があるとみられる。

なお、以上の議論は貨物船、タンカーについてであり、フェリーでは様相を異にする。図9.3にみるようにフェリーの現状値はばらつきが大きいというものの実線はその平均的な値となっており、前二者に比べてフェリーの船体抵抗性能はかなりよいことがわかる。

5. 中小形船の輸送性能改善の可能性

5.1 改善の内容 前章までで内航輸送の実態分析を行ってきた。その結果、内航輸送の主要部分は1999総トン以下の中小形船が分担していること、また、内航輸送に伴う燃料消費の大部分80%はこれら中小形船が占めていることが明らかになった。そして中小形船の輸送性能を分析し、貨物船、タンカーの輸送性能の現状、特に船体抵抗性能はかなり問題で改善の余地のあることを明らかにした。

そこで、ここでは1999級以下の貨物船、タンカーを対象にし、輸送性能改善の可能性を考える。検討する要因は船体抵抗性能 $EHP/(W_T \cdot V)$ とプロペラ効率 η_p の二つである。

まず、船体抵抗性能であるが、現状は図9でみたように山縣の方法で求めた一般的水準よりもかなり悪いが、技術的にはこの値まで改善可能と考えよう。こうするためには船体形状など設計全般を検討し直す必要があり、またその改善がおよぼす燃料コスト以外の他のコストへのインパクトを考慮しなければならない。しかし、燃料価格はここ数年急騰してきたし、今後ともこの高価格水準は上昇する可能性はあっても、下がるとは予測しにくく、輸送コストに占めるエネルギーコストは大きな部分を占めてくるだろう。したがって、輸送エネルギー効率の観点からみた船舶設計全般の再検討が必要と思われる。

第2のプロペラ効率については、プロペラ直径増大による効率向上の可能性について考える。プロペラ大口径化は最近の省エネルギーの要請で、すでに外航大形船では

図10 プロペラ径増大によるプロペラ効率改善の程度(船体抵抗, 船速一定)

実施に移されつつあるし、内航船についても孝橋⁸⁾の指摘があるが、ここではもう少し量的に立ち入って検討してみる。

プロペラ径増大による η_p の向上の程度は、貨物船の場合について、現在の主要目を基準にして試算してみると図10のようである。図は中小形船のプロペラ最適設計法にしたがって計算したもので、プロペラ形状はAU-4-55と仮定している。図によるとプロペラ径増大はかなり効果があるが、問題はどの程度直径を増せるかである。プロペラ径増大の限界は、相対的没水深度の低下に伴う深度影響で効率が低下する点にあると考えよう。この深度影響は一般条件下ではプロペラ直径と没水深度との比が0.7以上あれば生じないとされている⁹⁾。プロペラ取付け位置を最大限下げて、翼下端をキールラインに一致させるとすると、うえの値は喫水深さとの比で1.2となり、これ以上にはプロペラ直径を大きくできない。すなわち、これが増大の上限とみなし得る。ただし、実際にはシェーピースがあり、これに対する余裕を0.1D程度とみると1.3程度となる。最近の外航大形船ではシェーピースのない船尾構造にして大口径化を図った例もみられる。

満載喫水 d と D との比の現状は表3に示したように2前後の値であり、これからみると、プロペラ直径はかなり大きくできそうである。しかし、現在の内航船の運航状態を調べると空船航走が全航海時間の半分近くを占め

図11 貨物船、タンカーの喫水とプロペラ直径の関係

ているので、空船航走時の喫水 d' を考慮する必要がある。そこで d' についていくつかの船会社の実績を調べることとした。その結果は図11のようである。空船時はバラストを積んで図の喫水に調整するのであるが、バラストタンクにはまだ余裕があり、全部は使用されていない。特に199級はほとんどの場合バラストなしで航走しており、その場合でも図の喫水になっているということであった。図には現用のプロペラ直径 D 、および d/D が1.2, 1.3の線も示してある。これをみると現用プロペラ直径は199級はわずかに余裕があるが、全体としてはほぼ $d/D=1.3$ の線に一致している。この事実は、上述のバラストタンク使用の実情を考慮に入れると、 d' に合せて D が決められるというよりは、逆に現在のプロペラで深度影響が出ない程度に、すなわち、 D に合せて d' を調整しているとみることができよう。そこでここでは図11の $d'/D=1.2$ までプロペラ直径を増大させることができると考える。この条件でAU-4-55として最適設計法でプロペラ効率を求めると表4のようである。船体抵抗性能特性を現状のままでプロペラだけを大きくした場合の改善度でみると199級は約15%とかなり大きい。図11からも推定されるように大形化するほど改善度は小さく199級は数%程度となる。しかし、前述の船体抵抗性能値の改善を前提にすると、所要動力は減少し、プロペラ回転数をさらに低下させることができるので η_p の改善度はもっと大きくなり、199級から1999級で25～10%の改善度となる。

プロペラ大口径化についてはマイナス効果も考えねばならない。一つは慣性力が增大するので、クラッシュアスターンに要する時間が長くなることである。しかし、中小形船であるから、それほど大きな問題ではないであろう。もう一つは、回転数が低下する分プロペラ軸にかかる応力が增大するから、プロペラ軸を大きくする必要

表4 プロペラ大口径化による η_p の改善(貨物船の例)

船形	年 代	現 状 値*			改 善 値 $d/D=1.2$				
		$D(d/D)$	N	η_p	$D'(d'/D)$	現状の船体抵抗性能		船体抵抗性能を改善の場合	
						N	η_p	N	η_p
199	～'65	1.40(1.74)	390	0.549	2.03(1.45)	206	0.661	171	0.719
	'66～'70	1.55(1.63)	375	0.569	2.11(1.36)	217	0.658	168	0.731
	'71～	1.65(1.49)	360	0.578	2.06(1.25)	248	0.638	182	0.725
499	～'65	2.05(1.37)	320	0.529	2.40(1.17)	221	0.608	194	0.657
	'66～'70	2.10(1.40)	310	0.553	2.45(1.17)	243	0.601	205	0.662
	'71～	2.40(1.23)	290	0.576	2.45(1.02)	271	0.588	200	0.683
999	～'65	2.30(1.41)	280	0.563	2.70(1.17)	221	0.609	194	0.658
	'66～'70	2.35(1.42)	280	0.537	2.77(1.18)	219	0.585	175	0.667
	'71～	2.72(1.20)	255	0.574	2.72(1.00)	255	0.574	206	0.654
1999	～'65	2.75(1.30)	255	0.575	2.97(1.08)	219	0.597	208	0.615
	'66～'70	2.80(1.29)	250	0.569	2.98(1.06)	231	0.585	217	0.609
	'71～	2.95(1.23)	245	0.565	3.05(1.03)	238	0.570	209	0.617

* D と N は瀬角⁵⁾の調べによる

があることである。しかし、その程度は大きなものではない。なお、回転数を下げるため、主機ディーゼル機関との間には減速機をおくことになるが最近の四サイクル船用中小形ディーゼル機関の重量、寸法の低減は減速機を考慮に入れても著しく¹⁰⁾、減速主機の利用はかえって載荷性能 W_T/DW の改善の可能性をあたえるだろう。

5.2 燃料消費量節減効果 前節で検討した船体抵抗性能および大口径化によるプロペラ効率の改善がなされた場合内航貨物輸送に伴う燃料消費量はどの程度節減されるのか予測する。

予測の前提条件は次のとおりとした。船形別の輸送量分担率は図2に示した現状どおり、 W_T/DW も改善を考慮せず現状のまま、また、対象船形は1999級以下とし、2,000総トン以上は現状どおりとした。計算結果は図12のようである。図には船体抵抗性能はそのまま η_p だけ改善した場合も示してあるが、この場合、燃料消費量は対象船形部分で現状の91%に、全体で93%に減少する。船体抵抗性能も改善すると節減率は大きくなり、それぞ

れ56%, 64%になる。特に499総トン以下の改善は大きく、現状の50%にはほぼ半減することになる。このように節減効果は想像以上に大きい。しかし、前節で述べた船体抵抗性能、プロペラ効率の改善の程度はそれほど非現実的なものではないと思われる。もちろん、かかる改善は、既述のように燃料コスト以外の他の輸送コストへのマイナスインパクトがあることも考えられ、より突っ込んだ検討が必要であろうが、省エネルギーの要請が強くなっている現在、輸送エネルギー効率の観点から内航小形船を検討することの重要性を図12は示しているといえよう。

6. 結 言

内航貨物輸送における輸送エネルギー効率の改善の可能性と視点を明らかにする目的で、まず、内航輸送の実態分析を行った。その結果、内航貨物輸送は、1,000総トン未満の船で55%, 2,000総トン未満で65%の輸送量を分担しており、輸送に伴う燃料消費では1,000総トン未満で73%, 2,000総トン未満で80%を占めており、エネルギー効率を改善する場合中小形の貨物船、タンカーによる輸送部門に注目すべきことが明らかになった。

次に輸送エネルギー効率を決める最も大きな要因である船舶自体の輸送性能について現状分析を行い、中小形の貨物船、タンカーの輸送性能、特に船体抵抗性能は技術的に可能と考えられる一般的水準よりもかなり悪く、しかも、小形になるほどその傾向が強いこと、また、これら船種に対してフェリーの輸送性能はかなり良いことを明

図12 エネルギー消費改善度の予測

らかにした。そしてかかる現状分析をもとにして船体抵抗性能、およびプロペラ大口径化によるプロペラ効率の改善の可能性を検討し、これらの改善を行えば2000総トン未満の中小形船による内航輸送の燃料消費は現状の56%、全体では64%程度と大幅な節減の可能性のあることを指摘した。この数値は単純な視点からのものであり、より具体的な検討を要するだろうが、内航中小形船の輸送性能改善の必要性を示して十分といえるだろう。

使用される船形は貨物の種類やロットなど需要側の影響が大きく、それには生産活動、流通活動の体制が反映されている。その意味で中小形船が主要な輸送量を分担するという内航貨物輸送の現状は今後とも続くであろう。運輸経済研究センターの分析によれば¹¹⁾、現在の内航貨物輸送の動向、内航船腹構成をもとにして予測された今年の1,000総トン未満の内航貨物船の建造需要量は1978～1985年で785～951隻、58.9万～71.3万総トンとなっている。この程度の中小形内航船が年々更新されていくのであるから、輸送エネルギー効率の観点から内航船の設計を総合的に検討する必要性は十分あると思われる。

最後に、この報告を作成するに当たり、神戸商船大学の

国領助教授、三木助教授、また、内航輸送の実績データの提供でいくつかの船会社に、多大の御援助をうけました。深く感謝致します。

文 献

- 1) 例えば、総合研究開発機構、野村総合研究所、輸送部門におけるエネルギー消費効率化に関する定量的分析、(1976・9)。
- 2) 船舶統計、昭和50年。
- 3) 1978年内燃機関データブック、内燃機関、Vol.17。
- 4) 赤木、交通機関論、コロナ社、(昭和46・5)。
- 5) 瀬角、舶機誌、12巻5号(昭和52・5)、337。
- 6) 山縣、船型学(抵抗編)、昭和27・11、天然社。
- 7) 池田、小型船の設計と製図、昭和53・7、海文堂。
- 8) 孝橋、舶機誌、14巻2号(昭和54・2)、99。
- 9) 例えば、内藤、中林、関西造船協会誌、192号(昭和54・3)、51。
- 10) 西川、橋本、畑浦、内燃機関、Vol.18、No.223(1979・5)、31。
- 11) 運輸経済研究センター、中小型船舶建造需要の見通し、運輸経済研究資料500295(昭和51・3)。

研究委員会報告要旨

新 し い 軸 受 (プロペラ後部支持の軸系)

軸系研究委員会

本テーマは主に自由奔放にアイデアを出し合い、新しい軸系の可能性を探ることを目的として設けられたものである。これにしたがい、アンケート等により種々のアイデアを収集して検討の結果、多くのなかからプロペラ後部を支持する案が採択されるにいたった。よってこれについてその実現性と有効性を試設計およびアライメント計算により検討するとともに、プロペラ後部支持に付随して生じる問題点およびその長所を生かすための方策を考察した。

試設計は23万DWTタンカーを供試船として取り上げ、従来の軸系部品ができるだけそのまま使えるように考慮して設計し、充分実現性があることを確認した。また、上記試設計のアライメント計算を行った結果、船尾管後部軸受のプロペラ軸に生じるモーメントおよび同軸受の荷重が大幅に減少することを明確にし、その有効性を確認した。

プロペラ後部支持に付随して生じる主な問題点としては次のようなものがある。

- (1) プロペラ起振力がプロペラ後部軸受およびそのブラケットにおよぼす影響
  - (2) 船体変形が主軸系のアライメントにおよぼす影響
  - (3) 操船性能におよぼす影響
  - (4) プロペラ後部軸受の材質、シール法および加工時の作業性
  - (5) 軸の防蝕法
- プロペラ後部支持の長所を生かすために検討に値すると思われる主な方策には次のようなものがある。

- (1) プロペラ軸を細くする。
- (2) 船尾管後部軸受長さを短かくする。
- (3) 船尾管前部軸受を無くする。
- (4) スターン・フレームの構造を簡素化する。

以上のとおり、プロペラ後部支持の軸系の実現性と有効性を確認するとともに問題点および有効な方策を検討したが、今後本資料がこの種の軸系の検討にあたり参考になれば幸いである。

(会告参照)