

## (2) 船の寸法とエネルギー効率

前回 (SRC News No.80) は、当センターの水槽試験データベースを使用して、水槽試験精度の推移について紹介しましたが、今回は、同じ回帰式 (注1) を用いて、船の長さ、幅等を変えたときのエネルギー効率の計算例を示します。

### 1. 対象船型

計算例の対象を表-1に示します。スエズマックスクラスの原油タンカーと2,350TEU程度のパナマックスコンテナ船です。この表に示した寸法を原型に長さ、幅等を変化させ、その場合の載貨重量と所要馬力 (満載状態) を示します。

### 2. 長さ、幅、満載喫水、方形係数を変えたとき

表-1に示す船型の長さを変えた場合の載貨重量と制動馬力を図-1に示します。長さ以外の寸法と速力は表-1に示した原型と同じです。縦軸は表-1に示した載貨重量、所要馬力に対する比として示しています。

長さのみを変えたので同じ比率で排水量も変化しますが、軽貨重量はほぼ長さの二乗で変化しますので載貨重量の変化率は少し小さくなっています。主に、長さ変化に伴うフルード数変化による抵抗係数変化、および排水量変化によって所

要馬力が変化しますが、タンカーでは長さ増に伴い所要馬力も僅かに増加しています。他方、コンテナ船では、船を短くするとフルード数増加による抵抗係数増加のため、所要馬力が増加しています。

船幅のみを変えた場合の変化を図-2に示します (注2)。所要馬力は載貨重量に比べて少し小さい比率で変化しています。

満載喫水のみを変えた場合の変化を図-3に示します。タンカーでは所要馬力の変化が小さく、長さを変えた場合と同程度です。コンテナ船の所要馬力変化率はタンカーより大きくなっています。

方形係数のみを変えた場合の変化を図-4に示します。この場合は、方形係数を小さくした場合の所要馬力減少率が小さくなっています。他方、方形係数を大

きくした場合の所要馬力増加率が大きく、かなり非線形な変化となっています。長さ、幅、喫水の制限下における載貨重量増加対策として方形係数を大きくする場合、所要馬力の急増となり限度があることが分かります。

### 3. エネルギー効率

図-1~4の重ね書きを図-5に示します。エネルギー効率は、(1)式のように

$$\text{エネルギー効率} = \frac{\text{エネルギー}}{(\text{貨物重量}) \times (\text{輸送距離})} \quad \dots (1)$$

表-1 計算対象船型の原型

	原油タンカー	コンテナ船
長さ $L_{pp}$ [m]	264.0	216.0
船幅 $B$ [m]	48.0	32.2
満載喫水 $d$ [m]	16.5	11.5
排水量 [ton]	176,000	49,000
$L_{pp}/B$	5.50	6.71
$B/d$	2.91	2.80
方形係数 $C_B$	0.82	0.60
載貨重量 [ton]	147,000	29,000
軽貨重量 [ton]	29,000	20,000
計画速力 [knots]	15.5	22.0
所要馬力 [kW]	19,000	26,000

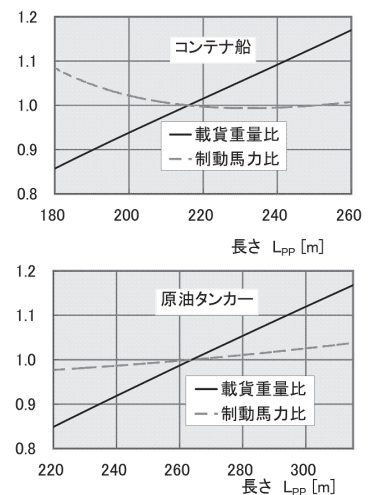


図-1 船の長さを変えた場合

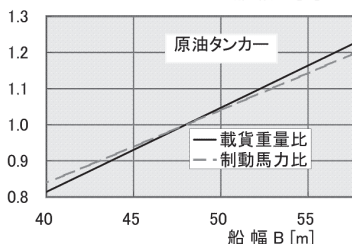
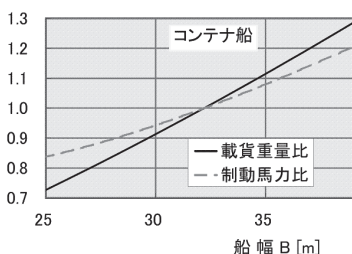


図-2 船幅を変えた場合

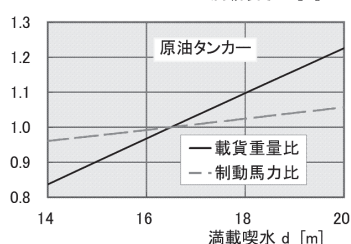
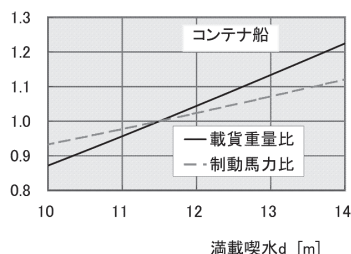


図-3 満載喫水を変えた場合

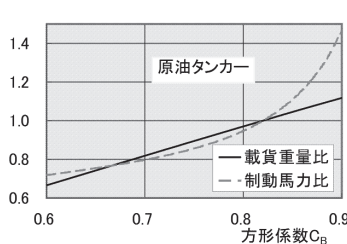
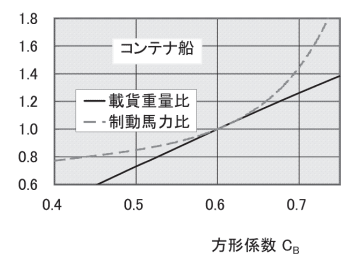


図-4 方形係数を変えた場合

一定重量の貨物を一定距離輸送するために必要なエネルギーですが、(1)式の分母分子を時間で割って

$$\text{エネルギー効率} = \frac{\text{馬力}}{(\text{貨物重量}) \times (\text{速度})} \dots (2)$$

とします。図-5の縦軸では、速度は船速[ノット]とし、馬力と貨物重量は図-1~4で示した所要馬力[kW]と載貨重量[ton]とし、さらに二酸化炭素排出量を表すエネルギー効率指標にならって燃料消費率、CO<sub>2</sub>換算係数を乗じてあります(注3)。

本図には、相似形状にて船の大きさを変えた場合の変化、及び船速を1ノット変えた場合の違いも示してあります。

本図によると、船の長さ、幅、満載喫水を変えるとエネルギー効率も単調に変化しますが、船幅変更の場合の傾斜が小さくなっています。これは、船幅増加に伴う抵抗増加が大きいためです。また、方形係数に関しては、エネルギー効率の観点から最低値があります。表-1に示した長さ、幅、満載喫水では、タンカーでは載貨重量が13万トン(C<sub>B</sub>=0.75)付近のエネルギー効率が最高となっています。コンテナ船では表-1に示した載貨重量付近でエネルギー効率が最高となっています。

次に示す図-6の縦軸は、注4に示す運行収支を表す指標で、経費の内訳として、所要馬力に比例する部分の比率が半分で $\alpha = 0.5$ 、軽貨重量に比例する部分の比率が1/4で $\beta = 0.25$ 、残りの固定部分が1/4と仮定した場合の指標です。船の長さ、幅、満載喫水を大型化した場合には収支は改善されますが、方形係数に関しては最小値があります。最小となる載貨重量は、図-5のエネルギー効率の場合とは若干異なっています。タンカーの場合は表-1に示したC<sub>B</sub>=0.82付近で最小となっていますが、コンテナ船では1割程度大きな方形係数で最低となっています。

最後に、図-7は、上記の2船種の大きさ(相似形状)と速力を大幅に変えた場合のエネルギー効率です。船の大きさが変わるとき、相似形状で変わるとは限

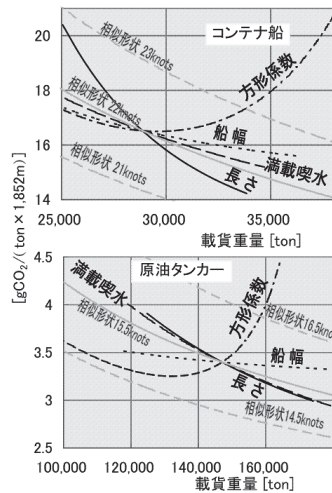


図-5 船の長さ等を変えた場合のエネルギー効率

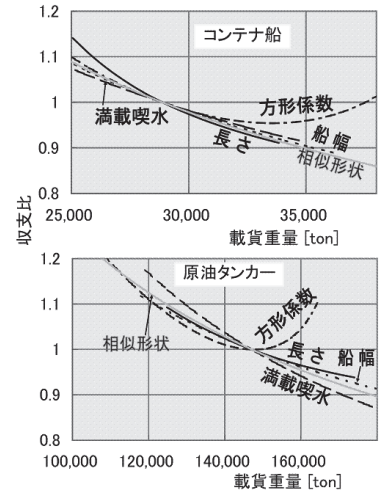


図-6 船の長さ等を変えた場合の収支比

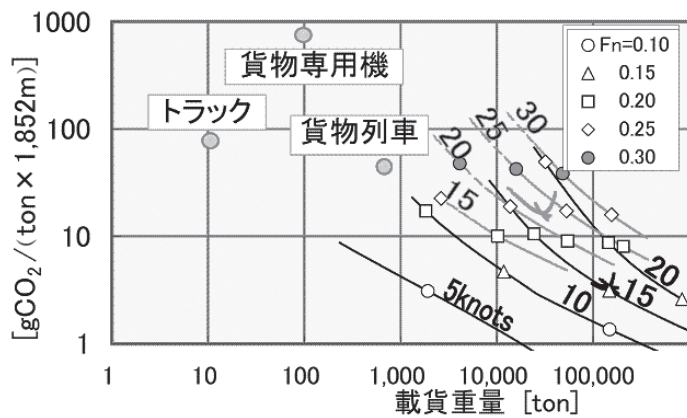


図-7 エネルギー効率の比較

りませんが、簡単のため相似形状としました。図中、実線がタンカー、薄い破線がコンテナ船です。本図には他の輸送形態のエネルギー効率(注5)も示していますが、低速・多量輸送形態としての船舶の優位性が示されています。

注1 性能計算に使用した回帰式のレベルは1で、説明変数は、船の長さ、幅、満載喫水、排水量で構成されています。  
注2 コンテナ船の幅はコンテナの列数により階段状の値となりますが、簡単のため幅を連続的に変化させています。同様に長さ、満載喫水等も連続的に変化させています。

注3 所要馬力は静水中主機出力のみです。燃料消費率は170g/kWh、CO<sub>2</sub>換算係数は3.206としました。

注4 船速一定の条件で、船舶運行時の収益は載貨重量に比例する部分Dのみであるとします。また、支出Oを所要馬力に比例する部分P(燃料費等)、軽貨重

量に比例する部分L(建造費等)、どちらにも因らない固定部分Fの和とし、表-1に示した原型(下添字0)では収支が釣りあっているとします。

$$I_0 = D_0 \quad O_0 = P_0 + L_0 + F \quad I_0 = O_0$$

$$I = D \quad O = P + L + F$$

原型ではP<sub>0</sub>、L<sub>0</sub>のD<sub>0</sub>に対する比が $\alpha = P_0/D_0$ 、 $\beta = L_0/D_0$ であったとし、船の長さ等の変更によりD<sub>0</sub>等が変化しD = D<sub>R</sub>D<sub>0</sub>、P = P<sub>R</sub>P<sub>0</sub>、L = L<sub>R</sub>L<sub>0</sub>となつたとします(原型ではD<sub>R</sub>=1.0、P<sub>R</sub>=1.0、L<sub>R</sub>=1.0)。

$O/I = \{\alpha(P_R - 1) + \beta(L_R - 1) + 1\} / D_R$ となります。この比が減少すると収支改善となります。また、O=Pで他の費用を無視すると収支比はエネルギー効率になります。

注5 トラックは、10トントラックで6.3km/lとしました。貨物専用機は、JALの環境報告2008によりました。貨物列車はJR貨物のHPによりました。

(技監 佐藤和範)