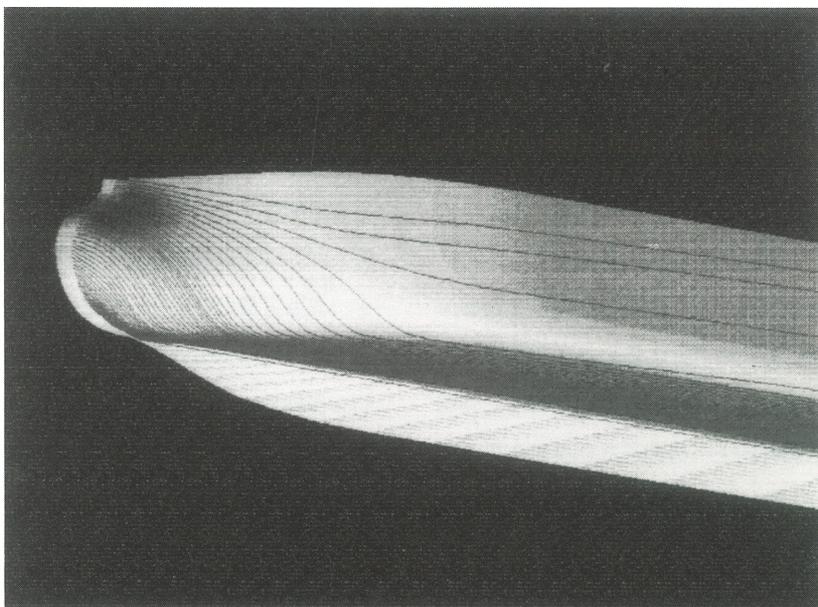


●目次●

中小型肥大船々型の新しい展開	Page 2
プロペラによる変動圧力(その2)	Page 4
サーフェスプロペラについて(その1)	Page 6
耐航性からみた船の主要目及び運動固有周期の選定について	Page 8
地球規模での炭素の循環について	Page 10

船のまわりの流れについて

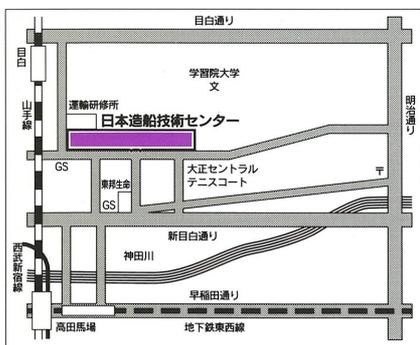


船のまわりの流れの現象の中で、驚かされるものに船底に沿って多量の気泡が流れていることがあります。

この原因は船首で崩れる波が水面を突き破る際に空気を巻き込み、これがいろいろなスケールの気泡となり、船のまわりの流れに乗って船底へ流れ込むと考えられています。水面付近の気泡が本当に10m以上も深い船底へ潜っていくのかと疑う方もあるかもしれませんが、図のような船首まわりの流線を示します。水面にかなり近い浅

い場所からスタートした流れは大部分が深い船底に入っていくのが判ります。小さな気泡は浮力による上昇速度高々0.30 m/s程度で、実船の速度は数 m/s程度ですから、流線に完全に沿うわけはありませんが、容易に船底に潜っていくことは理解されるでしょう。

このような流れの性質を利用して船の出す排気ガスを海中深く送り込み排気ガス中の二酸化炭素を海中に固定することが考えられています。



中小型肥大船々型の新しい展開

HRC 中手造船各社共同船型研究会の活動紹介

1. はじめに

海上物流の主役はタンカー、バルクキャリアー、ガスキャリアー等の専用船による、エネルギーや鉱物資源、食料等の大量輸送であって、来世紀においても、その基本的な形態に大きな変化はないと考えられます。専用船としては、荷姿、港湾設備や条件等により様々ですが、1部のガスキャリアーを除くと大略Cb \geq 0.8の肥大船型が採用されて来ています。肥大船型の歴史は昭和30年代に開始されたタンカーの大型化に始まって、多くの研究が実施され、船型の基本的な形状はほぼ定型化されたようにみえますが、世界経済の中での熾烈な競争に発する物流の経済性向上への飽くなき追求に応えるべく、推進性能向上への努力が続けられて来ています。

専用船の主体をなす中型タンカーやバルクキャリアーを主要製品とする造手中手各社をはじめとする中手造船所においては、各社の船型技術の基盤構築をめざし共同研究会（HRC中手船型研究会）を発足させ、独自の肥大船型の開発を進めて来ていますが、船の操縦性に関するIMOの暫定基準の発効やISOによる振動、騒音ガイドライン、更には環境問題に発する排ガス問題への対応など従来とは異なる環境下での商品競争力の向上の一環として、新たな観点に立つての船型開発研究を進めつつあります。

2. 肥大船々型の研究について

HRC中手船型研究会の目的は参加各社の基盤の整備、構築にあります。従ってその内容は参加各社の船型データの基本となる船型を対象として、船型データの整備、設計ツールの整備および新しい技術課題への対応のための研究活動等があります。肥大船々型についてはHRC発足以来、中小型専用船を対象として、着実に船型データの蓄積を進めて来ていますが、従来は推進性能に重点を置いたデータ取得整備に注力して来ました。

IMO暫定基準発効により、研究の範囲を操縦性にも広げる必要が生じ、平成7年以降中型肥大船を対象して研究が行われています。

すなわち、載荷重量70,000トン程度の1軸バルクキャリアーを対象に、推進性能、操縦性能および船尾流場特性という重要な性能と関係の深い船尾形状を研究対象とする船型開発研究があります。

研究の内容は以下のとおりです。

- (1) 載荷重量70,000トン程度の現有船型の調査と主要性能把握(A船型)
- (2) (1)をベースとして、船尾フレームラインをT型とする船型の開発、主要性能の把握とデータの整備(B船型)
- (3) 船尾肥大度を現有船型の範囲を越えて肥大化した船尾船型の主要性能把握、データの整備(CおよびD船型)

- (4) 船尾および舵方式の推進性能および操縦性能への影響調査(A船型)

喫水の深いOver load conditionに対応する状態での調査も行っています。

操縦性能については、PMM試験により得た操縦性微係数をもとに計算した結果、最も問題となり易い10° \pm 10° ZigZagテストの第1、第2 オーバーシュート角が従来の肥大度の実績範囲を越えた肥大船型においても適切なフレームライン形状の採用によりIMO暫定基準をクリアする良好な性能となることを示しています。

3. 超肥大船々首尾に関する調査

専用船の運航性能向上に対処する方法に載荷重量の増加がありますが、この為には船型の肥大化が有効です。ここでは現有知見を総合して、従来達成しえないと考えられた肥大度においてどのような現象や検討課題が示されるのか、又、実用に供しうるような性能が得られるのかという初歩的な問いに応えるべく、前章で紹介した船型と主要目を同じとして、船首尾肥大度を従来の実績の範囲をはるかに越えた値に設定して船型を計画し、試験を行いました。(E船型)

主要目、船首尾肥大度等を下表に示します。

船型	A	B	C	D	E
肥大度(Cb)	0.8407	0.8406	0.8573	0.8575	0.8929
L/B	6.278	6.278	6.278	6.278	6.278
B/d	3.056	3.056	3.056	3.056	3.056
L/B(1-Cb)	1.00	1.00	0.90	0.90	0.67
船首肥大度(He/B)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.21
船尾肥大度(Hr/B)	0.70	0.71	0.60	0.60	0.47
Wr	0.667	0.665	0.617	0.659	0.676
フレームライン係数(β_r)	0.59	0.60	0.53	0.56	0.49
舵面積比(Ar/Ld)	1/62.6	1/62.6	1/62.6	1/62.6	1/49.6

なお、船型を数少ないパラメータで表わす方法については5. 参考の項を参照して下さい。

推進性能は造波抵抗が大きい以外は、形状影響係数、自航性能、船尾流場と共に妥当なレベルにあり、運航経済指数で見ると、原型と比べて見劣りのしないレベルにあることが示されました。操縦性能は舵面積比を増しているという事情はありますが、IMO 暫定基準を満足しています。

4. おわりに

HRC 中手船型研究会の活動の一端を肥大船々型の開発に例をとって紹介しました。

現状を打破して、21世紀に生き延びるためには独自の技術構築が不可欠とされており、本研究会がその一助となれば幸いです。

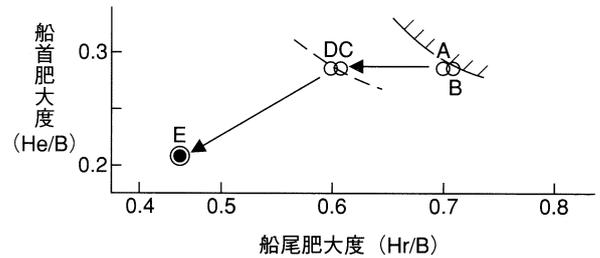


図-1 HRC肥大船船首尾肥大度

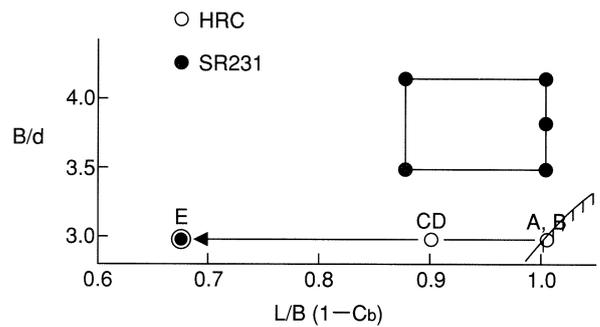
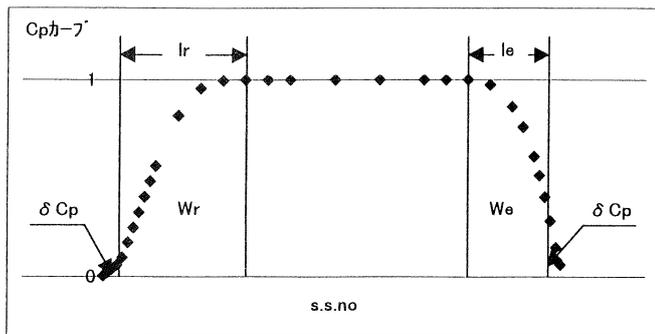


図-2 HRC/SR231肥大船

5. 参考

Cpカーブの表示



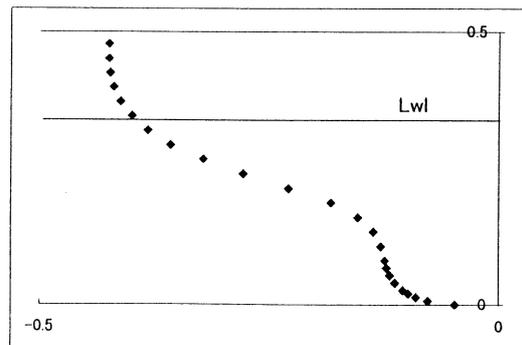
$$L_r/B(1-W_r) + L_e/B(1-W_e) = L/B(1-C_p - \delta C_p)$$

$$H_e/B = L_e/B(1-W_e) \quad H_r/B = L_r/B(1-W_r)$$

$$L_e/B = L/B \cdot l_e \quad L_r/B = L/B \cdot l_r$$

δC_p ; 船首尾端のCp値の修正

フレームラインの表示



$x = 0.3l_r$ の位置
 C_p at $0.3l_r$
 C_w at $0.3l_r$
 $\beta_r = C_p * C_m / C_w$

プロペラによる変動圧力(その2)

前号(SRC News No.41)に引き続いてプロペラ翼面上のキャビテーションにより発生する変動圧力の性質について述べる。なお、章、図番号は前号に続いた番号としている。

6. チップクリアランス

プロペラのサーフェスフォースは、変動圧力が水中を伝わって外板に達することによって生ずる現象であるから、それを小さくするためにはプロペラと船体との距離(クリアランス)を大きくするのが良い、ということはずぐ分かる。

ここでは、船体とプロペラ先端との距離(チップクリアランス、図-8に示す d_T)と変動圧力の関係について調べる。図-9にチップクリアランスを変えたときの変動圧力の変化を示す。なお、チップクリアランスは図-8の1)に示すように上方と船体との最短距離で表すことが多いが、ここでは同図2),3)に示すように、点Tの真上の点における変動圧力について調べる。計算の対象としたキャビティは、前号掲載の図-4である。

図-9の左側の図はプロペラの一翼のみによる変動圧力、右側の図は5翼プロペラの合計の変動圧力である。破線は翼厚による変動圧力、点線はキャビティによる変動圧力、実線はそれらの合計である。本図を見ると、チップクリアランスを大きくすると、確かに変動圧力は減少している。

図-10,11は、図-9と同じデータについて、周波数成分に分解したときの各成分の振幅のチップクリアランスによる変化の様子を示したものである。図-10は各成分の振幅の累積を示している。図-11においては、翼数 $Z=3\sim 6$ のプロペラの変動圧力 $K=1\sim 3$ に関する成分のみを示す。

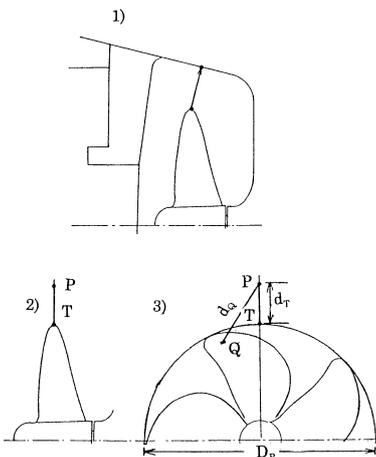


図-8 チップクリアランスの定義

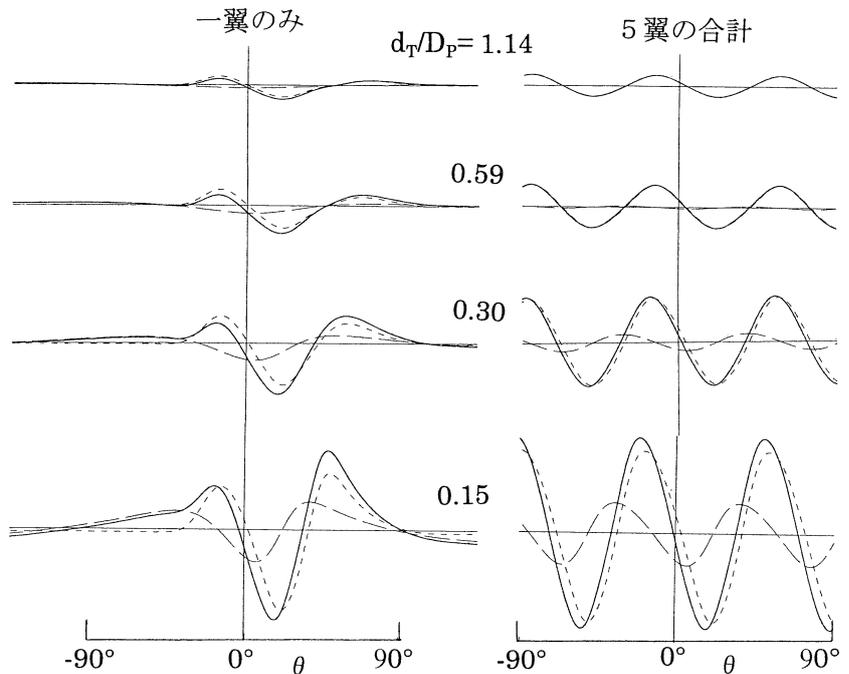


図-9 振動波形

— — — 翼厚による
 - - - - - キャビティによる
 ————— 合計

ている。これらの図を見ると、チップクリアランスの増加に伴い、ほとんどの成分は減少している。また、翼数による変動圧力の減少率が大きいことが分かる。

変動圧力はチップクリアランスの何乗に逆比例するか

○ 式を見て言えること
 変動圧力はチップクリアランスの何乗に逆比例するか

$$n ? \quad \Delta P \propto 1/d_T^n$$

は、昔から興味ある問題である。

前号の1式を見ると、被積分関数の第1項は $1/d_0$ すなわち d_0 に関する $n=1$ の項とキャビティ体積変化の項との積になっており、チップクリアランスが大きいたまは $n=1$ になると予想される。第二項は、 $1/d_0^2$ すなわち d_0 に関する $n=2$ の項と d_0 の微分の項、およびキャビティ体積の項の積になっており複雑である。

なお、1式は翼面上に分布する点QとPとの距離 d_0 に関する式であり、チップクリアランスを図-8の点Tとの距離 d_T で表した場合は、 n は小さくなる。

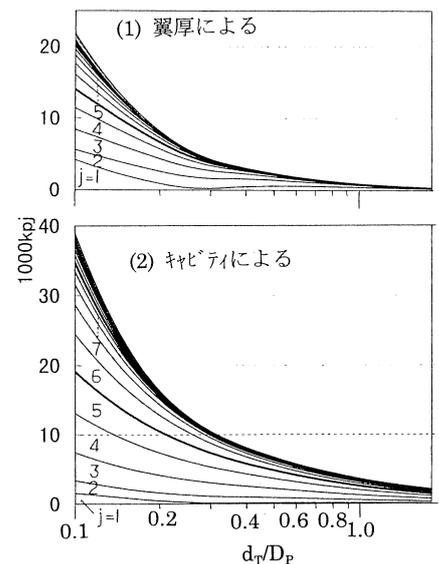


図-10 各次数成分の累積

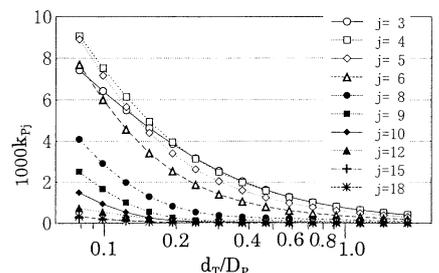


図-11 主な次数の振幅の変化

○ 計算例

図-9~10の例について、変動圧力のピーク値の n を計算した結果が図-12である。本例では、翼厚による変動圧力の n は、チップクリアランスが小さいときは $n=1.3$ となっているがチップクリアランスが大きくなるに従い増大している。キャビティによる変動圧力の n は、チップクリアランスが小さいときは複雑であるがチップクリアランスが大きいたまは $n=1$ に収斂しているように見える。合計の変動圧力の n もチップクリアランスが大きいたまは $n=1$ に収斂しているように見えるが、これは、翼厚による変動圧力の減衰が大きいたまと考えられる。

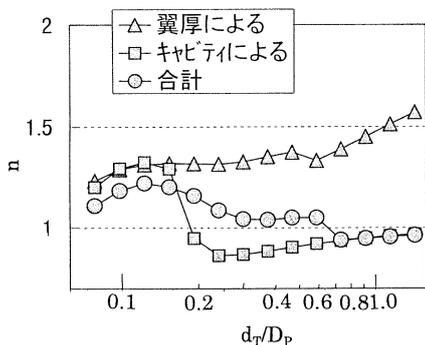


図-12 ピークピークの n の変化

次に、同じデータに関して、実用上重要な各周波数成分の n について調べる。図-13がそれで、1は翼厚による変動圧力に関する n 、2はキャビティによる変動圧力、3はそれらを合計した変動圧力の n である。

本図によると、翼厚による変動圧力に関する n は、チップクリアランスが大きくなるに伴い大きくなる。また、次数 j が大きいほど大きくなるのが分かる。これは、翼数 Z が大きいプロペラおよび翼周波数の高次成分では、翼厚による変動圧力の減衰が大きいことを示している。キャビティによる変動圧力に関しては、3~6翼プロペラの翼周波数一次成分である $j=3\sim6$ の成分の n は、チップクリアランスの増大に伴い $n=1$ に収斂している。チップクリアランスが小さい場合も1に近い値となっている。高次成分の場合もチップクリアランスの増大に伴い $n=1$ に収斂しているようであるが、チップクリアランスが小さい場合の変化は複雑でマイナス(チップクリアランスの増大に伴い変動圧力が増加する)になる場合もある。

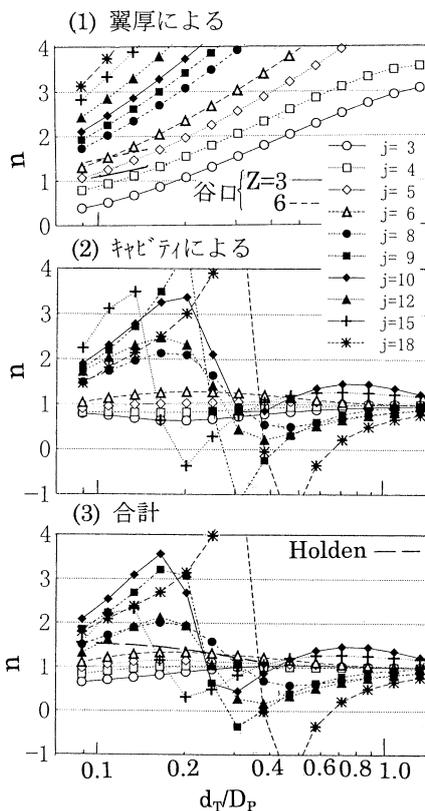


図-13 主な次数の n の変化

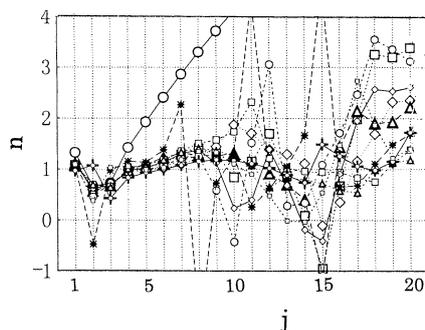


図-14 キャビティパターン等を変えたときの n

表-1 n の平均値

$Z \backslash k$	1st	2nd	3rd
3	0.98±0.09	1.32±0.33	1.05±0.65
4	1.03±0.07	1.19±0.30	0.77±0.36
5	1.12±0.11	1.44±1.11	1.03±0.44
6	1.32±0.33	0.77±0.36	1.87±0.86

Z : 翼数 k : 翼周波数ベースの次数

合計の変動圧力の場合は、キャビティによる変動圧力の場合とほとんど同じ傾向である。

以上の例に加えて、キャビティパターン等をいろいろ変えた12ケースについて

計算を追加してみた。その結果が図-14である。これは通常チップクリアランスである $d_T/D_p=0.2\sim0.5$ の n の平均値を次数 j ベースに示したものである。同一のプロペラのデータは線で結んである。○印はキャビテーションが発生していないプロペラ、他は発生しているプロペラの n である。幸いにして翼周波数一次成分キャビティに対応する $j=3\sim6$ の場合はキャビティパターン等による違いは小さいが、高次成分ではバラバラとなっている。

○印のデータを除く11ケースのデータの平均値と標準偏差を表-1に示すが、一次成分では翼数の増大に伴い n が大きくなっているが、平均値は $n=1.1$ である。高次成分では、平均的には $n=1.2$ となっているが、ばらつきが大きく一般的傾向は認められない。

変動圧力はチップクリアランスの何乗に逆比例するかは、昔から興味ある問題で、谷口(1)が示したキャビテーションがない状態での実験結果では、 $n=0.6\sim1.6$ で、チップクリアランスが大きくなるに従い、また翼数が大きくなるに従い大きくなっている(図-13の1参照)。また、よく使用されるHolden(2)のキャビテーション発生時の式では、原式を本報告の記号の定義に変更すると

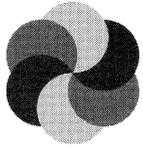
$$n = 1.63 - 1.4(d_T/D_p) \quad d_T/D_p < 0.45$$

$$1.00 \quad > 0.45$$

で、チップクリアランスが小さいときに大きくなり、通常チップクリアランスで $n=1.2\sim1.3$ となっている(図13の3参照)。他の文献でも $n=1$ 程度となっている。(つづく)

参考文献

- (1) 谷口中他: 'プロペラによる船体振動研究の展望', 三菱重工技報 vol1.5, No.4 (1968)
- (2) K.O.Holden: 'Excitation forces and afterbody vibrations induced by marine propeller blade cavitation', Norwegian Maritime Research No.1(1979)



サーフェスプロペラについて（その1）

1. はじめに

翼が水面をよぎりつつ回転して推力を発生する半没水プロペラ、あるいは Surface Piercing Propeller を略したサーフェスプロペラは、スーパーキャビテーションプロペラやウォータージェットと並ぶ高速艇用推進器として注目されています。このように水面をよぎって回転するプロペラのアイデア自体は意外に古く、既に19世紀中葉、米国において浅水域航行用ボートの推進装置として特許まで申請されているそうですが、高速艇用推進装置として、本格的に登場してきたのは、ごく近年の事のようにです。100ノットを越える外洋レース用ボートや、米国海軍のSES100Bに加え、多くの高速艇の実績や模型試験等によって、サーフェスプロペラが高速において、十分に没水したプロペラやウォータージェットと同等の性能を有することが示されたこと、プロペラに不可欠と考えられていたプロペラ軸を支える装置や、操船用の舵の不要な機構の出現もあって、特に高速化傾向の著しい小型高速艇の分野でのサーフェスプロペラへの関心が高まっているということです。しかしながら、プロペラの翼が水面をよぎって作動することに起因するサーフェスプロペラの流体现象の複雑なことから、理論的にも実験的にも十分に没水したプロペラとは異なる難しい課題があり、合理的なプロペラ設計法が確立されているとは言えない状況にあります。実際には実艇毎に試行錯誤的にプロペラ設計が進められているといっても過言ではありません。

本稿では、以上のようなサーフェスプロペラの現状に鑑み、公表された文献をもとにして主として流体力学的な観点から、このプロペラの特徴について述べることにします。

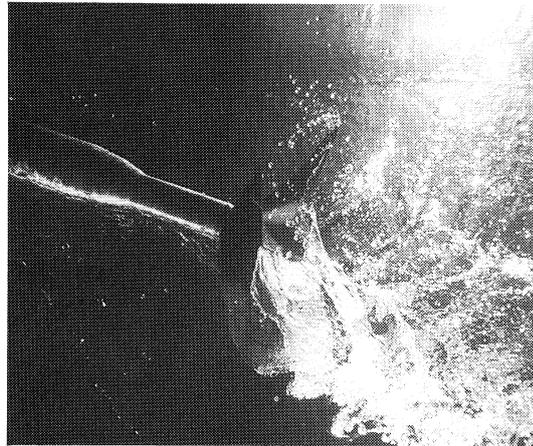


図-1 サーフェスプロペラ作動状況例

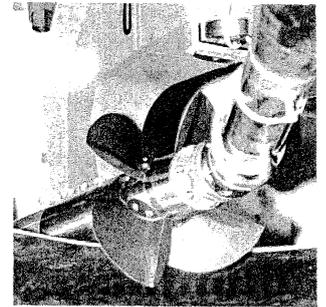


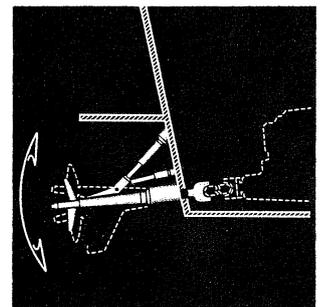
図-2 サーフェスプロペラの例

2. サーフェスプロペラとは

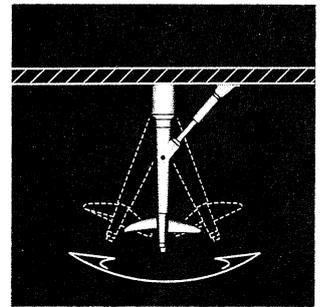
サーフェスプロペラは水面をよぎって回転して、推力を発生します。従ってサーフェスプロペラが作動する時には水面を攪乱して波や飛沫を発生させ、又、水面からの空気吸い込みを伴います。図-1に1例を示しますが、十分に没水した通常型プロペラの現象とは随分と異なることがお判りになると思います。

プロペラの1例を図-2に示します。普通のプロペラに比べると先端の広がった翼の輪郭や鋭く上がった先端とブラントな後端という楔のような断面が特徴です。

プロペラの装備の配置例を図-3に示します。プロペラは船尾端あるいはステップと称するブラントな端部の後方に取付けられるのが一般的です。静止時は水中にありますが、高速航走の滑走状態でプロペラ前方のステップあるいは船尾端が水面を滑走しているような状態になると、プロペラは水面をよぎって回転するようになります。プロペラ軸はエンジンと可動ジョイントを介して連結しており、油圧システムにより上下左右に動くことにより、最適の没水深度に調整し、又、推力方向を左右に変えて船の針路を変える事ができます。勿論、通常のプロペラのように軸が固定で舵の付く場合もあります。いずれにせよ、抵抗の大きな



■トリム調整可能なプロペラシャフト



■積極的な推力の方向変換による操舵

図-3 サーフェスプロペラの配置

軸支持装置を水中（船底）に突き出す必要はなく、サーフェスプロペラの利点とされることです。それではサーフェスプロペラはどのような船に付き、どのような寸法のものかを図-4に示します。船の長さは高々30mをこえるものは稀であり、重量も高々数十トンというところでしょうか。エンジンは1軸あたり大きくとも1000PS程度、プロペラ直径は大きくとも1m程度です。速力は20～60ノット程度ですが、フルード数の大部分は1.0付近またはそれよりも高く、いわゆる滑走型の超高速艇が大部分ですが意外に低いフルード数の例もあります。

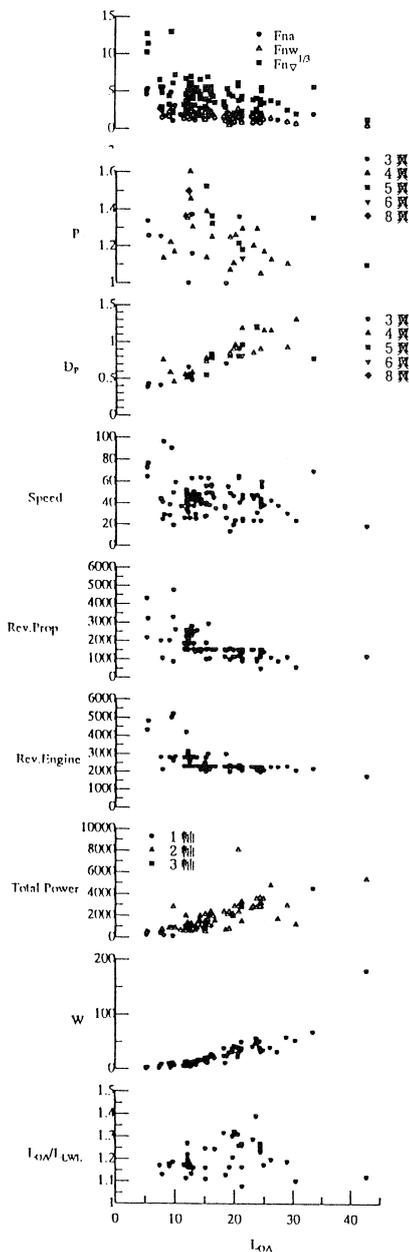


図-4 サーフェスプロペラ実績例

3. サーフェスプロペラの流体力学

水面をよぎって作動するサーフェスプロペラは、水面に波を作り、飛沫をまきちらし、更には空気吸い込みを生じます。このような現象を支配する物理量はプロペラ翼面の粘性流れに関するレイノルズ数、波に関するフルード数、空気吸い込みや飛沫に関するウェーバー数があり、これにプロペラの荷重量を示す前進率や

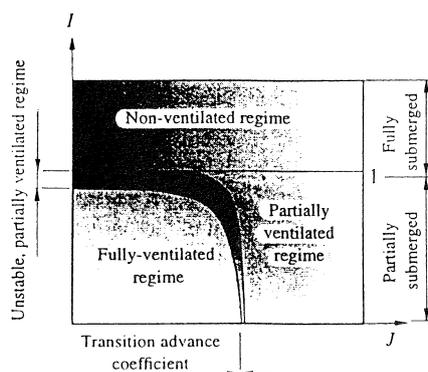
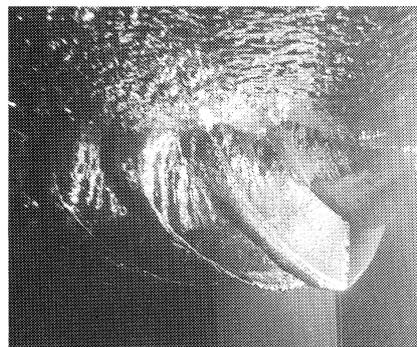
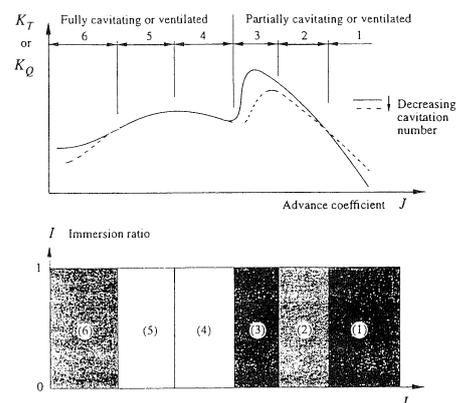


図-5 サーフェスプロペラの流体现象

没水深度があります。更にプロペラキャビテーションが加わりますから、十分に没水したプロペラの場合に比べて、複雑なことが理解されるでしょう。

さて、サーフェスプロペラの現象は、前進率 J と没水深度 I によって、図-5に示すように、(1) 空気吸い込みの生じない場合、(2) 部分的に空気吸い込みが生じる場合、(3) 激しい空気吸い込みを生じる場合に区分されます。なお、(2) と (3) の間に不安定な領域があります。プロペラの発生するスラストやトルクは、以上のような状態に応じて、先に述べた物理量の影響を受けることになります。この関係がInfluence Matrixという図表によって示されています(図-6)。要約すると(1)(2)の領域ではプロペラの荷重量が小さいためもあり、空気吸い込みの影響も小さく、十分に没水したプロペラに似た特性が示されますが、(3)の領域では空気吸い込みが間欠的に大きくなったりする不安定な状態となります。プロペラの特性はプロペラの荷重量の増加に伴い、空気吸い



Flow Region	Reynolds number R_{nD}	Weber number W_{nD}	Froude number F_{nD}	Cavitation number σ
			No	No
	Yes, but negligible when $> 5 \cdot 10^5$	Yes, but negligible when $> 2 \cdot 10^2$	Yes, but negligible when > 4	Yes
			Yes	Yes

図-6 サーフェスプロペラの特長、流体现象と主要物理量の関係

込みが激しくなり、推力が急に減少していきます。(4)(5)の領域では没水したプロペラ翼は空気によって覆われ、水面より上のプロペラ翼が荷重量の増加に従って水の層によって覆われると共に、水の飛沫の発生が急激に増加します。(6)の領域ではプロペラの前方の水面が上昇して、プロペラ翼は十分に没水するようになります。飛沫の発生量は減少し、空気吸い込みもプロペラの後方から生じるようになります。なお、キャビテーション数が減少すると、その特性は点線の方向に変化します。但し、(3)から(4)への急激な特性変化は公表されている他のデータの中に見出せませんが、以上のような現象はプロペラの形状や上記の諸物理量の値によって変化しますので、条件によっては確認することは可能と思います。なお、自然は良くしたもので、レイノルズ数は 5×10^5 以上、ウェーバー数は 2×10^2 以上、フルード数は4以上になると、夫々の影響が消えることが実験的に確認されており、これらの貴重な知見によって、サーフェスプロペラについての模型試験による特性の評価が可能となります。(つづく)

いろいろな船の中で、ある特定範囲の長さの船が就航後に耐航性を問題とされるケースの多いことが知られている。主な原因は就航する海面に卓越する波の周期が、船の固有周期あるいは船と波が出会う周期に近いためではないかと考えられている。

本稿では船長100m以下の小型船を対象に運動の固有周期と海洋波の平均周期との関係について検討した結果を紹介する。

海洋の波について

風速と波高、波周期については従来より、観測資料が公表されており、現在も世界各地においてデータが蓄積されているが、例えば、造船設計便覧記載のBeaufort scaleと参考波高、Bretschneiderの波浪発達予知曲線、有義波高や波周期の累積頻度図等は簡便に利用しうる有用なデータである。例えば北大西洋の波浪データの示すところは平均波周期 $T_w=8\sim 9$ 秒で累積頻度は80~90%に達する(図-1)。

波長は波周期より $\lambda = \frac{g}{2\pi} k T_w^2$, ($k \leq 1$)により求められるから、概して海洋波は100m程度までの波長の波が多いことが判る。

波と船との出会周期は $k=1$ として $T_e = T_w^2 / (-v_s \cos \chi + \frac{g}{2\pi} T_w)$ で求められるから向波 $\chi=180^\circ$ で速力16ノットおよび20ノットの出会周期は下表のようになる。

$T_w(\text{sec})$	5	6	7	8	9
入(m)	39	56	76	100	126
$V_s=20/\text{ノット}$ $T_e(\text{sec})$	2.2	2.8	3.6	4.4	5.2
$V_s=16/\text{ノット}$ $T_e(\text{sec})$	2.4	3.2	4.0	4.8	5.7

以上の数値は、例えば、縦揺れ固有周期4.8秒の船が16ノットで周期8秒の波の中を向波状態で航行すると同調により大きな運動が生じることを示している。追波

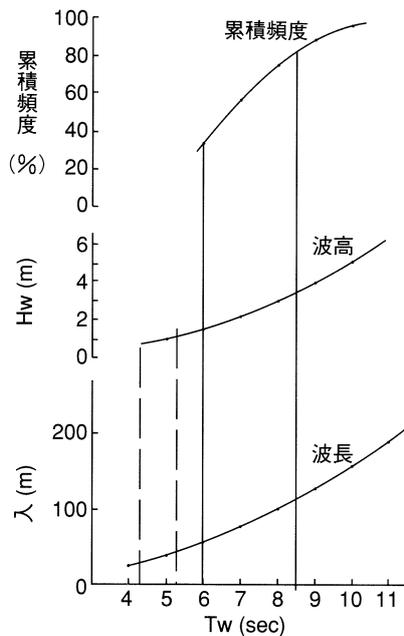


図-1 北大西洋 (ROLL) の波浪データ

$\chi=0^\circ$ では $T_w = \frac{2\pi}{g} v_s$ から、 $V_s=20/\text{ノット}$ で、 $T_w=6.6$ 秒、 $V_s=16/\text{ノット}$ で $T_w=5.3$ 秒の波と夫々波速、船速が一致する一般に不安定な状態となる。

船の主要目と固有周期

造船設計便覧中の船長 L とLBMの関係の中の縦揺れ周期の計算値とLBMの実績を示す図より、長さ80m~90m程度で縦揺れ周期5秒、長さ50mで縦揺れ周期3.5秒の例があり、これらの船は周期6秒又は、8秒程度の波の中を向波状態で航行すると同調運動を生じる事になる。同じく造船設計便覧中の幅 B とGMの関係の中に横揺れ周期の計算値とGMの実績を示しているが、客船の例として $B=9\sim 10$ mにおいて横揺れ固有周期6~8sec、 $B=11\sim 12$ mで、横揺れ周期8~9secの実績があり、これらの船は比較的出現頻度の高い波の中で同調横揺れを生じることになる(図-2、図-3)。以上述べたような船の横揺れ、縦揺れ固有周期が卓越する海洋波の平均周期に同調するような船の主要目はどのようなものかを検討し表-1

に示し、その結果を図にして、図-4に示した。なお、A、B、各グループは主要目を同じとし、Cb、Cw の関係を変えた3船型についてKB、BMT、BML を既存の簡易式(1)により求め、KGを造船設計便覧記載の実績値より $KG/D=0.75\sim 0.8$ として、GMT、GML を求め、運動固有周期(T_R 、 T_P)を算出している。

$L=34$ m のA船のグループ中A-2、 $L=90$ m のB船のグループ中B-2の各ケースが横揺れ周期と平均波周期、あるいは、

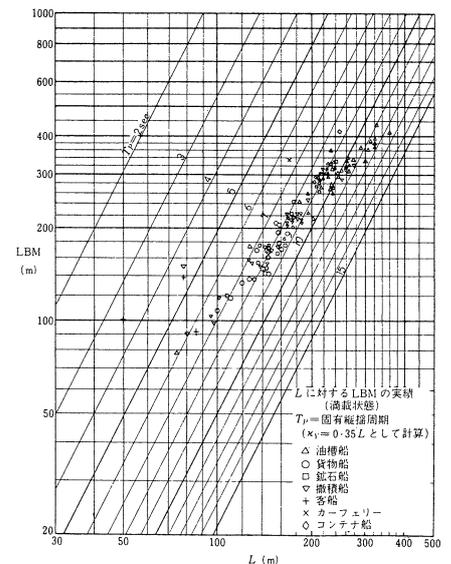


図-2 LBM及び縦揺れ周期

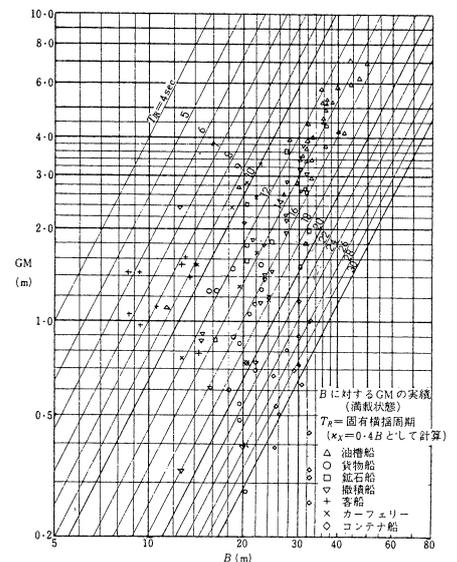


図-3 GM及び横揺れ周期

向波状態での出会周期と縦揺れ周期が一致している。なお、船速はA ケース13ノット、Bケース16ノットとしている。

又、追波状態で船速と波速が同じとなる平均周期も併せて示している。

A-2船にあつては横揺れ周期(T_R)と平均波周期(T_w)とが一致し、向波状態での出会周期(T_e)と縦揺れ周期(T_P)の一致する平均波周期 T_w は6秒で、波長 $\lambda=56m$ 、北大西洋の波浪データでは有義波高1.5m、32%程度の累積頻度である。また、追波では $T_w=4.3$ 秒、 $\lambda=30m$ 程度の船長に近い波長の波の中で不安定な状態となる。

B-2船にあつては $T_R=T_w=8.5$ 秒となる波の中で、向波時の出会周期5.2~5.3秒は、縦揺れ固有周期5.3秒とほぼ一致する。平均波周期8.5秒で、波長 $\lambda=115m$ 、北大西洋の波浪データでは波高 $H_w=3.5m$ 、累積頻度は約84%である。追波状態では $T_w=5.3$ 秒、 $\lambda=45m$ という短い波の中で不安定となる。

波に対応する風力指数 (Beaufort scale) および平均風速を表中に示してあるが、A-2船がBeaufort scale 4、B-2船がBeaufort scale 7に対応している。

表-4 船の主要目と固有周期例

	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
LPP (m)		34.0			90.0	
B (m)		6.5			15.0	
D (m)		3.0			7.5	
d (m)		2.2			5.0	
Δ (t)		325			4511	
Cb		0.652			0.652	
Cw	0.80	0.86	0.92	0.80	0.86	0.92
KB (m)	1.22	1.26	1.30	2.77	2.86	2.95
BMT (m)	1.66	1.90	2.14	3.89	4.45	5.01
KG (m)	2.4	2.4	2.4	5.25	5.25	5.25
GMT (m)	0.48	0.70	1.04	1.41	2.06	2.71
T_R (sec)	7.5	6.0	5.1	10.1	8.4	7.3
BML (m)	37.15	44.90	53.75	114.54	138.43	165.71
GML (m)	35.97	43.76	52.65	112.06	136.04	163.41
T_P (sec)	3.9	3.5	3.2	5.8	5.3	4.8
T_w (T_R)	7.5	6.0	5.1	10.1	8.4	7.3
$\lambda = \frac{g}{2\pi} T_w^2$	87.8	56.2	40.6	159.2	110.0	83.1
V_s (knots)		13.0 (=6.687m/s)			16.0 (=8.230m/s)	
T_e (180°)	4.8	3.5	2.8	6.6	5.2	4.2
T_e (0°)		4.3		5.3		
Beaufort scale		4		7		
V_w (m/s)		6~7m/s		16~18m/s		
H_w (m)		1.5m		3.5m		

以上の結果よりA-2船が小型船とは言え、波高1.5m 波長50m 程度の穏やかな波の中で横揺、縦揺れと共に厳しい同調運動を発生する可能性があることが判る。

B-2船、では累積頻度から大洋中に比較的多く出現する波と同調するチャンスが多く、GM自体は充分にあつても、船体運動の厳しい船として評価されよう。なお、Cwを変えた場合の固有周期の変化も併記しているが、就航海域の波の特性や安全性を考慮した主要目の選定に加え船型への配慮が必要なることを示している。

おわりに

固有周期即ちGMの選定は、安全や乗心地の観点から船の設計の基本であり、法的なものも含めていろいろなガイダンスが提案されている。本稿では海洋波との同調という観点から、固有周期と船型について耐航性が重要な課題となる船長100m以下の船を対象に検討してみた。読者のご意見を頂ければ幸いである。

参考資料

- (1) 理論造船工学 (上巻) 海文堂

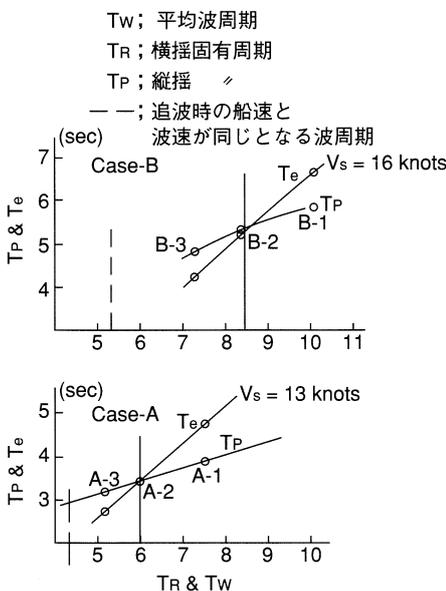


図-4 運動固有周期と平均波周期

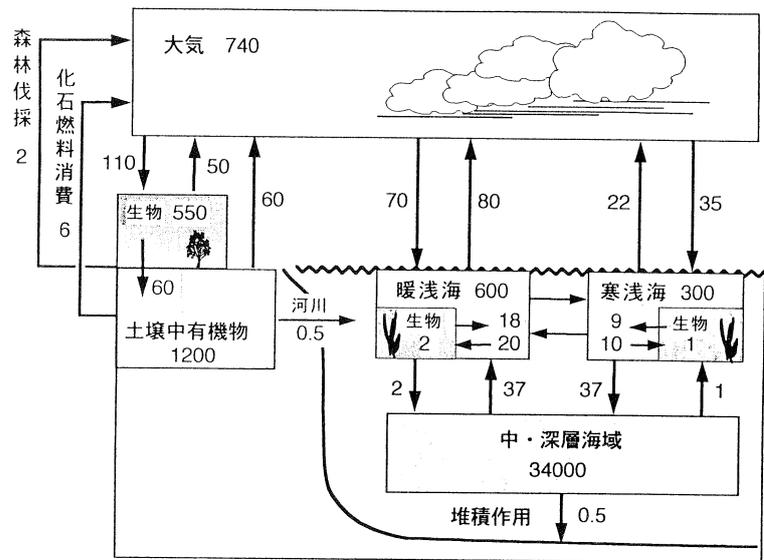
地球規模での炭素の循環について

産業革命に始まる化石燃料の多量消費の結果、大気中の二酸化炭素が且て地球の歴史の中では無かったような急激な割合で、増加していることが報告されており、その結果として近い将来地球規模の気温の上昇（温暖化）や激しい気候の変化となって現れるのではないかと懸念されております。

地球はその誕生以来、大規模な気候変動を幾度となく経験しており、良く知られている恐竜の絶滅のように、生物界の様相が全く変わってしまったようなことも珍しくはありません。その当時は人類は居なかった訳ですから、気候の変動は化石燃料云々ばかりでなく、太陽活動とか巨大隕石の落下等の宇宙現象や、地球内部のマントル対流による激しい火山活動等の影響は無視出来ない要素です。但し、人類の活動はその規模において地球の気候に影響する新しい要素となつてしまった事は否定出来ません。以下、現在の地球上の大気圏および水圏における炭素の貯蔵量および循環について、現在知られているところを概略紹介します。

図は地球上の大気、陸、及び海にある炭素の貯蔵量とその間の循環（収支）を示してしています。単位は10億トン(GIGAト)です。すなわち、大気中にCO₂ガスの形で740G.ト、陸上に動植物の体を作る有機物として550G.ト、地中に化石燃料等の有機物の形で1200G.ト、海中の、深層域に34000G.ト、浅い海域に無機化合物やイオンの形で900G.ト、生物の体を構成する有機物として3G.トが貯蔵されています。これらの領域間の炭素の移動を矢印で示してありますが、例えば、陸上では植物の光合成によって、大気中から110G.トが生物に吸収され、そのうち50G.トが呼吸等によって再び大気に戻り、60G.トが生物が死ぬことにより地中に入り、微生物により分解され、炭酸ガス、その他になって再び大気に戻って行きます。

海洋では、暖かい浅い海では差引き大気中への放出量が上まわっていますが、寒い海では、大気からの吸収量が放出量を上まわっています。寒い海では海水の沈みこみと共に中、深層域に移動し、暖かい海では中、深層域から浅い海に移動して行きます。又、生物がとりこんだ炭素は死体や排出物の形で、移動すること



数字は10億トン炭素、矢印は1年間の炭素の動き

□ 無機炭素 □ 有機炭素(生物) □ 有機炭素(大部分が非生物)

も加わり、1G.ト分の炭素が浅い海から深海へ移動しています。単純には、大気から海へ移動する分が多く、大気中の炭素は年々減少し、温室効果が減少して行くことになります。ところが人類の活動により本来地中に眠っていた筈の化石燃料の消費や生長と死亡とによってバランスしていた筈の森林の伐採により、大気中の炭素は逆に増加の方向となっています。この数字を用いるならば、約200年程度で大気中の炭素の量は倍増することになります。恐竜が主人公であった頃の地球上の大気中の炭素は現在よりはるかに多く、その温室効果により、全球的に暖い穏やかな気候であったとされていますから、安定した温暖な気候それ自体は悪いことではありませんが、地質学的な長い年月を掛けて新しい環境に生物が対応して来たことからすれば、200年程度の時間は地質学的なスケールでは、瞬時に近く、気候が別の安定した状態に移る途上に生じる変動は耐えがたいものと考えます。又、人間社会にあっても、食料問題をはじめとするインパクトにより世界的な大変動を起こしかねません。

勿論、自然に対する理解は不充分であつて、以上のシナリオを変える要素に事欠かないようですが、大気中の炭素の増加は否定できないとされており、少なくとも増加の速度を低めてインパクトを弱

めること及び、気候の変化やそれによる影響を出来るだけ精度良く推定して適切な対策を立てることが国際的な合意と言えます。

従つて、いろいろな分野において化石燃料消費減少、あるいは排出される二酸化炭素の固定を図らねばならない訳ですが、船舶の排出する炭素は化石燃料消費量の約10%を占めると言う説もあり、船舶の分野でも二酸化炭素排出量低減が強く要求されることでしょう。

船舶の推進性能向上による排出量減少は、勿論ですが、排出される二酸化炭素の海中固定等、新しい視点に立つての技術開発へのチャレンジが必要です。

造船技術センターにおいては、業務のベースである船型やプロペラの性能向上という排出量減少への貢献に加えて、運輸施設整備事業団が運輸分野における基礎的研究推進制度により実施する「船舶から排出される二酸化炭素の海中固定に関する研究」に参加し、排気ガスの海中吐出のテーマについて研究を担当することになりました。

環境問題への対処技術を造船技術センターの新たなレパートリーに加えるべく努める所存です。

日韓造船所超大型船手持ち工事量について 資料（平成10年7月1日現在）

載荷重量20万ト以上のタンカー等の日韓造船所手持ち工事量に関する資料を入手したので、徒然なるがままに評価してみました。表、1は資料のまとめですが、隻数、重量と共に日本の大手6社の保有量は、韓国主要3社のそれを50~60パーセント上廻っておりますが、1社平均では、日本の7.7隻/社、2,108,200ト/社に対し、韓国は9.3隻/社、2,820,200ト/社と上廻っています。1隻あたりの重量トも韓国の方が大きな値となっておりますが、これは顧客構成の相違が影響しているように思います。さて、その顧客構成ですが、表-1に示すように、日本の場合は東南アジア系の船主と日本の船主が大部分を占めるのに対し、韓国の場合は、EU等の船主が大部分です。米国船主は日韓仲良く、2隻ずつに過ぎません。かつての日本造船業の有力顧客であった欧米船主が、こぞって韓国造船所に移るといふ厳しい市場原理を肌で感じるような数値です。ドル換算船価は数字上日韓共に相違ありませんが、一般に欧州船の高仕様指向を考えると、実質的な船価に差があるとみてよいと思います。

主要目を図-1に示しますが、欧州や米国の船は載荷重量、深さ、喫水共に日本船に比べて大きい傾向がありますが、夫々の港湾事情によるものと考えられます。なお、タンカーは原油流出防止対策として要求される二重船殻構造の採用が主体であり、主機については、日韓共に欧州メーカーのライセンスによる自社製品が大部分です。以上の数値も本稿を皆さんが読んでおられる頃は変わっていると思いますが、経済原理の支配する国際市場の厳しさと、その中で日本の造船業

が直面し、苦闘した状況の一端を思いおこさせるような数字です。造船技術センターとしても、このような状況を認識して、来るべき世紀に備える所存です。

表-1 日本韓国造船所手持ち工事量内訳(H10.7.1現在)

	船主	隻数	重量 トン	船価
日本	アジア系	25	7,093,000	\$78~88M (円ドル120円) と仮定
	日本	19	4,995,994	
	米国	2	560,000	
	欧州	0	0	
		46	12,648,994 (平均275,000)	
韓国	アジア系	2	600,000	\$77~87M
	日本	0	0	
	米国	2	600,000	
	欧州	24	7,260,000	
		28	8,460,600 (平均302,000)	
		74	21,109,594	

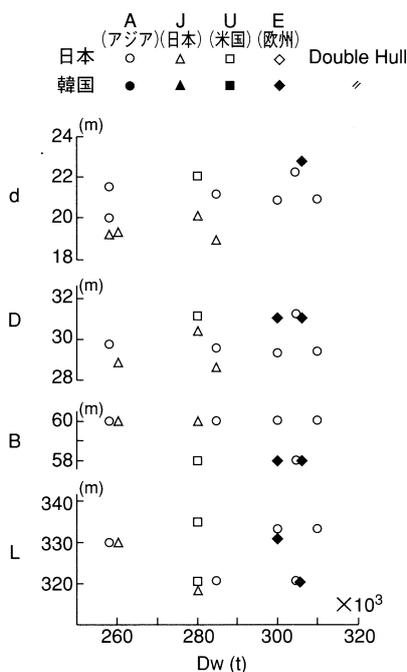


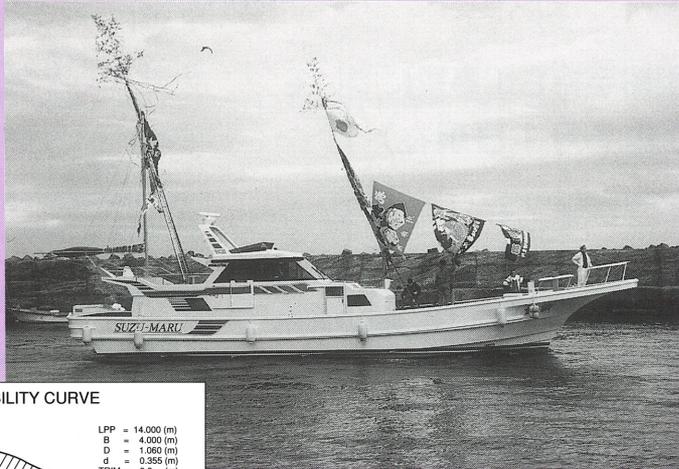
図-1 超大型船主要目比較

昔の想出 大理石板

東京の目白に逓信省所属の船型試験所として発足した昭和の初めから、戦中戦後の時代を経て、東京オリンピックの頃までの約40年間に渡って、水槽試験用模型船の線図は大理石の板に描かれ続けて来た。この縦×横×厚さが夫々、80cm、1m、20cmの乳白色の大理石の板は重さ30kgもあり、これを通常4枚1組として、木製の製図台枠上にセットして、この上に線図を描いていくわけである。当時の製図用紙の湿度による伸縮性の大きいという欠点の為に、長さ4mを越えるような長尺の図面では誤差が無視出来ない量となり、更にこれを、倣い工作機械にセットしたパラフィン鑄型を切削加工する際の製作精度への影響も懸念された結果、大理石板が選ばれたものと考えられる。しかしながら、その欠点は重さと冷たさであり、大理石板のセットや片付は、大変な力仕事であったし、冬はしも焼け、梅雨時は結露に悩まされた。なお、用が済むと表面はクレンザーで磨かれて、新しい線図作製に用いられるというリサイクルの効用を一言付け加えておく。誠に当時の線図業務は大変な重労働であり、今日の伸縮のないポリエステル樹脂フィルム製図面用紙に加え、NC化された製図機や削成装置により、高精度の図面や模型船の作成が迅速になされ、更にパソコンの普及によって、製図台に向かつての仕事自体が少なくなっていく現状は時代の流れとは言え誠に感慨無量である。

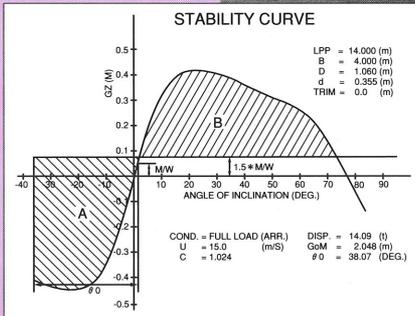
なお、大理石板は昭和の初めに工作機械と共にドイツからやって来て、40年の長きに渉り、我国造船業発展の礎としての役目を果して消えて行った。その行方は今となってはもう判らない。 S記

新造船と復原性



船名 鈴丸

用途	小型遊漁兼用船	
船主	鈴木 武夫	
造船所	池田造船所	
竣工	平成10年2月	
総トン数	13トン	
航行区域	限定沿海	
主要寸法(m)	長さ × 幅 × 深さ 14.0 × 4.0 × 1.06	
主機	連続最大出力	770PS
	回転数	1,900rpm
	基数	1基
最大速力	27ノット	
旅客定員	30名	
就航地域	千葉県 勝浦川津港	

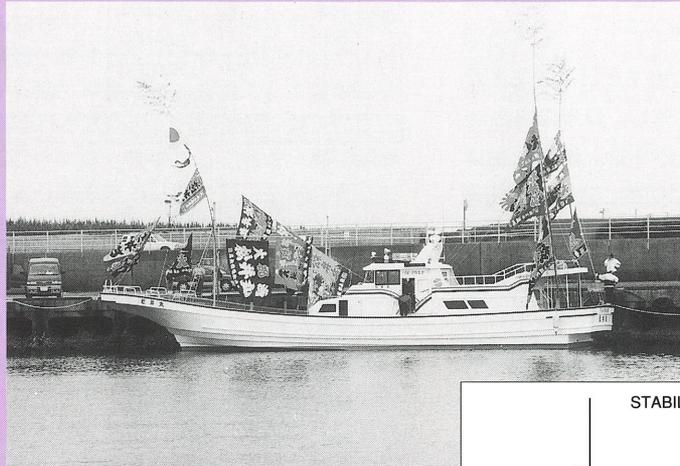


千葉県勝浦川津港を母港とし、勝浦市から鴨川市にかけての沖合を主漁場とする小型遊漁兼用船である。

本船は、この地方で多くみられる船型で、平均的な主寸法を有し、最大復原てこは約44cm程度あり、安定した性能を示す。

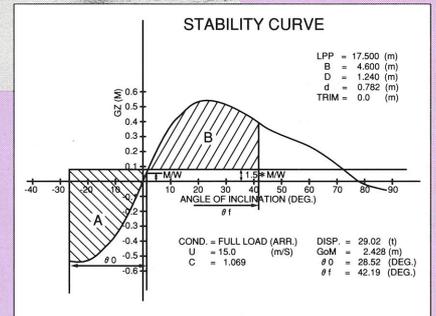
船名 松井丸

用途	小型遊漁兼用船	
船主	松井 康浩	
造船所	(有) 及川造船所	
竣工	平成10年5月	
総トン数	19トン	
航行区域	限定沿海	
主要寸法(m)	長さ × 幅 × 深さ 17.5 × 4.6 × 1.24	
主機	連続最大出力	800PS
	回転数	2,000rpm
	基数	1基
最大速力	26ノット	
旅客定員	45名	
就航地域	茨城県 鹿島市	



茨城県鹿島港を母港とし、波崎から大洗町にかけての鹿島灘を主漁場とする小型遊漁兼用船である。

この種の船としては船幅が広いものに属し、最大復原てこは約50cmを越えており、若干復原力範囲は狭いが安定した性能となっている。



申込みの受付

試験等の申込み、問合せは右表の番号までお願いします。

〒171-0031 東京都豊島区目白1-3-8
TEL 03-3971-0266 FAX 03-3971-0269

財団法人 日本造船技術センター (SRC)

電話機のダイヤルイン方式導入についてのご案内

●役員及び総務部	03-3971-0266
●技師長	03-3971-1074
●流体技術部長	03-3971-0259
●流体技術部 渉外担当及び試験課	03-3971-0268
●流体技術部 技術課	03-3971-0296
●エンジニアリング部	03-3971-0267
●ファックス番号	03-3971-0269