

小型船舶の機関出力と操船安全性に関する一考察

上野道雄*

A Note on Engine Power and Manoeuvring Safety of Small Crafts

By

Michio UENO

Abstract

Two types of regulations for maximum engine power rating for small crafts are investigated from a point of view of manoeuvring safety. One is a present rule that specifies maximum engine power by formula $P_{\max} = \alpha F_a + \beta$ and the other is manoeuvring test method that is now under discussion for standardization in ISO for regulating maximum engine power of small crafts. Maximum horizontal acceleration and maximum advance during emergency turning are taken into account as indices to measure manoeuvring safety. It is clarified that present rule for maximum engine power rating is recognized to require smaller maximum horizontal acceleration and smaller maximum advance ratio to craft length for small crafts of greater boat factor; F_a , which is considered rational for its safe operation. On the other hand, manoeuvring test method can be interpreted consistently in the context of neither maximum horizontal acceleration nor maximum advance, which implies this method would be proposed on the basis of actual operational circumstances of small crafts.

目次			
1. 緒言	2	4. 現行基準等と操船安全性指標の関係	6
2. 機関最大出力に関する現行基準等	2	4.1 機関出力の基準値を示す方法	6
2.1 機関出力の基準値を示す方法	2	4.1.1 横加速度の面からの考察	6
2.2 操縦性試験による方法	3	4.1.2 危険回避距離の面からの考察	9
3. 操船安全性を表す指標	3	4.2 操縦性試験による方法	9
3.1 指標の選択とその定義	3	5. 結言	11
3.2 操船安全性指標と機関出力との関係	4	[付録1]	11
3.2.1 機関出力	4	参考文献	11
3.2.2 横加速度	4	[付録2]	12
3.2.3 危険回避距離	5	[付録3]	12
		[付録4]	13

*運動性能部

原稿受付 平成10年6月30日

審査済 平成10年9月9日

1. 緒言

海洋レジャーの普及に伴いプレジャーボート等が増加し、これら小型船舶の事故等も増加傾向にある¹⁾。小型船舶の特徴の1つとして船体と機関の組み合わせを変更できることが上げられるが、このことは搭載機関の出力という船の重要な一性能を比較的容易に変えられることを意味する。実際、操船者が個々の船に慣れるに従って機関出力を大きなものに変えることも可能となるが、小型船舶が過大な出力の機関を搭載することは、船速の増加によって旋回中に乗船者が投げ出されたり機関重量の増加に伴う船尾トリムの増大によって視界が狭まり他船と衝突するといった重大な事故につながる可能性があると考えられる。

小型船舶の適正な機関出力すなわち許容最大出力を定める基準が設けられているのは、船体に対して過大な機関を搭載することによる海難事故を未然に防ぐという意味合いを持つ。日本小型船舶検査機構 (Japan Craft Inspection Organization) の現行基準は米国ボートヨット協議会 (American Boats and Yachts Council) の規則を基礎にして定められたもの²⁾であるが、この米国ボートヨット協議会の規則はヨーロッパ各国においても同種の基準の基礎となっており、小型船舶の実態によく適合した規則と考えられている。一方、国際標準化機構 (International Standardization Organization) においては、小型船舶の機関最大出力についてその基準値を与える方法と共に操縦性試験によってこれを規定する標準化が検討されている³⁾。

しかし、日本小型船舶検査機構の現行基準制定時の検討経緯がもっぱら多数の実船実験による確認に基づいていたことからわかるように、そのもとになった米国ボートヨット協議会の規則も含めて、機関最大出力の基準値を与える現行の方法は、機関出力と操船の安全性を何らかの物理的指標を用いて明確に関連づけているとは言えない。現在、日本小型船舶検査機構と国際標準化機構において対象船舶の拡大に伴う最大機関出力に関する基準等の見直しが検討または検討が予想されている³⁾が、有意な議論を通して合理的な基準を策定するためには、上述のような観点から機関出力と操船安全性の関係を明らかにする必要があると考えられる。

本報告では、小型船舶の操船安全性を機関出力の観点から確保するための基準のあり方に関する議論に資することを目的として、現行基準等と操船安全性の関係について考察する。具体的には、現行の基準等を概観した上で、操船安全性を表す物理的指標として乗船者に働く横加速度と危険回避距離を取り上げ、それぞれの面から小型船舶の機関最大出力に関する現行基準等がどのような意味合いを持っているかを考察するこ

ととする。

2. 機関最大出力に関する現行基準等

2.1 機関出力の基準値を示す方法

日本小型船舶検査機構 (JCI) の基準と米国ボートヨット協議会 (ABYC) の規則、国際標準化機構 (ISO) の指針案 (後述の操縦性試験による方法とは別のもの) では、機関最大出力の基準値を与える方法を採用している (付録1、付録2、付録3参照)。いずれの方法も、船の長さ L にトランサム幅 B_t を乗じた値で船の大きさを表し、さらに、船底勾配と遠隔操縦装置の有無を考慮して船型を分類した上で、それぞれの船に対して機関最大出力の基準値を示すというものである。適用範囲はABYCについては長さ26フィート未満、ISOについては長さ8m未満の船、JCIについては現在総トン数20トン未満の船となっている。これらの基準等は、船型区分等が若干異なるが、ごく小型の船を除いて、長さの2乗の次元を持つ船の大きさを表す変数を横軸にとった場合にある傾斜を持った直線で最大機関出力を表していることにその特徴がある。

これらの基準等を具体的にFig. 2-1にまとめて示す。ただし、横軸はJCIで用いられているボート係数 F_a に統一した。 F_a は、船の登録長 L_r とトランサム幅 B_t によって、

$$F_a = L_r B_t \quad (2-1)$$

のように定義される船の大きさを表す値である。横軸の統一に当たっては、 F_a に対応するABYC規則における $Factor$ と国際標準化機構の指針案における F が船の全長とトランサム幅を乗じた値を用いていることから、単位をmに統一した上で、

$$F_a = 0.9 Factor = 0.9 F \quad (2-2)$$

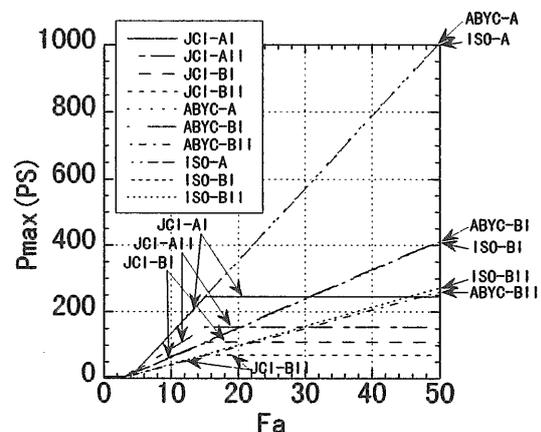


Fig.2-1 Comparison of rules for maximum power rating for various types of small crafts

として換算した。これは、JCIにおける船の登録長が全長の約0.9倍程度と考えられること²⁾による。また、縦軸も単位をPSに統一し、ABYC規則の出力が瞬間最大指示馬力であることからこの値を0.9倍した値を換算値とした²⁾。国際標準化機構の指針案における機関出力も同様に0.9倍した値を換算値とした。なお、本来のこれら基準等の適用対象となるのは概ね $F_a < 15$ の範囲の小型船舶である²⁾が、より大きな小型船舶に対する基準等のあり方が現在検討されている³⁾ことを考慮して、Fig. 2-1ではJCI在籍船の最大値 $F_a \cong 40$ を含む $F_a = 50$ まで現行基準等を延長して図示した。

JCIのA-II型に対する基準だけは和船型の船を想定して我が国の実状を考慮した上で設けられたものであるためABYCとISOにはこれに対応する基準値がないが、その他の船型に対するJCI基準とISO指針案はごく小型の船を除いて本来のこれら基準等の適用対象である $F_a < 15$ の範囲においてABYC規則とほとんど同じ直線となっている。このことはJCIとISOいずれの基準等もABYC規則をそのまま適用したことによると考えられる。また、JCIの基準が $F_a \geq 15$ で一定値になっているのはABYC規則の運用範囲($F_a \cong 15$ 未満)についてその規則を適用し、それを越える大きな船について一定値としたことによる²⁾。

このようにある傾斜を持った直線で表される機関最大出力の基準等が世界的に広く受け入れられている事実は、なによりもこのような特徴を持った基準等が実態によく適応していることを示していると言つてよいであろう。実際、JCI現行基準を策定するに当たって実施された広範囲の実船試験では、スラロームやUターン、旋回などさまざまな操船をおこなって総合的にABYC規則が小型船舶の実態に合ったものであることを確認している²⁾。

JCIの現行基準策定時の検討経緯を見ると、この基準は主に自船乗船者の安全性の面から策定されたものと考えられる。特に、横加速度については定量的に1g以上にならないことが述べられているが、これについては実船実験の計測値にその根拠を求めているのみで機関出力との関係を必ずしも明らかにしているとは言えない。

2.2 操縦性試験による方法

現在、ISOでは8m未満の小型船舶を対象として機関出力の適正を判断する際に、操縦性試験を課すことを検討中である³⁾。その概要(付録4参照)は次のとおりである。最高船速(V_{max})と船長(L)によって決まる $V_{max}[kt]/\sqrt{L[m]}$ (以下、速長比と呼ぶ)の値が7以下の場合には特に規制を設けない。速長比が7を越える場合には、次のような操縦性試験をおこなうことが求められている。この試験では、最高船速で直進した後、操舵地点から6L先にある回避線を横切らないように

安全に旋回できることを確認しなくてはならない。ただし、30ktを越える船の場合は回避線までの距離を $6L[m] + 2(V_{max}[kt] - 30)[m]$ とすることができる。

この操縦性試験による方法は機関最大出力の基準値を示す方法とは違って、その意味するところがより明確かつ直接的である。すなわち、自船乗船者の安全を確保しつつ他船との衝突等の危険を回避できることが求められているわけである。

しかし、この操縦性試験による方法についても、なぜ速長比が一定値以下なら規制はないのか、なぜ30ktを越えると危険回避距離を延長するのかについて明確な理由付けがされているわけではない。

3. 操船安全性を表す指標

3.1 指標の選択とその定義

JCIの現行基準に関する検討の際に判定標準とされた項目²⁾には、直進試験においてはパウアップによる視界不良がないことと発散型ポーポイズと過度のグッチロールが発生しないこと、Uターン試験においては過度の横ポーポイズや外傾斜が発生しないことと海水が区画内に浸水しないこと、転覆または操縦者が転落しないこと、1g以上の横加速度が作用しないこと等が上げられている。また、ISOの標準化案には乗船者の安全の確保と共に危険回避距離が具体的な指標として上げられている。小型船舶の安全性を評価するには上述のように様々な要因を考慮する必要があるが、これらすべてを機関出力と関連づけて論ずることは困難である。ここではこれら多数の項目のうち、JCI現行基準の検討の際に具体的に値が示されていた横加速度とISO標準化案で取り上げられた危険回避距離を操船安全性の指標として取り上げることとする。前者は操船中に乗船者が船外に投げ出されるような状況を引き起こす要因となると考えられ、後者は他船との衝突等を避けられるかどうかという点で重要な指標である。

さて、横加速度と危険回避距離を操船安全性の指標として機関出力に関する基準等を考える場合の基本的考え方を次のとおりとする。まず、機関出力に関する基準等は横加速度あるいは危険回避距離の面から見た時それぞれ最も操船安全性の低い船型に対しての許容最大値を与えるものとなっていると仮定する。そして、その船型は船の大きさが変わっても相似であると仮定する。これらの仮定は、現行基準等がボート係数で船の大きさを規定し速長比や船長によって基準値等を与えるという形式になっていることに対応する。

まず、横加速度について考えると、乗船者を船外に投げ出すような力となるのは、Fig. 3-1に示すように、旋回等による遠心加速度(a_H)と重力加速度(g)の舷側方向成分(a_L)である。それは、 a_H が大きくてもこれと重力加速度の合成加速度の傾斜角(Φ_1)が操船中

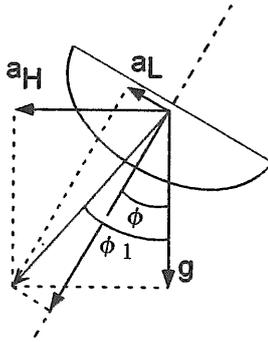


Fig.3-1 Acceleration acting on a small craft during turning

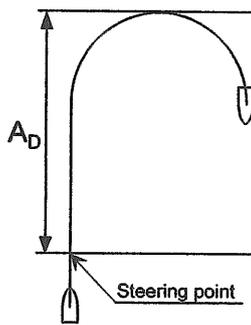


Fig.3-2 Definition of advance; A_D at emergency turning

の内傾斜角(Φ)に等しければ乗船者は船底方向に押し付けられるだけで船外に投げ出される心配はないのに対し、 a_L が大きくなると乗船者が船外に投げ出される等の危険な事態を引き起こす恐れがあるからである。ただし、一般に操船中の船は内傾斜を起こすとすれば、 $a_L \leq a_H$ であり、特に傾斜角が発生しない場合は $a_L = a_H$ となる。今、機関出力に関する基準等を考えるに当たって操船安全性の最も低い船型を考えるという意味から、横加速度としては a_H をとることとする。なお、操船中に外傾斜する場合は $a_L \geq a_H$ となる可能性があるが、ここではこれを特殊な場合として除外して考えることとする。

次に、危険回避距離については、ISOの標準化案にならって、Fig. 3-2に示すように直進中に危険回避のために操舵をおこなった点からもとの針路方向の速度成分が0になるまでに進んだ距離(A_D)をもって危険回避距離とすることとする。

3.2 操船安全性指標と機関出力との関係

横加速度あるいは危険回避距離と機関出力とは一般に船速と船の大きさを介して関係づけられる。そこで、以下では、横加速度と危険回避距離、機関出力それぞれが船速、船の大きさとのような関係にあるかを見

ることとする。ここで、船の大きさは船長あるいはボート係数、排水容積といった量で与えられるものとする。

3.2.1 機関出力

機関出力(P)と直進時の船速(V)の関係は一般に、

$$P = C_1 \rho S V^3 \quad (3-1)$$

の関係があると考えられる。ここで、 C_1 は定数、 ρ は水の密度、 S は浸水面積を表す。今、相似の船型を考えると S とボート係数 F_a の間には、

$$S = C_2 F_a \quad (3-2)$$

の関係(C_2 は定数)があり、さらに F_a と船長(L)および静止時排水容積(∇)とは、

$$L = C_3 \nabla^{1/3} = C_4 F_a^{1/2} \quad (3-3)$$

の関係(C_3 と C_4 は定数)が成り立つと考えられる。

(3-2)式より(3-1)式は、

$$P = D_1 F_a V^3 \quad (D_1 \equiv C_1 C_2 \rho) \quad (3-4)$$

と表される。さらに、重力加速度を g として、

$$F_\nabla = V / \sqrt{\nabla^{1/3} g} \quad (3-5)$$

で定義されるフルード数を用いると(3-4)式は、

$$P = D_2 F_a^{7/4} F_\nabla^3 \quad (D_2 \equiv D_1 (C_3/C_4)^{-3/2} g^{3/2}) \quad (3-6)$$

と表すこともできる。

以上の関係は、当然のことながら、船の大きさを一定とすれば機関出力を増加させることは船速を増加させることに直接つながるということを示している。

3.2.2 横加速度

横加速度 a_H については L と V を変数とした次元解析により、

$$a_H = C_5 L^{-1} V^2 \quad (3-7)$$

の関係が得られる。ここで、 C_5 は定数であるが、 V を直進時の船速とした時の係数として定義しておく。これはフルード数を用いて、

$$a_H = D_3 F_\nabla^2 \quad (D_3 \equiv (C_5/C_3) g) \quad (3-8)$$

と表すこともできる。

一方、船速と横加速度の関係については、船長3.4mから19.6mの範囲にある8隻の実船に対する実験結果が報告³⁾されている。この実験では、船に最高船速で直進させた後最大舵角で緊急旋回させるという操船を助

走時の船速を変えておこない、その時の船速や横加速度等を計測している。その結果によると、最大横加速度は必ずしもフルード数の2乗に比例するものばかりではなく、船型によって横加速度への船速影響の小さいものではフルード数の1乗程度に比例する例も報告されている。この実験結果は一般的に、

$$a_H = D_{e1} F_V^n \quad (3-9)$$

と表す (D_{e1} は定数) ことができる。これは V を用いて、

$$a_H = D_{e2} L^{-n/2} V^n \\ (D_{e2} \equiv D_{e1} C_3^{n/2} g^{-n/2}) \quad (3-10)$$

のようにも表せる。前述の8隻の実験結果からは、 n は大略、

$$1 \leq n \leq 2 \quad (3-11)$$

程度の範囲の値をとることが実験的に示されているものと考えられる。そして、次元解析から得られた(3-7)式と(3-8)式の関係は(3-11)式の範囲で n の最大値をとった時に対応することがわかる。

今考えているのが横加速度の面から操船安全性の最も低い船型、すなわち機関出力(船速)の増加が横加速度を最も増加させる船型についてであることから、横加速度と船速あるいはフルード数との関係として(3-7)式または(3-8)式の関係、あるいは(3-9)式または(3-10)式において最大値である $n=2$ とした関係を用いることが妥当と考えられる。

以上、(3-7)式から(3-10)式は(3-4)式と(3-6)式等を介して横加速度と機関出力を関連づけている。

3.2.3 危険回避距離

危険回避距離 A_D が進む間に、船は操舵開始直後の過渡状態から定常旋回に至るまでの運動をおこなう。船の操舵に対する応答の時定数は L/V に比例すると考えられるから A_D は大略、

$$A_D = C_6 (L/V) V + C_7 R \\ = C_6 L + C_7 R \quad (3-12)$$

のように表されると考えられる。ここで、 C_6 と C_7 は定数、 R は定常旋回半径である。旋回半径は旋回時の船速を V_T とすると横加速度とは、

$$R = V_T^2 / a_H \quad (3-13)$$

の関係がある。今、直進時と旋回時の船速には幾何学的に相似な状態において、

$$V_T = C_8 V \quad (3-14)$$

の関係 (C_8 は定数) が成り立つと仮定すれば、 R は直進時の船速 V あるいはフルード数を用いて、

$$R = C_8^2 V^2 / a_H \\ = D_4 (F_V^2 / a_H) L \\ (D_4 \equiv (C_8^2 / C_3) g) \quad (3-15)$$

と表される。これを(3-12)式に代入して、

$$A_D = C_6 L + C_7 C_8^2 (V^2 / a_H) \\ = (C_6 + C_7 D_4 (F_V^2 / a_H)) L \quad (3-16)$$

が得られる。(3-16)式から危険回避距離は横加速度に依存することがわかる。

さて、危険回避距離の面から最も操船安全性の低い船型とは機関出力(船速)の増加が危険回避距離を最も増加させる船型であることから、(3-16)式によれば横加速度が船速に最も影響されない船型が対象となる船型であると言える。この点は横加速度の面から操船安全性の最も低い船型を考えた場合の全く逆である。すなわち、危険回避距離の面から最も操船安全性の低い船は横加速度の面からは操船安全性の最も高い船ということになり、その逆も成り立つことになる。

上記の点に注意して危険回避距離の面で操船安全性の最も低い船型について考えると、(3-9)式において n の最小値をとる船型が対象となる船型である。実験的に存在が確認されている(3-11)式の範囲では $n=1$ となる。この値を想定して、(3-9)式を(3-15)式に代入すると、

$$R = D_{e3} F_V^{2-n} L \\ (D_{e3} \equiv D_4 / D_{e1}) \quad (3-17)$$

の関係が得られる。さらに、(3-16)式より、

$$A_D = (C_6 + C_7 D_{e3} F_V^{2-n}) L \\ \equiv N(n, F_V) L \quad (3-18)$$

のように危険回避距離が表される。ここで $N(n, F_V)$ は n を助変数とするフルード数の関数を表し、物理的には危険回避距離が船長の何倍になるかを示す関数となる。

さらに、横加速度の面から操船安全性の最も低い船型について危険回避距離がどのように表されるかも考えておく。この場合、(3-8)式を(3-15)式に代入して、まず、

$$R = D_5 L \\ (D_5 \equiv D_4 / D_3) \quad (3-19)$$

が得られ、さらに、(3-16)式より、

$$A_D = D_6 L \\ (D_6 \equiv C_6 + C_7 D_5) \quad (3-20)$$

の関係が得られる。すなわち、横加速度の面から操船安全性の最も低い船型については危険回避距離は船速の影響を受けず船長に比例するのみであることがわかる。

以上、(3-18)式あるいは(3-20)式は(3-4)式と(3-6)式等を通して危険回避距離と機関出力を関連づけている。

4. 現行基準等と操船安全性指標の関係

4.1 機関出力の基準値を示す方法

JCI基準は、機関出力の基準値すなわち機関最大出力(P_{max})をポート係数(F_a)を用いて、

$$P_{max} = \begin{cases} P_{3.0} & (F_a < 3.0) \\ P_{3.3} & (3.0 \leq F_a < 3.3) \\ P_{3.5} & (3.3 \leq F_a < 3.5) \\ P_{3.8} & (3.5 \leq F_a < 3.8) \\ P_{4.1} & (3.8 \leq F_a < 4.1) \\ P_{4.5} & (4.1 \leq F_a < 4.5) \\ \alpha F_a + \beta & (4.5 \leq F_a < 15) \\ P_{15} & (15 \leq F_a) \end{cases} \quad (4-1)$$

と与えている。ここで、 α と β 、 $P_{3.0}$ 等は定数(付録1参照)である。なお、この基準値は $F_a=4.5$ と $F_a=15$ の箇所でも若干の不連続性を持っているが、これには本質的な意味はないと思われる。具体的にJCIのA-I型の場合を例にとれば、 $\alpha=21.5$ 、 $\beta=-81$ 、 $P_{15}=245$ となる。以下、 P_{15} 等の一定値を P_c と記すこととする。

機関出力が最大の時、すなわち $P=P_{max}$ の時の船速を V_{max} とすると、(3-4)式の関係より、

$$V_{max} = \begin{cases} D_7 P_c^{1/3} F_a^{-1/3} \\ D_7 (\alpha F_a + \beta)^{1/3} F_a^{-1/3} \end{cases} \quad (D_7 \equiv D_1^{-1/3}) \quad (4-2)$$

が得られる。また、フルード数については(3-6)式よりその最大値(F_{vmax})は、

$$F_{vmax} = \begin{cases} D_8 P_c^{1/3} F_a^{-7/12} \\ D_8 (\alpha F_a + \beta)^{1/3} F_a^{-7/12} \end{cases} \quad (D_8 \equiv D_2^{-1/3}) \quad (4-3)$$

によって与えられることがわかる。

以上の関係をもとにして、以下では機関出力の基準値を示す方法としてJCIの現行基準を例にとってその意味を操船安全性指標の面から考察する。

4.1.1 横加速度の面からの考察

横加速度の面から現行基準を考察する場合は横加速度と船速あるいはフルード数の関係として(3-7)式あるいは(3-8)式の関係、または(3-9)式あるいは(3-10)式において $n=2$ とおいた関係を用いるべきである。ここでは前者を用いることとすると、これらの関係式に(4-2)式等で与えられる最高船速等を代入したとき得られる最大出力の時の最大横加速度(a_{Hmax})は、

$$a_{Hmax} = \begin{cases} D_9 P_c^{2/3} F_a^{-7/6} \\ D_9 (\alpha F_a + \beta)^{2/3} F_a^{-7/6} \end{cases} \quad (D_9 \equiv D_7^2 C_5 C_4^{-1} = D_3 D_8^2 = (C_1 C_2 \rho)^{-2/3} (C_5 / C_4)) \quad (4-4)$$

のように表される。すなわち、機関出力に関する基準は横加速度の面から見ると(4-4)式によってその上限を規定していると解釈できる。

(4-1)式から(4-4)式について、具体的にJCIのA-I船型に対する基準を対象に計算をおこなった結果をFig. 4-1からFig. 4-4に添え字に0をつけて示す。ただし、機関最大出力以外については、それぞれ $4.5 \leq F_a < 15$ の範囲の式に $F_a=15$ を代入した時の値(これを $F_a=15$ での値とする)との比(V_{max0}' 、 F_{vmax0}' 、 a_{Hmax0}')をとっている。JCI基準は実質的には $F_a < 15$ の範囲の船を対象としたものなので $F_a \geq 15$ で機関出力は一定値となっているが、これらの図には $4.5 \leq F_a < 15$ の式を $F_a \geq 15$ の範囲に延長した結果とそれに対応

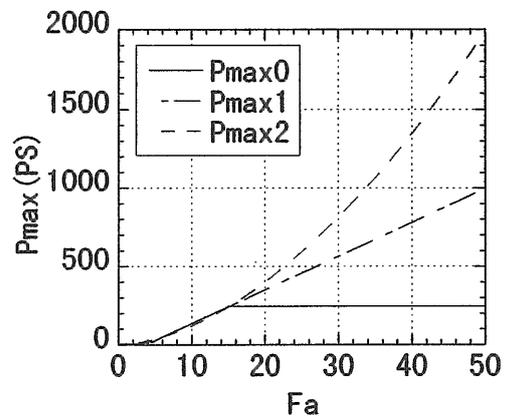


Fig.4-1 Maximum power rating for JCI-AI type crafts

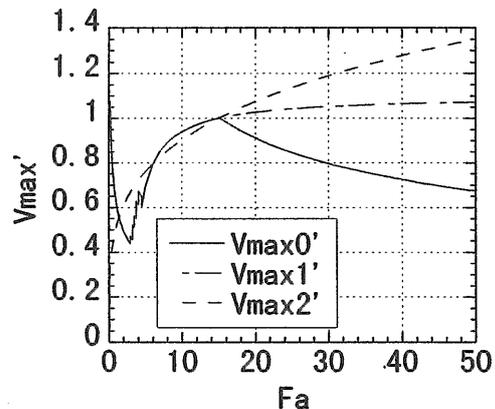


Fig.4-2 Maximum speed ratio for JCI-AI type crafts

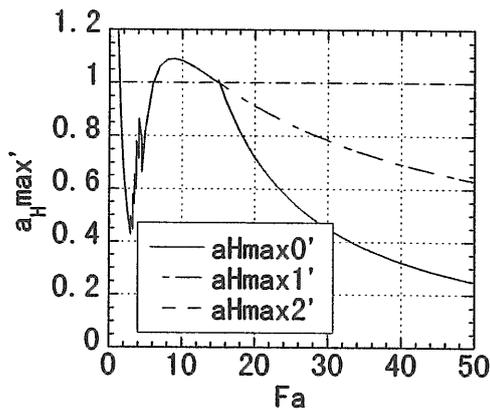


Fig.4-3 Maximum horizontal acceleration ratio for JCI-AI type crafts

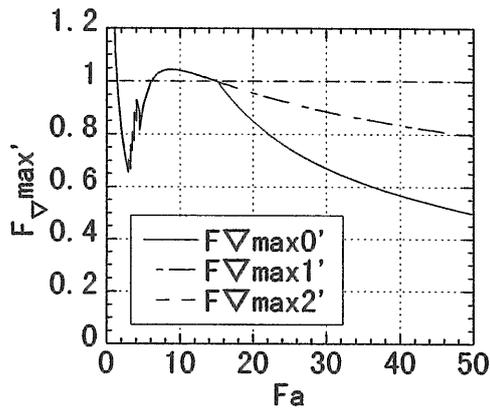


Fig.4-4 Maximum volume Froude number ratio for JCI-AI type crafts

する値(P_{max1} , V_{max1} , F_{vmax1} , a_{Hmax1})も示し、 $F_a=50$ までのより広い範囲でその傾向を見られるようにした。なお、Fig. 4-2からFig. 4-4の $3 \leq F_a < 4.5$ の範囲における小刻みな上下変動と $F_a < 3$ における傾向は、Fig. 4-1のこの範囲における基準値の階段状の傾向((4-1)式と付録1参照)が(4-2)式等を通して形式的に表れたものであって、本質的な傾向ではなく、本来は F_a が小さくなるに従ってなめらかに減少していくべきものと考えられる。以上を勘案して以下ではJCI基準における F_a の最小の区切りである $F_a=3$ を越える範囲について各図に表れた傾向を見ることとする。

$F_a \geq 15$ の範囲では $F_a < 15$ の延長線(添え字1の線)に注目して最高船速と最大フルード数、最大横加速度の特徴をまとめると次のようになる。最高船速は F_a の増加と共に徐々に増加するものの、その増加率は次第に減少し、ある一定値に落ち着く傾向がある。その結果 $F_a=50$ に対する最高船速は $F_a=9$ に対応する値の高々1.17倍程度である。一方、最大フルード数と最大横加

速度は $F_a=9$ 程度までは F_a の増加と共に増加し、その後は緩やかに減少する傾向を示す。しかしその減少率は F_a の増加と共に減少する。

ここで述べた最大横加速度の $3 \leq F_a < 9$ 程度の範囲における傾向、すなわち小さい船ほど最大横加速度が小さな値を示している理由を操船中の横加速度の観点から説明することは困難と思われる。それは、ごく小さな船では排水量に占める操船者の体重が大きく、操船中の体重移動によって船の姿勢が大きく影響されることになるからである。しかし、小さい船ほど波の影響を相対的に大きく受けることから、旋回等操船時の安全性とは別の観点である波浪中直進時の安全性を勘案した時、小さい船ほど最高船速と最大フルード数が小さな値でなくてはならないという傾向は妥当であると考えられる。

一方、 $F_a \geq 9$ 程度の範囲で最大横加速度が緩やかに減少する傾向については、もともと基準式が $F_a < 15$ を対象にしていることから、ここでは $9 \leq F_a < 15$ の範囲に限定してこの傾向が有意かどうかを検討する必要がある。まず、船の大きさに依存せず最大横加速度はある一定値以下であればよいとする考え方が上げられる。この考え方によれば、 $9 \leq F_a < 15$ の範囲で表れた最大横加速度の減少傾向は、限られた範囲の機関最大出力を直線近似した結果表れたものであって、その傾向に本質的な意味はなく本来はある一定値以下であればよいということになる。これを解釈1とする。次にもう一つ別の考え方として、限られた範囲であるとはいえ実態によく適合する基準として広く世界的に認められている基準の持つこの傾向に意味があるとする見方が上げられる。すなわち、船が大きくなると許容される横加速度が減少するとする考え方である。これを解釈2とする。以下ではこれら2つの解釈のいずれが妥当かについて考えることとする。

まず、解釈1について検討をおこなう。許容横加速度にはある一定の上限(a_{Hmax2} とする)があるとする、 a_{Hmax2} に対応するフルード数の上限(F_{vmax2})が(3-8)式によって、

$$F_{vmax2} = D_{10} a_{Hmax2}^{1/2} \quad (D_{10} \equiv D_3^{-1/2}) \quad (4-5)$$

のようにある一定値に与えられる。最高船速(V_{max2})は(3-7)式と(3-3)式によって、

$$V_{max2} = D_{11} a_{Hmax2}^{1/2} F_a^{1/4} \quad (D_{11} = C_4^{1/2} C_5^{-1/2}) \quad (4-6)$$

と与えられ、さらに、機関最大出力(P_{max2})は、

$$P_{max2} = D_{12} a_{Hmax2}^{3/2} F_a^{7/4} \quad (D_{12} \equiv D_1 D_{11}^3) \quad (4-7)$$

のように表される。 a_{Hmax2} の値を $F_a=15$ の時に(4-4)式

によって与えられる値とした上で機関最大出力 (P_{max2}) を求め、さらに最高船速等については $F_a=15$ での値との比 (V_{max2}' , F_{vmax2}' , a_{Hmax2}') をとって Fig. 4-1 から Fig. 4-4 に示す。この解釈によると最大横加速度は船の大きさによらず一定値をとり、(4-5) 式より、最大フルード数もそれに対応する一定値をとる。機関最大出力は(4-7)式に示すとおり、直線ではなく F_a の7/4乗に比例する増加傾向を示す。 P_{max2} の値は $F_a < 15$ の範囲において基準値である P_{max0} とほぼ同じ値を示している。また、最高船速についても $F_a < 15$ の範囲において V_{max2}' は V_{max0}' とよく似た傾向を示しており、これらは P_{max0} が P_{max2} の近似式であるとの解釈1を支持する結果であると考えられる。しかし、 $F_a \geq 15$ の範囲では P_{max2} が P_{max1} よりも増加の程度が急になること、 V_{max2}' が V_{max1}' のように一定値に落ち着く傾向を示さず増加しつづける傾向には実際上の問題があると思われる。

次に解釈2について検討する。この解釈を検証するためには、最大横加速度と船の大きさとの関係が実際上どうなっているかを広範囲に調べる必要があると思われる。しかし、そのようなデータを直接収集することは困難であるため、公表されているデータのうちからフルード数と船の大きさとの関連を見てみることにする。フルード数は横加速度と(3-8)式あるいは(3-9)式で表されるような密接な関連を持つと考えられるため、フルード数を介して間接的に横加速度と船の大きさとの関係を調べることができると考えられる。Fig. 4-5 に高速艇の排水量 (Δ (ton)) と長さの関係を示した図を文献⁴⁾より引用する。この図ではデータとなった各船のフルード数が4段階に分けて異なる印で記載されている。この図からは、排水量が大きくなるほどフルード数が小さくなる傾向が見て取れる。この傾

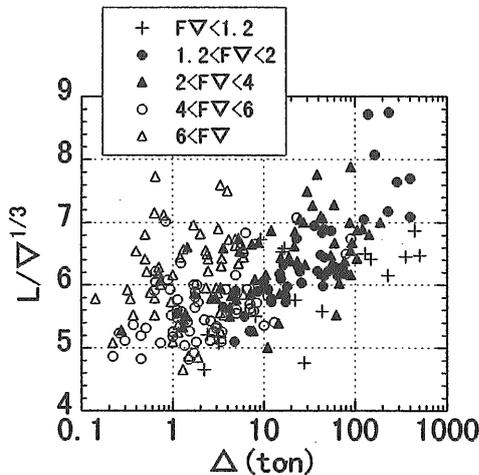


Fig.4-5 Length to volume ratio and displacement (ref. [4])

向をより明らかにするために、この図のデータを次のように整理し直した。まず、排水量の小さいデータから順に10隻ずつ排水量とフルード数それぞれの平均値を求めた。ただし、フルード数は1.2までの区分に入るものは1.0、1.2から6.0の区分に入るものはそれぞれの区分の中央値、6.0より大きい区分に入るものは6.2として便宜的に処理した。次に、得られた10隻ごとの平均排水量から、

$$LB_c \cong \Delta^{0.64} / 0.115 \tag{4-8}$$

の関係⁵⁾によってボート係数に対応する LB_c (B_c :チャイン幅) を推定した。 LB_c はボート係数そのものではないが、ボート係数に近い値を示すと考えられる。このようにして求めた LB_c とフルード数の平均値の関係を Fig. 4-6 に示す。ただし、横軸の最大値は60とした。この範囲は排水量約20tonまでの船の範囲に相当する。ごく小型の船を除いて、 LB_c の増加に伴ってフルード数は次第に減少している傾向が見られる。この傾向は、船が大きくなると許容される横加速度が減少するという解釈2を支持するものであると考えられる。基準があって実際の船が製造されているわけであるから基準が示す傾向が表れることは当然のこととも考えられる。しかし、 $F_a > 15$ の範囲も含めて、基準値を超える機関を搭載した船も安全性確認試験(付録1参照)を経て実際に少なからず運航されている実態³⁾から、解釈2はある一定の合理性を持つと考えられる。実際、船内の環境の違いや乗船者に対する心理的効果を見ると、大きな船ほど許容できる横加速度は小さくなくてはならないということは妥当と推測される。ただ、定量的に見た場合、 LB_c の方が F_a よりもやや大きめの値となることを勘案しても、実態に基づく Fig. 4-6 の方が基準値をもとにした Fig. 4-4 中の F_{vmax1}' よりも減少傾向が急である。この理由として、現行基準における $F_a \geq 15$ での一定値を反映した F_{vmax0}' の傾向

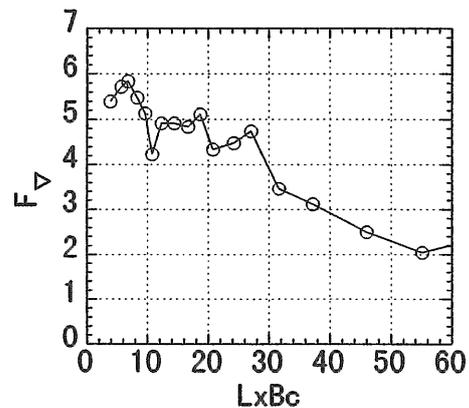


Fig.4-6 Volume Froude number and LxBc estimated using Niwa's chart

が表れたためと考えられる他に、3.1で述べた操船安全性を考える際の仮定が滑走あるいは半滑走状態で航走する小型船舶に対して十分ではないことが考えられる。しかし、上述の解釈2は定性的には十分妥当性があると思われる。

以上、JCI基準の持つ意味を横加速度の面から考察した。船の大きさによらず最大横加速度は一定でよいとする解釈1はある限られたボート係数の範囲までは解釈として成り立つものの、より大きな船を対象とした時に最高船速が過大になり実態を説明できない可能性がある。一方、船が大きくなると許容できる最大横加速度は減少するとする解釈2は解釈1よりも広範囲の船に対して成り立ち、実態にも適合するある一定の合理性を持った解釈であると考えられる。

4.1.2 危険回避距離の面からの考察

危険回避距離の面から現行基準を考察する場合は危険回避距離と船速あるいはフルード数の関係として(3-18)式において $n=1$ とした関係を用いるべきである。以下では一般的に n として表すこととすると、これらの関係式に(4-3)式等で与えられる最大フルード数を代入したとき得られる最大出力時の最長危険回避距離(A_{Dmax})は、

$$A_{Dmax} = N(n; F_{vmax})L \tag{4-9}$$

で与えられる。ここで、

$$N(n; F_{vmax}) = \begin{cases} C_6 + D_{13}P_c^{(2-n)/3}F_a^{-7(2-n)/12} \\ C_6 + D_{13}(\alpha F_a + \beta)^{(2-n)/3}F_a^{-7(2-n)/12} \end{cases} \tag{4-10}$$

$(D_{13} \equiv C_7 D_{e3} D_8^{2-n})$

である。JCIのA-I船型に対する基準を対象に(4-10)式の $N(n; F_{vmax})$ を $n=1$ として計算した結果を N_0 としてFig. 4-7に示す。ただし、ここでは $C_6=2.5$ 、 $C_7 D_{e3}$

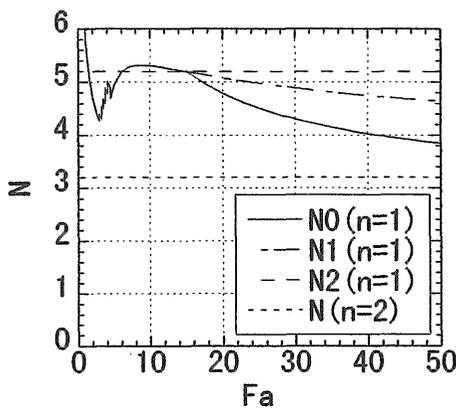


Fig.4-7 Function N for power ratings; P_{max0} , P_{max1} , P_{max2}

$=0.7$ 、 $D_8=3$ と仮定した。 N_0 はFig. 4-1中の P_{max0} に対応する計算結果であるのに対し、図中の N_1 と N_2 はそれぞれFig. 4-1中の P_{max1} と P_{max2} に対応して $n=1$ として計算した結果である。なお、 $n=2$ の場合も図示しているが、この場合は機関出力の大きさに関わらず、一定値、

$$N(n=2; F_{vmax}) = C_6 + C_7 D_{e3} \tag{4-11}$$

をとるため図中では単に N としている。この一定値と $n<2$ の場合の線とは(3-18)式によって $F_{vmax}=1$ となる F_a 位置で交わることになる。ただ、 N_2 については $n=1$ と $n=2$ の場合の線と交わることがなく、このことはFig. 4-4の F_{vmax2} に見られるように最大フルード数が一定値になっていることに対応している。ただし、今考えているのは高速の小型船舶であるから、實際上この交点に対応するほど大型の船は考慮する必要はないと考えられる。

さて、ここでも横加速度の面から考察した時と同じように2通りの解釈ができる。すなわち、限られた範囲の機関最大出力を直線近似した結果、ある程度 F_a が大きくなると最長危険回避距離の船長に対する比の減少傾向が表れるが、本来は船の大きさに限らずこの比がある一定値以下であればよいとする考え方が1つ。これを解釈3とする。もう1つは、船が大きくなると許容される最長危険回避距離の船長に対する比は減少するとする考え方である。これを解釈4とする。これら2つの解釈は $N(n; F_{vmax})$ が最大値を示す付近の F_a の範囲においては大きな違いはないと考えられるが、より広い F_a の範囲においては無視できない違いをもたらす場合もあると考えられる。

危険を回避するのに必要な距離は、その危険の認識が小型船舶の場合に主として目視によると考えられることから、本来なら船の大きさや船速によらずある一定の距離になるべきであると考えられる。このことは最長危険回避距離の船長に対する比が船長の-1乗あるいは F_a の-1/2乗に比例して減少することに対応する。解釈3と解釈4を比較すると、最長危険回避距離の船長に対する比が一定値でよいとする解釈3より解釈4の方が上述の危険回避距離に関する基本的考え方に近いと考えられる。従って、現段階では解釈4の方がより合理的な解釈と考えられるが、この点についてはより定量的な検討が必要と思われる。

4.2 操縦性試験による方法

操縦性試験によるISO標準化案の持つ意味を横加速度と危険回避距離の両面から考える。

速長比が7以下の場合については機関出力に制限を設けないことを横加速度の面から考える。このことは、速長比がフルード数に対応することと(3-8)式に表されるようにフルード数は横加速度と対応することから、

横加速度の許容値をある一定値に設定してそれ以下であれば特に操縦性試験を課さないということに対応する。これは前節で述べた機関出力の基準値を示す方法の解釈1にそのまま当てはまる考え方である。今、ボート係数に近い値と考えられる LB_c と船の長さとは、文献⁴⁾によればおおむね、

$$0.3L^{1.8} \leq LB_c \leq 0.43L^{1.927} \quad (4-12)$$

の関係があることから、この適正判断の対象としている最も大きな長さ8mの船について LB_c を推定すると12.7から23.6程度となる。つまり、操縦性試験による方法は前節の解釈1が成り立つ範囲であると考えられる。このことは、もともとISOがABYCの対象としている範囲の船について標準化を考えたと思われることから妥当と推測されるところである。

速長比7が許容最大横加速度に対応すると考えて、速長比が7を越える場合における横加速度と危険回避距離の関連を考える。横加速度の面で操船安全性の最も低い船型が速長比7を越える船速で最大舵角をとって危険回避した場合、(3-8)式より横加速度はフルード数の2乗に比例して増加するため、横加速度はその許容値を越えることになる。過大な横加速度にならないようにするためには危険回避操船を緩和し、船速を下げるか舵角を小さくして危険回避距離を伸ばす必要があるが、この時の危険回避距離の上限を $6L$ としたのがこの操縦性試験であると考えられる。この解釈の場合、速長比7の時の危険回避距離が $6L$ よりも小さい値に対応することを意味することになる。

速長比が7以下の場合については機関出力に制限を設けないことを危険回避距離の面から考える。このことは、(3-18)式で $n < 2$ とした場合危険回避距離と船長の比はフルード数の増加に対応して増加することから、横加速度の場合と同様に、危険回避距離と船長の比の許容値をある一定値に設定してそれ以下であれば特に操縦性試験を課さないということに対応する。これは前節で述べた機関出力の基準値を示す方法の解釈3に当てはまる考え方である。

しかし、速長比が7の時に対応する危険回避距離を $6L$ とすると、速長比7を越える場合には(3-18)式より危険回避距離の面で操船安全性の最も低い船型は自動的にこの危険回避距離は満足できなくなることを意味し、この場合は操縦性試験をおこなう意味を失う。このことは、前述のように、横加速度の面で操船安全性の最も低い船型が速長比7を越える船速で最大舵角をとって危険回避した場合の例と同じである。あえて解釈すれば、速長比7は危険回避距離が $6L$ より短い危険回避距離に対応し、これを越える船速の場合は上限である $6L$ を確認することを要求していると思われることができる。これは、速長比7を越える場合における横加速度と危険回避距離の関連で前述したことと対応し

ている。

船速30ktを越える船については最長危険回避距離を船速の増加に従って大きくすることが認められている点については、横加速度の面からはフルード数あるいは速長比が直接関係するのであって、船の大きさに関わらず船速30ktという区切りを設けること自体は意味を持たず従って説明できない。また、危険回避距離の面からも船速30ktの区切りについては説明できない。この船速30ktという区切りについては明確な裏付けを持った数値ではなく、むしろ現存する船長8mまでの小型船舶の船速の上限がほぼ30ktであることによると思われる。

船速30ktを越えた場合に1kt当たり2mの危険回避距離の延長が認められている点について考える。横加速度を一定とした時、船速と旋回半径の変化分をそれぞれ δV 、 δR とすると、(3-15)式より、

$$R + \delta R = C_8^2 (V + \delta V)^2 / a_H \quad (4-13)$$

が得られ、これと(3-15)式より、

$$\delta R \cong 2C_8^2 (V/a_H) \delta V \quad (4-14)$$

が得られる。危険回避距離の増加分を δA_D とすると、(3-12)式より、

$$\begin{aligned} A_D + \delta A_D &= C_6(L/(V + \delta V))(V + \delta V) + C_7(R + \delta R) \\ &= C_6L + C_7(R + \delta R) \end{aligned} \quad (4-15)$$

の関係が得られ、これと(3-12)式より、

$$\begin{aligned} \delta A_D &= C_7 \delta R \\ &\cong D_{14} (V/a_H) \delta V \\ &\cong D_{15} (F_V/a_H) L^{1/2} \delta V \\ (D_{14} &\equiv 2C_7C_8^2, D_{15} \equiv D_{14}C_8^{-1/2}g^{1/2}) \end{aligned} \quad (4-16)$$

が得られる。これに(3-9)式と(3-10)式を代入すると、

$$\begin{aligned} \delta A_D &\cong D_{16} V^{1-n} L^{n/2} \delta V \\ &\cong D_{17} F_V^{1-n} L^{1/2} \delta V \\ (D_{16} &\equiv D_{14}/D_{e2}, D_{17} \equiv D_{15}/D_{e2}) \end{aligned} \quad (4-17)$$

の関係が得られる。横加速度の面から操船安全性の最も低い船型である $n=2$ の時を考えると、危険回避距離の増加分は船速あるいはフルード数と船の大きさのいずれにも依存することになる。また、危険回避距離の面から操船安全性の低い船型である $n=1$ の場合を考えても、危険回避距離の増加分は船の大きさに依存することになる。従って、船速や船の大きさに関わらず一律に増加分1kt当たり2mの延長を許すことを横加速度と危険回避距離の両面から合理的に説明することはできないことになる。

しかし、現実的には最高船速30ktを大きく越える船長8m未満の小型船舶がほとんどないことと、船の大きさに依存するとはいえ比較的影響が小さいと考えら

れる $L^{1/2}$ 依存性、さらに船長8mまでの限定された適用範囲から考えて、最大船長8mに対する船速30kt付近の実態を考慮して増加分1kt当たり2mという値が決められたと推測される。

5. 結言

本報告では、小型船舶の操船安全性を表す指標として操船中に乗船者に働く横加速度と危険回避距離を取り上げ、これらの両面から機関最大出力に関する現行基準等の持つ意味について考察をおこなった。その結果、以下のことが明らかとなった。

現行JCI基準等に見られる機関出力の基準値を示す方法については、横加速度の面から考えて、船の大きさによらず最大横加速度は一定でよいとする解釈よりも、船が大きくなると許容できる最大横加速度は減少するとする解釈の方が広範囲の船に対して成り立ち、実態にも適合するある一定の合理性を持った解釈である。また、危険回避距離の面から考えると、船が大きくなるに従って危険回避距離と船長との比が小さくなることを求めていると解釈できる。機関出力の基準値を示す方法は、それ自体では操船安全性との関連が不明であるにも関わらず、今回の考察によって操船の安全性から見て上述のような合理的な意味合いを持っていると考えることができる。一方、ISO標準化案の操縦性試験による方法は、その意味するところが一見したところ明確であるにも関わらず、横加速度と危険回避距離という個々の面から考えた場合、部分的には妥当な説明ができるものの首尾一貫した解釈はできないことから、限定された大きさの船を想定してかつ小型船舶の実態を勘案した上で作られたものと推測される。

さまざまな船型が存在する小型船舶の操船運動についてはその物理現象自体が複雑であって、研究例や実験データも少ない。機関出力に関する基準の策定やその運用に当たっては、小型船舶の運航実態を反映したものでなくてはならないことは論を待たない。しかし、小型船舶の操船安全性を機関出力の観点から確保するための基準は、少なくともその基本となる考え方には小型船舶の実態調査とその物理的解釈に裏付けられた明確な意味合いを持つ必要があると考えられる。そのため、今回適切な説明ができなかった部分についての別の面からの考察を含めて、今後も小型船舶の操船安全性と機関出力との関係についての検討が必要と考えられる。

本報告は日本小型船舶検査機構に設けられた「小型船舶の機関の適正出力に関する検討委員会」における著者の検討結果とその後の考察をとりまとめたものである。議論を賜った同委員会足達委員長はじめ委員各位および関係機関の諸氏にはここに記して感謝の念を表します。

参考文献

- 1) 日本海洋レジャー安全・振興協会: 平成8年におけるプレジャーボート等の海難事例, 1997.3.
- 2) 日本小型船舶検査機構: 小型船舶の船型と適正機関出力に関する調査研究報告書, 1982.3.
- 3) 日本小型船舶検査機構: 小型船舶の機関の適正機関出力に関する調査研究報告書, 1998.6.
- 4) 丹羽 誠一: 新高速艇講座 <4>, 船舶, Vol.54, No.595, 1981.
- 5) 丹羽 誠一: 新高速艇講座 <5>, 船舶, Vol.54, No.596, 1981.

[付録1]

日本小型船舶検査機構(JCI)の基準概要

1. 適用範囲

- ・本基準は総トン数20トン未満の船に適用される(1994年5月改正)。(注意: 基準策定当時は長さ12m未満の船に適用)

2. 船型区分

- ・小型船舶の製造者が当該小型船舶に保証した機関出力の値が本基準を下回る場合はその保証値を機関出力とする。
- ・本基準をこえる機関を搭載した船については個々に安全性についての確認試験をおこなうこととする。

区分	遠隔操縦装置	トランサムの高さ	船尾構造	トランサム部の船底勾配	フルトランサム
A I 型	有り	50cm以上又はこれと同等の船尾構造を有するもの	モーターウェル又はコックピットを有しており、かつ当該ウェル等に打ち込んだ水を排出できる設備があること。又は船尾部に水密甲板を有しているもの。	15度以上	有り
A II 型	有り	同上	同上	15度未満	有り
B I 型	上記の条件を満たさないもの			7度以上	有り
B II 型	同上			上記の条件を満たさないもの	

3. 基準値

基準値はボート係数(Fa)および船型区分に応じてそれぞれ次により求められる値とすること。

(1) 船外機を主機とする小型船舶((3)に該当するものを除く)

(i) Faが4.5以上の場合

船型区分\Fa範囲	Fa<15	Fa≥15
A I 型	21.5Fa-81	245
A II 型	12.8Fa-40	155
B I 型	8.6Fa-23	110
B II 型	5.4Fa-14	70

(ii) Faが4.5未満の場合

船型区分\Fa範囲	3未満	3以上 3.3未満	3.3以上 3.5未満	3.5以上 3.8未満	3.8以上 4.1未満	4.1以上 4.5未満
A I 型						
A II 型	4	5	7.5	10	15	20
B I 型						
B II 型	4	5	7.5	10	15	

(2) 船内外機を主機とする小型船舶又は船内機を主機とする小型船舶であってアウトドライブユニットを備えるもの((3)に該当するものを除く)

Fa及び船型区分に応じそれぞれ(1)(i)により求められた値に1.55を乗じた値とする。

(3) カヌー型のもの(B/L≤0.18)

次表により求められる値とする。ただし、アウトリガー付きのものは求められた値の1.5倍とすることができる。

船の長さ(L)(m)	4未満	4以上5未満	5以上
基準値	4	5	7

(注意)

- 1) Faは船の登録長(m)にトランサム部の幅(m)を乗じた値である。
- 2) 機関出力は連続最大出力(PS)である。

【付録 2】

米国ボートヨット協議会(ABYC)の規則概要²⁾

1. 適用範囲

本規則は26フィートまでの船を対象としたものである。

2. 遠隔操縦装置を有しかつトランサム高さが20インチ未満又はそれと同等の船(Factorが52以上の船)(Type-A)

次式による値を基準値とする。

$$2\text{Factor}-90$$

3. 遠隔操縦装置を有せずかつトランサム高さが20インチ未満又はそれと同等の船(Factorが52以上の船)

(1) 船底が平坦でハードチェーンを有する船(Type-B II)

次式による値を基準値とする。

$$1/2\text{Factor}-15$$

(2) その他の船(Type-B I)

次式による値を基準値とする。

$$0.8\text{Factor}-25$$

4. Factorが52未満の船

次表による値を基準値とする。

Factor	35まで	36~39	40~42	43~45	46~49	50~52
H.P. Capacity	3	5	7 1/2	10	15	20

(注意)

- 1) Factorは船の全長(ft)にトランサム幅(ft)を乗じた値である。
- 2) 機関出力は瞬間最大指示馬力(HP)である。

【付録 3】

国際標準化機構(ISO)の指針案概要³⁾

1. 適用範囲

本指針案は8m未満の船外機船を対象としたものである。

2. F≤5.1の船

付図(省略)に示す値とする。

3. F>5.1の船

(1) 遠隔操縦装置を持たず船体中央部における船底勾配<5度の船(Type-B II)

次式による値を基準値とする。

$$4.2F-11$$

(2) 遠隔操縦装置を持たず船体中央部における船底勾配≥5度の船(Type-B I)

次式による値を基準値とする。

$$6.4F-19$$

(3) 遠隔操縦装置を持つ船(Type-A)

次式による値を基準値とする。

$$16F-67$$

(注意)

- 1) Fは船の長さ(m, ISO8666による)にトランサム幅(m, ISO8666による)を乗じた値である。
- 2) 機関出力はISO8665で定義される値(kW)である。

[付録4]

国際標準化機構(ISO)の操縦性試験案概要³⁾

1. 適用範囲

長さ8m未満の小型船舶のうち、 $V_{max} > 7\sqrt{L}$ (V_{max} :最高船速(kt), L :船長(m))の場合に適用することとする。 $V_{max} \leq 7\sqrt{L}$ の場合は搭載機関出力を最大出力とすることとする。

2. 試験手順

- ・ 風速5m/s未満、最大波高0.2m未満の平穏な状態で以下の手順で試験をおこなう。
- ・ Fig.A4-1に示す航路を設ける。ただし、図中のDは、 $7\sqrt{L} < V_{max} \leq 30$ の船に対しては $6L$ 、 $30 < V_{max}$ の船に対しては $6L + 2(V_{max} - 30)$ とする。
- ・ A点とB点を結ぶ線に平行に最高船速で直進する。
- ・ B点を通る船を船首が横切ると同時に舵をきる。
- ・ 回避線を越えないように回頭し回避後は回避線に平行に直進する。
- ・ 左旋回3回、右旋回3回の計6回試験をおこなう。

以上の試験によって、回避線を越えずに回頭できること、操船中に保針性と安定性が失われないこと、操船者が困難なく身体保持ができることを確認する。

最高船速で上記が確認できない場合、製造者は確認できるまで機関最大出力を下げるかあるいは安全に危険回避できる船速(ただし、この場合の船速は $0.75 V_{max}$ 未満または $7\sqrt{L}$ 未満であってはならない)を操縦席に掲示する等の措置をとることとする。

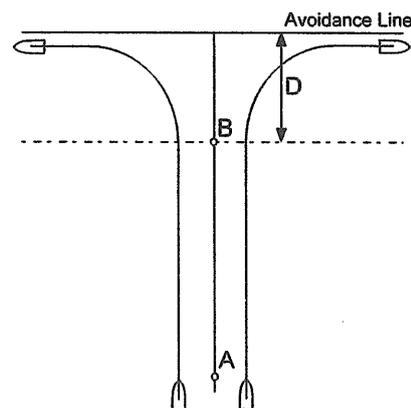


Fig.A4-1 ISO Manoeuvring test