

66 ポッド・プロパルサの単独性能試験法について

推進性能部 * 藤沢 純一、右近 良孝
工藤 達郎、日野 孝則

1. はじめに

現在、ポッド・プロパルサに関心が集まっております[1]、ポッド・プロパルサに取り付けたプロペラが単独の時と比べて、またプロパルサ全体がどのような性能になるかを評価し、これらを設計するのに必要情報が殆ど公表されていない。

本プロパルサは新形式の推進器であることから、まずポッド・プロパルサ用の動力計を製作するとともに、信頼性のある性能計測法の開発に着手した。ここでは、製作した動力計とポッド・プロパルサ船の推進性能評価[2]のベースとなる、ポッド・プロパルサ単独性能計測結果について、プロペラ単独試験結果と比較して報告する。

2. ポッド型動力計

ポッド・プロパルサ単独性能計測を行うに当たって、まずポッド型動力計システムの製作を行った。本動力計はプロペラ・シャフト、ギヤなどが納められているポッド・ケーシング、ストラット、動力計そのものを回転させるための旋回台および旋回モータ、プロペラを回転させるための駆動モータ、これら2つを制御するコントローラ、ポッド・プロパルサ全体に加わる力を計測するための3分力計で構成されている。本動力計の形状を図-1に示す。

ポッド・ケーシングの中には、プロペラが発生するスラスト、トルクを計測する、歪みゲージで構成された検出器が入っており、3分力計と合わせて5分力、すなわち、プロペラのスラスト T 、トルク Q 、ポッド・プロパルサ全体の抗力 F_x 、横力 F_y 、モーメント M_z の計測が行えるようになっている。それぞれの容量および非直線性を表-1に示す。

3. 供試模型および計測装置

プロペラ・ボート (SRI M.S.No.430) にポッド型

動力計を取り付け、この動力計に供試模型プロペラ (SRI M.P.No.300 及び M.P.No.037R) を取り付けて性能計測を行った。供試模型プロペラの主要目を表-2に示す。

3分力計が防水型でないことから、プロペラ・ボートの喫水を50mmと浅くしたため、プロペラ・ボートによる造波や伴流によるプロペラディスク面での一様性などへの影響が懸念された。そこでCFD[3]により船側波形や流場の計算をいくつかのフルード数について行い、本動力計の適切な取り付け位置を検討した。この結果、ボート中央部で波高が小さくなること、プロペラ・ディスク面はほぼ一様流になっていることを確かめた。プロペラ・ボート周りの流場計算結果を図-2に示す。

プロペラのスラストおよびトルクは専用のアンプ (ゲイン100倍固定) で、3分力計の出力は汎用のストレイン・アンプ (日章電機 DSA-100) で増幅した。

4. 計測方法

ポッド・プロパルサの性能計測は三鷹第3試験水槽 (中水槽) で行い、動力計を取り付けたプロペラ・ボートは姿勢変化しないように曳引車に固定した。プロペラ軸は傾斜させずに直進時のみの計測を行った。ポッド・プロパルサの取り付け形式にはプロペラがポッドの前方につくトラクタ型、ポッドの後方につくプッシャ型があり、その両形式について計測を行った。

プロペラ回転数 n は主に16rpsに保ち、曳引車速度 V_c を変えることで前進率 J を0.10から0.70まで変化させ各流体力を計測した。ポッド・プロパルサの前進速度 V_A は曳引車の速度と等しいとした。

まず、本動力計にダミー・ボスを取り付け、ポッド内の検出器でボス抵抗 T_B および3分力計でポッド・プロパルサ全体に加わる抵抗 F_{x_0} を計測した。

次に供試模型プロペラを取り付け、前進率を変

化させてプロペラ性能の計測を行うとともに、前進率一定でプロペラ回転数を変化させ、プロペラ性能に及ぼすレイノルズ数影響を調べた。

計測された5分力の無次元化及び前進率 J 、ケンブのレイノルズ数 Re_K 、プロペラ荷重度 C_T は、次のように与えた。

$$J = V_A / nD_P ; D_P: \text{プロペラ直径}$$

$$K_{TP} = (T - T_B) / \rho n^2 D_P^4 ; K_{QP} = Q / \rho n^2 D_P^5$$

$$\eta_{OP} = J \times K_{TP} / 2\pi K_{QP}$$

$$K_{TS} = -Fx / \rho n^2 D_P^4 ; K_{QS} = K_{QP}$$

$$\eta_{OS} = J \times K_{TS} / 2\pi K_{QS}$$

ρ : 清水の15℃における密度

$$Re_K = \left(C_{0.7} \times nD_P \sqrt{J^2 + (0.7\pi)^2} \right) / \nu$$

$C_{0.7}$: プロペラの0.7Rにおけるコード長

ν : 清水の温度による動粘性係数

$$C_T = (K_{TP} / J^2) \times (8 / \pi)$$

プロペラのスラスト係数、トルク係数、効率はポッド内の検出器で計測した値を、ポッド・プロパルサ全体のスラスト係数に関しては3分力計で検出された値を無次元化して求めた。なおポッド・プロパルサ全体のトルク係数は、プロペラのトルク係数と同一であるとして効率を算出した。

SRI M.P.No.037Rにおいて、没水深度 I が計測結果に及ぼす影響を調べるため、 I/D_P を1.150と1.226とし計測を行った。またプロペラボス後端と本動力計の前端間のギャップが計測値に及ぼす影響を調べるため、トラクタ型でギャップを2、3、4mmと変化させた計測を行った。

5. 計測結果および考察

ダミーボスを付けた状態における、トラクタ型のポッド・プロパルサ全体の抵抗計測結果を図-3に示す。横軸にストラットの全長を用いたレイノルズ数 Re_s 、縦軸に平板の摩擦抵抗係数 C_{F0} 及び、 Fx_0 をポッド・プロパルサの浸水表面積で無次元化した全抵抗係数 C_{Fx0} を示した。摩擦抵抗係数は層流平板に対するBlasiusの式と乱流平板に対するSchoenherrの式で計算した。ストラットに粗さのない2組の計測値と、ストラット前縁付近に粗さを付けた状態の計測値を示す。粗さのない場合の全抵抗係数は層流平板の摩擦抵抗係数の傾きと

ほぼ同じであり、ストラット部分が十分に乱流になっていないと思われる。一方、ストラットに粗さを付け乱流促進をした結果、乱流平板の摩擦抵抗係数の傾きにほぼ一致し、乱流促進の効果が見られた。しかしながら、ポッド・プロパルサへの性能に及ぼす影響は少く乱流促進法を更に詳細に検討する必要がある。

トラクタ型とプッシャ型における単独試験計測結果をそれぞれ図-4と図-5に示す。横軸に前進率を、縦軸にスラスト係数、トルク係数、効率を示した。

同図中に通常のプロペラ単独試験で得られたスラスト係数 K_{TO} 、トルク係数 K_{QO} 、効率 η_O を記号のない実線で、ポッド内の検出器で計測されたスラスト係数 K_{TP} 、トルク係数 K_{QP} を○印で、3分力計で計測されたポッド・プロパルサ全体のスラスト係数 K_{TS} を□印で表した。

トラクタ型のスラスト係数を比較すると、 K_{TP} は K_{TO} より大きく、トルク係数 K_{QP} も K_{QO} より若干大きくなっている。ポッド型動力計の排除効果による伴流により、プロペラの前進率が小さくなったためである。トルク係数はスラスト係数ほど大きくならないため、効率は単独時より高くなる。3分力計により検出されたスラスト係数 K_{TS} はポッド・プロパルサ自身の抗力値が加わるため K_{TP} より小さくなり、 K_{TO} とほぼ同じ値になる。効率 η_{OS} はプロペラ単独の時より低くなる。これらの傾向はハンプルク水槽での計測[3]と同じである。

一方、プッシャ型では K_{TP} 及び K_{TS} とも K_{TO} より小さくなっている。前者はポッド型動力計のポッド等による伴流の影響と、プロペラ作動によって境界層が薄くなり、相殺したためと思われる。プッシャ型の K_{TS} がトラクタ型の K_{TS} ほど小さくならないのは、プロペラの後流によるストラットの抗力増加が小さいことが一因と考えられる。

プロペラへの流入速度が、プロペラの作動によってどのように変化するかを、自航試験の解析と同じ様にして求め図-6に示す。横軸にプロペラ荷重度を、縦軸に有効伴流係数 $1-W_T$ を示した。トラクタ型では荷重度の増加とともに止堰効果が増し、プッシャ型は逆に加速効果が大きくなるの

が判る。

本計測に及ぼすレイノルズ影響を調べた結果を図-7に示す。ケンプのレイノルズ数 Re_K が 4.5×10^5 以上になるとポッド内の検出器及び3分力計で計測されたスラスト係数、トルク係数、効率とも一定になっていることが判る。それぞれの差は1%以内（ただし K_{TS} は1.6%以内）であった。

なお、没水深度、ギャップによる性能への影響を調べたが有意な差は無かった。

6. まとめ

本報告では新たにポッド・プロパルサの研究のために動力計を製作し、ポッド・プロパルサの単独性能試験を行い、通常のプロペラ単独性能試験結果と比較検討した。その結果、次のことを確認した。

1. トラクタ型ポッド・プロパルサのプロペラ

表-1 動力計の仕様

スラスト、トルク検出器		
	容量	非直線性
スラスト (T)	200 N	± 0.5%RO
トルク (Q)	4 N-m	± 0.5%RO
三分力計		
抗力 (Fx)	300 N	± 0.2%RO
横力 (Fy)	300 N	± 0.2%RO
曲げモーメント (Mz)	30 N-m	± 0.2%RO

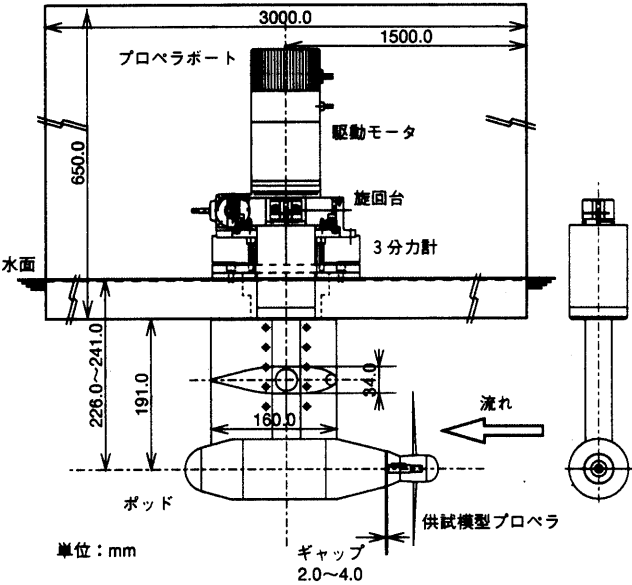


図-1 ポッド型動力計及びプロペラポート (トラクター型)

スラストは、ポッドなどの伴流により見かけ上前進率が低下する効果により、プロペラ単独時より増大する。一方、プッシャ型では加速効果で単独状態でのプロペラ性能とほぼ同じになる。

2. ポッド内の検出器で計測したプロペラ性能とポッド・プロパルサ全体の性能に及ぼすレイノルズ数影響は、 4.5×10^5 以上では無視できる。

今後は計測法の確立のため、計測を積み重ねる予定である。

参考文献

[1]: 玉島正裕; “特殊推進装置 (ポッドプロペラ)”, 試験水槽委員会シンポジウム、日本造船学会 (1999.12), pp.1 ~ 27

[2]: 右近良孝 他; “ポッド・プロパルサ船の自航試験とその解析”, 第1回海上技術安全研究所発表会講演集 (2001.6)

[3]: Hirata, N. and Hino, T.; “An Efficient Algorithm for Simulating Free-Surface Turbulent Flows around an Advancing Ship”, Journal of SNAJ, Vol.185 (1999), pp.1-8

[4]: Mewis, F.; “Podded Drives im Vormarsch, Hydrodynamische Aspekte”, Schiff & Hafen (1998), pp.50-54

表-2 模型プロペラ主要目

SRI M. P. No.	300	037R
Diameter [m]	0.1965	0.2233
Boss Ratio [-]	0.1665	0.1800
Pitch Ratio [-]	0.6800	0.8000
Exp. Area Ratio [-]	0.6200	0.5500
Number of Blades	4	4
Rotational Direction	Right	Right
Blade Section	NACA	MAU

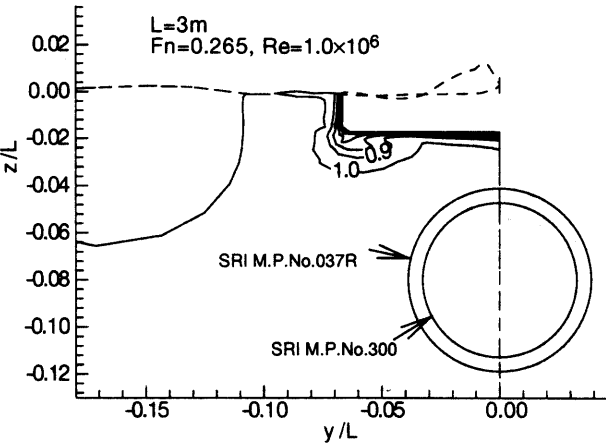


図-2 プロペラディスク面周りの流速分布 (CFD 計算による)

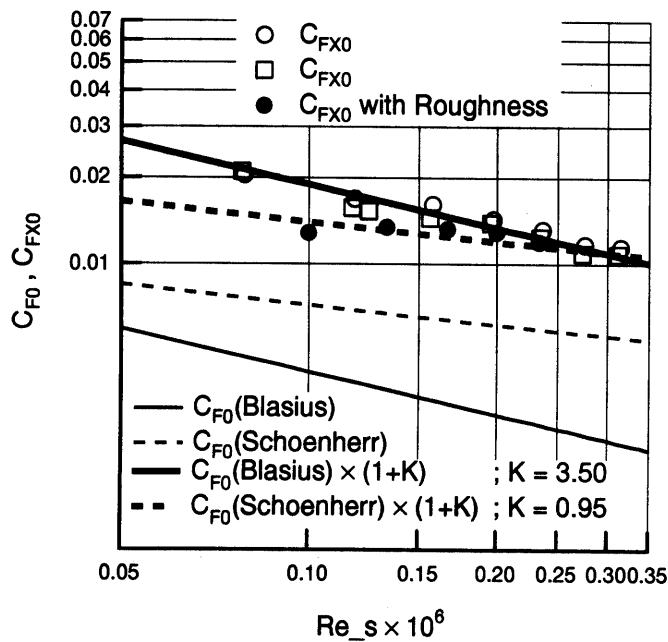


図-3 ポッド動力計の全抵抗係数

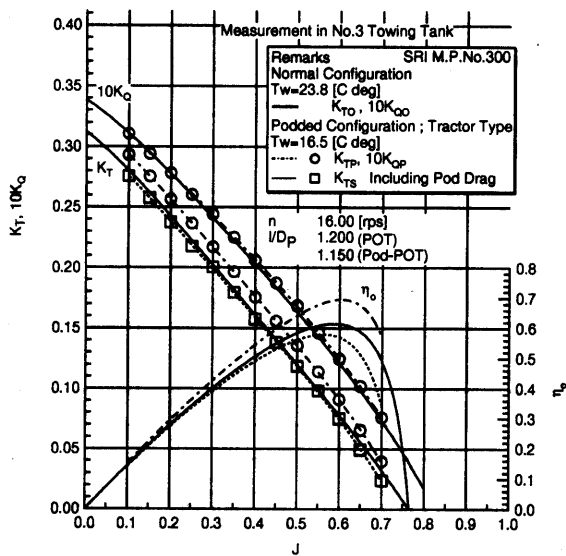


図-4 ポッド・プロパルサ単独性能
(トラクタ型)

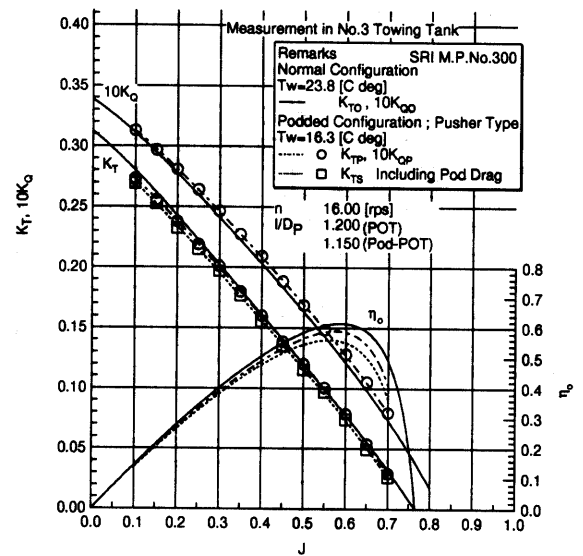


図-5 ポッド・プロパルサ単独性能
(プッシャ型)

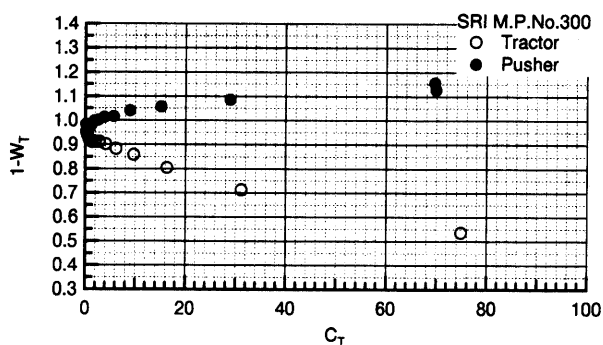


図-6 プロペラ荷重度がプロペラ流入速度に
及ぼす影響

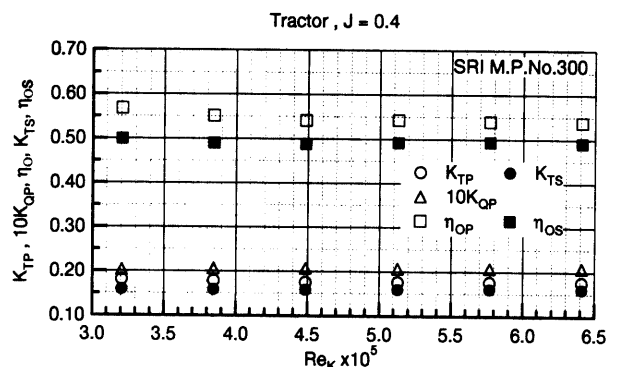


図-7 レイノルズ数がプロペラ性能に
及ぼす影響