

機関番号：82627
 研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20360398
 研究課題名（和文） 鈍い細長物体の形状と流体力特性に関する基礎的研究
 研究課題名（英文） Basic Study on the Shape of Blunt Slender Bodies
 and Their Hydrodynamic Characteristics
 研究代表者
 上野 道雄 (UENO MICHIO)
 独立行政法人海上技術安全研究所・流体性能評価系・グループ長
 研究者番号：60358405

研究成果の概要（和文）：1 軸船型と 2 軸船型およびポッド推進器装備船型(バトックフロー船型)を取り上げて、これら主船体の斜航・旋回中の左右力と回頭モーメントに関する基本的な操縦流体力特性を実験的に系統立てて明らかにした。高次の細長体理論と翼理論ならびに CFD(数値流体力学)によって、ポッド推進器装備船型に取り付けた各種スケグの効果も含めたこれらの流体力特性を精度良く推定することができることを示すとともに、これらの手法を用いて操縦運動中の船体周りの流場構造を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The series tank test clarified fundamental hydrodynamic characteristics of a single-propeller ship, a twin-propeller ship, and a pod-driven ship having a buttock flow stern with and without skegs in manoeuvring motion. The higher order slender body theory and the thin wing theory, and the computational fluid dynamic technique presented here estimated well these hydrodynamic properties and revealed the mechanism of flow around these ship hull forms.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2009 年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2010 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：流体力学, 船舶工学, 操縦性能, 針路安定性, 数値流体力学, 細長体理論, フィン, スケグ

1. 研究開始当初の背景

船の操縦性能に関連する主船体の流体力特性に関しては理論的・実験的に多くの研究例があり、船の大型化や高速化等への対応に多大の貢献をしてきました。特に我が国はこれまでの長い期間にわたって世界の船の大多数を建造してきた背景もあって、船の操縦性能に関する研究分野において世界を主導する成果を上げてきています。これらの研究

成果は実験的なデータベースの整備や船の長さや幅、喫水などの主要寸法からその流体力特性を推定するための実用的な推定式の形にまでまとめ上げられているほか、理想流体を仮定した理論計算手法、数値流体力学を用いた方法などが開発され安全で経済的な船の開発に貢献してきました。応募者らも船に細長体理論を適用してその操縦流体力を計算する手法や数値流体力学を用いた流体

力特性の計算手法の開発、データベースを基に操縦性能を表す指標を推定する手法などの開発に携わってきました。

しかし、これまでのほとんどの研究はプロペラと舵が一機ずつ装備された所謂1軸船を対象としたものでした。それは、建造される船のほとんどが1軸船であったことと、プロペラを2機装備した2軸船は操縦性能の面で問題となることはまずなかったからです。針路不安定な船は舵を中央に固定したままで直進することができず絶えず舵を操作する必要があります。その度合いが許容範囲を超える場合は船の安全性が脅かされることとなります。近年、地球環境保全の観点から船の燃料消費の削減が社会的に要請されていることに伴ってポッド推進器を装備した船が開発されているほか、プロペラと舵の設計の自由度が大きい2軸船型が省エネの観点から見直されようとしています。ところが、新しく開発された船型の中には付加的なフィンなどを装備しなくては極端に針路不安定になってしまう船型なども見られるほか2軸船型に関しては系統的な資料は見あたらないだけでなく基礎的な理論計算手法の研究もほとんどありません。これらの背景には新しく設計しようとする船型とその流体力特性の関係が基礎的な物理現象の把握という意味合いから十分明らかになっていないことがあると考えられます。

1軸船型を対象としたこれまでの主船体の流体力特性に関する数多くの研究例に比べ、2軸船型やポッド推進器装備船型は個別の船型について論じられた研究がいくつか見られる程度です。本研究の特色・独創性は、まず、細長体理論とCFDによる計算手法を1軸船型のみならずポッド推進器装備船型やより複雑な形状をもった2軸型にまで適用しようとすることにあります。特に2軸船型に対してこれらの手法を適用して十分な成果が得られている研究はこれまでにありません。本研究の特色・独創性は、さらに、これら全く別々に扱われてきた3船型を系統的なつながりをもった形状と見なして取り扱うことによって、流体力特性の変化を実験・理論を通して系統的に理解して形状と特性の関連を幅広く把握しようとすることにあります。

国連海事機関によって2003年に採択された船の操縦性基準は1軸船を想定して制定されたものでした。近い将来にポッド推進器装備船型に見られるような新しい船型に対する国際基準のあり方が議論されると予想されますが、本研究が明らかにしようとする船型と流体力特性の関係はこのような議論に対して学術的・技術的に重要な裏付けを与えるものになると考えられます。さらに、地球規模の社会的・国際的要請である地球環境保

全の観点から燃料消費量の少ない多様な船型の開発が今後急速に求められると考えられる今日、新しい船の安全性と経済性を確保するためにも多様な船型と流体力特性の関係を系統的に明らかにしておく必要が急務と考えられます。

2. 研究の目的

船の構成成分である主船体と舵、プロペラのうち主船体の操縦運動に関する流体力特性を理論的に論じる場合は幅方向の厚みも考慮して「鈍い細長物体」として取り扱う必要があります。航空機のような大きな翼状の構造を持たない船にとっては主船体の形状が全体の流体力特性に支配的な影響をおよぼします。前進・横流れ・旋回の3つ組み合わせで説明される船の運動は、水平方向に発生する揚力を利用した巨大な揚力体の運動として解釈されます。本研究の目的は鈍い細長物体である主船体の形状が流体力特性におよぼす影響を理論と実験の両面で明らかにすることです。

3. 研究の方法

本研究では1.で述べたような状況に対処するために1軸船型と2軸船型、ポッド推進器装備船型(バトックフローライン船型:スケグのような突起をもたず滑らかに変化する形状)を対象にして船型と流体力特性の関係を明らかにしました。これら3船型はそれぞれ特徴的な船尾形状をもっています。プロペラシャフトが入る部分に対応してスケグ状の部分がそれぞれ1軸船型では船体中心線に沿って1カ所、2軸船型では船体中心線を挟んで2カ所にあります。一方、ポッド推進器装備船型ではこのようなスケグ状の形状はありません。本研究ではこれらの典型的な3船型を取り上げてこれらの流体力特性を実験的および理論的に比較検討することで形状と流体力特性の基本的な関係を系統的に把握することとしました。現象の理解のために母船型となる3船型について推定計算によって調べて、多様な船の性能設計や性能改善に役立つ形で考察を加えることとしました。

具体的には以下の3項目を実施しました。

① 船種形状が同じで船尾形状のみが1軸船型、2軸船型、ポッド推進器装備船型の3種類の船型の流体力特性を水槽実験によって把握しました。水槽実験では模型船を斜航・旋回させて流体力を計測するCMT(Circular Motion Test)を実施して流体力特性を計測しました。

② 理論計算によってこれら3船型の流体力特性を求め、実験結果と比較検討しました。実験結果と計算結果の差が予想される2軸船型については推定計算手法の検討をおこないました。計算手法は細長体理論による方法

と数値流体力学(CFD)を用いた方法を取り上げました。

③ 推定計算手法を用いてスケグ形状の位置や大きさを変化させた場合等の流体力特性の変化を系統的に調べます。実験結果とこれら系統的な推定計算結果を船型との関連で整理した上で考察を加え、船としての性能改善策の手段としてとりまとめました。

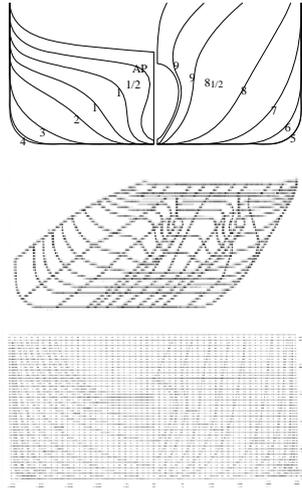


図1 船尾形状の比較(上から、1軸船型、2軸船型、ポッド推進器装備船型)

4. 研究成果

1軸船型と2軸船型、ポッド推進器装備船型、ならびにポッド推進器装備船型に2枚の大スケグ、2枚の矩形スケグ、2枚の小スケグ、1枚の大スケグをそれぞれ取り付けた状態(図2参照)について斜航・旋回時の流体力を水槽実験(図3参照)によって調べました。その結果、これらの船型には明らかな違いが認められることがわかったと同時に各種スケグの効果についても明確な差が現れることが確認できました。

細長体理論によってこれら流体力特性を推定したところ、2軸船型は理論的な適用範囲外であるものの、ポッド推進器装備船型については、図3に例を示すように、スケグ無しの状態を精度良く推定できることが確認できました。スケグの効果および2軸船の性能については薄翼理論を基本とする簡易な推定法によって大略推定できることを確認しました。流体力特性の推定結果から得られる流体力微係数からは針路安定性を知ることができます。針路安定性指数の推定結果と実験結果との比較を図5に示します。船型およびスケグの違いによる系統的な性能の差が実験結果に表れていること、そしてその傾向を細長体理論と薄翼理論に基づく推定計算結果が良く表していることがわかります。

CFD(数値流体力学)によっても1軸船型と2軸船型、スケグ無しポッド推進器装備船型、各種スケグ付きポッド推進器装備船型の流体力推定をおこないました。図6にCFD計算のための格子を示します。中央部に船体が位置しています。大スケグ2枚付きポッド推進器装備船型の斜航・旋回時の左右力特性を例にとって図7に示します。斜航・旋回時の横力が精度良く推定できていることがわかります。CFD計算では船体周りの圧力分布まで知ることができます。図8に矩形スケグ2枚付きのポッド推進器装備船型の圧力分布を示します。このような計算結果を基にしてスケグの効果进行分析しました。次式の左辺はスケグを取り付けることによって増加した船全体に働く左右力(第1式)と回頭モーメント(第2式)を表します。

$$Y_{skeg+\alpha} = (1 + a_{H(skeg)})Y_{skeg}$$

$$N_{skeg+\alpha} = (x'_{skeg} + a_{H(skeg)}x'_{H(skeg)})Y_{skeg}$$

右辺の Y_{skeg} は取り付けられたスケグの表面に作用する左右力を表します。第2式の $x'_{(skeg)}$ はスケグの面積中心の前後位置を表します。すなわち、次式は船体全体に対してスケグの効果はスケグそのものに作用する流体力以上であること、そしてその増加割合は $a_{H(skeg)}$ で表されることがわかります。一方、その増加分の左右力の作用点は $x'_{H(skeg)}$ の前後位置で表されることとなります。このようにしてCFD計算による推定結果を分析してスケグと船体の干渉を表す係数である $a_{H(skeg)}$ と $x'_{H(skeg)}$ を求めました。ポッド推進器装備船型の大スケグ1枚付き(Single skeg)と大スケグ2枚付き(Twin skeg)の斜航(Oblique motion)および旋回(Turning motion)の各状態についてまとめた結果を表1に示します。この結果から、スケグの発生する左右力は主船体との干渉によって約64%増加すること、その増加分の圧力中心は船体中央から後ろに船長の約29%の位置にあることがわかります。この圧力中心位置はスケグの前端付近に相当します。

以上のように、3種類の典型的な主船体形状とそのうちの1つポッド推進器装備船型におけるスケグの効果を実験的および理論的に解明することができました。ここで示した実験データは今後の新船型の設計に役立つものであると考えられます。また、高次の細長体理論による推定手法およびCFDによる推定手法の有効性も確認できました。これらの手法は他の類似船型への応用も可能であると考えられることから、今後の船型設計に活かされることが期待されます。この研究の成果がこれからの地球環境の保全に船舶の運航の面から寄与すること、そして経済的

かつ針路安定性の面から安全な船の増加に寄与することが期待されます。

表 1 CFD 計算によるスケグに関する干渉係数

Item		Single skeg	Twin skeg
$a_{H(\text{skeg})}$	Oblique motion	0.626	0.641
	Turning motion	0.643	0.639
$x'_{H(\text{skeg})}$	Oblique motion	-0.292	-0.283
	Turning motion	-0.293	-0.285

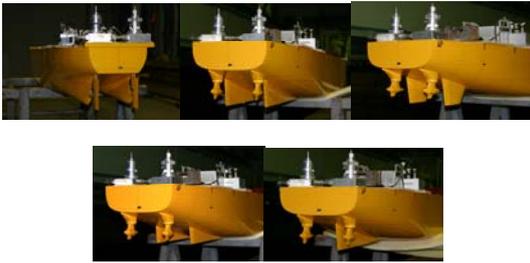


図 2 供試船型(上左, 2 軸船型; 上中, ポッド船型 2 枚大スケグ, ポッド船型 2 枚矩形スケグ, ポッド船型 2 枚小スケグ, ポッド船型 1 枚大スケグ)



図 3 水槽実験(Circular Motion Test)の様子

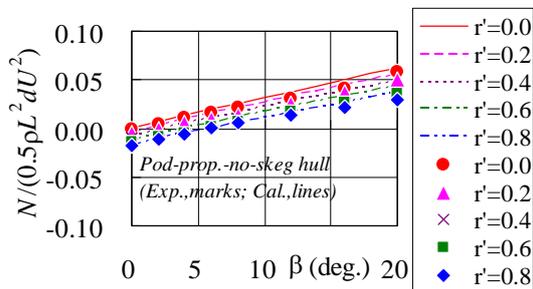


図 4 細長体理論によるポッド推進器装備船型(スケグ無し)の斜航・旋回時の回頭モーメントの推定結果と実験結果との比較(β , 斜航角; r' , 無次元旋回角速度)

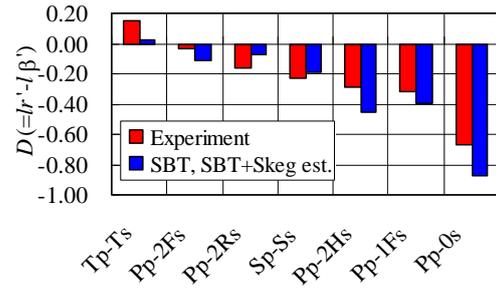


図 5 細長体理論と薄翼理論によるスケグの効果の推定を組み合わせた針路安定性指数 D の推定結果と実験結果の比較(Tp-Ts は 2 軸船型、Sp-Ss は 1 軸船型、Pp はポッド推進器装備船型を表す。2Fs は 2 枚大スケグ、2Rs は 2 枚矩形スケグ、2Hs は 2 枚小スケグ、1Fs は 1 枚大スケグ、0s はスケグ無しを表す。SBT は細長体理論(Slender Body Theory)を表す。)

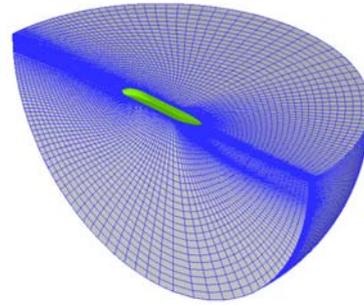


図 6 CFD(数値流体力学)計算のための格子

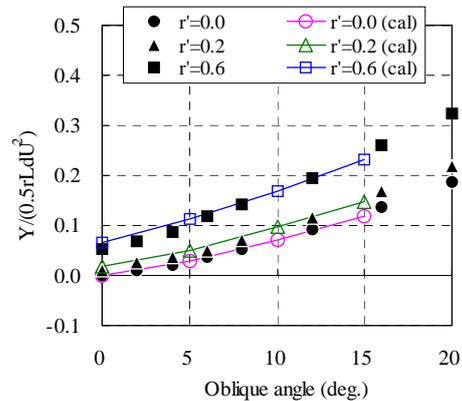


図 7 CFD(数値流体力学)によるポッド推進器装備船型(大スケグ 2 枚付き)の斜航・旋回時の左右力の推定結果と実験結果との比較(β , 斜航角; r' , 無次元旋回角速度)

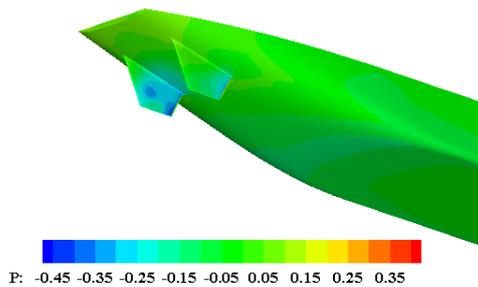


図8 CFD(数値流体力学)によるポッド推進器装備船型(矩形スケグ2枚付き)の斜航・旋回時の圧力分布(青い部分が圧力の低い部分を表す。)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計9件)

- ① Numerical Study about Effects of Stern Skeg on Course Stability: MIYAZAKI, Hideki; UENO, Michio; TSUKADA, Yoshiaki; Proceedings of International Society of Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE), 2011.6.19., マウイ(米国), 査読有り, (掲載決定).
- ② スケグを有するバトック・フロー船型の主船体に働く操縦流体力の推定について: 宮崎英樹, 塚田吉昭, 上野道雄, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 12号, 2011.5.19., 福岡, 査読無し, (掲載決定).
- ③ 自由航走試験の不確かさ解析主船体に働く操縦流体力の推定について: 宮崎英樹, 沢田博史, 上野道雄, 塚田吉昭, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 12号, 2011.5.19., 査読無し, (掲載決定).
- ④ スケグを有するバトックフロー船型の主船体に働く操縦流体力の推定について: 宮崎英樹, 上野道雄, 塚田吉昭, 日本船舶海洋工学会運動性能研究会, 第17回, 2010.2.3., 松山, 査読無し, pp. 1-24.
- ⑤ On Course Stability of Ships of Different Stern Types: UENO, Michio; MIYAZAKI, Hideki; TSUKADA, Yoshiaki; Proceedings of The 11th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, 2010.9.20., リオデジャネイロ(ブラジル), pp. 182-189, 査読有り.
- ⑥ ポッド推進船の針路安定性改善とその推定: 上野道雄, 宮崎英樹, 塚田吉昭, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, 第10回, 海上技術安全研究所, 2010.6.29., 東京, pp. 265-272, 査読無し.
- ⑦ 船尾形状の異なる2船型(2軸船尾双胴型

船型及びバトックフロー船型)に関する操縦流体力の計測について: 宮崎英樹, 塚田吉昭, 上野道雄, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 9E号, 2009.11.11., 東京, pp. 117-120, 査読無し.

⑧ CFDと操縦運動方程式のカップリングによる旋回運動の推定について: 宮崎英樹, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 9E号, 2009.11.11., 東京, pp. 121-122, 査読無し.

⑨ CFDによる船尾形状の異なる2船型(1軸船型とバトックフロー船型)の操縦流体力の推定について: 宮崎英樹, 塚田吉昭, 上野道雄, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 7E号, 2008.11.25., 東京, pp. 17-18, 査読無し.

[その他]

ホームページ等

http://www.nmri.go.jp/main/compe/kaken/new_subject/KB2008-1.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上野 道雄 (UENO MICHIO)

独立行政法人海上技術安全研究所・流体性能評価系・グループ長

研究者番号: 60358405

(2) 研究分担者

宮崎 英樹 (MIYAZAKI HIDEKI)

独立行政法人海上技術安全研究所・流体性能評価系・主任研究員

研究者番号: 10415797

塚田 吉昭 (TSUKADA YOSHIKI)

独立行政法人海上技術安全研究所・流体性能評価系・主任研究員

研究者番号: 90425752

沢田 博史 (SAWADA HIROSHI)

独立行政法人海上技術安全研究所・流体性能評価系・主任研究員

研究者番号: 804700538

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号: