

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目： 基盤研究 (A)

研究期間： 2007～2009

課題番号： 19206092

研究課題名 (和文) 新形式表面効果翼船の耐航性および運航採算性に関する研究

研究課題名 (英文) Seaworthiness and operational profitability of wing in surface effect ship with new configuration

研究代表者

秋元博路 (AKIMOTO HIROMICHI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号： 20283971

研究成果の概要 (和文)： 表面効果翼船(Wing In Surface Effect Ship; WISES)は、低空飛行時における翼の効率向上を利用した高速船である。本研究は、商用 WISES として有望である前翼型コンセプトについて、直進飛行におけるロール復原力、波浪上飛行における流体力変動、翼胴間空力干渉の低減を考慮した基本設計、離水前の水面滑走状態の運動特性および安定性の評価、特定の離島航路における採算性評価を行った。

研究成果の概要 (英文)： Wing In Surface Effect Ship (WISES) is a high-speed ship which utilizes the enhanced performance of aerodynamic wings in the proximity to water surface. This research is on the canard type WISES concept that is expected to show better economic performance in commercial services. The research includes roll stability of the ship in straight course flight, aerodynamics of the wing on waves, wing-fuselage interference, characteristics of the motion in planing, and the profitability of a practical island-transport service.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2008 年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2009 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度			
年度			
総計			

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：船舶工学, 航空宇宙工学, 次世代交通システム, 流体力学, 表面効果翼船

## 1. 研究開始当初の背景

翼の揚抗比が水面や地面近傍で著しく改善される現象を「翼の表面効果」と呼び。表面効果翼船 (Wing In Surface Effect Ship: WISES) は、この効果を水面上で積極的に利用し、空中翼によって自重を支える高速船で

ある。

現在、海で隔てられた 2 点間の輸送手段は船舶と航空機の 2 つに限られる。しかし両者の速度と運賃は既存の輸送機関の両極端に位置し、時速 100～400km の速度域では、どちらも経済的な輸送サービスを提供できな

い。陸上のトラック、新幹線、鉄道貨物の輸送量から判断すれば、海を越えた経路においても、この速度域に大きな輸送需要が存在すると考えられる。それらは本来の適合速度から大きく外れた船舶、航空機輸送に振り替えられているが、これによる損失は見過ごされている。上記の速度ギャップに適合する WISES は潜在的に大きな輸送需要を持ち、(空路を含む広義の)海上輸送の歪みを解消する事が可能である。

燃料価格の上昇により高速船開発の必要性が薄れているとの指摘もある。しかし WISES には、新たな経済活動機会の創出や、航空貨物のシフトによる CO2 削減が期待できる。また WISES は高速輸送を大規模インフラの整備無しに実現するため、環境負荷が小さい高速輸送機関である。

国内外で研究されながら WISES が商業化に至っていない理由の1つとして、外洋における経済性が明らかでない点が挙げられる。わが国への導入を考えた場合、初期段階から波浪上の利用検討が必要である。しかし諸外国の事例は、経済性の重要度が低い軍用艇、平水面を使う小型艇に限られ、離水性能と経済性は満足のものではない。また離着水時の揚力を向上させるため、推進器後流を翼下に吹き込む Power Augmented Ram (PAR) 機構がしばしば使われる。しかし波浪上での PAR の有効性には疑問があり、またそれによる重量と船価の上昇は WISES のメリットを減殺してしまう。経済性を犠牲にせずに離着水性能を向上させる事が今後の開発の鍵となる。



図 1: WISES 大型自航モデル

上記の解決策として提案者らが検討している WISES は、水平安定翼を船尾ではなく船首に置く前翼型(先尾翼型)である(図 1)。この形式は、離着水時の高迎角姿勢を容易に実現し、かつ推進器後流により高揚力時の失速を抑止でき、単純な機構で離着水速度の低減が可能となるコンセプトである。

先行研究の無線操縦模型の実験等により、波浪上の流体力、巡航時の特性の一部が明らかになってきている。しかし、大型とは言え軽量の模型の水力特性は実船と大きく異なり、離着水時の特性を把握するには至っていない。本コンセプトを事業化に結びつけるた

め、具体的な商用路線での経済性評価に向けたデータの蓄積を行う必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、以下の知見を得ることを目的としている。

- 巡航時および離着水時の馬力推定と流場。
- 耐航性能と波浪上飛行の安全性および経済性。
- 離着水時の力学および操縦指針の取得。
- WISES に適した構造試設計と建造コストの試算。

これらはいずれも、造船メーカーが WISES 開発を検討する場合に疑問点として挙げる項目である。

## 3. 研究の方法

前翼型コンセプトは機構的に単純であるが、周囲の流場は前翼、主翼、プロペラ後流、水面が干渉し合い複雑となる。これを解析するため、水中曳航試験と流体数値シミュレーションによる解析を行う。水中曳航は、風洞実験よりも現実の低高度航行の流れを再現しやすい。ロール状態での曳航によりロール復原性の検討を行う。

WISES の波浪上飛行で受ける非定常流体力と船体挙動を見るため、ポテンシャル理論による計算法を適用する。波浪を模擬した波板上の水中曳航試験結果との対比を行う。

離着水試験には、高速曳航ガイド装置を用い、接水から離水にいたる流体力と船体挙動を解析する。

実船のコストを推定するため、実験から得られた荷重状態を基に、構造の検討を行う。WISES は、航空機や船舶とは大きく異なる建造方法も考えられる。初期の開発コストおよび事業化の裏付けとなる初期投資コストを予測する。

## 4. 研究成果

WISES の旋回性能と安定性評価の基礎として、ロール傾斜角をもって直進飛行する表面効果翼の解析を、流体数値シミュレーションおよび水中曳航実験にて行った。曳航実験でロール状態を模擬するため、水中にバンク傾斜させた平板を設置し、その直上を模型が通過する。ロールモーメントおよび横力は、揚力や抵抗測定と比較して小さく、精度確保が困難であるため、CFD との対比を行いながら検討を行った(図 2, 3)。通常、飛行機のロール復原力は主翼の上反角効果による。しかし WISES では、左右の主翼の高度差によって生じる揚力差が復原モーメントを提供する。実験と CFD 解析から検討した結果、ロール方向に関しては、動的にも安定を確保するに十分な復原モーメントが確認できた(図 4)。

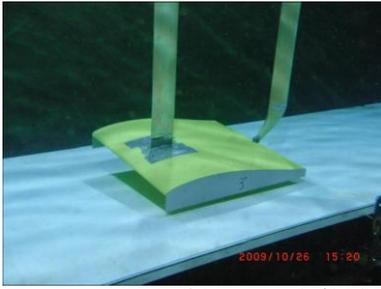


図 2: ロール状態の水中曳航試験

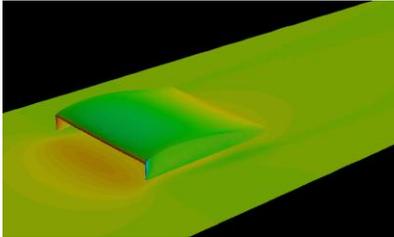


図 3: CFD シミュレーション

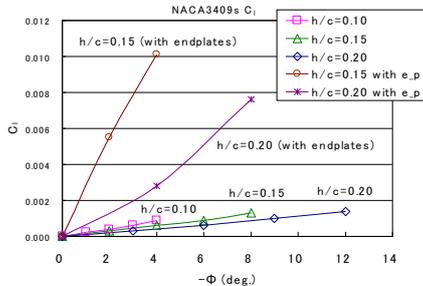


図 4: ロール角度と復原モーメント

離水前および着水後の滑走状態における船体挙動については、運動のモデル方程式を解くことにより、ポーポイズング不安定が発生する領域を把握した(図 5)。一般的な飛行艇と同様、離水速度に達するまでの加速過程では、不安定領域を通過しなければならない事が確認された。

本コンセプトでは、前方の空中プロペラの後流内に昇降舵を置き、加速中で船速がまだ低い状況でも昇降舵力を発生できるように考えられており、本研究の数学モデルでも、昇降舵制御によるポーポイズング抑制が確認された。ただし、昇降舵角は、推進器後流が主翼に与える PAR 効果も変化させるため、ポーポイズング抑制と離水速度低減の両方をバランスさせたゲイン設定が必要となる。これらを確認するための高速曳航試験が予定されている。

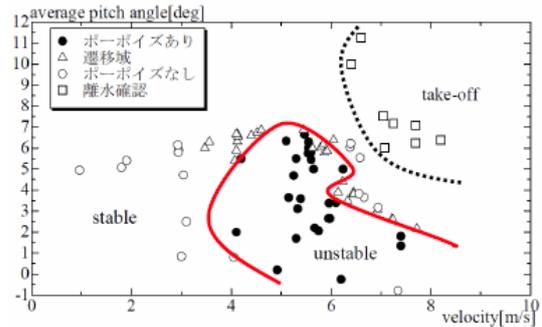


図 5: ポーポイズ発生領域の可視化

全機形態に関する検討では、全機モデルの波板状曳航試験(図 6)を実施し、波板上の飛行における非定常流体力が小さい一方、船体が上下動した際の非定常成分が大きい事が確認された。ただし船体上下動の際の非定常成分は位相が 90 度ずれているため、減衰力として作用する事が分かった。

この実験では、翼洞間の空力干渉が初期設計のままでは強い事が判明し、干渉を低減する設計変更を施した。設計変更の効果は実験でも確認され、これらの検討をもとに、自航試験用の RC モデルを製作した。

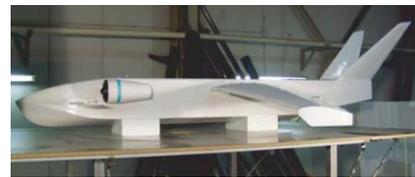
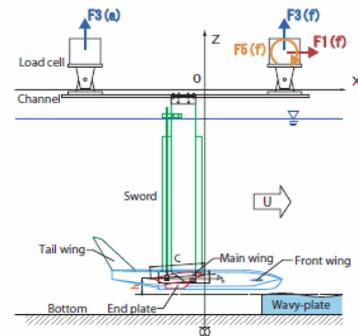


図 6: 全機模型の水槽試験レイアウトおよび自航試験用 RC モデル

WISES の運航採算および CO2 排出量の評価例として、東京-小笠原の 1000km 区間の旅客輸送を WISES で置き換えるプランを検討した。旅行時間は現行排水量型フェリーの 25 時間が、WISES では 3 時間程度に短縮される一方、算定された運賃は在来サービスと同額であ

り、十分な競争力があると言える。また、CO2排出量についても、WISES 路線は在来線の半分程度となった。

#### 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)

[雑誌論文] (計 14 件)

1. 金平誠, 秋元博路. 小笠原航路における表面効果翼船の運用計画. 日本船舶海洋工学会講演会論文, volume 10, pages 401-404, 6 2010(査読無し).
2. 天谷一朗, 平川嘉昭, 高山武彦, 上野智裕, 平山次清, 数学モデルを用いた地面効果翼船(WISES)の平水中滑走状態における運動特性の把握, 日本船舶海洋工学会講演会論文, 第 10 号, pp. 553-554, 2010(査読無し)
3. H. Akimoto, S. Kubo and M. Kanehira, Wing in surface effect ship with canard configuration. International Journal of Aerodynamics, Special Issue on Ground Effect, vol. 1, pp. 3-17, 2010 (査読有り)
4. 柳原大輔, 岩下英嗣, 渡辺幸夫, “繊維強化ゴムを用いた水平軸型風車ブレードのパッシブピッチ角制御”, 日本機械学会論文集(B編), 第 75 巻, 750 号, pp. 65-73, 2009(査読有り)
5. Hiromichi Akimoto and Makoto Kanehira. Conceptual design and feasibility analysis of wing in surface effect ship with canard configuration for middle-range services. Proceedings of the APISAT 2009, 2009 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, pp. 22-26, 11 2009. (査読無し)
6. 金平誠, 秋元博路. 表面効果内における翼のロール状態における流体数値シミュレーション. 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 8 号, pp. 277-280, 5 2009.
7. 秋元博路, 金平誠. 東アジア域内における高速海上輸送の可能性. システム創成学 第二回 学術講演会講演 論文集, pp. 102-106, 12 2009. (査読無し)
8. 金平誠, 秋元博路. 表面効果内におけるロール状態の翼周りの数値流体シミュレーション. 第 47 回 飛行機シンポジウム講演集, pp. 837-841, 11 2009. (査読無し)
9. Elangovan, M., Iwashita, H., Saito, H., Ito, A.: Seakeeping Estimations of Fast Ships with Transom Stern, Journal of the Society of Naval Architects And Ocean Engineers,

- No. 7, pp.195-206 (2008) (査読有り)
10. 横田季和, 秋元博路. 3 次元運動シミュレーションによる表面効果翼船の動特性評価. 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 6 号, pp. 291-292, 5 2008. (査読無し)
  11. Hiromichi Akimoto, Masahide Kawakami, and Syozo Kubo. Self-propulsion model test of a wing-in-surface-effect-ship with canard configuration, part3. FAST2007, pp. 258-263, Shanghai, China, Sep. 2007. (査読無し)
  12. Nguyen Tien Khiem, Syozo Kubo, Hiromichi Akimoto, Pham Vu Uy, and Phan Xuan Tang. Development of a Wing-In-Surface-Effect Ship for research purposes in cooperation between Vietnam and Japan. FAST2007, pp. 80-85, Shanghai, China, Sep. 2007. (査読無し)
  13. 秋元博路, 川上真秀, 久保昇三. 自航模型による前翼型 WISES の評価 - 3 種類の異なるサイズの模型による実験の総括 -. 第 45 回 飛行機シンポジウム講演集, pp. 1327-1333, 10 2007. (査読無し)
  14. 秋元博路, 長塩貴弘, 久保昇三. 風洞および水槽試験を用いた 3 次元表面効果翼の空力特性評価. 日本船舶海洋工学会講演論文集 第 5E 号, pp. 117-120, 11 2007. (査読無し)

[学会発表] (計 4 件)

1. Hiromichi Akimoto and Makoto Kanehira. Possibility of super high-speed maritime transportation of low environmental load: Wing in surface effect ship. Proceedings of international symposium on ship design and construction 2009 (ISSDC2009), Sasagawa Hall, 2009.
2. 岩下英嗣, 川瀬靖彦: 先尾翼式地面効果翼機の昇降舵・推進器の全機空力特性への影響, 第 46 回飛行機シンポジウム, 日本航空宇宙学会, 太田区産業プラザ, 2008
3. 岩下英嗣, 川瀬靖彦, 延廣隆行, 沖野健司: 新型前翼式地面効果翼機の設計と空力特性解析, 第 45 回飛行機シンポジウム, 日本航空宇宙学会, pp.1346-1350, 北九州国際会議場, 2007
4. 金平誠, 秋元博路. 表面効果内におけるロール状態の 3 次元翼周りの流場解析. 第 23 回数値流体力学シンポジウム, 仙台市民会館, C9-9, 12 2009.

[図書] (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

無し

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

秋元博路（AKIMOTO HIROMICHI）

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：20283971

### (2) 研究分担者

宮田秀明（MIYATA HIDEAKI）

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：70111474

岩下英嗣（IWASHITA HIDEETSUGU）

広島大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60223393

平山次清（HIRAYAMA TSUGUKIYO）

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：00018061

鵜澤潔（UZAWA KIYOSHI）

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：30361504

### (3) 連携研究者

なし