

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360394

研究課題名（和文） 新型地面効果翼機の開発とその耐空・耐航性能に関する研究

研究課題名（英文） Development of a New-Type WIG and a Study on its Airworthiness and Seakeeping Performances

研究代表者

岩下 英嗣 (IWASHITA HIDEITSUGU)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60223393

研究成果の概要（和文）：地面効果翼機とは、地面近傍で翼の揚抗比が向上することを利用した新しい乗り物の一種であり、将来の高速大量輸送機関として期待されている。本研究ではこれまでに提案されているものよりも耐航性能に優れた新型前翼式地面効果翼機を提案し、その空気力学的な特性や、波浪上の飛行安定性など耐空性能や耐航性能について調べるための実験方法の開発および理論的推定法の確立を行っている。最終的には、新型地面効果翼機のプロトモデルを提案し、その空気力学的特性を明らかにしている。

研究成果の概要（英文）：WIG(Wing In Ground effect) is one of the new vehicles which utilizes the improvement of the lift-drag coefficient of the wing near the ground, and expected as a fast mass-transportation in the future. In this study, we propose a new canard - configuration WIG which is superior to the conventional WIGs in seakeeping, and develop the experimental and theoretical methods for investigating its aerodynamic properties, airworthiness and seakeeping in waves. Finally, we propose a prototype model of the canard - configuration WIG and make clear its aerodynamic properties.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：船舶海洋工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：前翼式地面効果翼機, 地面効果, 空力特性, 耐空性能, 耐航性能, 境界要素法

## 1. 研究開始当初の背景

地面効果翼機とは、翼と地面との空力干渉によりその揚抗比が増大することを利用して、少ない翼面積で高速に、すなわち高効率で輸送を行う特殊航空機(船舶)であり、1920年代辺りから航空分野で基礎的な研究が始められている。その後、1935年に地面効果翼機として開発されて以降、ソ連やドイツなどを中心に Lippish 翼やタンデム翼など

様々なコンセプトに基づく機体が提案され、小型レベルでの実機も生産されて来たが、一般航空機のように機体形状が集約されるまでには至っていない。その要因は、旧ソ連の開発した軍用機を除いては大型実機が存在せず、また定期運行に実用される機会がなかったことなどから、機体の諸性能が淘汰されずに来ていることにあると思われる。特に、地面効果に適した専用翼型や推進機器の開

発、また機体の飛行特性など空力的、飛行力学的な基礎研究の不足は、ともすれば地面効果翼機が飛行安定性など耐空性に難点を有するという認識を与えてしまっている感もあった。

一方、昨今特にアジア圏諸国において地面効果翼機の実現へ向けての研究開発が活発化して来ている。韓国では2006年春から5ヵ年計画で総予算201億円をかけた300tクラスの機体の開発が既に始まっていたし、ベトナムやインドネシアでも本格的な実機開発がスタートしようとしていた。我が国でもエアロトレインなど地面効果を利用した陸上輸送機の研究開発が勢力的に行われているところであった。このように、次世代高効率新型輸送機への期待とニーズは環境問題の観点からも高まって来ており、地面効果翼機の実用化へ向けてその航空工学および船舶工学の視点からの研究が新たに切望されて来ている。

平成14年度から17年度にかけ、鳥取大学、広島大学、東京大学間では、離水性・耐航性能を大幅に向上させることのできる新しい機体として、これまでの地面効果翼機の機体形状とは大きく異なる前翼式地面効果翼機体を提案し、その耐空性能や耐航性能に関して共同研究を行って来ている。そこで得られて成果は高く評価され、ベトナムではこの成果を受けて2006年より小型実機の建造がスタートしていた。

こうした研究開始当時の背景を受け、本研究では、これまで成果をベースに、その機体を大型実機を見据えて更に発展させようとするものであった。耐航性能の高い前翼式を堅持しつつ、ペイロードを高めるためにキャビン大型化するとともに、主翼には下反角とテーパーを付け、地面効果の向上が図られている。加えて、推進器はダクト内にファンを搭載してコンパクト化したものを想定し、推進器と水面との干渉に懸念することなくマウント位置を選択できるようにしている。こうした前翼式という新しいコンセプトの機体の提案と、その地面効果内での空力特性や飛行安定性の解明が待たれる状況にあった。

## 2. 研究の目的

提案する前翼型地面効果翼機の耐空性能、耐航性能を理論解析や実験解析を通して明確にするとともに、実機の開発を視野に入れ実海域での性能に優れた新型地面効果翼機のプロトタイプを設計することを目的とする。これを達成するための具体的な研究項目を以下の4つに設定した。

### (1) 地面効果に適した翼型の開発

- ① 飛行高度に影響を受けにくいS字翼型の性能検証

- ② 下半角付きテーパー翼の提案
- ③ 地面効果内の翼後流の解析
- (2) 地面効果翼機の平水面上および波浪面上での耐空・耐航性能推定法の開発とその模型実験による検証
  - ① 数値計算法の確立
  - ② 水槽試験による流体力計測法の確立
  - ③ 風洞試験法の確立
- (3) 高速船体の流体力推定法の開発
  - ① トランザム船尾を有する高速船体に作用する流体力推定法の確立
  - ② その検証
- (4) プロトタイプモデルの設計と模型による性能検証
  - ① 全機模型のパワー付き風洞試験法の確立
  - ② 理論推定法との比較による検証

以上の研究項目を平成20年度から平成22年度の3年間を通じて順次実施することにした。

## 3. 研究の方法

研究目的に記したように、本研究は4つの研究項目から構成されている。各項目について以下の計画で研究を行った。

### (1) 地面効果に適した翼型の開発

- ① 飛行高度に影響を受けにくいS字翼型の性能検証

一般に、翼が地面効果を伴う環境下で使用される場合、その翼性能は一般の航空機に使用した場合と大きく異なる。地面からの高度により圧力中心点が大きく移動し、揚抗比も大きく変化する。機体の安定飛行のためには、地面効果を低減することなく高度による圧力中心点の移動量を小さくできるような地面効果翼機専用の翼型開発が必要となる。最近の研究において、S字翼型などが有望であることが示されているものの未だ不明確な部分が多い。そこで、本研究では通常翼型とその後縁部にS字反転キャンパーを設けたS字翼型について境界要素法を用いた理論数値計算と水槽試験(水中での曳航試験)を実施し、S字翼の空力的な特徴について検証する。

- ② 下半角付きテーパー翼の提案

S字翼型断面を有する主翼を機体の実装する場合には離水性能向上の観点から下反角を有するテーパー翼とするのが有望である。そこで、境界要素法に基づく理論計算を用いて、下反角やテーパー角について空力特性のシミュレーションを行い、主翼プロファイルを決定する。

- ③ 地面効果内の翼後流の解析

地面効果内では理論数値計算に用いる翼後流のモデル化が重要である。そこで、時間領域境界要素法を開発し、下反角およびテ-

パー角の付いた主翼後流の数値計算を実施して、翼後流について解析を行い、適切な翼後流面のモデルを構築する。

- (2) 地面効果翼機の平水面上および波浪面上での耐空・耐航性能推定法の開発とその模型実験による検証

① 数値計算法の確立

主翼・尾翼・前翼などの翼間空力干渉を含む耐空・耐航性能を推定する方法としてポテンシャル理論に基づく非線形計算法を適用する。これまでの研究において既にその有効性が確認されており、本研究においてはこれを胴体や垂直尾翼およびプロペラを含んだ全機解析に適用できるように改良を施し使用する。

② 水槽試験による流体力計測法の確立

既存の曳航水槽に翼模型を配置し、平板上もしくは波浪に見立てた固定波板上を高速曳航することにより、非定常空力特性を実験的に把握する。理論計算と実験との合致を確認できれば、進行波面上を飛行する場合の空力推定は理論計算により行えることになり、これらを通じて耐空・耐航性能の解析が可能となる。

③ 風洞試験法の確立

実際の地面効果翼機的全機性能を把握するためには推進器を稼働させた状態での試験が必要であり、これは風洞において行うしかない。本研究ではまず、地面効果内の試験を精度良く実施するための、床面の設計を2次元CFD解析により行い、次に風洞試験を通じてその効果を検証する。その後、全機模型を製作してパワー付き風洞試験を行うことで、全機の空力特性を取得する計測法を確立する。

- (3) 高速船体の流体力推定法の開発

① トランザム船尾を有する高速船体に作用する流体力推定法の確立

地面効果翼機が離水するまでの問題は、高速航走する船の造波問題と同じであり、地面効果翼機の離水性能について吟味するためにはトランザム船尾を有する高速船に作用する流体力の推定法の確立が必要である。そこで、トランザム船尾を有する高速船の造波問題を扱うことのできるポテンシャル理論ベースの数値計算法を開発する。

② その検証

供試模型を用いた水槽試験を実施し、得られた流体力と①での推定結果との比較を通じて、開発した理論数値計算法の妥当性について検証を行う。

- (4) プロトタイプモデルの設計と模型による性能検証

① 風洞試験による全機模型の空力特性

の把握

(2)③で開発した試験法を用いて全機の空力特性について風洞試験を実施し、主翼・前翼・胴体・尾翼・推進器間の干渉影響が全機空力特性に及ぼす影響等について検討し、最終的なプロトタイプモデルを提案する。

② 理論推定法との比較による検証

将来的に、機体の設計を理論計算ベースで行うことができるよう、①で得られた結果と理論数値計算法による推定結果との比較を通じて、理論数値計算法の検証を行う。

4. 研究成果

研究目的および方法に記した各項目に対して以下の成果を得た。

- (1) 地面効果に適した翼型の開発

① 飛行高度に影響を受けにくいS字翼型の性能検証

図1に示すように水槽内に床を設置し、その上で模型を曳航する計測法を開発し模型試験を行った。その結果、図2に示すようにS字翼型を用いることで圧力中心係数 $C_p$ が飛行高度にあまり依存しなくなる特性が明らかとなり、揚抗比の観点からもS字翼は地面効果翼機の主翼形状として有効であることが判明した。

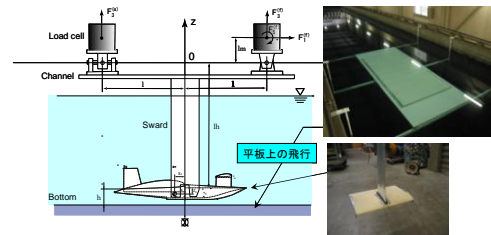


図1 水槽曳航試験法

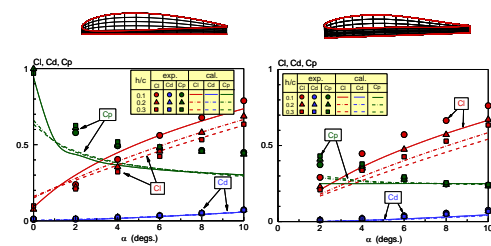


図2 通常翼とS字翼型の空力性能比較

② 下半角付きテーパ翼の提案

地面効果翼機として高翼機を想定し、主翼平面形として図3に示すような下反角付き翼を提案した。この翼形の下反角とテーパ角の最適化を図るために3次元境界要素法による数値計算を行った。その結果、高高度飛行時とは逆に、地面効果内では下反角を付けることにより揚抗比が向上することが判明するなど新たな知見が得られた。何種類もの

計算を元に最終的な主翼の平面形を決定した。

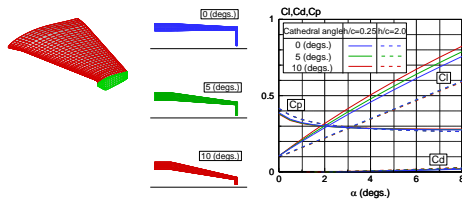


図3 主翼の下反角と空力性能

③ 地面効果内の翼後流の解析

時間領域境界要素法を開発し、地面効果内の主翼後流面がどのようになっているかを解析した。解析の結果、図4のような翼端渦が形成され翼後縁から地面へ向かって緩やかに流出することが判明した。また、図5のように翼端渦の中心が翼端より内側に存在することも分かった。こうした現象はこれまで解明されていなかった事であり、重要な成果の一つである。



図4 主翼後流面の解析

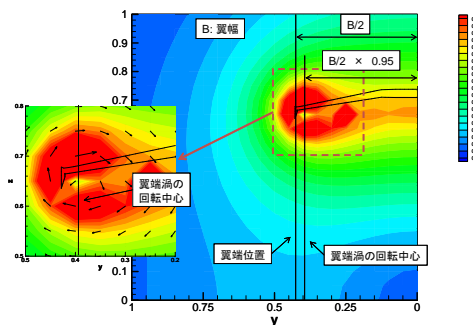


図5 翼端渦の構造

(2) 地面効果翼機の水平面上および波浪面上での耐空・耐航性能推定法の開発とその模型実験による検証

① 数値計算法の確立

ポテンシャル理論に基づき、非線形な圧力のクッタ条件を満足する数値解析法を開発し、胴体、前翼、主翼、尾翼を含んだ機体全体の空力解析を実施した(図6)。

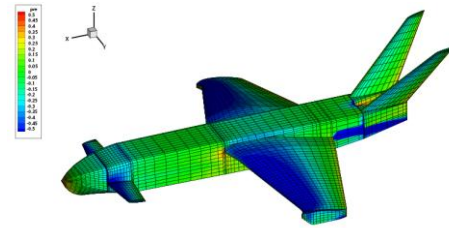


図6 全機の圧力分布計算例

② 水槽試験による流体力計測法の確立  
曳航水槽に床を設置し、その上で模型を曳航して流体力を計測する計測法を確立した(図1)。地面効果翼機の水中での曳航試験法は世界的にも例がなく、独自の計測法となる。境界層の影響が完全に排除できること、流体の密度が大きいこと、比較的高いレイノルズ数域で高精度の流体力計測ができるという利点を有している。

③ 風洞試験法の確立

2次元CFD解析を行い、風洞試験で用いる地面の形状を確定し製作を行った。また昇降装置の設計と製作を行い、風洞試験装置全体を完成させた。試験法として図7に示すように全機のパワー付き計測が行える計測法が確立できたことになる。

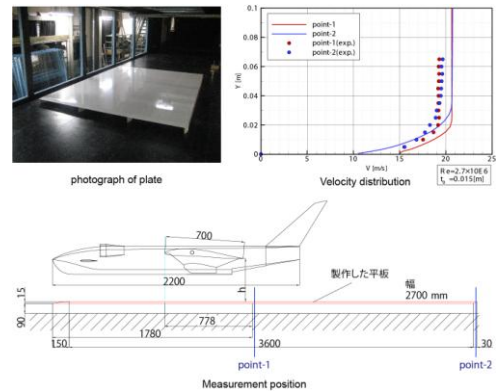


図7 風洞試験法の確立

(3) 高速船体の流体力推定法の開発

① トランザム船尾を有する高速船体に作用する流体力推定法の確立

ポテンシャル理論をベースとした数値計算法としてランキンパネル法を用い、それにトランザム船尾に新たな境界条件を付加した計算法を提案・開発した。その計算法を単胴高速船に適用して流体力、船体運動、非定常波動場、抵抗増加の数値計算を実施した

(図 8)。

## ② その検証

単胴高速船の 2.5m 模型を製作し、正面規則波中で曳航試験を実施し、①で得られた各種物理量との比較を通じて検証を行った。その結果、開発した計算法が妥当であることが確認された(図 8)。

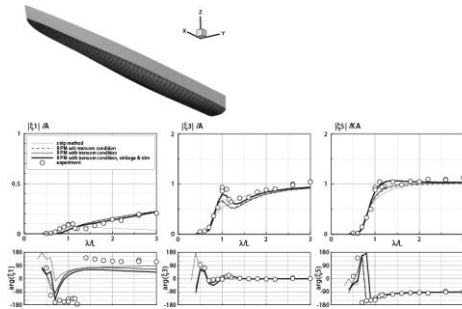


図 8 トランザム船尾高速船の船体運動

## (4) プロトタイプモデルの設計と模型による性能検証

### ① 風洞試験による全機模型の空力特性の把握

全長 2.3m の全機ラジコン模型を設計製作し、パワーなしおよびパワー付き風洞試験を行い、機体の各翼間の空力干渉や推進器が全機空力特性に及ぼす影響について探求した(図 9)。その結果、推進器を主翼上部にマウントすることにより、揚力性能が 10%程向上すること、また推進器の噴流影響により V-tail より下向き揚力が発生し、推進器稼働に伴う圧力中心点の移動を抑制できることが判明した。

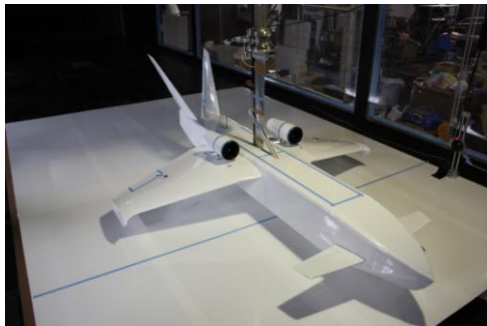


図 9 パワー付き全機風洞試験

### ② 理論推定法との比較による検証

計測により得られた全機空力特性結果と数値計算法の結果とを比較することにより、数値計算法が概ね機体全体の空力特性を把握できることを確認した。加えて、エレベーター稼働に伴う空力特性についても風洞試験と数値計算を行い、エレベーター稼働による空力特性を数値計算法によりの確に推定

することができることを確認した。

以上の一連の研究を通じて、当初の研究目的をほぼ達成することができた。将来的には実機実現を目指して、より揚抗比の高い全機模型形状について探求していく必要がある。

## 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 4 件)

1. Hiromichi Akimoto, Syozo Kubo, Makoto Kanehira, Wing in Surface Effect Ship with Canard Configuration, International Journal of Aerodynamics, Special Issue on Ground Effect, 査読有, 2010, 1(1):pp.3-17
2. 吉田基樹, 岩下英嗣, 木原 一, 木下 健, Response-Free SWATH の概念設計と耐航性能, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 10 号, 査読有, 2010, pp.73-81
3. 木原 一, 吉田基樹, 岩下英嗣, 木下 健, Response-Free SWATH の運動応答解析, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 10 号, 査読有, 2010, pp.83-96
4. Muniyandy Elangovan, Hidetsugu Iwashita, Hiroyuki Saito, Akio Ito, Seakeeping Estimations of Fast Ships with Transom Stern, Journal of the Society of Naval Architects and Ocean Engineer, Vol. 7, 査読有, 2008, pp.195-206

[学会発表] (計 14 件)

1. 岩下英嗣, 谷口弘樹, 田邊晃弥, 勝田貴志, カナード式地面効果翼機の空力特性について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 11 号, pp.179-182 (CD-ROM), 11-12 Nov 2010, タワーホール船堀, 東京都
2. 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(第 2 報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 11 号, pp.185-188 (CD-ROM), 11-12 Nov 2010, タワーホール船堀, 東京都
3. 土井康明, 岩下英嗣, 中島卓司, 翼付き潜水船の流体力に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 11 号, pp.175-176 (CD-ROM), 11-12 Nov 2010, タワーホール船堀, 東京都
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講演論文集, C9-9 (CD-ROM), 16-18 Dec 2009, 仙台市市民会館, 仙台市
5. 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 2 回学術講演会講演論文集, pp.102-106,

14-15 Dec 2009, 東京大学山上会館, 東京都  
6. 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 (CD-ROM), 4-6 Nov 2009, 長良川国際会議場, 岐阜市

7. Hirromichi Akimoto, 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, 4-6 Nov 2009, Nagarakawa Convention Center, Gifu, Japan  
8. Hajime Kihara, Motoki Yoshida, Hidetsugu Iwashita, Takeshi Kinoshita, On the Response-Free SWATH as an Ocean Going Fast Ship, 10th International Conference on Fast Sea Transportation, 5-8 Oct 2009, Athens, Greece

9. Hirromichi Akimoto, Makoto Kanehira, Possibility of Super High-Speed Maritime Transportation of Low Environmental Load: Wing in Surface Effect Ship, The Proceedings of International Symposium on Ship Design and Construction 2009 (ISSDC2009) -Environmentally Friendly Ship-, 1-2 Sep 2009, The Sasakawa Hall, Tokyo, Japan

10. 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会論文集, 第 8 号, pp. 277-280, 28-29 May 2009, 産業振興センター, 神戸市

11. 岩下英嗣, 柳原大輔, 高田康宏, 金子昌弘他, 弾性複合材を用いたパッシブ制御風力タービンのフィールド試験, 第 30 回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.330-333, 27-28 Nov 2008, 科学技術会館, 東京都

12. 柳原大輔, 岩下英嗣, 大西浩史, 西本安志他, 繊維強化ゴム管を用いた翼ピッチ制御風車の発電特性とゴム管の繰り返し変形挙動に関する研究, 第 30 回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.326-329, 27-28 Nov 2008, 科学技術会館, 東京都

13. 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講演集, pp. 299-305 (1D6, CD-ROM), 22-24 Oct 2008, 太田区産業プラザ, 東京都

14. 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会論文集, 第 6 号, pp.291-292, 29-30 May 2008, ウエルシティー長崎, 長崎市

[その他]  
ホームページ等  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岩下英嗣 (IWASHITA HIDETSUGU)  
広島大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号: 60223393

### (2) 研究分担者

秋元博路 (AKIMOTO HIROMICHI)  
東京大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 20283971

### (3) 連携研究者

なし