

## 3.6m 長自航模型試験による前翼型表面効果翼船の特性評価

正員 秋元博路\*      正員 久保昇三\*\*  
 学生員 川上真秀\*\*      田中幹樹\*\*\*

Flight test of the canard type WISES by a self propulsion model of 3.6m length

by Hiromichi Akimoto, Member      Syozo Kubo, Member  
 Masahide Kawakami, Student Member      Motoki Tanaka

### Summary

A new concept of Wing In Surface Effect Ship (WISES) is tested by self-propulsion models. The concept is a canard type WISES with forward-mounted aerodynamic propellers. It is expected to show good performance for the take off on waves. The present authors have built a 3.6m length model to demonstrate the concept. This paper describes the concept, the structure of the model, test results and discussions about the real sized ship, and finally concluding remarks.

### 1. 緒言

有限幅の翼を地面あるいは水面に近づけると、一定の条件の下で揚抗比が著しく改善される表面効果(地面効果)が見られる。この効果を水面上で積極的に利用した空中翼支持の高速船が、表面効果翼船(Wing In Surface Effect Ship: WISES)である。WISESは、表面効果内を浮上航行する事により、高効率、高速度の輸送機関として成立する事が期待されている。

海で隔てられた2点間の輸送には船舶と航空機が使われる。しかし、両者の速度、運賃には大きなギャップがあり、輸送構造に大きな歪みが生じている。例えば、陸路であれば、トラックや鉄道輸送に適合した時間価値を持つ貨物や旅客を、海上輸送では、10倍以上の運賃差がある船舶と航空機の両極に振り分けねばならず、非効率を避けられない。

WISESが想定している速度域(100~500km/h)は、陸上の高速道路と新幹線に対応する一方、通常の船舶と航空機にとっては経済運航が困難な領域である。WISESは、この海上輸送の速度ギャップを埋め、潜在的な輸送需要を取り込む事が可能である。

大規模なインフラ整備を必要としないWISESは、他の高速輸送機関と比べて環境負荷が小さく、比較的小さな輸送需要の路線にも対応可能な自由度を持っている。また巡航時は水面から浮上しているため、沿岸への曳き波の影響、漂流物や鯨類への衝突の危険性も小さい。アジア太平洋諸国のように長い海岸線を持つ

地域にWISESを導入すれば、日本の高度成長期に新幹線と高速道路が果たした役割も期待できる。

しかし、WISESは次世代の超高速船と期待されながら、未だ本格的な商用利用には至っていない。これまでに製作されたWISESは、軍用の高性能だがコストを度外視したものや、河川や湖などの穏やか水面での運用に限定されたものが多いため、外洋航行のデータが非常に少ない事も問題のひとつである。近年では、ロシアの5人乗り小型艇 Aquaglide<sup>1)</sup>、オーストラリアの10人乗り(うち乗員2名)の Flightship FS8<sup>2)</sup>が製作されているものの、事業化にはまだ成功していない。

国内へWISESを導入する場合、ごく初期の段階から外洋での航行能力が必要になるのは明らかである。このため、海外の事例をそのまま導入する事は困難であり、日本周辺の比較的荒い海象においても経済性を維持できる、新たなコンセプトが必要とされている。

巡航時の性能を考えると、波高が大きい条件では、ある程度の経済性を犠牲にして浮上高度を増し、接水を回避する事が考えられる。また、台風などの厳しい海象に対しては、通常船舶のように低速で航行を続けるのではなく、高速度を利用して避航、あるいは一部欠航とするなど、航空機に近い対応が可能である。一方、離着水は短時間であるが、離着水性能が全体の経済性に及ぼす影響は大きい。波浪上での離水速度が高くなってしまうと、構造強度、主機出力(あるいは離水用補助動力)の要求が上がり、経済的なメリットを減殺してしまう。

これらの問題に対処するため、著者らは離着水能力と経済性を両立させるコンセプトとして、前翼型WISESを提案している<sup>3)</sup>。このコンセプトに関し、全長1.8mの小型自航模型による実験解析を報告したが<sup>4)</sup>、小型模型では搭載できる計測機器が制限され、運動時定数も短いために操縦の困難さがあった。これを解決するため、本研究ではスケールを2倍に拡大した全長3.6mの自航模型を制作し実験を行った。本論文では、模型の概要、実験

\* 東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻

\*\* 鳥取大学大学院工学研究科応用数理工学専攻

\*\*\* 大同工業(株)(研究当時 鳥取大学大学院)

原稿受理 平成18年3月31日

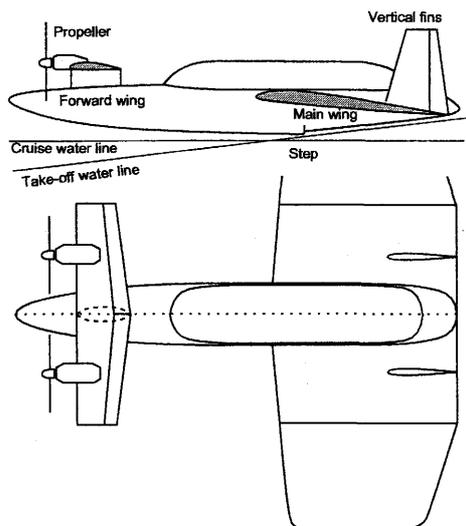


Fig. 1 Canard type WISES

結果および考察、実船の主要目の検討例を示す。

## 2. 前翼型 WISES

WISES の形態は、主翼と水平尾翼から成る飛行機型が主流である。しかし表面効果内の翼は水面高度に応じて特性が大きく変化するため、浮上高度の安定化には大型の水平尾翼が必要となる。これに伴って長大となった尾部構造は、離着水時に大きな船首上げ（ローテーション）角度をとると接水してしまうため、最大揚力係数が著しく制限される。また翼後縁と水面の間隔が狭い WISES では、航空機で一般的な高揚力装置であるフラップの効きが悪い。これらは離水速度の増加と、それに伴う水力荷重、構造重量、主機出力の増加という悪循環に繋がる。

WISES の高揚力装置として、前方に配置した推進器の後流を主翼下と水面の間に吹き込む Power Augmented Ram (PAR) 装置がしばしば使われる。しかし波浪上では、翼と波面の隙間から容易に空気が洩れるため、荒い海象での PAR が装置コストと重量増に見合う効果を発揮するかどうかは疑問である。

他の解決策は、翼面荷重の小さな全翼型を採用し、離着水速度を下げる事である。これは小型艇  $\mu$  Sky-1 および  $\mu$  Sky-2<sup>5)</sup> の実績があり、小型、中型 WISES に有望なコンセプトである。しかし、低翼面荷重で実現できる輸送効率には限界があるため、大型 WISES には別のコンセプトが必要となる。

以上のような問題を解決するものとして、著者らは Fig.1 に示す前翼型 WISES を提案している。これは、前翼（先尾翼）配置と前方に配置したプロペラ推進器から成り、単純に、高迎角姿勢によって揚力を増大させる事を意図している。本コンセプトは以下のような特長を持っている<sup>9)</sup>。

1. 水平安定翼を前方配置とした事で、重心から後方の船体を短縮。離着水時の船首上げ角を大きくする事で、揚力増加を図る。
2. 前方プロペラからの高速気流により、高迎角、高揚力状態における翼失速を回避。
3. 重心位置が後方寄りとなった事により、ステップ前方が細長船型となる。これにより離水滑走時の凌波性、安定性が向上する。

Table 1 Principal items of the self-propulsion model, “海燕 (Kaiken)-2”

Dimensions	$L \times W = 3.60 \times 2.40$ [m]
Weight	12.7~13.5[kg]
Propeller	3 blades 15.2'×2, with reduction gear
Power	Electric motor (14.4~16.8V, max 35A)
Mass center	17% main wing chord
Main wing	1.80×2.40[m], S-shaped wing (modified NACA3409)
Canard wing	1.25×0.25[m], NACA0012

4. 前翼は離着水時に正の揚力を発生。（飛行機型の水平尾翼の場合は、負揚力となり非効率。）
5. 昇降舵（前翼後縁）、方向舵（垂直尾翼後縁）はプロペラ後流を受けるため、低速航行や失速時においても舵力を発生。
6. 推進ユニットが常に飛沫発生点の前方にあるため、プロペラおよびエンジンの耐久性が向上。

前翼型航空機は、前翼が主翼よりも先に失速する事で、機体全体の失速を回避できる特長を持っている。しかし本コンセプトでは、プロペラ後流の影響によって前翼の失速は起きにくいいため、この特性は活用していない。前翼型は航空機の主流ではないが、水中翼船では、Jetfoil<sup>2)</sup> のように水中翼の荷重状態が前翼型に近いものが多い。

## 3. 自航模型

本コンセプトは機構的に単純だが、流体力学的には、前翼、主翼、水面およびプロペラ後流が干渉し合う複雑なシステムである。岩下ら<sup>6)</sup> は、推進器を含まない全機モデルに対して平水上、規則波上の流体力をパネル法により解析しているが、プロペラ後流の効果を取り入れた解析は依然として容易でない。このため著者らのグループでは、航行時の全機解析およびコンセプトのデモンストレーションの目的で、自航模型を用いた実験を進めている。

自航模型は、屋内用模型による検討を重ねた後、離着水可能な全長 1.8m の小型模型<sup>4,7)</sup> を制作した。しかし小型模型では搭載できる計測機器に限界があるため、今回はサイズを 2 倍に拡大した全長 3.6m の中型模型<sup>8)</sup> を制作した。Table.1 に中型模型の諸元を、Fig.2 に 3 面図を示す。この模型は各種の計測装置を搭載可能としつつ、操縦を容易にするため軽量化に注意が払われている。主翼の翼型は Fig. 3 に示す S 字翼型である。S 字翼は、後部に逆キャンバを付ける事で、水面高度によるモーメント変化の緩和を狙ったものである（渡部ら<sup>9)</sup>）。翼型は NACA 4-digit 翼型のキャンバーに、次式で示す逆キャンバーを付加する事で作成した。

$$y_r(x) = \begin{cases} 0 & (0 < x < p) \\ -\frac{27n}{4(1-p)^3}(x-p)^2(x-1) & (p < x < 1) \end{cases}$$

ここで、 $x$  は翼弦上の位置、 $p$  は原型となる NACA 翼の最大キャンバ位置、 $n$  は逆キャンバの最大値である。著者らが作成した模型では、原型翼を NACA3409 とし、逆キャンバの大きさは 1% 翼弦長 ( $n = 0.01$ ) とした。

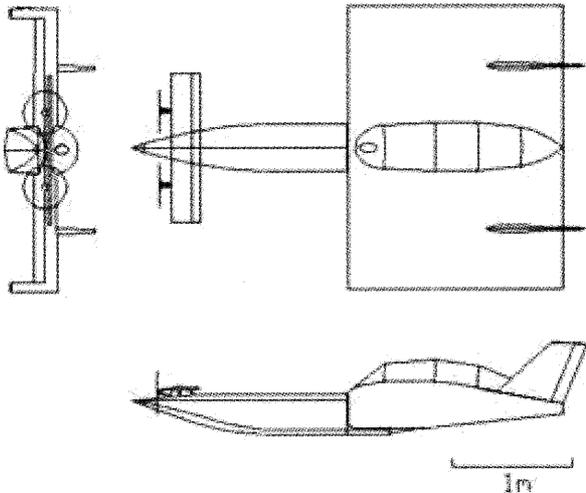


Fig. 2 CAD drawing of Kaien-2

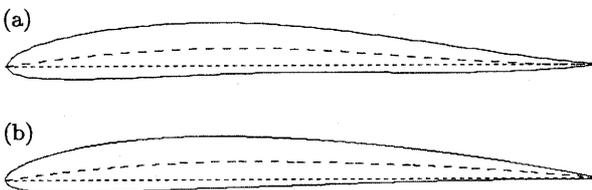


Fig. 3 S-shaped wing NACA3409s1 (a) and its base profile NACA3409 (b)

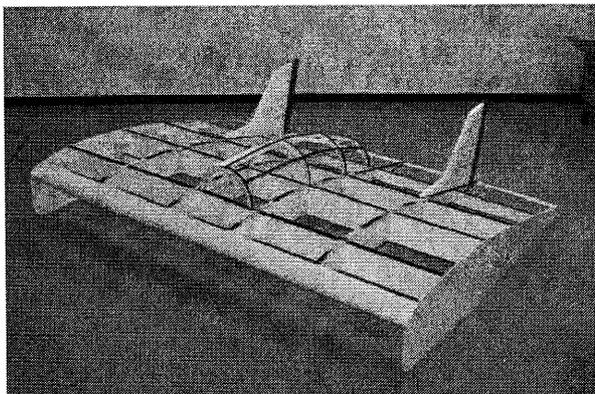


Fig. 4 Inner structures of the main wing.

主翼は、5mm 厚の発泡スチレンボードを主桁および強度小骨に用い、外皮として 1mm 厚の発泡スチレン薄板を貼ったセミモノコック構造である。Fig.4に、外皮を貼る前の主翼内部を示す。

表面効果の下では、揚抗比をあまり低下させずに主翼のアスペクト比を小さくすることができる。これにより、主翼はスパンが短く、最大翼厚が大きなものとなり、比較的シンプルな構造で十分な強度を確保できる。これは、本模型の構造が同規模のラジコン飛行機と比べて単純である事からもうかがえる。

試験水面までの輸送を容易にするため、模型は前後に 2 分割可能としている。分割位置は、胴体下部の水上滑走用ステップに合わせた (Fig.5)。

Fig.6に模型の概観を示す。比較のため、以前に使用していた小型自航模型 (全長 1.8m) を並べている。

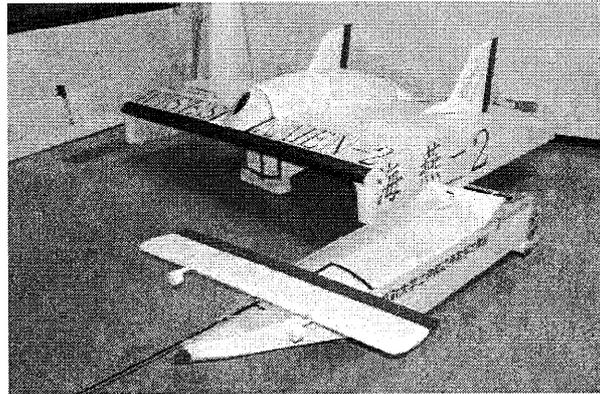


Fig. 5 Separation of the forward and aft body.

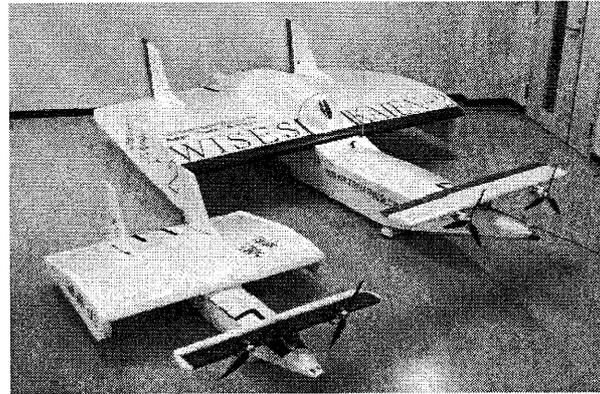


Fig. 6 Comparison of the previous model (1.8m length) and the present model (3.6m length)

Table 2 Onboard measuring equipments

Control surfaces	Elevator and rudder angles
Power supply	Electric voltage/current of batteries
Propeller	Right and left prop. revolution
Speed	Air speed (by pitot tube) and ground speed (by GPS)
Trajectory	GPS receiver
Acceleration	Bow and stern accelerometers
Trim angle	Bow and stern supersonic distance meters (experimental)
Cockpit view	Onboard wireless video camera

自航模型に搭載している計測装置を Table 2に示す。映像は、模型船に搭載した無線ビデオカメラ 1 台、陸上のビデオカメラ 2 台、伴走艇上のビデオカメラ 1 台により記録した。

#### 4. 実験結果および考察

##### 直進飛行

Fig.7に直進航行時の画像を示す。取得データから得られた模型の離水速度は 6m/s、巡航速度は 9.5m/s である。航行時のプロペラ回転数を基に推定した巡航時の揚抗比は 6 である。ただし巡航時は 2.5 ~ 3.5° の機首上げとなっており、調整によって速度を向上できる余地がある。

離水についても、より低速での機首上げ・離水が可能と考えられるが、加速度などの体感情報が得られない遠隔操縦では調整困難であった。このため失速試験によって、離水可能な最低速度を推定する事にした。



Fig. 7 Flight in a straight course.

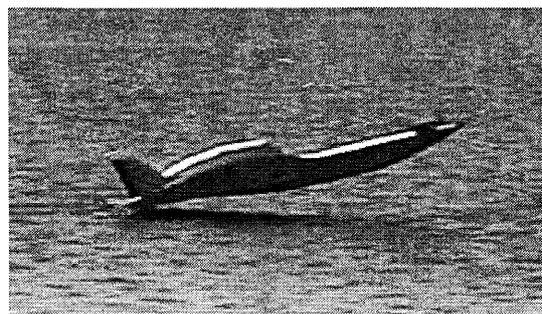


Fig. 8 High angle of attack condition (trim  $\theta = 15^\circ$ ,  $V=5\text{m/s}$ ,  $C_L=1.9$ )

Fig.8は、巡航状態から徐々に機首上げを行い、失速限界に達した時点の船体姿勢を示している。ピッチ角  $15^\circ$ 、速度  $5\text{m/s}$  で7秒程度の定常飛行を維持しており、揚力係数は1.9である。この後、軟着水にいたるが、数回の試行の結果、本模型では急激な失速は起きない事が確認できた。これは、低アスペクト比翼である事と、推進器後流が失速を抑制している効果と考えられる。以上の結果は、適切な操作を行えば、プレーニング速度  $5\text{m/s}$  で離水可能である事を示している。

旋回飛行

模型の遠隔操作は、模型よりも低速な伴走艇(最高速度  $20\text{km/h}$ )から行っている。このため直進航行を続けると、模型と伴走艇の距離が離れすぎ、目視による操縦が困難となる。そこで十分な長さのデータを取得するため、緩やかな旋回飛行を実施した。Fig.9にGPSによる航行軌跡の例を示す。この例では  $180^\circ$  旋回を51秒間で行っており、旋回半径は  $150\text{m}$ 、総飛行距離は  $500\text{m}$  である。ただし、これは旋回能力の測定を意図したものではない事に注意を要する。

旋回中の姿勢は、Fig.10の画像のように内向きに約  $5^\circ$  のバンク角がついている。単純化のため本模型はエルロンを備えておらず、方向舵制御のみで自然なバンク角を保った旋回が行えている。旋回によって生じる左右の翼の速度差は、旋回中心側に内傾させるロールモーメントを発生する。一方、表面効果により、高度が低下した内側の翼揚力が増加し復元モーメントを発生、平衡状態に達しているものと考えられる。

旋回時における対地速度の時刻歴、方向舵と昇降舵角の時刻歴の例を Fig.11に示す。昇降舵角は下げ角(船首上げ側)を正とした。滑走加速中 ( $t = 0 \sim 8\text{sec}$ ) には昇降舵を上げて船首上げを抑え、十分な速度に達した時点で昇降舵を下げてローテーションを行い離水 ( $t = 8 \sim 12\text{sec}$ )、離水後は昇降舵を元に戻し ( $t = 12 \sim 15\text{sec}$ ) 水平飛行に移行している ( $t = 15 \sim 60\text{sec}$ )。

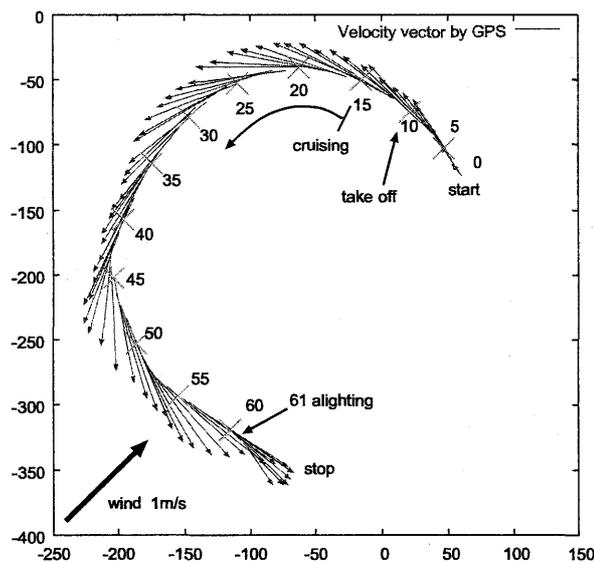


Fig. 9 Trajectory of a circular flight (Indices 0~61 mean elapse time [sec.] from start.)

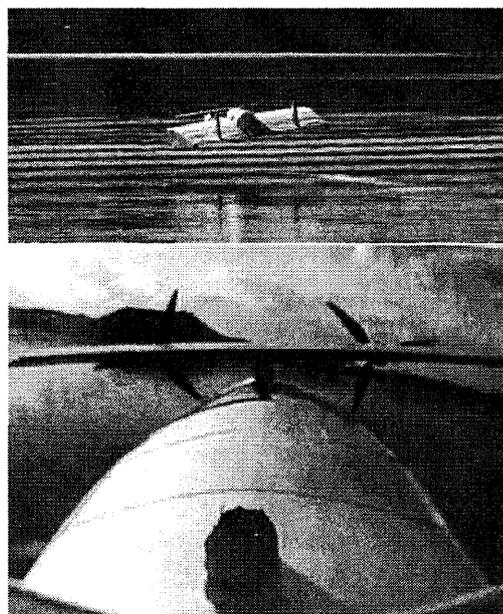


Fig. 10 Views from a lakeside camera and on-board camera in a circular flight.

このような操作の流れは、実船においても同様になると考えられる。

また、平均  $1\text{m/s}$  の変動風下で旋回しているため、方向舵、昇降舵角の記録には、姿勢保持のための調整が表れている。時刻歴から読みとれる舵角操作の時間スケールは  $2\sim 3$  秒であり、手動操作のみでも対応可能な変化速度であった。前回の小型模型に比べると、スケールアップの効果により、運動の変化速度が緩やかとなり、操縦性が向上している。さらに緩やかな運動となる実船スケールでは、自動制御の導入も容易と考えられる。

5. 実船要目の検討

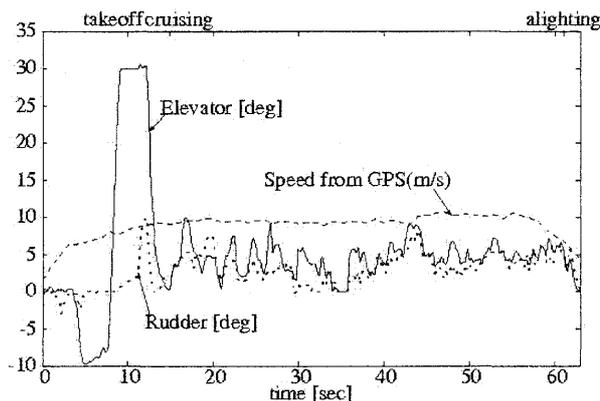


Fig. 11 Time histories of the elevator angle, rudder angle and GPS speed.

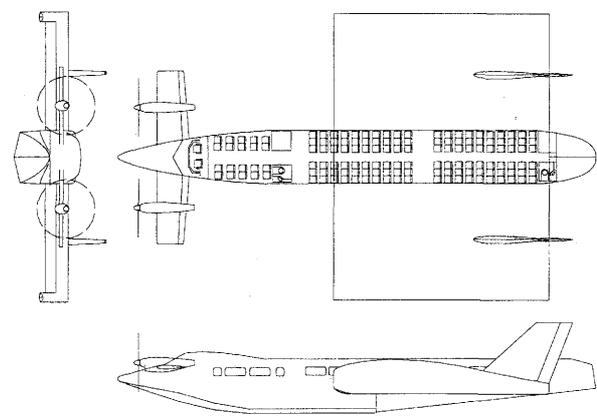


Fig. 12 Canard type WISES for 140 passengers.

#### 実船要目

数種類の実船要目を定め、代表的な全没型水中翼船である *Kawasaki Jetfoil 929-117*<sup>2)</sup> との比較を行う。ただし、現在の自航模型試験によるデータは十分とは言えず、粗い見積りに留まっている。要目の算出にあたっては、離水時の最大揚力係数を 1.9、プロペラ効率を 0.8、ペイロードと燃料が全備重量に占める割合を *Jetfoil* と同じ 0.35 とした。自航試験から得られた巡航時揚抗比の実績値は 6 であるが、想定している姿勢よりも頭上げ状態の結果であった。このため、アスペクト比 1 の翼の計算結果<sup>9)</sup> と実験結果<sup>10)</sup> を参照し、十分達成可能な値として揚抗比 10 を用いた。検討している主翼アスペクト比は自航模型と同じ 1.33 であるので、安全側の見積りである。

3 種類の実船要目の例を Table.3 に示す。WISES140 は 140 人乗りで、*Jetfoil* と同じ系列のガスタービンを使用した例である。WISES140 の想像図を Fig.12 に示す。*Jetfoil* のガスタービンエンジンは Allison 501-KF、WISES140 は Allison 501-D22A をいずれも 2 基搭載している。ただし *Jetfoil* の推進装置が、減速器を経由したウォータージェットであるのに対し、WISES140 はターボプロップを使用している。ウォータージェットは、ウォーターインレット、ポンプ、排気ダクトなどにより構成が複雑となるが、ターボプロップは減速装置を含めたユニット化が進んでおり、コンパクトにまとめられている。これにより保守性の向上が期待できる。

高速化により WISES140 の便数は *Jetfoil* の 3 倍となるが、

稼働時間が同じであるため、燃料消費量は変わらない。ただし、具体的な航路を想定していないため、旅客の乗降、給油時間を無視した。一方、WISES140 の乗客数は *Jetfoil* の約半分、速度は 3 倍となるので、その積から見積もられる輸送能力は *Jetfoil* の 1.5 倍である。非常に粗い見積りではあるが、この例では、同じ燃料消費で輸送能力が 50% 向上、旅客の平均待ち時間は 1/3 に短縮する結果となった。

*Jetfoil* と同規模の主機を搭載する WISES140 は、新規に導入する路線としては輸送量が大きすぎる。このため、*Jetfoil* と同程度の輸送能力を 3 倍、4 倍の速度で実現する 2 ケースを次に見積もった。WISES80 は、旅客 80 人 (*Jetfoil* の 1/3) を 3 倍の速度で、WISES60 は、60 人 (*Jetfoil* の 1/4) を 4 倍の速度で運ぶ想定である。この結果得られた 60 人乗り WISES の主機出力は *Jetfoil* の約半分である。

以上のように、現用高速船の数倍の速度で飛行できる WISES は、比較的小さな船で現用高速船の輸送能力を代替する可能性を示せた。小ロット輸送で便数増となるため、旅客にとっては平均待ち時間の減少と利便性の向上が期待できる。また、需要の変動に対しても、便数の増減、複数路線間での船体シェア等、航空機に似た対応の仕方が可能となってくる。

利便性向上により運賃を高く設定できる事も考慮すれば、60 人乗り WISES を、現行の 240 人乗り *Jetfoil* と同程度以下の価格で建造できれば、十分に競争可能であると言える。

#### 低コスト要因

Kubo and Rozhdestvsky<sup>12)</sup> は、WISES の座席あたり製造コストを航空機と同程度と仮定しても、区間距離 1000km 以下の現行路線で航空機に対抗できる事を示している。現在も、WISES の製造コストを推定するのは困難であるが、航空機よりも低コストに繋がる要因として、次のようなものが挙げられる。

1. 主翼が短スパン、翼厚大となる事による強度要件の緩和。
2. 複雑な高揚力装置が不要である事による構造の簡素化。
3. キャビン与圧が不要である事による、疲労強度要件の緩和。
4. 低空では紫外線が弱く、紫外線による劣化が軽減されるため、FRP 等の複合材料の積極的な利用が可能。
5. 航空機に要求される各種緊急状態への要求緩和。

最後の項目については、離陸中にエンジンの一部が停止した場合でも安全高度まで上昇するための余剰出力、緊急降下からの引き起こし時に生じる加重、背面を含む非常時の姿勢でのエンジン作動保証など、多くのものを含んでいる。

一方、コストを押し上げる要因としては、離水時に関わる艇体部の防水構造と疲労強度、塩分の洗浄に関連した保守コストなどが上げられる。具体的なコストの算出には、ある程度の詳細な設計が必要となるため、企業との連携が不可欠となっている。

#### 水力性能について

本研究で制作した模型は、前述のように低速での離着水をめざしたため、同規模のホビー用飛行艇モデル等にくらべて非常に軽い設計となってしまった。このため、本模型だけではハンパ抵抗やポーポインジングなどの水力特性を調べる事ができない。

Table 3 Principal items of Jetfoil and planned three WISES's.

	Kawasaki Jetfoil	WISES140	WISES80	WISES60
Total weight[t]	110	56	31	23
Length [m]	27.4	30	27	23
Breadth [m]	9.5	20	18	16
Propulsion[m]	2795kW×2 Allison 501-KF Waterjet	3046kW×2 Allison 501-D22A Turbo prop	1520kW×2 Turbo prop	1380kW×2 Turbo prop
Operational speed[kt]	42	140	130	170
Takeoff speed[kt]	-	54	65	65
Num. Passengers	230-286	140	80	60
Range [nm]	240	350	240	240

艇体部の水力特性については、艇底の長さ  $l$ 、底面の幅  $b$ 、船体重量  $W$  を用いた無次元数  $W/(\gamma b l^2)$  を一定に保てば、類似の性質を示すとされている<sup>13)</sup>。

WISES140 の場合、座席配置等を考慮して決定した艇底の最大幅は  $b = 3.6\text{m}$ 、艇体の細長比は  $l/b = 8.4$  となった。この結果得られる  $W/(\gamma b l^2)$  の値は 0.017 となり、救難飛行艇 PS-1 の値 0.22 よりも低くなっている。Beam loading 値  $W/(\gamma b^3)$  についても、PS-1 の 3.53 に対して WISES140 は 1.2 と小さな荷重率である。この値はむしろ太平洋戦争で使われた二式大艇の水準に近く、技術的な困難さは小さい。これは WISES の最高速度がそれほど大きくないため、PS-1 の程度にまで  $b$  を小さくし、空気抵抗を減らそうとはしていないためである。

また、通常の飛行艇の場合は、機首から最初のステップまでの長さは全長の 40% 程度であるのに対し、前翼型 WISES では約 60% を充てる事ができる。結果として得られる細長い滑走体部の形状は、ポーポインジグの危険性を減らす事が期待できる。

プロペラ後流に置かれた昇降舵は低速時から機能するため、ポーポインジグを抑制しながら、適切な船体トリムを保つ事は、通常の飛行艇や、水平尾翼型の WISES と比較しても容易であると考えられる。

水力性能の詳細については、水力試験に特化した曳航/自航モデル等を用いて明らかにしていく必要がある。

## 6. まとめ

全長 3.6m の前翼型 WISES の自航模型により、直進および緩やかな旋回飛行におけるデータを取得した。飛行中の状態変化速度は、手動操縦でも十分に追従可能なレベルであり、実船スケールにおいても、手動または自動制御によって容易に安定飛行が実現できると考えられる。離着水時、巡航時の性能についても限定的ながら特性データを得る事ができた。

また、これまでのデータを基に、実船主要目について初期段階の検討を行い、既存の水中翼船との比較を行った。現時点では建造コストなどの不明な点が残っているが、得られた結果は WISES の優位性を示している。

自航試験の継続によるデータ蓄積と、水力性能の評価、馬力推定の検証、建造コストの推定が今後の課題である。

## 謝 辞

本研究の一部は、平成 17 年度文部科学省科学研究費補助金 基盤研究 (A) 14205145 の助成を受けて行なった。

## 参 考 文 献

- 1) Aquaglide webpage, <http://aquaglide.ru/>
- 2) S. J. Phillips (editor), Jane's High-speed marine transportation 2004-2005, Jane's Information Group Limited, 2004
- 3) 久保昇三, 秋元博路, “表面効果翼艇の現状と展望”, 日本航空宇宙学会誌, 第 50 巻, 第 585 号, pp. 221-220, 10 2002.
- 4) 竹爪崇浩ほか: 前翼型表面効果翼船の小型自航模型の試作, 関西造船協会論文集, pp. 21-28, 2003.
- 5) Syozo Kubo, “A production model of WIG as a high speed marine craft: 'Marine Slider  $\mu$  Sky-2'”, Proc. FAST'91, Trondheim, Norway, pp. 607-622, 1991
- 6) 岩下英嗣ほか: 前翼式 WISES の翼間空力干渉と波浪中空力特性に関する研究 (その一),(その二), 日本造船学会論文集, 第 194 号, 2003.
- 7) H. Akimoto, T. Taketsume, K. Iida, and S. Kubo. “Self-propulsion model tests of a Wing-In-Surface-Effect-Ship with canard configuration.” Proc. FAST2003, Vol. III, pp. 45-50, Ischia, Italy, Oct. 2003.
- 8) H. Akimoto, S. Kubo, M. Tanaka and M. Sakumasu, “Self-propulsion model test of a wing-in-surface-effect-ship with canard configuration, part 2,” Proc. FAST'2005, St. Petersburg, Russia, June 2005.
- 9) 渡部, 秋元, 久保, 飯田, “3 次元表面効果翼の RaNS 計算による特性評価.” 日本造船学会論文集, 第 192 号, pp. 47-54, 2002
- 10) 秋元博路, 小川義則, 久保昇三. “表面効果翼の基礎的風洞試験”. 日本造船学会講演会論文集, 第 3 号, pp. 149-150, 2004
- 11) 鳥取大学工学部応用数理工学科久保研究室, <http://g5.damp.tottori-u.ac.jp/> または <http://triton.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/stafffiles/akimoto/WISES/>
- 12) Syozo Kubo and Kirill V. Rozhdestvensky, “An outline of conceptual design and feasibility analysis of a flying wing configuration on the basis of extreme ground effect theory,” Proc. FAST'97, Vol. 2, pp. 503-511, July, 1997

- 13) 日本航空宇宙学会 編, 航空宇宙工学便覧 増補版, 15 章 1 節, “水上機、飛行艇”, 丸善株式会社, 1983
  - 14) 菊原静男, “航空機設計の経験,” 日本航空宇宙学会誌, 第 39 卷, 第 451 号, pp. 379-387, 1991
-