

3. 高速船・新形式船の研究

不破 健

Study on New Type High Speed Vessels in the Ship Research Institute

By

Takeishi FUWA

Abstract

The No.2 Ship Model Basin(400m x 18m x 8m) of the Ship Research Institute, which is the largest towing tank in Japan, has been playing an important role in the development of ship hull form design since it was built in 1966. Now a new role of the basin is expected for the researches of the advanced high speed vessels. In recent years several countries are going to develop new type high speed vessels, which have larger size and different missions than conventional high speed craft. These high speed vessels are designed to operate beyond the so-called last hump speed and to have hybrid concepts for their hull forms. They have entirely different natures and characteristics from those of conventional ships of displacement type. They will have different functions and utilities in the maritime transport system. They may enable the future maritime system to possess a new role in the world transport.

In this report the histories of new type high speed vessels and studies on them are reviewed, and the future studies are discussed in expectation of new methodology of the researches in this field. The studies have two aspects; the concept of ship design and the high speed flow phenomena, which are the background of the hull form design.

1. はじめに

400m水槽の歴史は船型開発の歴史、船型研究の歴史とともにあるといっても過言ではない。1989年の統計によれば100トン以上の商船は全世界で 76,100 隻存在しその船腹量は 4.1億総トンである。そのうち日本船は 7,700隻以上になる。また1988年の日本の新造船は約600隻、400万総トンである^{1)・2)}。しかし、これらのうち船型開発の対象となるものは極めて少数で、海上輸送の主流を占める貨物船、タンカー、バルクキャリアー等の大型船がこれにあたる。船は多種多様であり、用途、大きさ、速度などにより分類されている。船をその「浮き方」で排水量型と非排水量型とに分けると、大部分が通常船型と呼ばれる前者に属し、それらが太古からの船の歴史の主流となっている^{3)・4)}。Fig.1に示す高速船や新形式船の形態的な分類は、外見上の相違以上に種々の本質的な要素に影響を及ぼす船型として根源的差異を表現している。非排水量型船は一般に特殊船型として通常船型と対比され、種々の形式がある。しかし大多数の船が船型概念の分類上は極めて特殊で分布としても狭い局所的な排水量型の中・低速船の領域に分布し通常船型と呼ばれるところに船の特徴と特殊性があるともいえる。これは船舶が経済システ

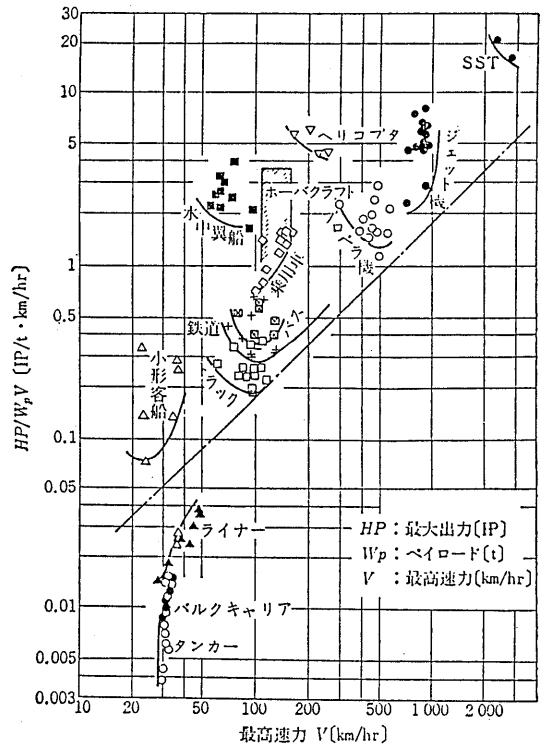


Fig. 2 Weight, Engine Power and Speed of Various Vehicles ⁵⁾

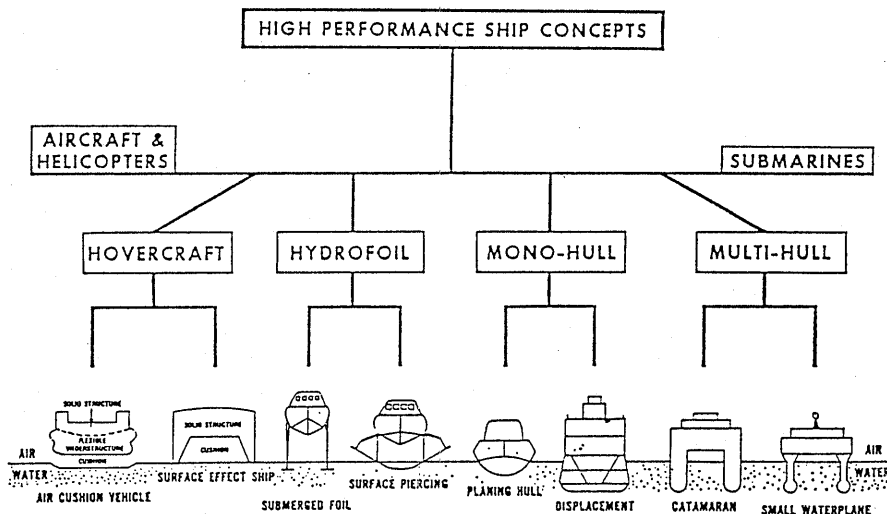


Fig. 1 Classification Diagram of Marine Surface Vehicles ⁴⁾

ムと深く結びつき、遠距離の旅客輸送の役割を航空機に譲って以降、もっぱら重量貨物・容積貨物の低速輸送を強固な基盤とするためである⁵⁾。Fig.2に各種交通・輸送手段の有効揚抗比と速力の関係を示す。ここでは排水量型の通常船型は特異な存在であり、特殊船、高速船とは明かな差異がみられる。この「棲み分け」は興味深いだけでなく種々の重要な意味を持つと考えられ、常に認識する必要がある。たとえば新形式船の開発を行うとき、それがこの分類でどの領域に存在し、開発された船型がどんな用途でどのように経済システムと結びつくものであるか十分に検討すべきである。また現在まで連綿と行われてきた船型改良がどこの部分に位置しどの程度の改良に当たるのか、さらに将来とも社会・経済的にそれが意味を持ち続けるのかも研究者として良く考えてみるべきであろう。高速船の研究は近年ますます盛んになってきたが⁶⁻⁹⁾、最近まで高速船の定義すらも不明確であった。船研における過去の研究テーマ(付録参照)を振り返ってみても、従来の船より速い船、あるいは同じ種類の船の中で高速な船の意味において通常船型の高速化の研究が高速船の研究として実施されてきた。これにも高速船とその研究に対する認識の程度が現れている。

ここで論ずる高速船は単に速度が速いだけでなく造波抵抗の壁を越えた高いフルード数領域で航行する船で高速流体現象を伴うものを意味する。高速航行により船の周りに生ずる流体現象は中・低速域のものとは異なってくる。すなわち水面を航行する船体は滑走状態となり、碎波やスプレーが顕著になる。また、プロパルサーや船体付加物等にキャビテーション、空気吸い込みが発生する^{6)・10)}。没水体や水面空気圧による攪乱も同様な流体現象をひきおこす。それに伴って船型やプロパルサーの適切な形状や形式も中低速の排水量型の船とは異なってくる。従来の船型開発の主流はいわゆる排水量型船型を対象とし、きわめて狭義の最適化を目的としたものであった。従って、一般に高速船は対象外でその研究手法も水槽試験法も確立されたものがない^{11)・12)}。

高速輸送は古来よりの基本的命題の一つであるが、船速の増加に伴う造波抵抗の急激な増大とプロペラキャビテーションの発生が船の高速化をはばむ壁であった。潜水船、水中翼船、エアクッション船(AC

V: Air Cushion Vehicle)等はその克服をねらった新形式船である。新形式船の研究は主として米国において推進されてきた¹³⁾。軍用船艇は、高速性、凌波性、甲板面積等が重要な要件となるのに対して、一般商船ではまず経済性が基本要件となる。我が国における造船分野の開発研究では一般商船が主対象であるため、需要とともに高出力エンジンの軽量化および経済性が隘路となり高速艇の系統的な研究や船型開発は定着しなかった。新形式船の本格的な開発が行われなかったのは、基本的な発想と基盤に欠けるためといえる。しかしながら過去の研究開発を振り返ってみると、400m水槽の25年間の歴史においても何回か高速の新形式船型が脚光を浴びた時期がある。それは主として外的な環境により規定され、それぞれに社会・経済的な背景を持っている¹⁴⁻¹⁸⁾。まず、一回目は原子力の普及を背景として原子力船の開発が検討された時期であり、原子力エンジンを動力とする新形式船開発として潜水船が研究された。二回目は高度経済成長による社会構造の変化に対応した輸送システムの見直し時機である。この時機には高速コンテナ船、高速フェリーが開発されその後改良が重ねられ現在では定着している。内航フェリーは半滑走型船型で排水量型船型でないものが多いが、その高速化・大型化は新形式船型の開発というより在来船型の改良との色彩がつよい。その中では半潜水型双胴船(SWATH: Small Water Area Twin Hull)やACVの実用化が特筆され、側壁型エアクッション船(SES: Surface Effect Ship)の研究も進められた。ここ数年のいわゆる高速船の研究開発ブームは生活様式や社会構造、価値観の変化、多様化と、主として過剰設備による日本造船業界の地盤沈下と関連すると考えられる。

400m水槽では高速船の実験の比率が急激に増加している。世界的にも高速船や新形式船に関する様々な検討がなされ、各種の開発プロジェクトが実施されている。テクノスーパーライナーの開発プロジェクト^{19)・20)}等は国家的な規模で研究開発が推進されており多くの技術的な課題の克服が期待される。しかし、具体的にどの程度の実需があるかは不透明であり技術開発とともに、輸送システムとしての分析や社会・経済的な環境整備が待たれるところである。

本論では上記の状況認識のもとに、2章で新形式船研究の意義についてまとめ、3章以降に船研における高速船と新形式船の研究を概説し今後の研究の方向を考えてみる。ただし、ACVの実験は400m水槽で実施されたが、研究主体は機関開発部のグループあるいは外部の共同研究者であった。そのため研究成果が継承されていないので記述を省略した。本論では言及しなかったが、キャビテーション、ベンチレーション、あるいは、ウオータージェット等高速船の推進器関係の研究項目も多い。これらについては別項の4.プロパルサー・キャビテーションを参照されたい。しかし、高速船のプロパルサーとしての系統的な研究の蓄積は乏しい。

2. 新形式船研究の意義

新形式船の研究の意義は、たびたび解説されている^{3), 13), 17)}。ここでは、SWATH、ACV、滑走艇等の各種の高速船・新形式船についてレビューを行い、それぞれの船型の特徴をまとめる^{17), 21-24)}。

船は長い歴史をもち、どのように斬新な船でも船型概念の提案としては古いことが多い。その意味では、新形式船とは現在まで実現していない形式の船となり、その開発も新しい応用原理に基づく船型設計・概念の探求というより、新しい社会・経済的なニーズと環境条件および工業・技術水準を前提とした実用的な船型の実現を追求することとなる。高速船の船型開発は、流体力学的特性とともに軽量新素材、構造様式、小型軽量大出力エンジン、防音防振法の開発、そしてコストのみならず時間価値やサービス価値を適正に評価する輸送システムのあり方を前提として初めて可能となる。

ここ数年の世界的な高速船や新形式船の研究開発ブームは、社会構造、生活様式や価値観の変化、多様化がその底流にある⁶⁻⁹⁾。また、陸上・航空輸送システムの問題点の顕在化、すなわち、輸送量の伸びに対する付帯設備、環境整備の遅れ、さらには安全性・環境保全公害防止問題とも密接に関連する。それらを背景として、新しい海運需要や、輸送システム全体の見直しの機運は高まっている。21世紀に向けて、経済構造の変革に伴う生産様式やエネル

ギー消費の変化も予測されているが、海上荷動きは石油で10~20%、乾貨物で15%の伸びが期待されている。大量輸送によるスケールメリットを活かし、この需要に応えようとするとともに、中速輸送の新しい需要を掘り起こすことが海運業に必要とされている。海運業にその手段を供給する造船業においても新しいニーズに応える高速の新形式船の開発や海上交通の安全・船員問題の解決策ともなり得る知能化船の開発^{20), 26)}等により技術集約型・知識集約型産業に脱皮し、建造量追求型から利益追求型への体質改善が指向されている。

現代社会における海上輸送の主たる役割は、生活物資、工業原料などの容積貨物や重量貨物の低速大量輸送であり、大手造船所の関心もこれらに対する船型開発・改良が中心であった。この『船型開発』=『船型改良』を意味する狭義の船型開発は社会的なニーズに支えられ、半経験的な要素も含む馬力推定用の定形化した水槽試験が、船型開発に最も有効で不可欠な『船型試験法』として実施されてきた。これらの狭義の船型開発に関する研究の蔭では、さらに広義で本来的な船型開発の研究も実施されてきた。本来の船型開発とは船型設計の自由度を追求し船型の概念を広げるものである¹⁷⁾。

新形式船の開発は、この広義の船型開発と位置づけられる。たとえば、SWATHの場合には²¹⁾船体を没水させることにより造波抵抗や波浪強制力を減少させ、高速化と耐航性の改善をはかる。その結果、荒天時にも運航可能となり就航率が向上した。また、双胴化により広い甲板面積を可能とし操縦性能も改善された。しかし一方では、固有の安定性は極端に悪くなり、制御システムを前提とした新しい概念に基づく船、寸法比も通常船型とは全く異なる船になっている。換言すると、この広義の船型開発とは、新しい船型概念の適用、あるいは船型要素の組み合わせによる複合船型、すなわち新形式船の開発である。このような新形式船開発の基礎データの蓄積も従来の船型改良や基本的な流体现象の解明のための実験とならぶ試験水槽の重要な使命である。

Fig. 3に高速船・新形式船の建造実績を国際試験水槽会議(ITTC)の報告書から引用し示す²⁵⁾。Fig. 3(a)~(e)には1989年5月1日までに建造または発注された各種船型ごとの隻数が国別に示されている。

また各国の初建造の年代も示されている。軍用は除外されているが、Fig.3(f)には1956年以来建造された高速船の総数が、Fig.3(g)には大型化の傾向が示されている。これから現在までにどのような船が開発されたか、また、高速船に対する各国の対応における通常船型との差異も理解されよう。

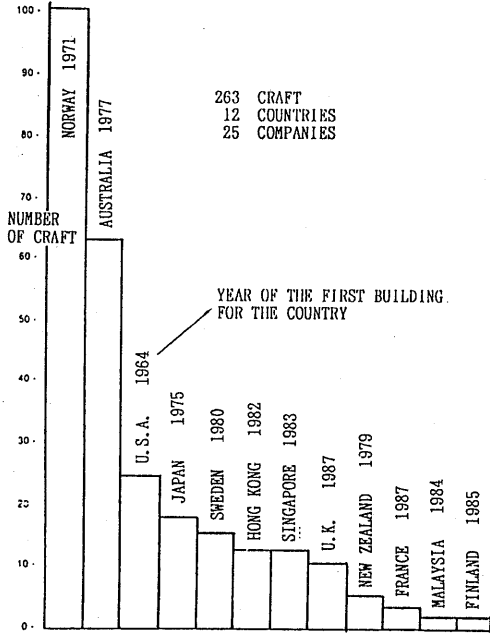


Fig.3(a) Production of Catamaran (Civil) ²⁵⁾

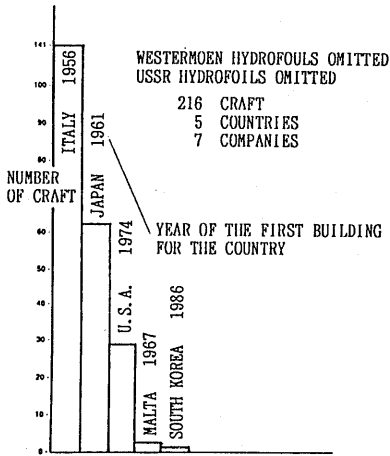


Fig.3(b) Production of Hydrofoil (Civil) ²⁵⁾

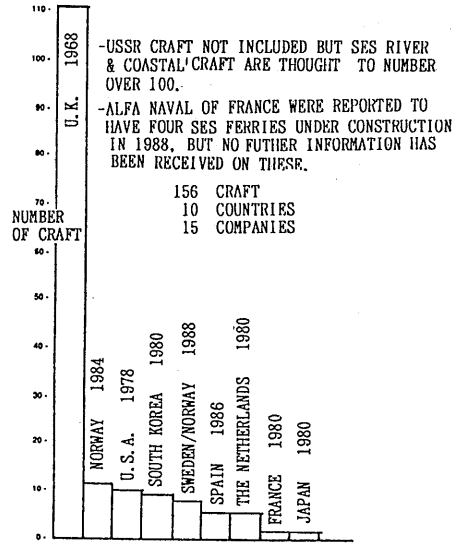


Fig.3(c) Production of SES ²⁵⁾

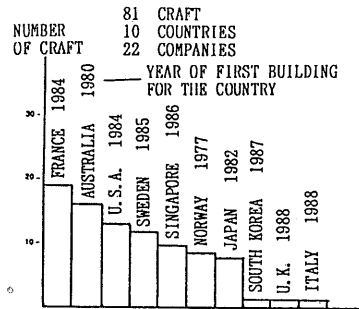


Fig.3(d) Production of Monohull ²⁵⁾

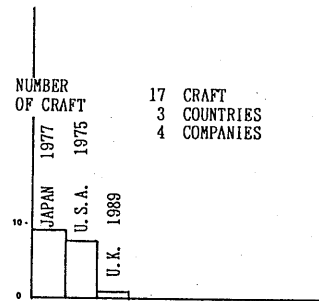


Fig.3(e) Production of SWATH (all applications) ²⁵⁾

Fig. 4に示す「浮き方」の三角形はFig.1と同様に複合船型の解説によく用いられる^{3)・27)}。これは複合船型の重量支持を①浮力②動的揚力③空気圧に分けてその比率により三角形上にその船の「浮き方」を表現したものである。在来型の通常船型は排水量型であり浮力で重量を支持しているの浮力の頂点に対応する。

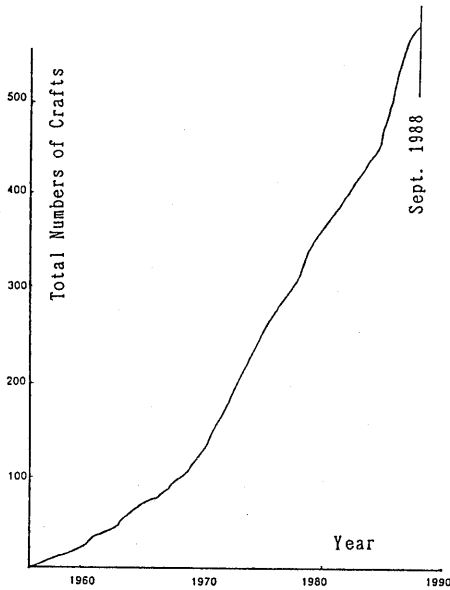


Fig.3(f) Total Production Numbers of High-Speed Craft ²⁵⁾

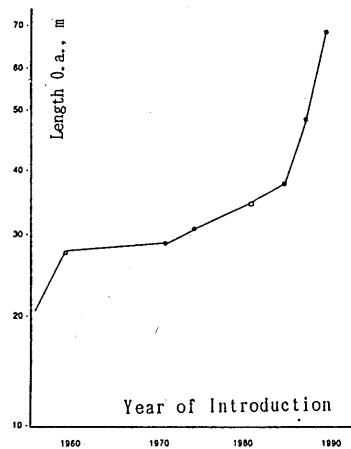


Fig.3(g) Max. Length of the High-Speed Craft ²⁵⁾

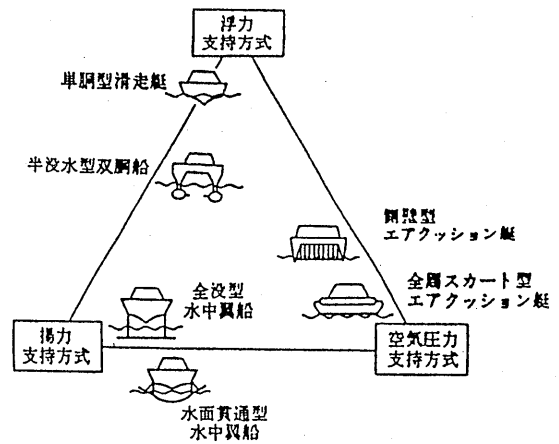


Fig.4 Weight Sustension Diagram ²⁷⁾

この排水量が移動するとき生ずる造波抵抗が高速航走時には急激に増大し、それが船舶の高速化の最大の障害要因である。高速で航走するときには随伴波の波長が長く船体の前部と後部における造波の位相差が小さくなるため、造波の低減に中低速域のように干渉が利用できない。排水量型のまま高速艇の造波抵抗を減少させるには没水化と細長化の方法が残る。細長化は実際的には双胴化に結びつく。SWATHではこの細長化と没水化が実施されている。他方では、浮力以外の揚力や空気圧により船体重量を支持することにより航行時の排水量を減らす方式がある。新形式高速船の大部分はこれに相当する。滑走艇は滑走面に働く動的揚力で、水中翼船は翼の揚力で重量の大部分を支持する。滑走艇は開発の歴史も古く様々な用途に広く活用されている。水中翼船は水面貫通型と全没型とに分類される。水面貫通型水中翼船は自己復原性をもち小型の水中翼船に多い。現在では信頼性の高い制御システムが容易に実現できるので抵抗の少ない全没型が主流となり、耐航性に優れた大型船が建造されている。これは制御システムの特性が推進性能や運動性能と不可分に結びつくCCV(制御主導型移動体)型であり、船型設計において総合化されたシステム設計が要求される点は航空機に近い。これはエアクション船にもあてはまるもので新形式高速船型・複合船型の一つの特徴である。水中翼船には2乗-3乗と称する重量および揚力と船の寸法に関する関係があるので、大型化には限界

がある。エアクッション船は空気圧支持型の典型であり全周スカート型のACVと側壁型のSESに大別される。高速性と水陸両用性のため広い適用範囲があり、スカートの方式、浮上方式、推進方式等で各種の船型が開発され、多数建造されている。問題点としてはシール材料や安定性、波浪中性能があげられる。空気圧は動的揚力 (dynamic lift) に対して powered lift あるいは static lift と呼ばれる。地面効果を利用した WIG は空力的揚力支持型といえるが、エアクッション船に分類されることもある。

3. 半潜水船の研究

SWATH 船型は Fig. 5(a) に示す実験船の開発から着手され日本においても研究と実績を重ね、現在ではその特性を活かした種々の用途の船として定着している^{21)・28-31)}。現在では実用レベルでの開発研究が行われ、大型航洋クルーズ客船まで計画されている^{32)・33)}。(Fig. 5(b))

船研における半潜水船の研究は過去 2 回に分けて実施されている。これらの研究はいずれも直接的に開発を指向したものではないが、それぞれの時代を反映した仕様をもたせているので対象船型の形式と速度域が異なる^{14)・35-41)}。これらの研究はいわゆる「新形式船舶の研究」として実施され、流体力学的な船型研究とともに船型設計の概念に関する整理と考察が行われた^{14)・38)}。

船研の研究対象船型はストラットの摩擦抵抗軽減の狙いと運航上の喫水の制限に対する考慮から浅深度航行するところに特徴がある。このため造波・造

渦・スプレー等の流体現象が顕著となり、またそれらの相互干渉による複雑な流場が船のまわりに形成される。半潜水船の最適深度に関する概念的な検討

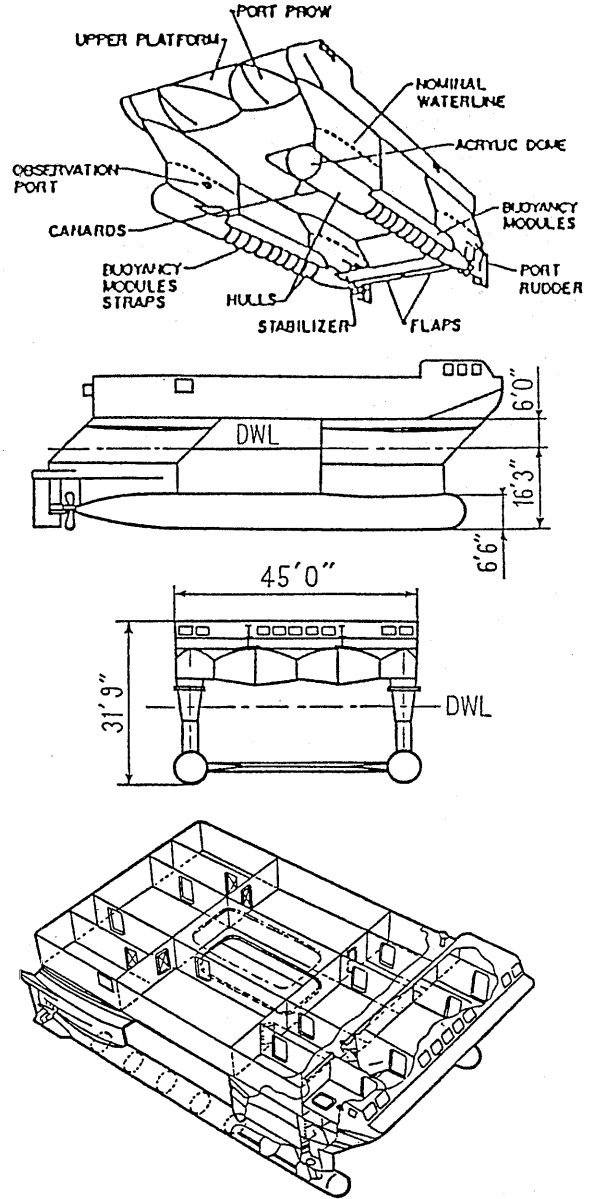


Fig.5(a) Configuration of SWATH³⁾

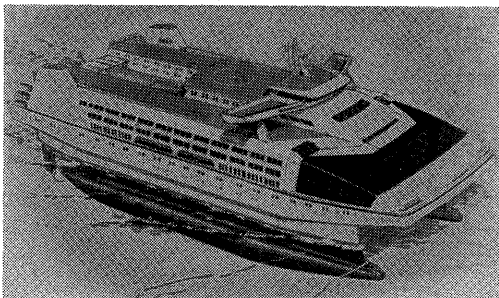


Fig.5(b) SWATH Type Passenger Cruiser³²⁾

もなされた³⁷⁾。第1期では自由表面の影響・効果と造渦に関する検討³⁴⁾、第2期ではSWATH船型についての総合的な流場計測と理論計算とが実施され比較検討された。

第2期は造波抵抗の計算スキームと粘性境界層計算の手法が船型改良のツールとしてさかんに検討さ

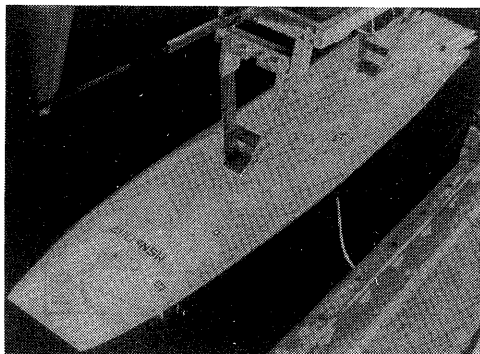


Fig.6(a) Submerged Model in Towing Tank³⁴⁾

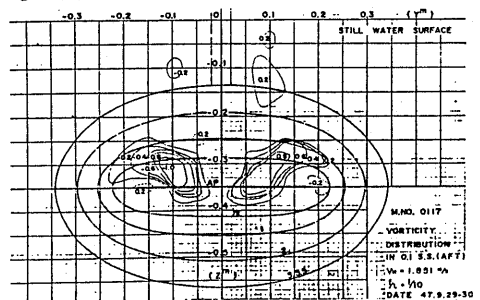


Fig.6(b) Measured Vorticity Distribution in the Cross Section³⁴⁾

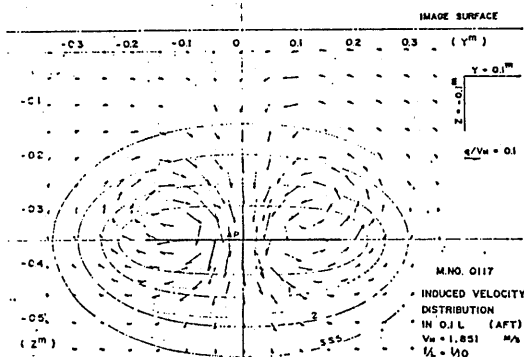


Fig.6(c) Induced Flow Velocity due to Trailing Vortices in the Cross Section³⁴⁾

れていた時期であり、この研究においてもこれらの理論計算と計測値との比較が行われ、計算法の改良につながった。高速流体现象の解明ではスプレーや造波、砕波を中心にストラットまわりの流れが詳細に計測され⁴⁰⁾、浅い深度の没水体上の流れの特異性等が確認されたが⁴¹⁾、³⁶⁾、新しいモデル化には至らなかった。また、自由航走模型船により制御方式、制御力についても研究され、種々の知見の発見や再認識がなされた。その前段として流体力特性が

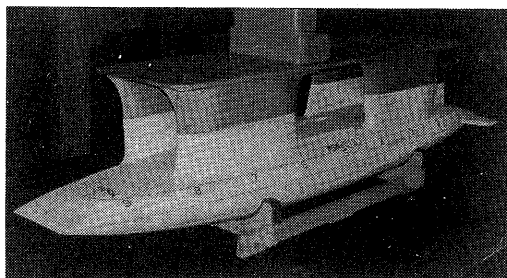


Fig.6(d) Model of Semi-Submersible Container Ship³⁴⁾

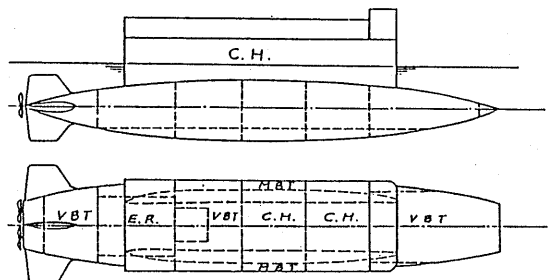


Fig.6(e) Concept of Container Ship with Semi-Submersible Hull Form¹⁴⁾

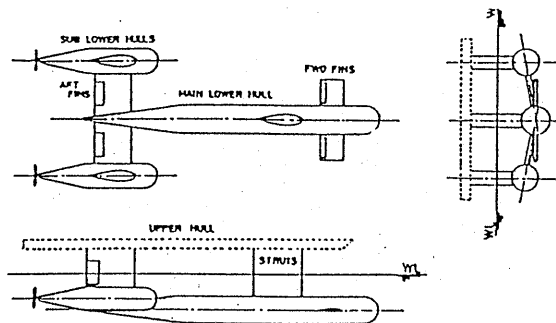


Fig.6(f) Semi-Submerged Trimaran Model tested in SRI³⁹⁾

水槽や風洞における各種の実験により検討された。その結果、自由表面の影響や船型要素の相互干渉が明らかにされ、その評価法が提案された³⁹⁾。

ストラットや没水体のまわりの基本的な流場の調査研究、自己安定性に欠けるため制御システムと一体不可分な船型の水槽試験法に関する研究等も行われた⁴¹⁾。

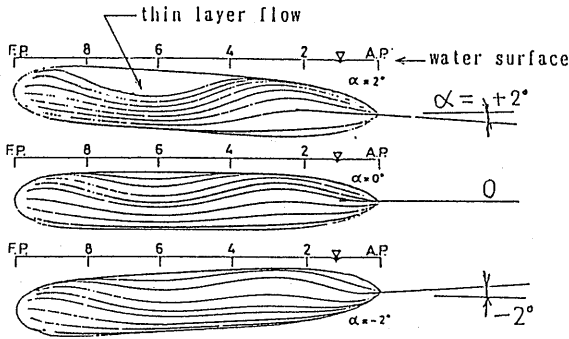


Fig.6(g) Potential Stream Line around Body of Revolution with Trim Angle under Free Surface ³⁶⁾

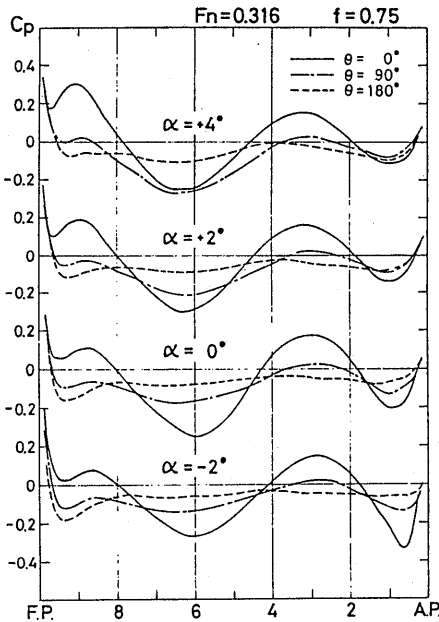


Fig.6(h) Measured Surface Pressure on Submerged Body of Revolution ³⁶⁾

基礎的な流体現象に関する知見や水槽試験法等に今日のな意味をもつ見るべき成果も多い。しかし、要素としての知見はともかく船研における船型等に関する研究成果は直接実船の設計や改良には活用されていない。また、対象の速度域があまり高速でないため現在行われている開発にそのまま役立つデータとはいえない。また、第2期では SWATH船型の基本的な設計概念はすでに確立されており、その再確認と性能の改良との色彩が強い。従って、これらの研究が船型開発に直接的な貢献をしたとは言い難い。Fig.6 に船研で研究された代表的な半潜水船の船型概念、供試船型および流れ場等の研究成果を示す。Fig.6(b),(c)に扁平没水体の船尾に発生する剥離渦の様子を渦度計および流速計で計測した結果を横断面内の分布として表した例を示す。造渦現象に対する自由表面の影響やその低減策が検討された。

Fig.6(g),(h)は自由表面付近を航行する回転没水体の表面流線と圧力分布に対するトリム角の影響を調べたものである。また、Fig.6(i)にはストラットのついた回転没水体の表面流線の理論計算値を示す。

Fn=0.89の状態は最近の新形式超高速船の基礎研究に対応するものである。この状態では波長の長い波が生じるため極端な波動は認められない。実験でストラット部に顕著なスプレーが観察された。低速の状態では造波現象により流線は激しく変動する。この計算値とタフト法による流線観測の実験値との対応は良好である⁷²⁾。

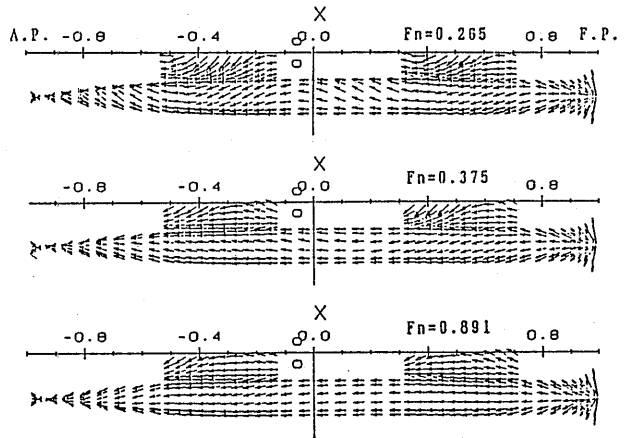


Fig.6(i) Calculated Velocity Vectors around a Submerged Lower Hull with Struts ⁷²⁾

4. 滑走艇・半滑走船の研究

滑走型あるいは半滑走型の船舶は高速艇と呼ばれる様々な用途の小型船として我が国でも多数建造されている。これらは、滑走面にはたらく動的圧力でその重量を支持する²²⁾。滑走現象に関しては古くより多くの研究がなされ丁寧な解説もある⁴²⁻⁴⁵⁾。Fig.7に滑走艇の航走状態と流体現象の分類を引用するが¹¹⁾、フルード数の増加につれて排水量支持状態、半滑走状態、滑走状態、完全滑走状態へと遷移する。このように滑走艇は高速化した排水量型の通常船型から自然に得られる船型であり隻数も多いため主系列の高速艇と分類されている^{3), 17)}。また、これらの船型はFig.8に示すように速度と大きさにより明確に区分される¹⁷⁾。

大型の滑走艇は元来魚雷艇として開発されたV型船型を中心に改良がなされ、最近ではハードチェーン船型が主流となっている。小型の滑走艇は競走用

High-Speed Craft Region (after Savitsky)

- ① Displacement Type
- ② Semi-Displacement Type
- ③ Planing Large Craft
- ④ Planing Small Craft

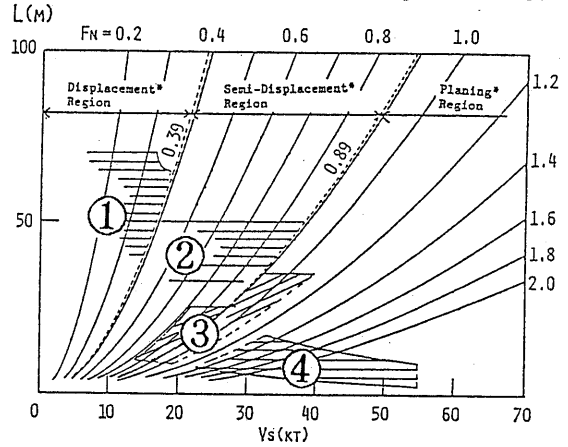


Fig.8 Class of High-speed Craft after Size and Speed³⁾

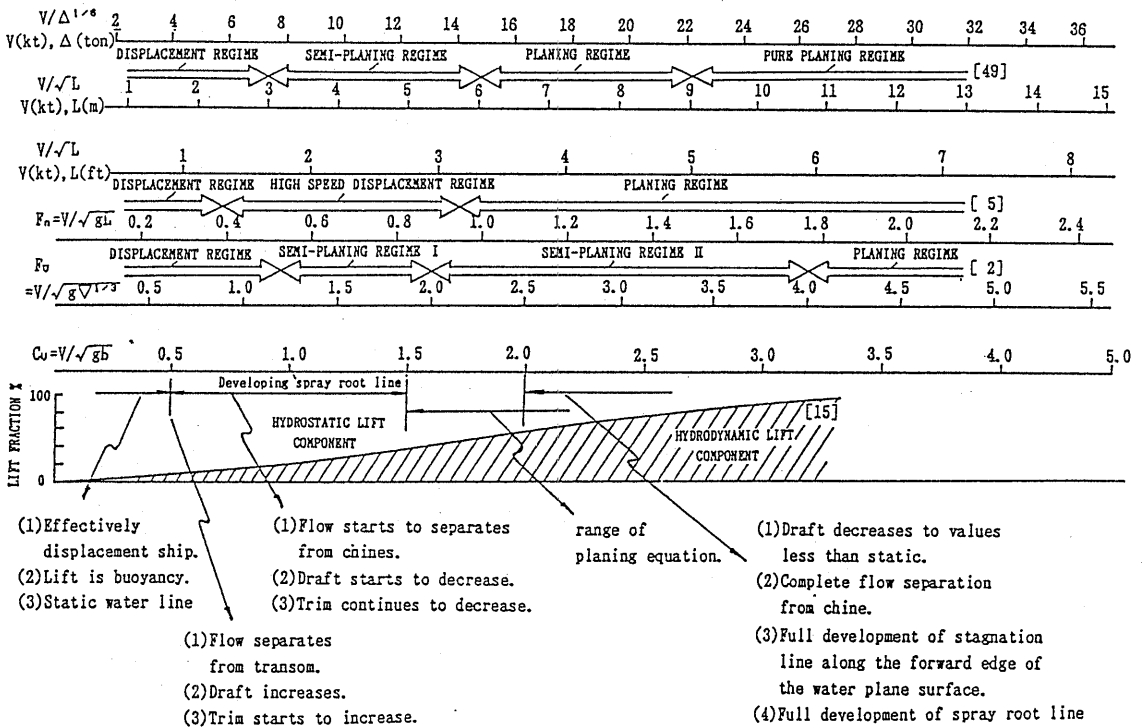


Fig.7 Hydrodynamic Phenomena Related to Planing Hull¹¹⁾

に高性能艇が開発されたが、最近のマリンレジャーの大衆化とともにFRPのボートが量産されている。半滑走船は双胴型も含めて小型旅客船や巡視艇等に広く活用されている。半滑走状態では排水量型の特性に滑走による姿勢変化等が加わり流体现象が複雑で、性能推定法も確立されていない。とくに浸水面積の推定や耐航性能の推定に多くの問題点があるが、様々な工夫により船型設計が行われている。一方では、これらの高速艇が軍用舟艇として開発された経緯により系統的な水槽試験が実施され、基本的なデータは整備されている⁴⁶⁻⁴⁸⁾。民間の開発では経費の関係から、これらの小型高速船が研究対象となることは希で、もっぱら実艇の性能試験データより船型の設計や改良が行われている。船研においては個別な船型についての水槽試験は目白水槽時代から報告されているが、長期的視野による総合的研究は比較的最近行われるようになったばかりである。また、日本造船学会に関連の技術者、研究者の討議の場として高速艇特別研究委員会が設置された。その活動の一環として高速艇のシンポジウムが企画されたり⁶⁾、相似模型船による比較実験が実施された。この比較実験の結果より水槽試験と流体现象における相似則等を検討し、ITTCの高速艇委員会(HSMVC)にも

報告している²⁵⁾。最近、高速艇特別研究委員会は役割を終え、さらに広汎な分野を対象にした海上高速輸送システム研究懇談会が発足した。ITTCにおいては水槽試験法や合理的な馬力推定手法の確立が急務とされている^{25), 49-50)}。

研究の立場を整理すると高速流体现象を解明するための流体力学的なアプローチ、船型改良による高性能化、水槽試験法の研究、滑走艇の大型化を目的とした新形式船の追求および船型設計法の研究等になる。このうち、流体力学的な研究としては、滑走現象についての基礎実験が行われ⁵¹⁻⁵⁴⁾、理論的研究の見直し⁵⁵⁻⁵⁸⁾や数値流体力学(CFD)の適用も行なわれている^{59), 60)}。

流体现象や水槽試験の相似則が確立されていない現状では可能なかぎり大型の模型船による精度の良い計測データの蓄積が大切で、400m水槽を始めとする大型研究施設の活用が期待されている。また、高速船に適した計測装置の整備および水槽実験法の確立が急務である。船研においては、丹羽や大隅による馬力推定図表の評価(Fig.9)⁶¹⁾を含む平水中、波浪中の性能の研究、水槽試験法の改良を目的とした実験的な研究をすすめている⁶²⁻⁶⁸⁾。その対象船型は小型滑走艇から小型旅客船、巡視船、巡視艇、

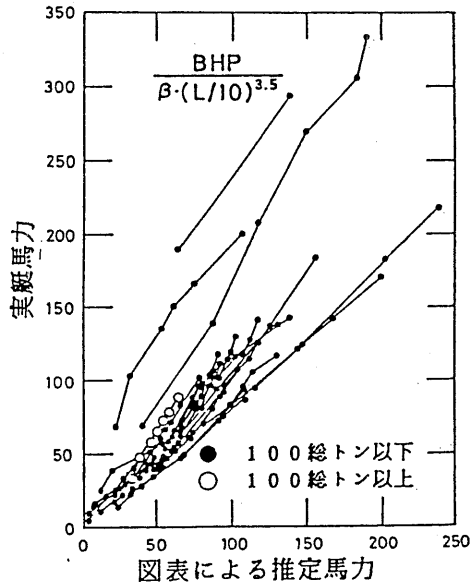
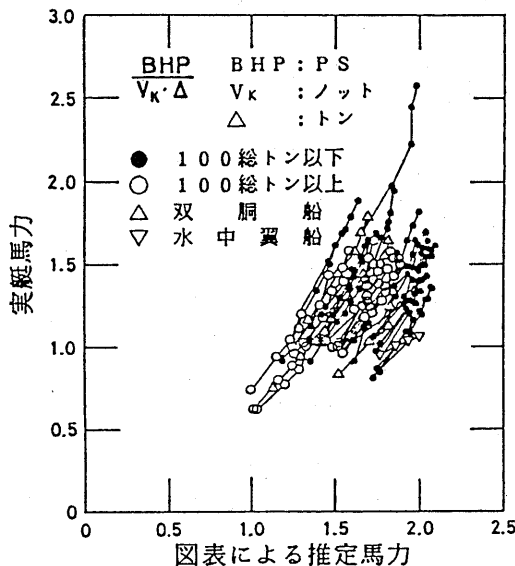


Fig.9(a) Evaluation of Niwa's Powering Diagram⁶¹⁾ Fig.9(b) Evaluation of Ohsumi's Powering Diagram⁶¹⁾

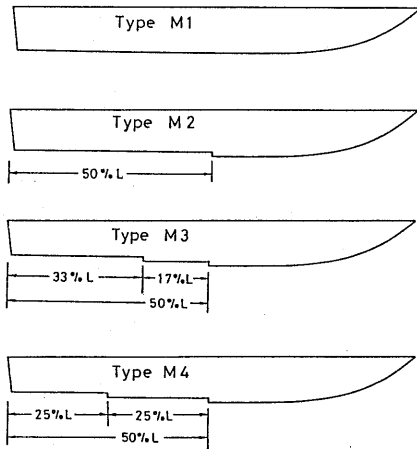


Fig.10(a) Models of Planing Craft with Steps ⁶⁶⁾

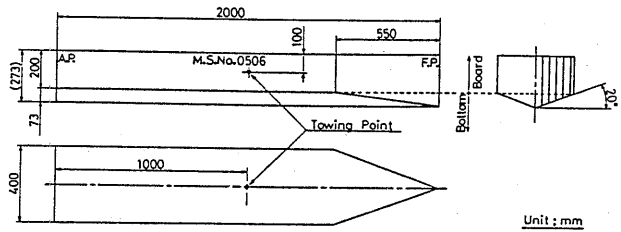


Fig.10(d) Models of Planing Craft with Longitudinal Stripes ⁶²⁾

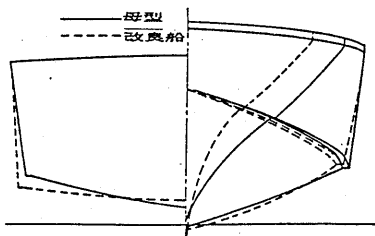
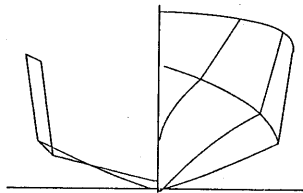


Fig.10(b) Models of Planing Craft used for Hull Form Improvement ⁶⁷⁾

M. S. N O. 4 7 7 角型



M. S. N O. 4 7 8 2段チェーン型

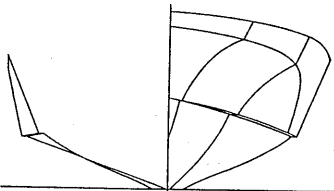
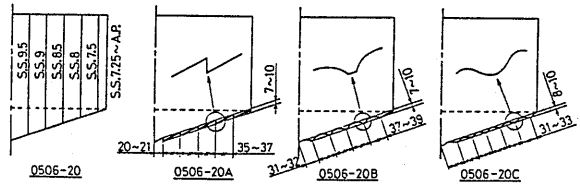


Fig.10(c) Models of Planing Craft with Hard Chine ⁶⁴⁾



漁船まで含まれ幅広い。船底のデッドライズ角、溝付き船底、ステップ、2段チェーン等の船型・形状と抵抗特性、浸水表面積や航走姿勢との関係の調査、波浪中の運動性能試験、斜流プロペラの検討等も実施されている。また、中小造船所の水準向上の施策と関連し、内航旅客船の船型開発に対する取り組みが行われている^{63)・67)・70)}。これらの旅客船には様々の大きさの船型があるが、半滑走型船型が主流である。Fig.10に船研で水槽実験した典型的な滑走型の模型船を示す。

推進性能部のこの分野における研究も緒についたばかりで、数年来の精力的な活動により小型船や高速船の実験的研究の土台づくりが行われた。すなわち、この分野の研究について組織として対応が可能な基礎ポテンシャルが整備されつつある段階であり、試行錯誤を含む各種の検討の積み重ねによる問題点の整理もさらに必要である。その反面で、数多く実施された400m水槽における滑走型あるいは半滑走型船型の一連の実験は統一的な視点と明確な目的意識に欠け、相互の関連がきわめて不明瞭なまま、未整理な実験データも多い。今後は研究の視点と方向付けを明確にすることが必要で、その前提として高速船の研究の的確な位置付けと概念の整理が不可欠である。

5. T S L の研究

21世紀の海上輸送システムの担い手である新しい高速貨物船の開発が、国家的な規模のプロジェクトとして推進されている^{19)・20)・69)}。Fig.11(a)にその初期概念図を示す、航海速度50ノット、積載重量

1000トン、航続距離500海里の要件を満たす新形式の複合型船型による超高速貨物船であるテクノスーパーライナー(TSL'93)が開発目標である。造船業活性化の施策としての意味も込めて、補助金交付による運輸省主導のもとに、テクノスーパーライナー技術研究組合において大手造船会社2グループにより研究開発が遂行されている。このプロジェクトは超電導による新形式推進システム、船用燃料電池をも開発対象とする広汎なもので10ヶ年計画である。前半の5年間は概念設計に始まり実海域模型船実験による評価までが予定されている。TSL'93にはガスタービン駆動のウォータージェット推進の方式が検討されている。複合船型はそれぞれの方式に対する船型要素を組み合わせて長所を活かし短所を補うところに特徴がある。従って、その概念設計が最も重要であり、システムの性能としては推進性能と制御システム等がポイントとなる。

2つの開発グループはそれぞれ Fig.11(b)に示すSES タイプの空気圧支持型および水中翼による揚力支持型の複合船型を開発の対象としている。軽量構造素材・構造様式、推進方法等共通の開発課題も多い反面、それぞれの船型に特有の研究課題が山積している。揚力支持型船型は波浪中の耐航性に優れた船型で、かなり厳しい海象条件の荒天状態まで定期

運航が期待できるが、キャビテーション特性や所要馬力が大きいところが問題であり、一方、空気圧支持型船型は所要馬力は比較的小さいが耐航性やシールの構造・材料等に問題があるといわれている。

船舶技術研究所は①開発計画や成果を客観的に評

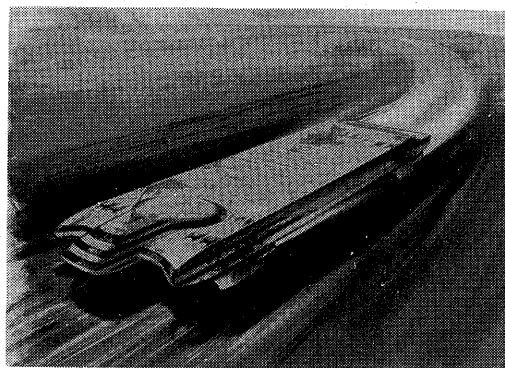


Fig.11(a) Artist's Impression of Techno-Superliner¹⁹⁾

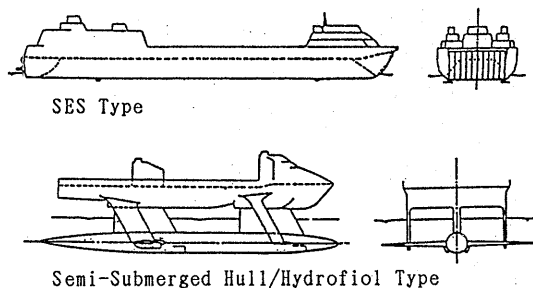


Fig.11(b) Candidates of Techno-Superliner Hull Form Configurations⁶⁹⁾

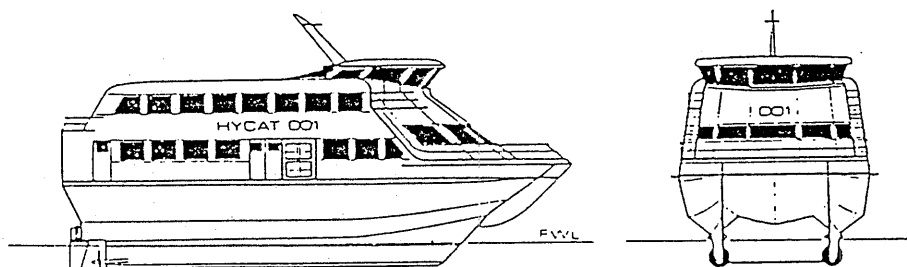


Fig.12(a) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel⁷⁴⁾

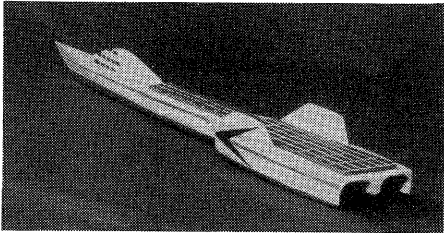


Fig.12(b) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel ^{1 8)}

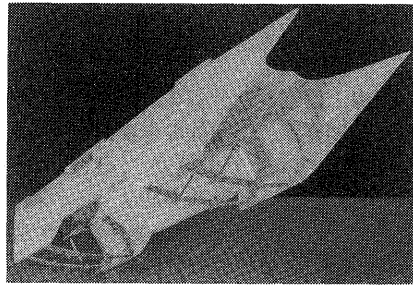


Fig.12(f) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel ^{1 8, 7 7)}

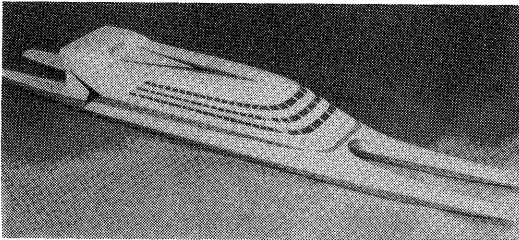


Fig.12(c) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel ^{1 8, 8 5)}

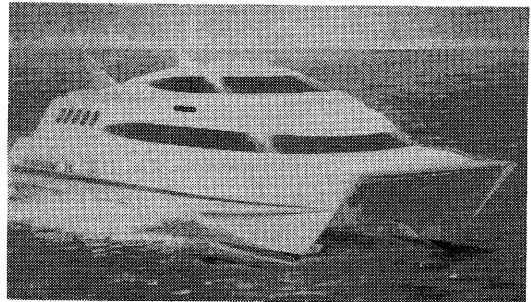


Fig.12(g) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel ^{7 7)}

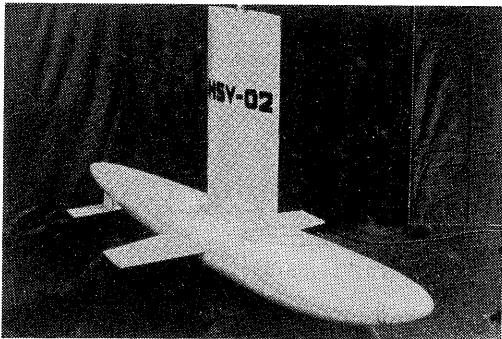


Fig.12(d) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel ^{7 5, 7 6)}

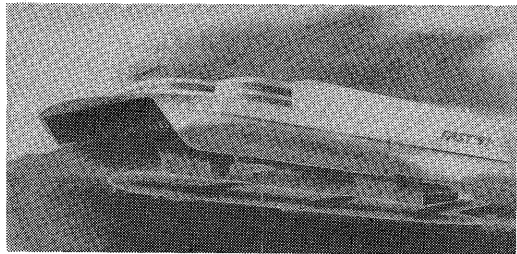


Fig.12(h) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel ^{9 2)}

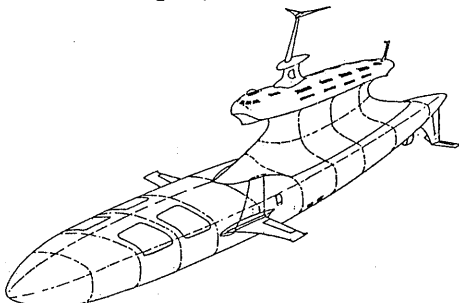


Fig.12(e) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel ^{7 5, 7 6)}

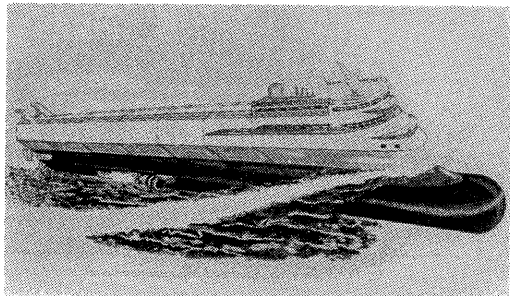


Fig.12(i) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel ^{1 8)}

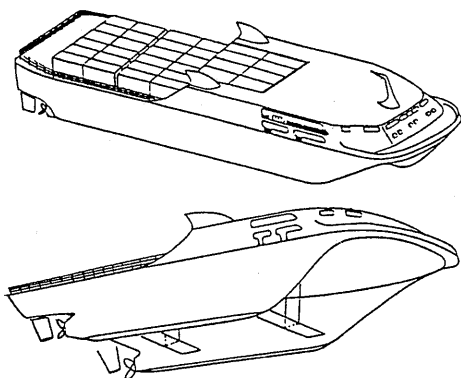


Fig.12(j) Proposed Concept of Advanced High-Speed Vessel ⁷⁹⁾

価すること、および、②研究開発に協力することが期待されている。推進性能部は後者の一環として、揚力支持型船型の開発グループと共同研究を行う形でプロジェクトに参画し、400m水槽の機能を活用して各種の水槽試験を実施している。すなわち船研グループは TSL 担当会社の研究グループと共同で平水中抵抗試験、要素模型試験、強制動揺試験、操縦流体力試験を行い、基本的な流体力学的特性を調べている。船型の試設計と特性解析の繰り返しにより実際の諸問題を洗い出し、改良を加えシステムの完成度を高めることと、所要馬力の軽減が当面の課題であり、新形式船の馬力推定手法の開発も急務である。また、その基礎研究として、波紋⁵¹⁾、流速分布、スプレー⁷¹⁾、碎波等を計測し基礎データを蓄積するとともに、総合的に流場の構造の解明を目指し船研独自の研究も進めている^{72)、73)}。この研究は、流れの定式化、モデル化を行い、高速域で適用可能な理論的手法の確立を目的にしている。さらに基本的な流場として、ストラットや滑走面に関する基礎計測を実施し詳細なデータを収集している。また、水槽等の施設や計測装置の整備、実験法・計測法の開発も高速船や高速流体现象の研究のための重要な課題として取り組んでいる。このような基礎研究はその性格上、開発研究との時間的な同期は困難であるが、長期的な視野に立てば船型改良の指針や次世代の新形式船の開発の基盤を与えるものとして重要である。新しい時代を迎えて、基礎研究の積み

重ねの上こそ、斬新な発想と真の開発ポテンシャルが存在し、そのために息の永い努力が肝要なことを銘記すべきである。

TSL のプロジェクト以外にも複合型船型による新形式超高速船の研究開発は国内外で検討されている^{18)、74-86)、92)}。いずれも Fig.1の枠内にあるが、形式、大きさ、船型、仕様、用途は多種多様である。それは設計の自由度の現れであり、開発期間や適用対象の差異、実用から基礎概念まで検討と提案の立場の多様さに依存している。Fig.12に提案されている代表的な大型の新形式高速船を例示す。これらの開発の成否は、船の性能の水準とともに輸送システムとしての評価に依存する。推進性能部の研究としては輸送経済的な研究は馴染まないが、高速船のシステム評価はその要素としての船型の要件を規定する基本的な避けて通れない重要な課題である。基礎データの蓄積、要素技術の開発とともに今後一層重要性が高まろう。

6. 将来の研究

高速船の研究と新形式船の研究とは必ずしも一致しないが、両者は密接な関係にある。この分野における将来の研究は、①新形式船の開発手法あるいは船型設計の手法に関するものと、その基礎としての②高速流体现象の解明とに二極化されよう。最近の社会的環境条件の変化により、両者はそれぞれが存在基盤を強固にもつことが可能となり、今後ますます研究も加速されよう。また、ニーズ主導型の開発研究とともにシーズ追求型の研究も重要となろう。さらに国立研究機関としてシステムの安全性およびその評価の研究も大きなテーマとなる。このうち、①新形式船の開発を船型設計の自由度の拡大と捉えると、その研究はシステム設計の手法と制約条件を極力排除した状態における船型要素に対する多角的な評価手法の研究に帰着する。このような研究はタテ割の従来型の研究体制とは馴染まないもので新しい枠組みが必要とされる。一方、②流体力学的研究は高速流体现象の的確な把握と合理的なモデル化、理論計算、そして、その基礎としての水槽試験法、精度の高い計測技術に関する研究となる。近年精力的に研究され発展のめざましい数値流体力学(CFD:

Computational Fluid Dynamics) の手法も有力な解析ツールとして期待される。スプレーやキャビテーションのような激しく変化の大きい特徴的な流体现象を対象とするので、その特徴を捉えた流場の定式化・モデル化に成功すれば理論計算により基本的な流場の特性を十分に説明できる可能性はむしろ高いといえる。また、数値解法であるので古典的な解析的手法に内在する諸限界を超えた広い適用範囲も期待される。モデル化の有効性が検証された後には数値水槽として、水槽実験の制約を超えて高速流体现象の解明に役立つことも考えられる。CFD の現状を基礎研究から将来の数値水槽に至る過程にあるとすれば、高速船の研究はCFD に格好の適用の場を提供しているといえる。今後、精度のよい流場計測に基づく実験的な研究と理論的な検討の両立により現象の理解を深め、船型改良の指針および具体的な検討ツールの開発が期待される。経験的要素の多い従来の船型試験法を物理実験の基本に立ち返り、検討の緻密さ・手法の整合性や計測精度を吟味・評価し、再構築する必要性も高まろう。

推進性能部でも将来の高速輸送システムを担う新形式船舶としてWIG(wing in ground effect)を採り上げ、「海面効果翼船の性能及び安全評価に関する研究」を平成3年度から特別研究として実施する。この長期的な視野に立つ研究により、現在欠落している実用的な基礎データの整備と安全評価に関する概念および具体的な手法の確立が期待される。

WIG は欧米を中心に大型機も含め各種の形式のが幅広く研究されている⁸⁾⁷⁻⁹⁾¹⁾。わが国では実験用あるいはマリナー用的小型機が開発試作されているが組織的な研究は少ない。とくに本格的な輸送用の大型機については基本的な設計概念に立ち戻って検討する必要がある。

Fig.13(a)(b)にはWIG、船舶および航空機の比較が示されているが、これらよりWIGの輸送システムにおける位置付けが判る。また、Fig.14にはWIGの形態的な分類を示す。WIGの形状や基礎概念・設計手法としては船舶より航空機のそれに近いが、安全性と関係する要件では船舶の分野における研究成果の蓄積を活用することが不可欠である。すなわち、海面における波浪衝撃や離水までの艇走性能等も全体の設計を規定する。また港湾や運航体制等も含め

たトータルシステムの設計もWIGおよびそれを利用した輸送システムの成否を左右する。WIGは排水量型の船舶はもとよりSWATH等の新形式船と比較しても一層安定性や推進性能、運動性能が密接不可分に関連するので、制御システムを中心としたシステムの一体設計が必要不可欠となる。

船研で実施する研究では、代表的な形式のWIGをとりあげ、建設中の変動風水槽も含む水槽や風洞等の諸施設を活用した実験的研究と流場や運動の理論計算によりその基本的な特性と要件を明らかにする計画である。この研究過程において実験的手法の開発と設計概念の整理・確認も行われる。また、安全性については、大型の輸送用実機の開発を待つことなく小型機の実現にあわせて、設計基準と運航基準の整備が必要であり、そのための研究を急ぎたい。

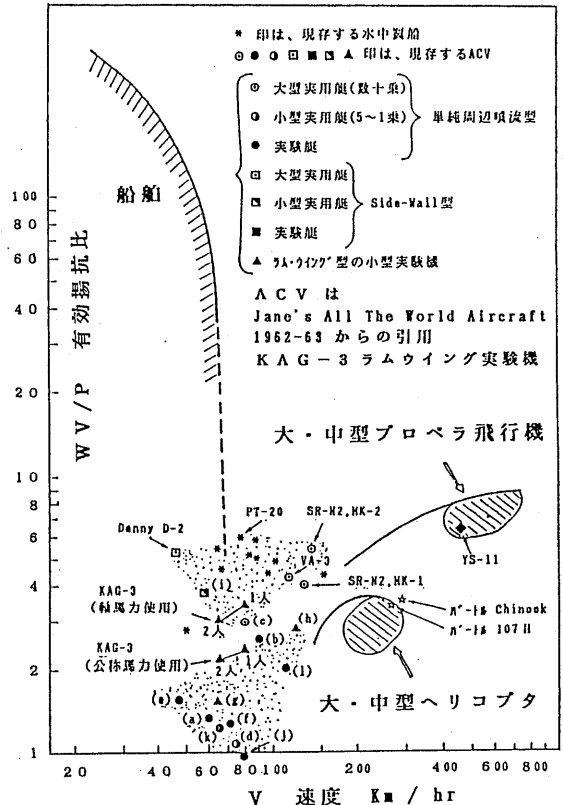


Fig.13(a) WIG in Effective Lift to Drag Ratio and Speed Diagram

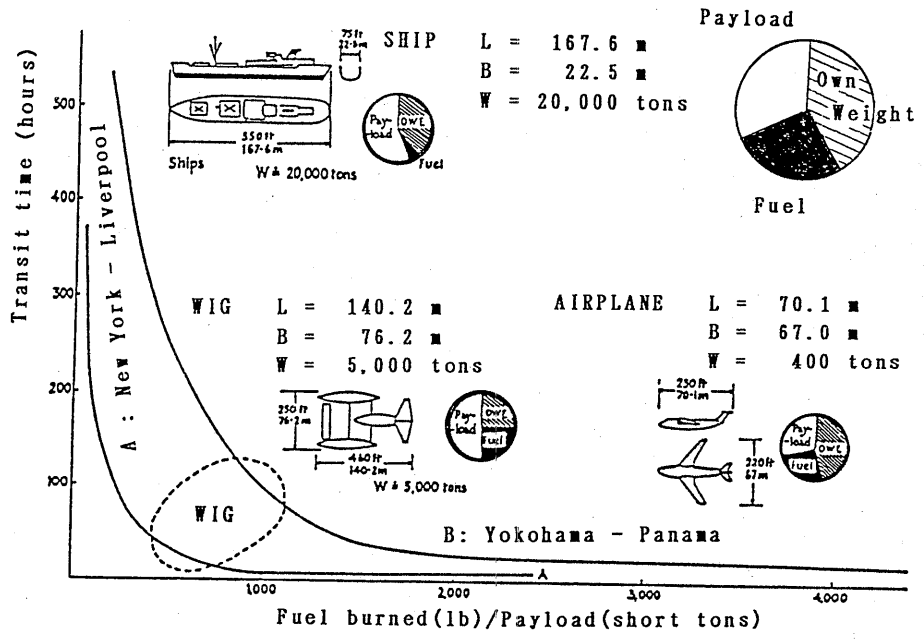


Fig.13(b) Comparison of Ship, WIG and Airplane

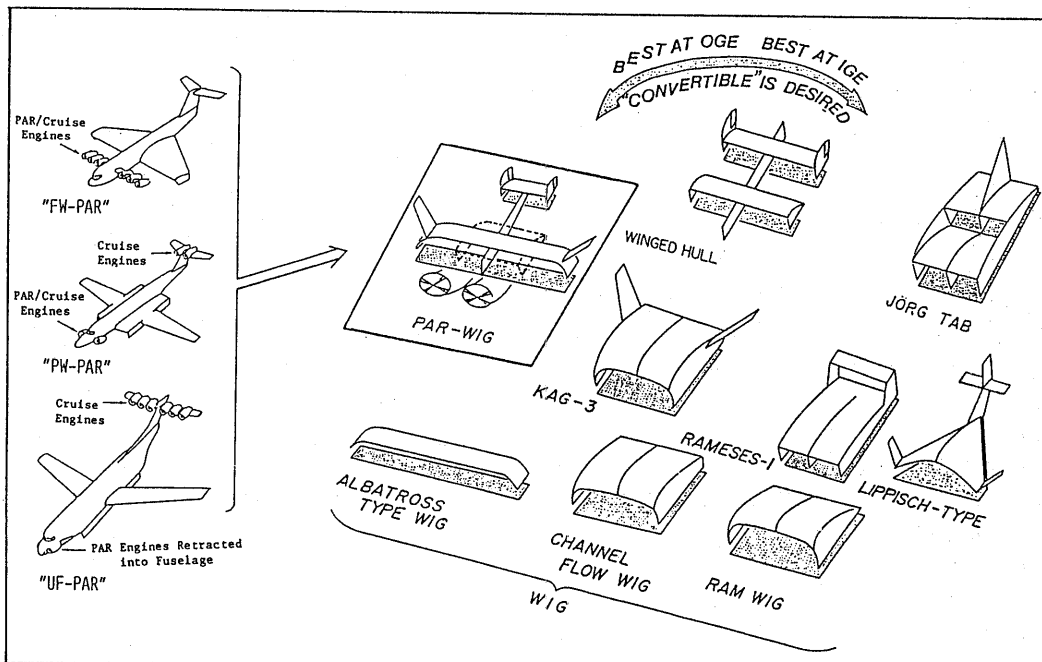


Fig.14 Classification of WIG type Vessels ⁹¹⁾

7. むすび

船の長い歴史の中においては、高速船・新形式船の出現は極めて最近の出来事であり、その研究も緒についたばかりといえる。造船技術や通常船舶の船型開発には圧倒的なリーダーシップを誇る日本がこの分野での寄与が少なく、アメリカが海軍を中心にSWATHやSESの研究開発を成功させたことから多くの教訓を汲み取ることができる。

船研では特殊船型研究室を中心に先駆的な研究に取り組み概念と問題点の整理を的確に行ない、この分野の研究の一つの方向性を与えたことは特筆に値する。しかし、実用的成果が比較的容易に期待できる通常船型の研究とは対照的に、新形式船の研究の位置づけと必要性が理解されにくい事情も底流にあるため、その研究の発展が阻害された。また、高速船に対する推進性能部の研究意欲と研究実態との落差が大きいこともしばしば指摘され、これも組織的な研究として定着しなかった一因といえる。結果的には、過去の研究実施・展開の手法や発想が余りにも正攻法に過ぎたために研究計画が日の目を見ることなしに今日に至っている面も多く、これも研究企画上の留意点と思われる。このような状況にも鑑み、現在推進性能部では、TSLやWIGの研究を契機としその研究遂行を通じて基本的な研究のスタンスの変更と研究内容の発展が指向されている。それは狭義の船型開発に対応する推進性能 (ship propulsion) を中心とする従来の研究の枠組みから脱却し、さらに広い視野に立って新しい総合的な船舶性能 (ship performance) の向上を追求する研究への発展である。

今後は、社会構造の変化と価値観の多様化とともに造船業および造船関係の開発・研究体制も変質していくであろう。海上輸送システムも従来のコスト中心からサービスによる評価に移行しよう。海上輸送を担う海運業も従来の分野や枠組みにとらわれず、陸・空と一体化したトータル輸送システムを模索している。その構成要素である船も専用船化に見られる『船種の多様化』から『船の形式・概念の多様化』に向かっている。このような流れの中において高速船・新形式船の研究が今後とも活発に展開されよう。船研としては狭義の船型開発にとどまらず海上輸送システムにおける高速船の開発、あるいは船型設計

およびその手法・概念の整備の研究に取り組むべきである。推進性能部としても所内各部と共同でこれに対処するとともに、大型試験施設としての水槽およびそれを活用した試験法を整備し CFD を中核とする理論計算ツールを発展させ、船型開発とその基礎となる流体力学的研究ポテンシャルを充実させることにより新しいニーズに対応すべきである。船研あるいは推進性能部の真の力量を問われるのはこれからである。

参考文献

- 1) 日本船主協会：日本商船船腹統計、1989年
- 2) Lloyd's Register：Statistical Tables, 1989年
- 3) 田中拓：特殊船型研究の将来、日本造船学会誌、第674号、1985年8月、pp. 2-10
- 4) Ellsworth, W. M. & Schuler, J. L.: US Navy Advanced Vehicle, Programmes, Hovering Craft & Hydrofoil, Vol.17, No.7, 1978, pp. 4-24
- 5) 赤木新介：交通機関論、コロナ社、1971年、pp. 67-102
- 6) 日本造船学会推進性能研究委員会：高速艇研究特別委員会シンポジウム「高速艇と性能」、1989年6月
- 7) 日本造船学会運動性能研究委員会：第7回シンポジウム「高速船型の耐航性推定法」、1990年12月
- 8) 関西造船協会：高速艇フォーラム、1988年
- 9) The Chinese Society of Naval Architecture and Marine Engineering：International High-Performance Vehicle Conference, Nov. 1988
- 10) Saunders, H. E.：Hydrodynamics in Ship Design, SNAME, 1957

- 11) 小松正彦、山口眞裕：高速艇の推進性能、「高速艇と性能」シンポジウム、日本造船学会、1989年6月、pp.75-118
- 12) 武隈克義・馬場栄一：高速艇の流体力学的諸性能に関する研究、三菱重工技報、Vol.18, No.3, 1981年
- 13) 田中拓：米国における新形式船舶の研究、日本造船学会誌、第567号、1976年9月
- 14) 田中拓：新型式高速船舶について（その1.半潜水船）、船舶技術研究所創立10周年記念超高速船講演会、1973年
- 15) 村尾麟一：新型式高速船舶について（その2.エアクッション船）、船舶技術研究所創立10周年記念超高速船講演会、1973年
- 16) 田中拓：新しい高速艇の研究、船研発表会第50回、1987年12月、pp.17-20
- 17) 田中拓：高速艇の研究と開発の方法、「高速艇と性能」シンポジウム、日本造船学会、1989年6月
- 18) 宮田秀明：シンセシスによる船舶開発、日本造船学会誌、第729号、1990年3月、pp.42-48
- 19) 佐々木博通：新形式超高速船(テクノスーパーライナ'93)の研究開発について、「高速艇と性能」シンポジウム、日本造船学会、1989年6月、PP.293-294
- 20) McCarthy J.H.: Japanese Advanced Technology for Novel Ship Propulsion Concepts, ONRFE SCI INFO BUL 15(2), 1990, PP13-22
- 21) Gore J.L. : SWATH Ships, Naval Engineering Journal, Vol.97, No.2 Feb.1985, pp.83-112
- 22) Savitsky, D. : Planing Craft, Naval Engineering Journal, Vol.97, No.2 Feb. 1985, pp.113-141
- 23) Butler, E. : The Surface Effect Ship, Naval Engineering Journal, Vol.97, No.2 Feb. 1985, pp.200-258
- 24) Robert, C. : Hydorofoils, Naval Engineering Journal, Vol.97, No.2 Feb.1985, pp.142-199
- 25) High-Speed Marine Vehicle Committee : Proceedings of 19th ITTC, Nov. 1990
- 26) 日本造船研究協会：高度自動運航システムの研究開発総合報告書、1989年3月
- 27) 国武吉邦、稲葉稔、湯本宏：高速旅客船の開発と実用化、Techno-Ocean '90 International Symposium, Nov.1990, pp.34-39
- 28) Yagi, H. Shibahara, S. : State of Art of SWATH in Japan, 4th Pacific Congress on Marine Science and Technology, Jul. 1990, pp.228-234
- 29) 中井喜博、玉井浩正：半没水型双胴船の抵抗推進性能について、関西造船協会誌、第185号、1982年6月、pp.9-20
- 30) 安達武二、荒木俊彦、菅利彦：半没水双胴船の基本設計について、関西造船協会誌、第185号、1982年6月、pp.1-7
- 31) 松島正和、中村博、国武吉邦：半没水双胴船の波浪中運動性能について、西部造船会報、第63号、1982年
- 32) 大内一之、檜ヶ谷正道、国武吉邦、相馬久：次世代クルーズ客船-SWATH型クルーズ客船の概念設計-、船の科学、第42巻、第3号、1989年3月、PP.34-42
- 33) 大内一之：日本の海運業が進むべき方向、日本造船学会誌、第700号、1987年10月、pp.43-50
- 34) 田中拓：扁平な没水体の浅深度抵抗について、日本造船学会論文集、第136号、1974年11月、pp.1-5
- 35) 田中拓、高橋桂一、石坂純、竹子春弥、日夏宗彦：半潜水船の自航性能の研究、船研発表会第38回、1981年12月、pp.9-12
- 36) 田中拓、高橋桂一、石坂純、竹子春弥、日夏宗彦：流場解析による細長没水体性能の評価、

