から引継いでいるコロ引き搬送システムに取って代わる活期的な革命といえよう。

現在のところ、この新しい技術は人口に膾炙するには至っておらず、実用化され始めてからまだ日も浅い。今後とも経験を積んでシステムの用途にその活路を見出していくものと思われる。

参考文献

1) FRANK, J : Plant Operating Management, (1969-

4), pp. 35~43.

2) 鴨井: 日本機械学会誌, 69-570 (1966), pp. 809~816.

3) 鴨井: 日本機械学会誌, 77-670(1974), pp. 931~938.

4) LEVY, S.B. & COOGAN, C.H.: Trans. ASME, Ser. F, 90-1 (1968), pp. 184~190.

5) COCKERELL, C.S.: 日本特許公報, 昭 39-5652.

6) 鴨井: 日本航空宇宙学会第 6 回年会講演会論文集 (1975-4), pp. 189~192.

7) CROIX-MARIE, F.M.J.: Entropie, 47 (1972-9/10), pp. 13~19.

高速海上輸送機関と ACV の展望*

村 尾 麟 一**

1. 海上交通機関の特徴と高性能化

現在海上交通機関の主役を演じているいわゆる排水型船は5千年以上の歴史をもつ最も古い交通機関である。その間帆船から動力船へと推進法には大きな発展があったが、水の浮力を利用するという基本原理には全く変化はなく、今後も他の方式によって全面的にとって代えられる事態はおこりそうにない。

第1図は各種の交通機関の全備重量 (W t) と最高速力 (V kt) を位置づけたものである。交通機関は排水型船舶と陸上機関、航空機の3グループに分かれて

おり、全備重量の増大とともに速度がやや増大する傾向がみられる。これはほぼ $V/W^{1/6}$ 一定の線に沿っており、船舶と陸上機関、航空機とそれぞれ10倍の違いがある。速度係数 $V/W^{1/6}$ は高速化の度合を示すパラメータであって船舶ではフルード数 ($F_n = V/\sqrt{gL}$: 無次元) に、航空機では (速度動圧/翼面荷重) $^{0.5} = 1/\sqrt{CL}$ に関連して表現されている。[ただし $CL = W/(\rho/2)V^2S$: 揚力係数]。輸送力をあらわすパラメータは輸送運動量 WV 一定の線で示されているが、ジャンボジェット、新幹線、1万t船舶がほぼ同一線上にある。所要動力の指標は $V^3W^{2/3}$ 一定の線であらわ

第1図 交通機関の特性

* 昭和50年10月6日原稿受理 High-speed Marine Craft and ACV

** 船舶技術研究所 Rinichi MURAO

されている。すなわち $DV = C_D(\rho/2)V^3S$ と対応している。船舶では $V^3W^{2/3}/P$ をアドミラルティ係数と称する。〔ただし D : 抵抗, C_D : 抵抗係数, S : 基準面積, P : 所要動力〕。

第1図から輸送機関としての船舶の特徴を要約すると、

1. 輸送力（輸送運動量）の絶対値が大きい。
2. 省エネルギー輸送手段である。輸送運動量一定で所要動力を減少させるためには大型化が有効である。
3. 低速である。

以上から 1, 2 の利点を生かした用途に対しては船舶が依然として最も適していることは明らかであろう。

船舶は低速であるとはいえ実際には第2図にみられるような高速化の道をたどっている¹⁾。近年における顕著な例はコンテナ船であって、在来船種の高速化の経過に比べて特異な立上りがみられる。この理由はコンテナ化のために港湾における荷役期間を在来貨物船の数日～1週間の単位から半日～1日に短縮することが可能となり、高速化のメリットが顕在化したためである。

排水型船の造波抵抗係数はフルード数の関数であるが、第3図のように $F_n = 0.5$ 付近に最高値があって、超高速コンテナ船はこの山が急勾配になる点にさしかかっている。フルード数を一定に保って高速化をはかることは船長 L の増大を意味する。この結果高速船の所要動力は2重の増大要因をもつことになり、たとえばコンテナ 2,000 個積みは 27 kt 8 万 PS, 3,000 個積みは 35 kt 25 万 PS と加速度的になる。そのため

第2図 海上輸送機関の高速化の推移

第3図 排水型船の造波抵抗

27 kt では 2 軸推進が、35 kt では 4 軸となりこれ以上では推進器の船尾スペースの制約のため推進効率の低下が避けられない。これは在来船型式による高速化の限界を意味するものとみられよう。過去に高速化の先鞭をつけた大西洋航路の高速船、原子力空母などが最高速力 35 kt までで頭打ちになっている経過がこれを示唆しているといえよう。

2. 新形式水上航行船

船舶のフルード数増大に伴う造波抵抗の増加を押さえる方法には第4図のような各種の提案がある。このうち排水型船舶のまま細長化をはかることは、抵抗発散をおくらせるねらいをもつものであるが、双胴船にすると船長を伸ばさずに細長化ができる。半潜水船は排水型船の一種であるが没水部分の浅いので造波抵抗の山を消滅するというよりむしろ抵抗発散を細長船よりさらにおくらせる効果をねらったものとみることができよう。

一方滑走船は造波抵抗の山をのりこえた先に解決を見出そうとするものである。

さらに積極的に船体を浮上させる方法にエア・クッション船、水中翼船、地面効果翼機がある。エア・クッション船は滑走船同様造波抵抗の山をのりこえて滑走し、同時にエア・クッションによって摩擦抵抗の低減をはかる。

水中翼船はいうまでもなく水中翼によって船体を水面から引離す。水面貫通型水中翼船は速力とともに浮

第4図 高速水上航行の手段

第5図 浮上型高速船の速度比と有効抗揚比

第6図 浮上型高速船の耐波性能

上高が増加するので翼面積が低減し、抵抗を速力に無関係に自動的に一定に保つ発想である。第5図はこれら浮上型高速船の有効抗揚比と速力範囲の関係を示した例である²⁾。高速船の性能は静水上の最高速だけで評価されるわけではなく、風や波浪中の耐航性は重要な因子である。耐航性は船長、速力と波の高さ、長さ、方向および風との複雑な相関に依存しているので一義的な表現は困難であるが、NPLのSilverliefは耐波性の一表示法として迎え波に対する船の大きさと速力、波高の関係を無次元化した第6図を提案している²⁾。全没型水中翼船は優れた特性をもっている。

地面効果翼は空中翼の地面効果の利点に着目したもので、航空機より優れた揚抗比を実現しようとするものである。ラム翼は本質的に水面の影響をうけ易いので、地上7~15mを飛行する大型WIG (Wing in Ground Effect Machine) の構想³⁾がある。

以上の構想の中には技術的に未開発の要素もあり、それぞれの型式の利点・欠点を一元的に評価することは困難である。

米海軍ではこれらを総括して AHPS (Advanced

High Performance Ship) と称し、それぞれの方式の比較評価を目的とした開発が近年盛んである。これら軍用を目的とした開発技術は当然民間用に転用される可能性があり、既に実用段階に到達した全没型水中翼船もその一例である。

以下既に15年の開発歴をもつに至ったエア・クッション船に限定して、その現状と将来の可能性について述べる。

3. エア・クッション船の種類と現状

エア・クッション船の特徴は船体と水面の間に大気圧より高い圧力を保持することによって自重を支えている点にある。このエア・クッション効果を利用した水上交通機関を支持方式と推進方式によって分類すると第7図がえられる。

側壁型は両側を双胴船型にして前後のシールだけにフレキシブル・スカートを用いるもので、全周スカート型に比べてスカート周長が短いためにクッション用空気の所要動力が1/3程度に減少し、ファン用動力もその程度になる。推進方式として空中プロペラは直径が大きくなり騒音にも難点がある。水中プロペラは低速で効率はいいが高速ではキャビテーションによる限界があり、またストラット、シャフトの付加抵抗が増大する。水ジェットは高速に適しており原理的に大動力吸収が可能であるが未だ実績が少なく、また異物吸込みなどの対策も必要であろう。

代表的な船用ACVの主要目を第1表に示す。1974年現在、エア・クッション船(10人乗以上に限定)を建造している国はイギリス(6)、ソ連(5)、アメリカ(4)、日本(2)、フランス(2)、カナダ(2)、オランダ(1)〔括弧内は機種数〕である。

英国は現在世界最大型のSR・N4、5隻によるカー・フェリー・サービスを英仏海峡で実施中である。SR・N6は世界最初の量産艇として計400万人以上の乗客輸送の実績をあげている。HM・2MK3は最も普及している側壁型ACVであって74年8月までに36隻建造され、世界各地で運航されている。ガス・タービンの代わりにジーゼル機関によって価格の低減がはかられている。VT1は全周スカート+水中推進のハイブリッド型の可能性評価を目的としたものであるが、運航実績によってその利点を実証するには至らなかったように見える。

アメリカでは60年にU. S. Naval Air Development Centerで生まれたCAB (Captured Air Bubble)の構想から航洋エア・クッション船へ発展する可能性が検討されていたが、1971年からSEPO (Surface Effect Ship Program Office)によって100t側壁型試作船

第7図 水上航行 ACV の形式

第1表 代表的な舶用 ACV の主要目

国名	型 式	製 造 者	要 目					備 考
			全 長 (m)	全備重量 (t)	ペイロード	最高速 (kt)	エ ン ジ ン	
英	SR-N6	BRITISH HOVERCRAFT	14.8	10	38席	52	(GT) R.R. Gnome 900 PS×1	側壁型
	SR-N4	"	39.7	193	254席+30車	70	(GT) R.R. Proteus 3,400 PS×4	
	BH-7	"	23.9	51	14 t	60	(GT) R.R. Proteus 3,400 PS×1	
	VT 1	VOSPER	29.1	87	146席+10車	48	(GT) Lycoming TF20 2,000 PS×2	
	CC-7	CUSIONCRAFT	7.5	3	8 席	35	(GT) P&W ST 6 K-70 510 PS×1	
	HM-2	HOVER MARINE	15.5	19	62席	35	(D) VT 8-370 M 320 PS×2 Cummins V 6-215 M 185 PS×1	
米	SES-100 A	AEROJET GENERAL	24.9	112	10 t	80	(GT) Lycoming TF 35 3,500 PS×4	壁型側
	SES-100 B	BELL	23.7	107	10 t	80	(GT) P&W FT 12 A-6 4,500 PS×3 P&W ST 6 J-70 620 PS×3	側壁型
日	MV-PP 5	三井造船	16.0	14	50席	55	(GT) IHI IM 100 1,050 PS×1	
	MV-PP 15	"	24.7	50	155席	65	(GT) Lycoming TF 25 1,950 PS×2	
仏	N 300	SEDAM	24.0	27	90席	62	(GT) Turbomeca Turmo IIN 3 1,500PS×2	
	N 500	"	54.0	229	200席+60車	76	(GT) Lycoming TF 40 3,200 PS×2	
カナダ	7380	BELL	19.8	41	25 t	54	(GT) P&W ST 6 T-75 1,300 PS×2	荷 物 運搬用
ソ連	SKATE	KRASNOYE SORMOVO	20.6	27	50席	50	(GT) TVD 10 780 PS×3	
	SORMOVICH	"	29.2	37	42席	75	(GT) Ivchenko AI-20 K 2,300 PS×1	

2隻の建造運航が実施された。1974年に試験を終了し要求性能を達成したことが報告されたが、2,000t 試作船の建造の最終決定が行われる前に Advanced High Performance Ship 開発計画の一環としての位置づけと総合評価が行われる模様である。

フランスでは SEDAM (Societe D'etudes et de Developpement des Aeroglisateurs Marins, Terrestres

et Amphibies) が開発に当たっており 70 年からコートダジュールで N 300, 2 隻による運航を始めたが、その後車 5 台の小型カー・フェリー仕様のものがボルドー空港で使用されている。N 300 の発展型として SR-N 4 をやや上廻るカー・フェリー N 500 がフランス政府の援助で建造されており、76年に完成が見込まれている。

カナダでは1971年に貨物および旅客輸送用として水陸両用の Model 7380 が試作され寒冷地用として運航実績が重ねられている。

ソ連は広大な河川交通機関として ACV に独特な用途開発を作っており、クラスノエ・ソルモ造船所による空気潤滑型、側壁型、全周スカート型各種の建造運航実績がある。最近の興味ある新技術は水上を 150 ~ 200 kt で航行する WIG Extranoplan の試験であり、飛行艇に似ているが翼長の 1/2 以下の高度で航行することによって誘導抵抗の減少、したがって航続距離の拡大をはかる構想である⁴⁾。この構想は西ドイツ Lippisch Research Cooperation においても小型機で試験されているが、ソ連で実用規模の試作が行われたことは注目すべきことであろう。

わが国においては三井造船によって64年以来全周スカート型 ACV が建造され、独自の開発によって RH-4 (10 人乗)、MVPP-5 (55 人乗)、MVPP-15 (155 人乗) と大型化されてきた。現在までに MVPP-5 は 13 隻、MVPP-15 は 3 隻建造され沖縄海洋博を含めて 7 航路に 13 隻が就航している。その他近く佐世保重工によって前記側壁型 HM2 の導入が行われる模様である。

4. エア・クッション船の大型化と側壁型 ACV

海上を航行する乗物は一般に大型化によって明らかに耐航性を上昇させることができるが、エア・クッション船も例外ではない。

従来水陸両用 ACV に使われているプロペラは低速適合性、騒音、スプレイによる侵食を考慮して比較的大直径低回転である。そのためこれ以上の大型化に当たっては吸収動力からみてプロペラは限界に近く、水中推進の採用が不可欠であろう。水中推進をとり入れるためには全周スカート型より側壁型の方が適当である。

またエア・クッション船は水中翼船や半潜水船と異なりエア・クッション底面全体で自重を支持しているので、大型化に際して構造強度的制約が少ないであろう。

側壁型は本来浮揚動力が軽減される代わり側壁の抵抗が増加するので同重量の他の形式に比べて第 8 図のような適性がある。

一方全周スカート型は抵抗が少ないためにかえって横滑りもおこりやすい。横風をうける場合や、旋回中の横滑りは操船上も好ましくないで、この点でも側壁型の方が有利であろう。その反面側壁型は水陸両用性を失うこととなる。

ACV の機体形状、ホバー高さを相対的に増大させ

第 8 図 浮上型高速船の速度適合性

第 9 図 側壁型 ACV の抵抗要因

る場合に、フルード数を一定に保つことは、同時に前進動力の動圧とクッション圧力の比を一定に保つことを意味する。すなわちレイノルズ数の補正の必要を除けば、水上を航行する ACV の性能について主要な関係が相似に保たれる。

相似条件下でクッション全長を l_c としたとき、全備重量 $W \propto l_c^3$ 、クッション圧力 $p_c = W/s_c \propto l_c$ 、クッション流量 $Q = v_{sj} s_j = s_j \sqrt{2/\rho} p_c \propto l_c^{2.5}$ 、速力 $V = F_n \sqrt{g l_c} \propto l_c^{0.5}$ となる。

ACV の抵抗 D_{tot} を第 9 図のように $D_{tot} = D_a + D_m + D_w + D_h$ に分離し、それぞれの抵抗要因について考察すると $D_{tot} \propto l_c^3$ となることが知られる。

浮上用動力 P_L に関しても $P_L = p_{IF} Q \propto p_c Q \propto l_c^3$ である。したがって F_n 一定のとき有効抗揚比 P/WV は一定である。($\because P/WV = P_L/WV + DV/WV \propto l_c^0$)、ただし p_{IF} は揚力ファン総圧。

第 10 図は同一寸法・重量の仮想的な全周スカート型と側壁型 ACV の動力特性 (第 8 図) に基づいて有効抗揚比と F_n の関係を導いた例であるが、これによって大型化の効果を定性的に把握することができる (第 11 図)。すなわち側壁型で大型化をすれば所要の速度範囲で抗揚比を低減させることができる。

大型化によればホバー高さも比例的に増大するので、耐航性の向上に寄与し、同一海面ならば乗心地を

第10図 全周スカート型と側壁型 ACV の特性比較

第11図 側壁型 ACV の大型化による動力特性の改善

向上させるであろう。

5. 大型エア・クッション船の技術的可能性と問題点

前節においては問題の定性的把握のために相似的な大型化に伴ない速力が増加する場合を想定したが、実際には航行海域、航続距離、航海速力が経済性の観点から考慮されるので、大型化にもかかわらず要求最高速力がある限度たとえば 70~80 kt に抑えられる場合があるであろう。その場合には F_n が低下するので、

$P/(WV)$ のフルード数依存性が主要な問題となる。そのためには抵抗、揚力の要因分析が重要であって、特に側壁、フレキシブル・スカートの水没部分に働く力を解明する必要がある。側壁は水力的抵抗の立場からは明らかに薄く浅い方が望ましいが、クッション空気のシール、推進装置の内蔵、構造強度上からはある程度の深さと厚さが必要である。側壁が浅い場合にはスカートの水面接触が増加し、そのために加えて抵抗が増加する可能性がある。水中推進法に水ジェットが用いられる場合には水吸込口の内部効率と外部抵抗の最適化は重要な課題となる。一般に水吸込口形状の決定は局所的な問題に止まらず、側壁全体の設計思想に反映するので、複雑な相関を評価する必要がある。シール効果と抵抗減少、耐久性を両立させるためのフレキシブル・スカートの最適形状に関しても同様の問題がある。

通常造波抵抗は $F_n=0.6$ 付近に最大値をもっている。最高速力のフルード数があまり減少すると、ハンパ抵抗 ($F_n=0.6$ 付近の抵抗のコブ) を乗越える推力余裕を付与し難くなる事態が起こりうる。そのような場合にはハンパ抵抗の精密な評価が特に問題となる。

揚力に関してはエア・クッションによる揚力のほかに側壁スカートの浮力、動的揚力などが働く。ファンの所要流量したがって所要動力を推定するためにはスカート、側壁のシール性能に及ぼすフルード数、トリム、側壁形状の影響のほかに、波浪中航行時の遭遇波のポンピングによるクッション空気の損失、あるいは各種制御用バイパス空気の必要量を知る必要がある。

アメリカで建造された側壁型エア・クッション試験船2隻 (SES 100 A, 100 B: 第1表) は推進、揚力、シール方式に関して、なるべく多くの可能性を検討す

第12図 SES 100 A 概要

第 13 図 SES 100 A の推進性能

ることを目的として試作されたため、かなり特殊な方式が含まれているが、SES 100 A の構造を第 12 図に示す³⁾。側壁は薄形で大きい dead rise 角をもっている。そのため水ジェット推進の吸込口としてストラットにとりつけられたポッドが側壁外に突出しており、抵抗分離推定によれば全抵抗のほぼ 50% を占めるに至っている⁴⁾ (第 13 図)。

前後のシールの構想には CAB に始まるハイドロスキュー的なものを評価するねらいがうかがわれ、英国 BHC 型のスカートをもつ SES 100 B に比べて特徴がある。

SES 100 A はトリム、ロールの調整のために引込式バウ・スタビライザーを、高速旋回のために引込式邪摩板を装備している。低速操縦は水ジェットの変向を利用している。(SES 100 B では可変ピッチ・プロペラと水中舵を用いる。) 船体上甲板のルーバーを上下加速度に応じて開閉し、クッション空気をバイパスさせヒーピングの減衰をはかる機構は興味ある試みであって、これによって上下加速度を 1/3 に減衰可能であったと報告されている。最適トリムのときの抵抗実測値は推定値とよく一致している⁴⁾ (第 12 図)。

アメリカにおいてはこれらの試験結果に基づいて、2,000 t 航洋 SES 開発のための試設計が検討されており、それらの予想要目を SR・NS 4 と比較したものを第 2 表に示す⁵⁾。

これらの開発に当たって、寸法、耐圧、速度が大巾に増大するフレキシブル・スカートの構造強度および

第 2 表 2,000 t SES の予想要目

	2,000 t SES	SR・NS 4
全 備 重 量	2,000 t	193 t
全 長	81 m	39.7 m
全 幅	35 m	24.0 m
ス カ ー ト 高 さ	5.9 m	3.4 m
クッション圧力	1,340 kg/m ²	317 kg/m ²

耐久性の向上、現在の造船技術水準で可能な構造重量を 2/3 に減少するための建造技術などにも重要な技術的挑戦が要求されている。

6. 結 び

第 1 図にみられるように ACV、水中翼船など非排水型的高速船は排水型船舶と全く別のカテゴリーを形成しており、むしろ航空機と船舶の中間の陸上機関のそれに属している。このことから ACV は交通機関としての一般船舶用の延長上にとらえられるのではなく、陸上交通機関を補足して新しい輸送システムの一環を形成すべき役割をもっていると考えらるべきではあるまいか。

わが国は世界中で最も交通過密な国であり、陸上交通の今後これ以上の増加は交通容量と環境保全の面から制約をうけるものと予想される。わが国は面積当たりの海岸線が極めて大きく、主要都市が海岸に近い独特の環境をもつことは従来から指摘されていることであるが、海上輸送新技術の可能性と関連して改めて注目されていいのではないと思われる。

ACV の技術の進歩に航空技術の導入が不可欠であったことはいうまでもないが、今後はさらにその必要性が増大するばかりでなく、従来の船舶、航空技術を超えた新しい分野の開拓が要望される。アメリカを始め諸外国においては航空宇宙技術者が主流を占めているようにみえる ACV の技術開発に、わが国の航空技術関係者が一層の関心をよせられることを望んでやまない。

参 考 文 献

- 1) 田中拓：新形式高速船舶について (その 1 半潜水船)，船舶技研，超高速船講演会講演概要，Oct. 1973。
- 2) SILVERLIEF A.: A Comparison of Some Feature of High Speed Marine Craft, Q. Trans. Roy. Inst. Nav. Arch. Vol. 112, No. 1, Jan. 1970。
- 3) Jane's Surface Skimmers 1974/75。
- 4) WESTCOT G.D.: A Review of the U.S. Navy's SES-100 A Program, AIAA Paper No. 74-316, AIAA/SNAME Advanced Marine Vehicles Conference, San Diego, Calif. Feb. 1974。
- 5) Davis M.C. Capt.: Recent Progress in Surface Effect Ship Development, AIAA Paper No 74-312, AIAA/SNAME Advanced Marine Vehicles Conference, San Diego, Calif. Feb. 1974。