

新形式超高速貨物船 「テクノスーパーライナー」



技術解説

山中直樹*

Super-high speed Ocean going cargo liner 「Techno-Super Liner」

Key Words : Rough Sea, High Speed, Cargo liner, Seaworthiness, High operation rate

1. テクノスーパーライナーを生み出す背景

1.1 高速物流システムの必要性

人類社会は多様化する。経済活動もまた常に多様化すると共に、異質化する。経済活動は物流を伴い、物流は輸送機関を必要とする。古来、輸送機関は人類の活動と共に多様化し、淘汰され、発達して来た。輸送機関に加えられる発達への圧力は概して、より速く、より大量に、より遠くへ、人や物を輸送することであり、更に、より正確に、より安全にという要求がこれに変わる。

時代の要請に適合した輸送機関が使用に供されるまでには、技術開発期間を要するため、物流の将来的展開を予測して技術開発を押し進めることができれば、その経済活動に及ぼす効果は著しく増大する。

1.2 輸送機関の現状

現在、物流に使用されている輸送機関の特徴を示すと次のようになる。

- 1) 自動車輸送は、小単位の貨物をドア・ツー・ドアで一環輸送できるが、排気ガス公害や運転手不足が顕在化している。

- 2) 鉄道輸送は、比較的まとまった貨物を中長距離輸送するのに適した、省エネルギー、低公害輸送機関であるが、稼働時間帯に制限がある。

- 3) 海上輸送は、長距離、大量輸送に適し、輸送エネルギー効率に優れ、公害も少ないが、スピードにおいて他の輸送機関に劣る。

- 4) 航空輸送は、比較的小単位の貨物を高速、中長距離輸送するのに適し、近年急速な成長を遂げているが、空港が混雑しつつあり、輸送費が高い、等の特徴を持つ。

1.3 高速船の歴史

輸送機関のなかでも、海上輸送は古くから使用され、水の浮力を利用することにより、推進装置と船体構造材料の発達と相まって、時代と共に、大型化および高速化が、図られてきた。最近の大型化の面では、タンカーは約28万tの原油を15ノット(kt)(1kt=約1.85km/h)位で輸送できる。また、高速化の面では、高速といわれるコンテナ船で船速25kt程度で約3,500個のコンテナを輸送できる。また、経済活動の発展は、人の移動時間も短縮することを促し、近年、もっぱら旅客を輸送する小型船で高速化が著しい。

1.4 高速船の現状

大型高速コンテナ船を上回って、更に高速で航行できる船に、小型高速艇があり、50kt近い船速で船走できるものがある。しかしながら、いずれも貨物積載量が少なく、300人から400人程度の旅客を運ぶに留まる。だが、小型高速



* Naoki YAMANAKA
1942年4月24日生
大阪大学大学院工学研究科造船学専攻
現在、川崎重工業株式会社、船舶事業本部 技術室、TSL 開発部、部長、修士、造船
TEL 078-682-5144

艇は高速を達成するために、船型コンセプトが著しい多様化を遂げており、注目に値する。小型高速艇のコンセプトを形態別に見ると、船体重量を支持する方法には、大別して3形態あることが判る。まず、水の浮力により支持される排気量型、翼揚力を利用する水中翼型、更に空気圧力により支持される空気圧力型、がそれである。それぞれは更に分岐し、図-1のように分類できる。









排水量型	   
水中翼船	 
空気圧力型	 

図1 小型高速艇の分類

1.5 従来の高速船の問題点

液相と気相の境界面を航走する従来の排気量型の船を高速化するには、次のような問題がある。まず、境界面を形成する液体の造波による抵抗や、液体による粘性抵抗の増加が著しくなり、所要推進エネルギーが激的に増加する。また、太陽エネルギーを受けて二相の境界面に波浪が発生するので、波浪中を高速航走すると、船体動揺や、衝撃が激しくなる。水中翼型は、翼の揚力で船体を水面上に持ち上げて、波浪の影響を避け高速航走を可能にしているが、大型化するには揚力の増加に伴って、抗力が比例して増加するため、所要推進エネルギーの増加が著しい。空気圧力型は、空気圧を保持して船体を持ち上げ、水との接触をできるだけ少なくして、抵抗の増加を抑えることにより、高速航走を可能にしているが、波浪による影響を受け易い、等の問題点がある。

1.6 テクノスーパーライナーの登場

輸送機関は、陸、海、空の各領域でそれぞれの特性を生かして発達して来ている。将来の国内並びに近隣諸国における、経済活動の発展に

呼応した物流システムの展開を見通してみると、輸送手段として、航空機やトラックと高速コンテナ船の中間位の輸送単位を、陸上輸送機関並みの速力で運べる、海上輸送機関に対するニーズの出現が見込まれる。すでに見たように、現在就航中の小型高速船よりはるかに多量の貨物を、陸上輸送機関並みの速力を常時維持して輸送できる海上輸送機関を実現させるには、多くの技術課題が予想される。これらを克服した暁に実現される新海上輸送機関をテクノスーパーライナーと称するのである。

1.7 テクノスーパーライナーの開発目標

テクノスーパーライナーの開発は、平成元年から開始され、研究開発目標が次のように設定された。

- ・速力 50 kt
- ・貨物積載重量 約1,000 t
- ・航続距離 500 n.m. (930km) 以上
- ・波浪階級6程度でも航行可能な耐航性能

これらの開発目標が如何に技術的ブレイクスルーを要するかは、図-2からも理解されよう。

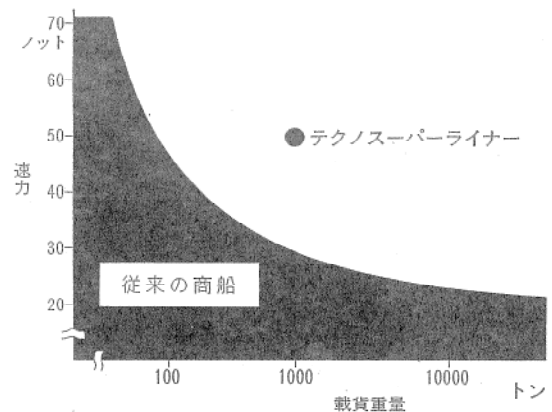


図2 テクノスーパーライナーの開発目標性能
従来の商船に比べて載貨重量と速力の組合せが飛び抜けている。

2. テクノスーパーライナーの航走原理と構造

液相と気相の境界面を走行する船舶の重量を支持する方法には、浮体に作用する液体の浮力、船体と液面間に閉じ込めた気体に作用する空気圧力、液体による翼に作用する揚力の3方式があり、それぞれに長所、短所があることは前述した。テクノスーパーライナーは、図-3に示

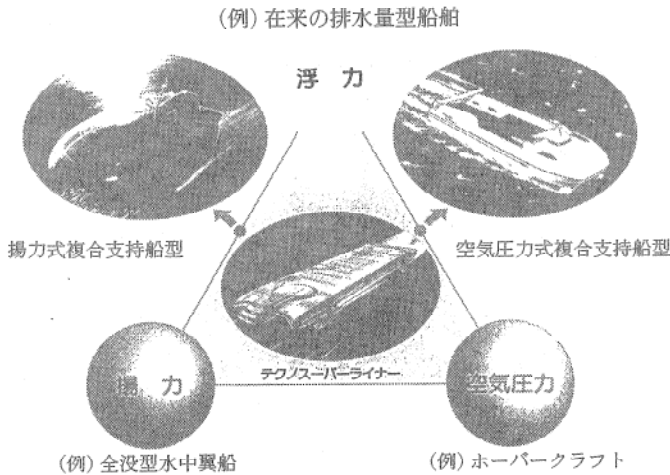


図3 複合支持方式の組合せ

すように、これらの支持方式を組み合わせることにより、それぞれの長所を引き出し、短所を補って、開発目標を達成しようとするものである。

2.1 空気圧力式複合支持船型 (TSL-A)

2.1.1 浮上, 航走原理

空気圧力式複合支持船型は、3支持方式のうち、空気圧力と浮力を組み合わせた船型である。本船型は、船体下部に空気を閉じ込めるため、両舷側の船体を水中に没し、前後にシールと呼ばれるフレキシブルな素材で出来た膜で外部と遮断している。図-4に示すように、船が停止した状態(オフクッション)では全重量は船体の浮力で支持されているが、走行時は、浮上用空気ファンにより、船体下部に閉じ込めた空気の圧力を上げ、船体を持ち上げること(オンクッション)により、剛体である船体と水との接触部分を減少させ、推進器の推力により航走する。

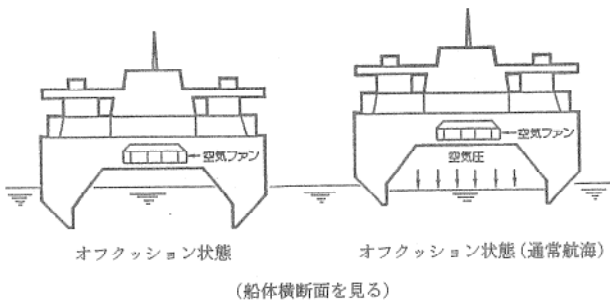


図4 空気圧力式複合支持船型の浮上, 航走原理

2.1.2 空気圧力式複合支持船型の構造

空気圧力式複合支持船型の構成要素を、図-

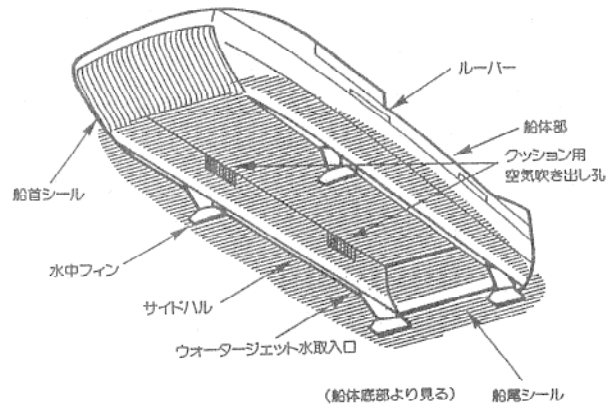


図5 空気圧力式複合支持船型の構成要素

5に示す。船体は、空気圧を保持する空気圧室を形成し、且つ、船体抵抗を減少させるため、門型の双胴としている。船首部にはフルフィンガー方式、および船尾部にはロープ方式のシール装置を有し、外気を遮断し、内部に空気圧を保持する。空気圧室の空気圧を大気圧より高い所定の圧に保つための、ガスタービン駆動の浮上ファン、推進用にガスタービン駆動のウォータージェット推進器を装備する。また、波浪中を航行する時に生ずる船体動揺を制御するため、クッション圧力制御ルーバー及び姿勢制御水中フィンによる船体姿勢制御装置を有する。

2.2 揚力式複合支持船型 (TSL-F)

2.2.1 浮上, 翼走原理

揚力式複合支持船型は、3支持方式のうち、揚力と浮力による支持方式を組み合わせた船型である。本船型は上部船体、全没浮力体である下部船体、全没水中翼とストラットから構成されている。図-6に示すように、本船は停止状態では上部船体が着水し、全重量を下部船体と上部船体の浮力で支持される。本船が走行を始め船速が増加するに伴い、全没水中翼に揚力が発生し、徐々に船体を持ち上げ、浮力による支持が揚力による支持に置き換わって行く。この状態をテイクオフという。更に船速が増加して定常状態に達すると、揚力は全重量の約50%

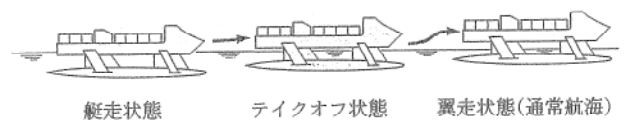


図6 揚力式複合支持船型の浮上, 翼走原理

を、浮力が残り約50%を支持し、上部船体は水面から離れ、空中に保持され、翼走状態になる。翼走状態においては、水面を貫通する部分はストラットだけとなり、上部船体は波浪の頂部より高く支持され、下部船体と全没水中翼は、波浪の谷より更に深く没しているため、波の影響を受けにくい。一方、船体により排除した水線面積の慣性モーメントに係わる自己復原力が殆ど無いので、船体姿勢制御が必須となる。

2.2.2 揚力式複合支持船型の構造

揚力式複合支持船型の構成要素並びに概略形状を図-7に示す。下部船体は、船体中心線上、船首から船尾まで細長円断面形状をした単胴の全没浮力体であり、その浮力は全重量の約50%近くある。全没水中翼は、下部船体の両側に、上部船体の幅一杯まで展張しており、翼の両端は下部船体とサイドストラットで支持される。下部船体にはセンターストラットを設け、サイドストラットと共に上部船体を支持する。上部船体には、貨物搭載スペースのほか、ガスタービン駆動のウォータージェット推進器が装備され、推進に使用される水は下部船体付近から取水し、ストラット内を経てウォータージェット推進器に導かれる。船体姿勢制御システムは、全没水中翼の後縁に装備されたフラップを操作することにより、発生揚力を加減し、船体の姿勢を制御する。

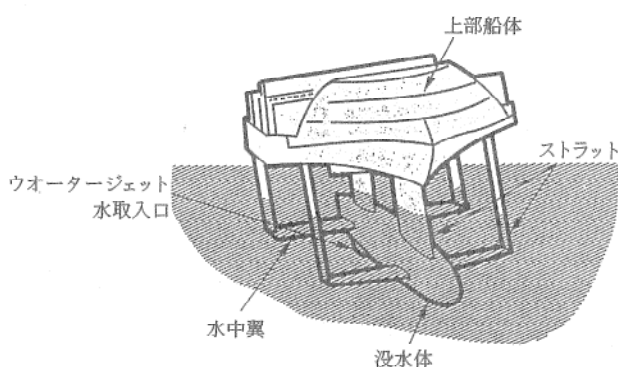


図7 揚力式複合支持船型の構成要素

3. 揚力式複合支持型テクノスーパーライナー(TSL-F)の技術的特徴

さて、ここで2船型のうち揚力式複合支持型テクノスーパーライナー(TSL-F船型)につ

いてその技術的特徴を少し詳しく見ることにする。

3.1 超高速貨物船の要件

まず、超高速貨物船はライナーである。ライナーである限りは、港から港までを予め決められたスケジュール通り、定時性を保って運行されることが前提となる。定時性を保つことにより、テクノスーパーライナーは、初めて超高速ライナーとしての機能を発揮し得る。定時性を保持するには、波浪中を高速で航行する際に船体に働く波浪中船体抵抗増加が殆ど無く、船体動揺が少ない、いわゆる耐航性に優れた船型であることが要求される。日本近海における波の発現頻度を調査すると、年間を通じて就航率98%でTSLを運行するには有義波高6mの波浪に遭遇することが予想される。

3.2 波浪中動揺特性

TSL-F船型は翼走状態において、気相と液相の境界相に接する部分がストラット以外に無いため、波浪外力が他の船型に比べて極めて少ない。図-8は波浪中に船速50kt相当で走行した時に発生する船体動揺の上下加速度を示す。図中、(波高/船長)=0.07はTSL-F船型では有義波高6mに相当し、通常排水量型的高速船に比べて、如何に揺れないかが良く判る。

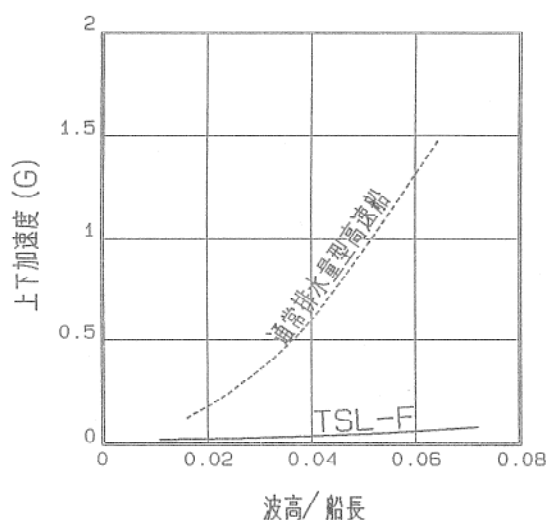


図8 F_n (船速 / $\sqrt{g \cdot \text{船長}}$) = 約0.9で波浪中を航走した時に生ずる船体上下加速度 (r. m. s.)

3.3 波浪中抵抗増加特性

次に、波浪中を高速で航行した時に船体に作用する波浪中船体抵抗増加も、先に述べた様に

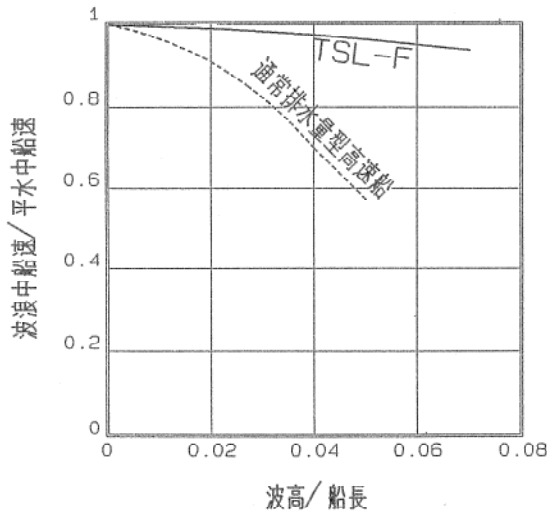


図9 波浪中の船速低下

波浪の影響を浮けにくくした船型であるため、図-9に示す様に、TSL-F船型は有義波高6m即ち、(波高/船長)=0.07の海象を航行しても、平水中に於ける船速から5%程度しか低下しないことが判る。

3.4 操縦性

船舶の操縦性を示す指標に針路安定性と旋回力がある。一連の操縦性能試験からTSL-F船型は優れた操縦性を有していることが明らかとなっており、波浪中や強風下でも、急旋回や狭隘路においても、低速の他船を避けて、高速で走行することが可能である。

3.5 船体構造

水中翼や下部船体は波浪変動外力を受け、上部船体はクレスティング時や着水時に衝撃荷重を受ける。水中翼の揚力で『飛ぶ』輸送機関であるため、船体構造重量は高強度でかつ軽量の構造様式と材料の選択が要求される。軽量化を図るため上部船体はアルミ合金の薄板構造が、水中翼、下部船体及びストラットには高強度ステンレス鋼が使用されている。更に、軽量化を目指して、ステンレス鋼ハニカムとアルミ合金ハニカムが使用されている。

3.6 総合推進特性

TSL-Fの推進システムは小型、軽量、高出力のガスタービン駆動ウォータージェット推進器を採用している。翼走時にウォータージェット推進器は、水面上かなり高い位置に支持されるので、高い吸い込み性能が要求される。また

荒れた海象下でも空気を吸い込まないように、取水口は十分な没水深度を常時維持する必要がある。取水口の形式は取水口圧力損失や外部抵抗などウォータージェット推進器の特性などとのバランスを取った形状にしている。

3.7 最適制御

TSL-Fが波浪中安定した航走を確保し、波浪中船体動揺を軽減し、常に船体姿勢を適正に保つため、船体姿勢制御システムは走行海域の海象や、船速に応じた最適制御を行うことができる。またシステムの構成機器である制御用コンピュータは翼走中の船体姿勢を維持するため、姿勢制御演算を継続的に実行し続ける必要があり、高い信頼性が要求される。従い制御演算装置は二重系自動切替機能を有し、システムの異常に対処できる。図-10に姿勢制御開発用シミュレーターの出力の例を示す。

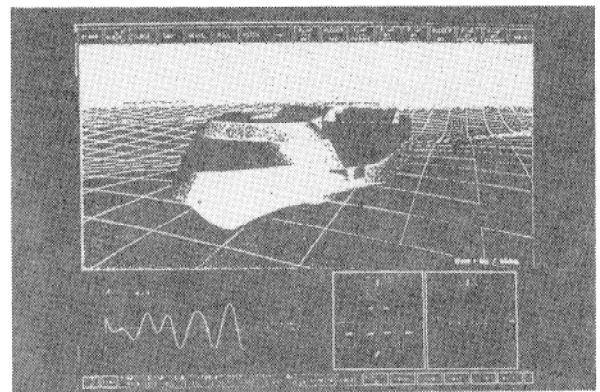


図10 船体姿勢制御システムの開発用に製作した船体運動シミュレーターの出力例

4. 実海域模型船による海上試験

4.1 要素研究の検証

平成4年度で要素研究を一応終了した。要素研究の成果を見る限り、開発当初に設定した性能を有する船型の開発が進んでいることが伺える。

研究室レベルで開発されたテクノスーパーライナーの設計技術が実船に確実に適用できるものであることを検証するため、より実船に近いスケールモデルによる海上試験が当初より計画されていた。

平成5年度に、空気圧力式複合支持船型TSL-A(図-11)は約1/2スケールの実海域

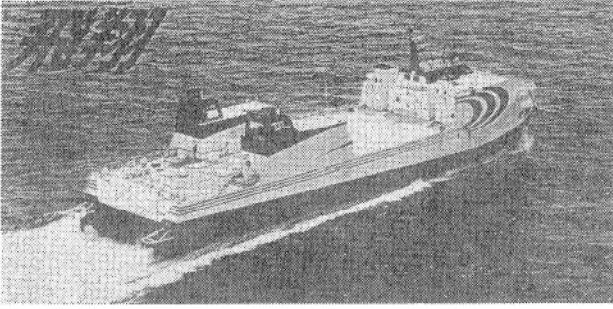


図 11 空気圧力式複合支持船型の実海域模型船「飛翔」

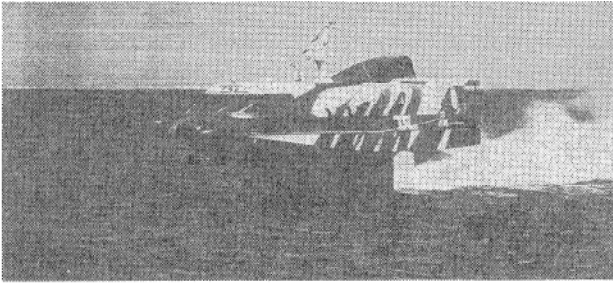


図 12 揚力式複合支持船型の実海域模型船「疾風」

模型船「飛翔」を、揚力式複合支持船型 TSL-F (図-12) は約 1/6 スケールの実海域模型船「疾風」を建造した。平成 6 年度に入り、TSL-A「飛翔」は五島列島沖並びに伊豆半島沖で海上試験を繰り返した。一方 TSL-F「疾風」は大阪湾並びに紀伊水道で海上試験を行った。その結果、両船型共に、当初予定した以上の性能を発揮することが確認された。試験の解析結果はそれぞれ要素技術の成果を検証することとなり、縮尺影響を考慮した TSL 船型の設計技術を確立することができた。

4.2 将来展望

高速貨物船としてのテクノスーパーライナーがその真価を発揮するためには、船だけではな

く、貨物や人の一環輸送システムや港湾の整備、さらには安全航行体制や保守整備体制などトータルシステムを整備して行く必要がある。今後、新高速物流システムが展開される中で TSL が有効に機能する時代が来ることを大いに期待するものである。

参 考 文 献

- 1) N. Yamanaka et al. : A Submerged Hull and Foil Hybrid Super-High Speed Liner. Proceedings of FAST '91 (1991). p.163
- 2) T. Itoko et al. : The Development of an Automatic Control System for a Submerged Hull and Foil Hybrid Super-High Speed Liner. Proceedings of FAST '91 (1991). p.997
- 3) H. Ozawa et al. : A Concept Design Study of "Techno-Superliner". Proceedings of FAST '91(1991). p.199
- 4) C. Wright : Operation and Cost of High-Speed Craft. Marine Technology. vol.27. No.2 (1990). p.104
- 5) 菅井和夫：小型高速船の耐航性、第 2 回耐航性に関するシンポジウム (1989)、日本造船学会、p.229
- 6) 日本造船学会：「高速艇と性能」シンポジウム (1989)
- 7) J. R. Meyer et al. : Hybrid Hydrofoil Technology-An Overview. Proceedings of FAST '91 (1991), p.623

