MRTH コンテナ船による国際コンテナ輸送の超高速化と そのフィージビリティスタディについて

－運賃格差の解消と環境対策のための航空化率の抑制－

正会員 塩 田 浩 平*

Remarkable Speed-up Plan of the International Container Transportations by the MRTH Container Ships and its Feasibility Studies

by Kohei Shiota, Member

Summary

Recently, in the cargo transportation between international, the rate of the change to airlines from conventional container ships rises greatly (over 40% of money base in Asia) in the background of the increase of transit needs between international of the high-tech products such as the electronic parts, semiconductors, office supplies and, etc. In this reason, the transportation costs of the high-value-added commodity groups soar, the fare differences between aircrafts and conventional container ships become large, and the problem of the earth environment has become aggravated. From such circumstances, in order to control the rise of the rate of the change to airlines, the Very High Speed MRTH Full Container Ships applied the MRTH (Minimum Resistance Twin Hull) developed by Dr. Maruo¹⁾, should be adopted to achieve highly speeding up of the container transportations between international. The MRTH Container Ships can provide with an excellent high speed performance that breaks down the limit of the speed performance of conventional container ships and can make the difference at the lead time with aircrafts insignificant by cheap fares. In the present paper, the feasibility studies when the MRTH Container Ships are introduced into the coastal shipping routes, Japan-North West route and North East-Europe route, are described.

1. 結 言

近時は、半導体等電子部品や事務用機器等のハイテク製品の国際間での輸送ニーズの増加を背景として航空化率が著しく上昇し、アジア圏では金額ベースでの航空化率がすでに40%を超え、高付加価値商品群を対象とする輸送コストが高騰して航空機と在来コンテナ船の間の運賃格差が大になり、また、地球規模での環境問題が深刻化している。高付加価値分野に特化された産業構造を備えるわが国では、特に高付加価値商品群の国際輸送コストの低減化に対する要請が強いこと、及び、技術先進国として環境負荷の低減化に向けた積極的な取り組みが求められること等から、航空化率の上昇を抑制するための対策への意欲的な取り組みが望まれる。

航空化率の上昇を抑えるためには、リードタイムの大半を占めるコンテナ船の航海時間を低廉な運賃で大幅に短縮することにより航空機とのリードタイムの差を僅少化して航空輸送に吸収される輸送ニーズを海上輸送に高い比率で取

り込まなければならない。そのためには、従来の単胴排水量型の在来コンテナ船の速度性能の限界を打破する優れた高速性能と定時運航を可能とする優れた航海性能を備えた新しいコンセプトの超高速コンテナ船が求められる。

このような背景から、最小抵抗双胴船(MRTH)¹⁾を適用したMRTHコンテナ船を近海域航路及びわが国と北米西岸を結ぶ太平洋航路に導入した場合のフィージビリティスタディ²⁾について既に提案している。しかし、近海域では交易相手先が多岐に分散されるため、航空輸送に吸収される高付加価値商品群の輸送ニーズをMRTHコンテナ船に集約して高い比率で取り込むのは容易でなく、その運用計画の見直しが必要とされる。本稿では、MRTHコンテナ船による国際コンテナ輸送の超高速化計画とそのフィージビリティについて改めて詳細に検討してみたい。

2. 近海域コンテナ輸送

2.1 近海域航路用 MRTH コンテナ船

2.1.1 計画仕様

航空機からMRTHコンテナ船にシフトされる貨物のペイロード中に占める割合が高くなる程、省エネ効果や二酸化炭

* 関西シニア海事研究会

素の削減効果が高くなり採算性も向上する。従って、計画段階では近年の航空貨物の輸送実績を考慮した適切な運用計画に基づいてペイロードが選択されるべきであろう。アジア圏での航空貨物の取扱量は 2009 年には百年に一度という世界不況の影響で激減したが 2010 年になり増加に転じたものの翌 2011 年の欧州債務危機により再び減少し未だ十分に回復していない。そのため、需要の回復を見込んで世界不況前の輸送実績に基づいた検討が望まれよう。例えば 2006 年度のわが国の国際混載航空貨物の輸出実績³⁾では中国 165,081t、香港 111,071t、台湾 110,555t、韓国 98,940t、タイ 60,049t、シンガポール 51,537t となっており、輸入実績は輸出よりやや低いが当時からハイテク製品の輸入が急増している。

この実績から、例えば最も輸送ニーズの多い中国との航路で MRTH コンテナ船を週往復 3 便で運航する場合、輸入実績を輸出実績と同程度と仮定しても、1 便当りに対応する航空貨物の輸出入ニーズは 1,000t 程度に過ぎず、単一国相手では高付加価値分野の輸送ニーズを十分に確保できないことが懸念される。そこで、近海域を、例えばわが国と中国、台湾等を含む近距離ゾーンと、香港、ベトナム、シンガポール、タイ等を含む遠距離ゾーンに分け、各ゾーンで航空貨物の輸出入ニーズを充分に取り込めるような MRTH コンテナ船の運用計画が検討されるべきであろう。

近距離ゾーンでは、例えばわが国と中国、台湾を結ぶ周回航路で MRTH コンテナ船 2 隻により西回り便と東回り便週各 2 便の設定をする場合、1 便当りに対応する航空貨物の輸送ニーズは 2,500t 程度になり大幅に増加する。また、遠距離ゾーンでは、例えばわが国から香港を経由してベトナム、シンガポール、タイの三国間で西回り便と東回り便を交互に実施する場合、MRTH コンテナ船 2 隻週 1 便の運航体制では、1 便当りに対応する航空貨物の輸送ニーズは 2,500t 程度になると推定される。

各ゾーンで航空貨物の輸送ニーズを MRTH コンテナ船に充分に取り込んで安定した採算性を確保し、かつ環境対策を効率よく実現するためには、航海速力は、航空機とのリードタイムの差を僅少化できる範囲内で低く抑え可能な限り燃費経済性の向上を図るべきであろう。また、シンガポール、タイ等を含む遠距離航路では、香港を経由して燃料を補給し、

ペイロードをより多く確保できるようにしたい。このような検討結果に基づいた計画仕様の一例を Table 1 に示す。

2.1.2 概要と要目

近海域航路用コンテナ船(MRTH8C35)は、例えば Fig.1 に示され、電気推進方式の推進プラントで二重反転式螺旋推進器(CRP)を駆動し、その要目を Table 2 に示す。

Fig.1 Profile.

Table 2 Particulars of MRTH8C35

Length overall(waterline)	152m(130m)
Breadth	34.13m
Draft	5.20m
Displacement	4,504t
Gross tonnage	8,700t
Service speed	35kt
Max. speed(1/2load)	37.9kt
Payloads	2,000t(160TEU)
Cruising range	2,000 nm
EHP	23,760kW
Main Engine (MCR)	32,000kW

注 1) 有効馬力 (EHP) は、MRTH の水槽試験結果に基づいて、排水量、長さ、喫水、速力に対応する値を求めている。

注 2) 電気推進方式の伝達効率 90% とし、主機としての原動機 (高速ディーゼル機関) の定格出力は常用出力 (NCR; MCR の 90%) に相当するとしている。

注 3) 原動機は新潟原動機 (株) 製の高速ディーゼル機関 16V20FX 型 [MCR4,000kW、乾燥重量 13.8t] を 8 基搭載する。

2.1.3 船体構造と一般配置

船体構造は、主要構成部材に高張力鋼を用いた鋼船構造 (HSC コードの適用対象外) とし、甲板と甲板底を含む船体主要部が左右のデミハルに支持され、例えば船体主要部内に原動機と発電機を配置し、デミハル後部の没水体内に電動機を収納し、デミハル下部にバラストタンクを設け、甲板の略中央に立設したブリッジの前後の甲板に例えば 40ft コンテナを 80 個積載する。

2.1.4 推進プラント

推進プラントは、大容量機が製作可能で、厳しい環境条件に耐え保守管理が容易な常電導の無整流子式交流電動機方式とし、原動機 (高速ディーゼル機関) で駆動される発電機から供給される電力によりサイクロコンバータを介して電動機を制御駆動する。その電動機には、内軸電動機と外軸電動機を同軸状に備えた二重反転式同期電動機を採用し、これを冷却装置と共に後の没水体内に収納し、この同期電動機によって CRP を直接駆動する。このような電気推進方式では、原動機としての高速ディーゼル機関は発電機を常時定速で回転させるだけであるから負荷変動はなく、直接駆動の場合よりも使用条件が格段に緩和されるため推進プラントの信頼性が著しく向上し、少ないメンテナンス費で高い稼働率を

Table 1 Planned specifications

Type of the ship	Very High Speed MRTH Full Container Ship
Service speed	35kt
Payloads	2,000t
Cruising range	2,000nm
Shipping routes	Coastal shipping routes
Sea states	Up to code 6

維持することができる。

2.1.5 推進性能

デミハル後部の没水体の略円錐状に形成された後端部に CRP を装備するので CRP まわりの伴流分布が周方向に均一化されて伴流吸収率が高く、バトックフロータイプの船尾を有する高速船やウォータージェット推進方式の高速船よりも各段に高い推進効率を得られる。具体的には、 $BHP(MCR) = EHP \times 1/\eta_p \times 1/\eta_T$ の計算式にて、推進効率 η_p は、推進器単独効率を 0.75 とし、これに CRP による利得と推進器効率比、船殻効率を考慮した安全側の値 1.1 を乗じて $\eta_p = 0.825$ とし、電気推進方式の推進プラントの伝達効率 η_T は Table2 の注 2) に記載のように $\eta_T = 0.9$ としている。これにより、造波抵抗を極小化して有効馬力(EHP)を極減化した MRTH の抵抗推進性能を最大限に発揮させることができ、所要機関出力(MCR)を必要最小限に抑えることができる。

2.1.6 航海性能

船体の縦横比が大（長さに対するデミハル間の間隔の比率が小（例えば $S/L = 0.22$ ））であり、かつ船首の大きな没水体により効果的なアンチピッチング作用が得られ縦安定性が良好であることと、双胴船としての良好な横安定性により優れた航海性能を備える。また、船首尾の没水体等に制御フィン等の姿勢制御手段を設けてもよく、デミハル中央にフィンスタビライザーを設けてもよく、センターバウの付設が検討されてもよいであろう。尚、荒天時には、波高の程度に応じて自動的にバラスト調整（3段階程度）を行い、CRP の没水深度を所定以上（ $>0.8 \sim 1.0D$ ）に確保し、蛇航の発生や空気の巻き込みによるキャビテーションの発生を防止する。その自動バラスト調整は、例えば第1段階では船体を 0.5m イーブンに沈下させ（速力の低下は 0.92kt と推定）、第2段階では 1m 沈下させ（同 1.75kt）、第3段階では船尾トリムを加味すればよい。このように船体をある程度沈下させた状態から船尾トリムを加味すれば船首の没水体が水面上に露出するのを防止できるため、航海速力の大きな低下を抑えることができる。因みに、航海速力は、満載状態での最大速力の 2 kt 減とした速力(MCR の 90%NCR に対するシーマージン 5%に相当)と半載状態での速力の中間の値として求めている。

以上のように、優れた航海性能により、積載コンテナの安定保持や居住性の向上を図れるだけでなく、シーマージンを低く抑えることができるため、優れた抵抗推進性能と相まって燃費経済性をより一層安定に向上させた定時運航が可能になる。また、荒天時に船尾の喫水が変化しても CRP まわりの伴流分布の周方向への均一化は安定に維持されるので、船尾振動が抑制され積荷のダメージの発生を抑えることができる。そして、船体自体が十分なスタビリティを備えてい

るため、追い波を受けても単胴排水量船のように復原力を喪失するようなことがない点も大きな特徴であろう。

2.1.7 旋回性能

操縦システムは、その時の操舵角と船速に応じて、サイクロコンバータを介して電動機の回転数を制御し、旋回する側の推進器の回転数を低下させることにより左右の推進力に差を発生させ、これにより船体重心まわりに旋回モーメントを発生させて、舵との協働作用によって高速航行時にも小さな旋回半径で安定な状態で旋回できるようにする。

2.1.8 ウェイピアサーとの比較

112m Wave-piercer と要目を比較して Table 3 に示す。

Table3 Comparative table of particulars with 112mWave-Piercer

Items	MRTH8C35	W-Piercer
Displacement (t)	4,504	3,000
Payloads (t)	2,000	1,500
MCR(kW)	32,000	36,000
Propulsion	CRP×2	W.JET×4
Service speed (kt)	35	36
Output ratio (kW/t・km/h)	0.099	0.162
Transport efficiency (t・km/h/ kW)	10.14	6.17

Wave-piercer との満載排水量、ペイロード、機関出力、及び、航海速力時の比出力、輸送効率等の対比から MRTH8C35 の輸送経済性が非常に優れていることが判る。

2.2 近距離ゾーン(Near zone)への対応

2.2.1 運航体制

例として、MRTH8C35 2 隻により、神戸、上海、基隆を結ぶ周回航路で西回り便（神戸→上海→基隆→神戸）と東回り便（神戸→基隆→上海→神戸）を週各 2 便運航する場合について検討する。尚、神戸⇄上海間は瀬戸内海を経由する。各港では昨今の港湾手続の時間短縮化を反映させて、全積載コンテナについて、定曜日・定時でスケジュールを固定して通関業務などを最優先で行うホットデリバリーサービス(HDS) 扱いと同等の引き渡し時間の短縮化を図ることを前提とし、荷役、通関手続、補給等を含めて各港での停泊時間は 9～10 時間とする。

2.2.2 運賃と採算性の検討

コンテナの運賃に HDS チャージと同等の割り増し運賃を加算し、損益分岐点での年間平均貨物積載率が 30%程度になる周回ベースでの安全側のコンテナの基準運賃を求め、その基準運賃から航路長に比例した各航路での運賃を求める。尚、神戸港では積載コンテナの 100%、他の港では 70%がそれぞれ積み替えられると仮定する。燃料としての A 重油の値段は 70,000 円/t (2012 年 1～4 月の水準、他の航路も同じ) とし、20ft コンテナ 1 個の自重を 2.5t、貨物重量 10t、総重量(平均)12.5t とする(他の航路も同じ)。

〔運航条件〕

一周航路長 2,081nm、運用隻数 MRTH8C35 2 隻、便数 西回りと東回りそれぞれ週 2 便 (4 周/7 日、年間航海日数 340 日)、ペイロー

ド 2,000 t (160TEU)、船価 8,000 (百万円)、償却年数 15 年、船員 15 人×2、船員・部員計 90 人、コンテナの一周運賃を X 円/kg (X 万円/TEU)とする。

〔採算〕

- (i) 年間収入 (積載率 100%) 310,857X (千円)
 (ii) 年間支出 10,110,211 (千円)
 船舶経費 2,593,855 (千円)
 (船員・部員費、修繕費、船用品、潤滑油費、保険費、税金、金利、減価償却費、その他)
 運航経費 7,516,356 (千円)
 (燃料費、水先料金、入港費、岸壁使用料、クレーン使用料、通関料、HDS チャージ等)
 (iii) 損益分岐点での貨物積載率が 30%になる一周の基準運賃 X = 108 円/kg になる。

各航路の運賃は 神戸-上海間(787nm); 41 円/kg、上海-基隆間(368nm); 19 円/kg、基隆-神戸間(926nm); 48 円/kg になる。

2.3 遠距離ゾーン(Far zone)への対応

2.3.1 運航体制

例として、MRTH コンテナ船 2 隻により、横浜から香港を経由してベトナム、シンガポール、タイの三国間で西回り便(ホーチミン→バンコク→シンガポール)と東回り便(シンガポール→バンコク→ホーチミン)を交互に週往復 1 便、実施する場合について検討する。尚、横浜以外の各港での停泊時間は 12hr とし横浜港で時間調整をする。

2.3.2 運賃と採算性の検討

同様に、損益分岐点での年間平均貨物積載率が 30%程度になる安全側のコンテナの基準運賃(往復)を求め、その基準運賃から航路長に比例した各航路での運賃を求める。尚、横浜港では積載コンテナの 100%、他の港では 25%がそれぞれ積み替えられると仮定する。

〔運航条件〕

往復航路長 7,095nm、運用隻数 MRTH8C35 2 隻、便数 週 1 便(2 航海/7 日、年間航海日数 340 日)、船員 15 人×2、船員・部員計 110 人、コンテナの往復運賃を X 円/kg (X 万円/TEU)とする。

〔採算〕

- (i) 年間収入 (積載率 100%) 155,429X (千円)
 (ii) 年間支出 12,702,087 (千円)
 船舶経費 2,732,942 (千円)
 運航経費 10,019,145 (千円)
 (iii) 損益分岐点での貨物積載率が 30%になる往復の基準運賃 X = 272 円/kg になる。

各航路の運賃は、横浜-香港間(1,602nm); 61 円/kg、香港-ホーチミン間(924nm); 35 円/kg、ホーチミン-バンコク間(698nm); 27 円/kg、バンコク-シンガポール間(844nm); 32 円/kg、シンガポール-香港間(1,425nm); 54 円/kg になる。

2.4 航空機とのリードタイムと運賃の比較

わが国との間の航路での MRTH8C35 と航空機のリードタイムと運賃を比較して Table 4 に示す。

Table 4 Comparative table of lead times and container fares

Routes*	Lead time(day)**		Fare (yen/kg)***	
	MRTH	AIR	MRTH	AIR
K-Shanghai	2~3	4~7	41	500
K-Keelung	3~4	4	48	533
Y-Hong kong	3~4	3~4	61	433
Y-Ho Chi Minn	5~6	5~7	96	767
Y-Singapore	6~7	3~4	115	500
Y-Bangkok	7~8	4~7	123	533

注*) Kは神戸、Yは横浜を示す。

注**) リードタイムはドアツードアの所要日数を示す。

注***) MRTH の運賃は通関料を含み集配料は含まず、AIR の運賃は国内集配料、通関料、現地集配料を含むバック料金の一例(国内大手国際運輸会社、2012 年度)を示しリードタイムと対応する。

MRTH8C35 は、昨今の港湾手続時間の短縮化を反映させたことによって、近海全域において航空輸送とのリードタイムの差を僅少に抑えることができ、その運賃は、中近距離では大変な割高になる航空運賃よりも桁違いに安い値に設定することができる。従って、シェアグラフで確認するまでもなく、航空機から MRTH8C35 への大量の輸送ニーズのシフトを期待することができる。また、在来船からも比較的に時間価値の高い輸送ニーズのシフトを期待できるであろう。例えば関西地区と上海との間では、現行の博多-上海間の RO/RO フェリー(航空輸送の 1/10~1/3 の運賃で航海時間 28hr)を利用する場合、関西-博多間のトラック等の陸送時間と高額な運賃が加算されるが、MRTH8C35 では、神戸-上海間の航海時間は瀬戸内海の水速制限を考慮しても 24hr 程度であり所要時間と輸送コストの大幅な削減が可能になる。

2.5 環境対策

2.5.1 省エネ効果

MRTH8C35 の省エネ効果を検討するために、航空機と在来コンテナ船の燃料消費率(t/h)を比較して Table 5 に示す。

Table 5 Comparative table of fuel consumption rates

Items	Payloads (t)	Speed(kt)	F.c.rates (t/h)
Airline	100	486	12
MRTH8C35	2,000	35	6
Containership	12,900	18.5	2.2

尚、燃料消費率(t/h)は、航空機はボーイングジャンボ 747-400F 型(巡航速度 900km/hr、貨物 100t 積載、燃費 4,000 ガロン/hr)を例とし、在来船は MACTAN BRIDGE(DWT18,069t、コンテナ 1,032TEU、航海速力 18.5kt、機関出力(MCR) 11,440kW)を例とした値を示す。

各ゾーンでは、航空輸送ニーズを十分に期待できるため、航空機と在来コンテナ船から MRTH8C35 に取り込む貨物量の比率(重量ベース)を 6 対 4 とし、かつ航空機と在来コンテナ船の年間平均貨物積載率を 70%とした場合に、Table 5 に示す燃料消費率に基づいて近距離ゾーンでの年間平均貨物積載率が 70% (貨物積載量 1,400t) のときの省エネ量と省エネ率を求める計算例を以下に示す。

〔計算例、神戸-上海-基隆-神戸間、貨物積載率 70%〕

- 1) 航空機からのシフト貨物量 $1,400t \times 0.6 = 840t$
 対応する航空機の燃料消費量 $(2,081 \times 1.852/900) \times 12t \times (840t/100t \times 0.7) = 617t$
- 2) 在来コンテナ船からのシフト貨物量 $1,400t \times 0.4 = 560t$
 対応する在来コンテナ船の燃料消費量 $(2,081/18.5) \times 2.2t \times 560t/(12,900t \times 0.7) = 15t$
- 3) 1)+2)の合計燃料消費量 632t
- 4) MRTH8C35 の一航海当りの燃料消費量 $6t \times 2,081/35 = 357t$
- 5) 一航海当りの省エネ量 $= 632t - 357t = 275t$
- 6) 省エネ率 $= 275t/632t = 0.435 \Rightarrow 43.5\%$
- 7) 年間省エネ量 $= 275t \times 4/7 \times 340 = 53,429t$

同様の条件にて、両ゾーンでの MRTH8C35 の貨物積載率に対応した省エネ量と省エネ率を求め、Table 6 に示す。同表より、MRTH8C35 の貨物積載率が 50%を超えれば両ゾーンにおいて顕著な省エネが達成され、その省エネ率は貨物積載率に略比例して増大することが判る。尚、MRTH8C35 と

Table 6 Amounts and rates of fuel saving

Zones	Fuel saving amounts(t) / rates(%)			
	Load 50%	Load 60%	Load 70%	Load 80%
Near zone	18,457/21.0	35,943/34.1	53,429/43.5	71,109/50.6
Far zone	31,183/20.9	61,103/34.0	90,926/43.5	120,749/50.5

船体の主要寸法を同一として航海速力を 40kt に変更した場合、積載率 60%でも省エネを達成できず、省エネ効果がかなり低下することが確認されている。

2.5.2 CO₂削減効果

Table 6 に示す省エネが達成された場合の両ゾーンでの年間 CO₂削減量と CO₂削減率を Table 7 に示す。

Table 7 Amounts and rates of CO₂ reduction

Zones	CO ₂ Reduction amounts(t) / rates(%)			
	Load 50%	Load 60%	Load 70%	Load 80%
Near z.	54,983/20.1	109,383/33.4	163,997/42.9	218,960/50.0
Far z.	92,869/20.0	186,223/33.4	279,091/42.9	372,057/50.0

尚、一航海当たりの CO₂削減量として、シフト貨物量対応の航空機の消費燃料(灯油)と在来コンテナ船の消費燃料(C 重油)からそれぞれ排出される CO₂の合計と、MRTH8C35 の消費燃料(A 重油)から排出される CO₂の差を求め、これに年間航海数を乗じて年間 CO₂削減量(t)を求めている。CO₂削減率(%)は{(従来の CO₂排出量 - MRTH8C35 の CO₂排出量)/従来の CO₂排出量} × 100 の値を求めている。また、A 重油の比重 0.86、単位発熱量 39.1MJ/l、排出係数 0.0693kg-CO₂/MJ、C 重油の比重 0.94、単位発熱量 41.0MJ/l、排出係数 0.0716kg-CO₂/MJ、灯油の比重 0.80、単位発熱量 36.7MJ/l、排出係数 0.0679kg-CO₂/MJ とし、CO₂排出量=使用量×単位発熱量×排出係数としている。

両ゾーンにおいて、省エネ率に対応する CO₂削減率が得られることが判る。このように CO₂の排出削減は省エネを達成することで確実に実現することができ、その省エネは在来コンテナ船では取り込むことのできない時間価値の高い高付加価値商品群の輸送ニーズを MRTH8C35 に比較的に高い比率で取り込むことで効率よく実現することができる。

2.5.3 EEDI について

MRTH8C35 は、規模が小さく EEDI の適用対象から外れるが、そもそも在来コンテナ船では取り込めない高価で軽量な商品群を主な積載対象とするため、規模の大小とは関係なく、DWT ベースでの CO₂排出削減量の評価が適用されるのは適切でないと判断される。より適切には、上記のように、異部門間での CO₂削減効果が明らかに認められると推計される場合には、モーダルシフトによる CO₂削減事例のモデルケースとして認証されるべきであろう。この点について、IMO と ICAO の間で基本的な合意の形成が望まれる。尚、船舶部門内での運用時の CO₂排出削減量を評価するための次世代対応の新たな指標として積載貨物の商品価値に基づいた単位 CO₂排出量(g/10³yen・km)の導入が検討されてもよいであろう。その適用例については後述する。

2.6 まとめ

アジア圏での国際水平分業が定着した今日、企業内又は企業間での高付加価値分野の高効率な国際輸送システムとして、航空輸送とのリードタイムの差を僅少化して安価な運賃で大量性の要件を十分に満たすことのできる MRTH8C35 に

よる超高速海上輸送を主体とするジャストインタイム物流(JIT 物流)を促進し、甚だしい輸送コスト高となる航空輸送は緊急時等の補助的手段として利用するような新しい複合輸送システムの構築が望まれる。このような輸送システムの実現により、運賃格差の問題を解消できると共に国際間での環境対策を効率よく推進することができる。また、ゾーンを対象とした MRTH8C35 の運航体制では、わが国との間の航路だけでなく他国間同士の航路での高速化をも実現できるため、アジア圏の発展により大きく貢献することができる。

3. 遠距離コンテナ輸送

3.1 遠距離航路用 MRTH コンテナ船

3.1.1 計画仕様

遠距離航路においても需要の回復を見込んで、世界不況前の 2004~2006 年の太平洋線の輸出入実績⁴⁾に基づけば、1 日当りの航空貨物の輸送ニーズ(輸出入)は概ね 2,000t 程度になる。従って、わが国と北米西岸を結ぶ太平洋横断航路で例えば MRTH コンテナ船を週往復 2 便(4 航海/7 日)で運航する場合 1 便当りに対応する航空貨物の輸送ニーズは 3,500t 程度になるから、航空機からのシフトの他、在来コンテナ船からのシフト、新たな需要、及び、中米間、韓米間の輸送ニーズの獲得等をも含めて、MRTH コンテナ船のペイロードは 3,000t 程度を確保したい。また、太平洋横断航路では近海域よりも航空機とのリードタイムの差が拡大されるので、大手航空フォワーダーの 3~4 日とされる太平洋線のリードタイムとの差を 2~3 日としてシェアの安定確保を図りたい。

以上の検討結果に基づいて作成した遠距離用 MRTH コンテナ船の計画仕様の一例を Table 8 に示す。

Table 8 Planned specifications

Type of the ship	Very High Speed MRTH Full Container Ship
Service speed	38kt or more
Payloads	3,000t or more
Cruising range	5,000nm
Shipping routes	Transpacific shipping routes
Sea states	Up to code 6

3.1.2 概要と要目

Fig.2 Profile.

遠距離航路用コンテナ船(MRTH16C38)は、例えば Fig.2 に示され、その基本的な概念は MRTH8C35 と同じであり、要目を Table 9 に示す。

Table 9 Particulars of MRTH16C38

Length overall(waterline)	187(159)m
Breadth	41.74m
Draft	6.36m
Displacement	8,240t
Gross tonnage	15,800t
Service speed	38kt
Max. speed (1/2load)	40.8kt
Payloads	3,000t(240TEU)
Cruising range	5,000nm
EHP	47,520kW
Main Engine (MCR)	64,000kW

注) 原動機は 16V20FX 型を 16 基搭載する。尚、比出力は 0.099 kW/t・km/h、輸送効率は 10.07t・km/h/kW になる。

要目他、MRTH8C35 との共通事項についての説明は省略する。尚、MRTH16C38 が導入される遠距離航路では、波高 4.5m 以上の波(風浪階級 6 以上)が発生する海域を要注意海域とし、運航時には詳細な気象・海象情報を収集して要注意海域への接近を事前に回避するような安全運航が遵守されるべきであろう。波の発生頻度は海域毎に既知⁶⁾であるから、後述する採算性の検討では、各航路での波の発生頻度に応じて年間の運航日数を調整している。

3.2 日本-北米西岸間航路への MRTH16C38 の適用

3.2.1 輸送条件

本航路(航路長 4,536 nm)でも、近海域航路と同様に、積載全コンテナについて HDS 扱いと同等の引き渡し時間の短縮化を図ることを前提とし、競合輸送機関と輸送条件を比較して Table 10 に示す。

Table 10 Transporting conditions bet. Japan and North West

Items	Lead time(day)*	Fare(yen/kg)
Airline	3~4	900
MRTH16C38	6	150
Containership	15	10

注*) リードタイムは空港-空港、港-港間での所要日数(日)を示す。

3.2.2 MRTH16C38 のシェア

Table 10 に示す輸送条件下での各輸送機関に犠牲量モデルを適用した場合の競合配分図⁵⁾を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 Competitive evaluation of the MRTH16C38 between Japan and North West.

尚、縦軸は総コスト C_j (円/kg)、横軸は商品時間価値 R (円/kg・日)を示し、 $C_j = R \times \text{所要日数} + \text{運賃}$ とし、商品単価 Q の貨物の時間価値 $R = (i+e)Q/365$ における金利率 $i=0.015/\text{年}$ 、減価とペナルティ率 $e=1.00/\text{年}$ (1年間で無価値化)とする⁵⁾。

MRTH16C38 のシェアは、その総輸送コストを示す実線①と、在来コンテナ船の総輸送コストを示す一点鎖線②との交点(分岐点) X_{12} と、航空機の総輸送コストを示す破線③との交点(分岐点) X_{13} の間、即ち商品時間価値 $R_{12}=15.6$ 円/kg・日(商品単価 5,610 円/kg)から $R_{13}=250$ 円/kg・日(商品単価 89,901 円/kg)までの広い領域を占める。MRTH16C38 のシェアの中、一点鎖線②と破線③の交点 X_{23} は在来コンテナ船よりも航空機が有利になる商品時間価値 $R_{23}=74$ 円/kg・日(商品単価 26,611 円/kg)の分岐点である。従って、その分岐点 X_{23} の商品時間価値 R_{23} より高い領域($X_{23}-X_{13}$ 間)では航空機からのシフトを、低い領域($X_{12}-X_{23}$ 間)では在来コンテナ船からのシフトを期待することができる。その分岐点 X_{23} での商品単価はかなり高額であるが、実際には電子機器(半導体等電子部品、事務用機器等)やファッション商品(衣料)等はほとんどが空輸されているため⁵⁾、これらの中の大部分が MRTH16C38 にシフトされると予測される。一方、在来コンテナ船からは、冷凍・冷蔵を要する生鮮食料品群や時間価値の高い各種工業製品等のシフトを期待できる。

3.2.3 採算性の検討

MRTH16C38 4 隻、週往復 2 便(4 航海/7 日)の運航体制にて、コンテナの運賃に HDS チャージと同等の割り増し運賃を加算し、損益分岐点になる貨物積載率を求める。尚、太平洋航路(海域 3)では波高 4.5m 以上の波が発生する頻度は年間を通じて 5%未満であるから⁶⁾、運休日数 35 日(入渠 14 日、他 21 日)、年間運航日数 330 日とする。

[運航条件]

航路：横浜-サンフランシスコ間(航路長 4,536nm)、運賃 150 万円/TEU (150 円/kg)、運用隻数 MRTH16C38 4 隻、週往復 2 便(4 航海/7 日、年間運航日数 330 日)、航海速力 38kt(航海時間 119.4hr)、燃料消費 12t/hr、ペイロード 3,000t (240TEU)、船価 14,000 (百万円)、償却年数 15 年、船員 20 人×4、船員・部員計 130 人とする。

[採算]

- (i) 年間収入(積載率 100%) 67,885,714 (千円)
- (ii) 年間支出 28,527,480 (千円)
  - 船舶経費 7,822,036 (千円)
    - (船員・部員費、修繕費、船用品、潤滑油費、保険費、税金、金利、減価償却費、その他)
  - 運航経費 20,705,444 (千円)
    - (燃料費、水先料金、入港費、岸壁使用料、クレーン使用料、通関料、HDS チャージ等)
- (iii) 損益分岐点となる年間平均貨物積載率 42.0%

損益分岐点での貨物積載率は 42%程度になる。この積載率は少し低いようであり、実際には、前記の MRTH16C38 のシェアと航空貨物の輸送実績等から推定すれば、輸送ニーズの大部分を航空輸送からのシフトで充足させることができ、貨物積載率 70%以上を確保できるのではないだろうか。その場合、例えば航空運賃の 1/10 程度に運賃の大幅な低減化を実現することができる。

3.2.4 環境対策

(1) 比較例の設定

MRTH16C38 と船体の主要寸法を同一として航海速力を

40kt に設定した MRTH40 を比較例として設定し、近海域航路と同様の条件で両者の省エネ効果を比較してみたい。両者の要目の主な相違点を Table 11 に示す。

Table 11 Comparative table of particulars

Items	MRTH16C38	MRTH40
Payloads(t) (TEU)	3,000t (240)	2,500t (200)
MCR(kW)	64,000	74,646
Speed(kt)	38kt	40kt

(2) 燃料消費率

各輸送機関の燃料消費率(t/h)を Table 12 に示す。

Table 12 Comparative table of fuel consumption rates

Items	Payloads(t)	Speed(kt)	F.c.rates(t/h)
Airline	100	486	12
MRTH40	2,500	40	14.2
MRTH16C38	3,000	38	12
Containership	63,014	23.5	8.27

尚、燃料消費率(t/h)は、航空機はボーイングジャンボ 747-400F 型を例とし、在来コンテナ船は 4700 コンテナ船(DWT63,014t、コンテナ 4,743TEU、機関出力(MCR)43,620kW)を例とした値を示す。

(3) 省エネ効果

Table 12 の燃料消費率に基づいて求めた両船の年間省エネ量と省エネ率を Table13 に示す。

Table 13 Comparative table of amounts and rates of fuel saving

Loading rates(%)	Fuel saving amounts(t) / rates (%)	
	MRTH16C38	MRTH40
50	5,657/2.1	-73,920/-32.2
60	60,720/18.4	-27,909/-10.1
70	115,783/30.0	17,914/5.6
80	171,034/38.8	63,926/17.4

MRTH16C38 は貨物積載率 50%を超えれば省エネを達成できるが、MRTH 40 は貨物積載率 60%でも省エネを達成できず、MRTH16C38 の省エネ率が格段に高いことが判る。例えば週往復 2 便の MRTH16C38 の年間貨物積載率が 80%に達すると、ジャンボ 747-400F 型が太平洋を 1,500 回以上横断するために必要な燃料分を削減することができる。

(4) CO₂削減効果

省エネ効果の高い MRTH16C38 のみについて、その省エネが達成された場合の年間 CO₂削減量と CO₂削減率を求めて Table 14 に示す。

Table 14 Amounts and rates of CO₂ reduction

Loading rates(%)	CO ₂ reduction amounts(t)	CO ₂ reduction rates(%)
50	7,920	0.9
60	179,709	17.4
70	351,120	29.2
80	523,286	38.1

同表より、貨物積載率が 50%を超えれば CO₂の排出を削減できることが判る。近海域航路と同様に、CO₂の排出削減は、在来コンテナ船では取り込めない時間価値の高い高付加価値商品群の輸送ニーズを MRTH16C38 に比較的高い比

率で取り込むことによって効率よく実現することができる。

(5) 積載貨物の商品価値に基づく単位 CO₂排出量について

MRTH16C38 は MRTH8C35 と同様に EEDI の適用対象から外れるが、積載貨物の商品価値(運賃)に基づいた単位 CO₂排出量(g/10³yen・km)を求め、在来コンテナ船(4700 コンテナ船)と比較してみたい。尚、両船の運賃は Table10 の値を適用する。

(i) MRTH16C38

単位燃料消費量: $(12 \times 10^6 \text{g} / 3,000 \times 10^3 \times 150 \text{yen} \times 38 \times 1.852 \text{ km}) \times 10^3 = 0.379 \text{g} / 10^3 \text{yen} \cdot \text{km} \Rightarrow$ 単位 CO₂ 排出量: $0.379 \text{g} / 10^3 \text{yen} \cdot \text{km} \times 0.86 \times 39.7 \times 0.0693 = 0.897 \text{g} / 10^3 \text{yen} \cdot \text{km}$

(ii) 在来コンテナ船

単位燃料消費量: $(8.27 \times 10^6 \text{g} / 63,014 \times 10^3 \times 10 \text{yen} \times 23.5 \times 1.852 \text{ km}) \times 10^3 = 0.302 \text{g} / 10^3 \text{yen} \cdot \text{km} \Rightarrow$ 単位 CO₂ 排出量: $0.302 \text{g} / 10^3 \text{yen} \cdot \text{km} \times 0.94 \times 41.0 \times 0.0716 = 0.833 \text{g} / 10^3 \text{yen} \cdot \text{km}$

両船間での単位 CO₂ 排出量の差は僅少と認められる。これにより、MRTH16C38 の運用時の実質的な対環境性は在来コンテナ船と略同等であることが判る。

3.3 北米東岸－欧州間航路への MRTH16C38 の適用

3.3.1 MRTH16C38 の適用が促される背景

北米－欧州間では、以前からコンテナ輸送の超高速化に対する要請が強いようで、かつてフィラデルフィア－シェルブル間では超高速コンテナ船 FastShip [半滑走細長モノハル型、全長 265m、幅 40m、喫水 10m、航海速力 37kt(最大速力 40kt)、ペイロード 10,000t (1,430TEU)、主機ガスタービン 5 基、合計 MCR250MW、ウォータージェット推進方式] 4 隻、週往復 2 便の運航計画が進められたが実現されなかったようである。その理由として、FastShip 4 隻の建造コスト(17 億 1,500 万ドル)が高額である上に、多数のコンテナの迅速な積み込みと荷下ろしを可能にするための巨大な専用ターミナルを必要とし、その建設コストやアクセスルートの整備等に莫大な投資が必要とされ、計画実現のための資金調達に難しかったとの調査結果が報告されている。

これに対して、MRTH16C38 では、時間価値の高い高付加価値商品群の輸送ニーズの獲得を目指して積載コンテナ数を少なくして通常規格のコンテナを使用すると共に既存の荷役設備を有効に活用(HDS の利用等)することで荷役時間の大幅な短縮を図るので、莫大な投資が必要とされる専用ターミナルは不要である。また、FastShip のペイロードベースでの航海速力時の輸送効率(t・km/h/kW)が 3.05 であるのに対して MRTH16C38(ペイロード 3,200t)の輸送効率は 3.91 であり、しかも FastShip が燃料費や維持費の嵩むガスタービンを主機としているのに対して MRTH16C38 は燃費経済性に優れ維持費の安いディーゼル機関を原動機としている。従って、MRTH16C38 では、TEU 当たりの輸送コストを FastShip よりもかなり低く抑えることができるはずである。

3.3.2 輸送条件

北米－欧州間では航空貨物の運賃が太平洋線よりかなり安くなるが、MRTH16C38をニューヨーク－ロッテルダム間航路(航路長 3,314nm)に導入する場合、例えば4隻で週往復3便(6航海/7日)の高能率な運航体制を採用でき、FastShipよりも利便性が顕著に向上する。そのコンテナの運賃は、リードタイムを勘案して航空機と在来コンテナ船の中間の値に設定できよう。各競合輸送機関の運賃(1ドル80円として換算)とリードタイム⁷⁾を比較してTable 15に示す。

Table 15 Comparative table of transporting conditions

Items	Lead time (day)	Fare (yen/kg)
Airline(priority)	2~3	260
Airline(standard)	4~7	80~150
MRTH16C38*	5	50~100
Containership(straight)	14~28	10~20
Containership(standard)	21~35	7~14

注*) MRTH16C38はニューヨーク－ロッテルダム間、その他の輸送機関はフィラデルフィア－シェルブルック間⁷⁾での輸送条件を示す。

3.3.3 採算性の検討

MRTH16C38 4隻、週往復3便(6航海/7日)の運航体制にて貨物運賃を50~100円/kgとした場合に損益分岐点となる貨物積載率を求める。尚、本航路(海域1b)では波高4.5m以上の波が発生する頻度は年間を通じて7.2%程度になるので⁶⁾、運休日数を45日として年間運航日数を320日とする。

[運航条件]

航路：ニューヨーク－ロッテルダム間(航路長 3,314nm)、運賃50~100円/kg (50~100万円/TEU)、運用隻数MRTH16C38 4隻、週往復3便(6航海/7日、年間運航日数320日)、航海速力38kt(航海時間87.2hr)、ペイロード3,200t (256TEU)、船員20人×4、船員・部員計130人とする。

[採算]

(i) 年間収入(積載率100%) 32,768,000~65,536,000(千円)
(ii) 年間支出 27,431,158(千円)
船舶経費 7,814,397(千円)
運航経費 19,616,761(千円)
(iii) 損益分岐点での貨物積載率 41.9~83.7%

損益分岐点での年間貨物積載率は42~84%程度になる。

輸送需要の多い本航路では、航空機と在来コンテナ船から多くのシフトを期待できるため、その運賃は下限の値(50yen/kg)に近い値に設定できるものと予測される。

3.3.4 環境対策

太平洋航路と同様の条件でMRTH16C38による省エネ量と省エネ率及びCO₂削減量とCO₂削減率を求めTable16に示す。

Table 16 Amounts and rates of fuel saving and CO₂ reduction

Loading rates(%)	Amounts(t) / rates (%) of fuel saving	Amounts(t) / rates (%) of CO ₂ reduction
50	24,320/9.1	66,304/7.3
60	82,432/23.5	265,216/24.3
70	141,056/34.5	447,744/35.1
80	199,424/42.7	629,760/43.2

同表より、貨物積載率が50%以上になれば顕著な省エネ効果とCO₂削減効果が得られることが判る。

3.4 まとめ

日本－北米西岸間では航空運賃が近海域よりも割安になり北米－欧州間では更に安くなるため、何れもコンテナ輸送の超高速化の条件が大変酷くなるが、MRTH16C38によれば、航空機とのリードタイムの差を僅少化して低廉な運賃で良好な採算性を確保することができ併せて効果的な環境対策を実現できることを確認することができた。従って、両遠距離航路においてもMRTH16C38による超高速海上輸送を主体とするJIT物流を促進し航空輸送を補助的手段として用いる新しい複合輸送システムの実現が期待される。

4. 結 言

航空貨物の輸送実績を勘案してMRTHコンテナ船の航海速力とペイロードを適切に選択することにより、各航路において採算性よく超高速化を実現することができ、これにより航空化率の上昇を抑制して運賃格差の問題を解消し、特に高付加価値商品群の国際物流コストを大幅に低減化することができ、併せて省エネ対策や温室効果ガス対策を効率よく実現することができる。懸案の環境対策を地球規模で効果的に推進するためには、船舶部門内に制約されることなく、本稿で提案するような異部門間にわたる大規模な対策(モーダルシフト)が是非とも実現されるべきであろう。

謝 辞

本稿の作成に際し、丸尾孟横浜国立大学名誉教授よりMRTHの水槽試験のデータをご提供いただき、懇切なご指導と多大の助言を賜りました。文末になり恐縮でございますが、ここに厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Ogiwara, S. and Maruo, H.: Development of a New Concept on a Fast Ship Form, The International Marine Design Conference, May 2003, Athens
- 2) 塩田浩平：MRTHコンテナ船の開発とそのフィージビリティスタディについて、日本船舶海洋工学会講演会論文集第12号(平成23年5月)
- 3) (株)オーシャンコマース:2008年版国際輸送ハンドブック
- 4) 国土交通省航空局編：航空物流レポート2011
- 5) 赤木新介：新交通機関論，コロナ社(1995,11)
- 6) 関西造船協会編：造船設計便覧第4版，海文堂(2004,12)
- 7) シップ・アンド・オーシャン財団：米国における高速船開発等の実態調査(2002, 2)