

国際海運からの温室効果ガス排出削減 ーエネルギー効率指標（EEDI, SEEMP）に対する当所の取り組みー

辻本 勝*、村岡 英一*、黒田 麻利子**、宇都 正太郎**

Reduction of Greenhouse Gas Emission from International Shipping -Contribution of NMRI to Energy Efficient Measures; EEDI and SEEMP-

by

Masaru TSUJIMOTO, Eiichi MURAOKA, Mariko KURODA
and Shotaro UTO

1. まえがき

国際海事機関（IMO）にて国際海運からの温室効果ガス（greenhouse gas : GHG）排出削減を実行するための規制の審議が海洋環境保護委員会（MEPC）で行われている。この技術的内容の審議を行う作業部会は当所の吉田公一氏を議長として進められた。

GHG 排出削減の検討はわが国が主導的に進めてきたものであり、これまでの検討の結果、2011年7月のMEPC62にて、海洋汚染防止（MARPOL）条約の一部改正が合意され、先進国、途上国ともに共通適用となる世界初の国際的な対策が実行されることとなった¹⁾。

国際海運からのGHG排出規制は、エネルギー効率を高めることを目標とし、2013年1月1日から二酸化炭素放出抑制指標（Energy Efficiency Design Index : EEDI、エネルギー効率設計指標とも言う）規制及び二酸化炭素放出抑制航行手引書（Ship Energy Efficiency Management Plan : SEEMP、船舶エネルギー効率管理計画書とも言う）備え置きの義務化で行われる²⁾。

EEDI 規制については、より実効的なものとするため、引き続き関連機関で検討が行われているが、代表海象における速力低下係数 f_w 、EEDIの検査と認証に係る海上試運転実施法・解析法について、国際試験水槽会議（International Towing Tank Conference: ITTC）及び国際標準化機構（International Organization for Standardization : ISO）にて、当所も委員として参画して検討を行っている。



図-1.1 IMO 本会議場（MEPC64）

* 国際連携センター、** 流体設計系

原稿受付 平成24年12月26日

審査日 平成25年2月21日

今後、IMO では、EEDI 規制の適用船種の拡大、手法のレビューを行う他、経済的手法（Market Based Measures：MBM）やさらなる技術的・運航的手法による GHG 削減手法の検討が行われる予定である。

以下ではこれらに対する当所の取り組みを交え、内容を報告する。

2. エネルギー効率指標

2.1 IMO での審議経緯

気候変動に関する国際連合枠組条約（The United Nations Framework Convention on Climate Change：UNFCCC）の京都議定書において、国際海運の GHG 排出削減対策は IMO において追及するよう規定されている。これを受け、IMO では MEPC57（2008 年 3 月）から国際海運からの GHG 削減対策の検討を本格的に開始した。以降、わが国が中心となり、GHG 排出量の現状と将来予測、規制の枠組み検討や技術的内容の審議を行い、GHG 削減はエネルギー効率での評価を行うこと、第一段階の規制は、技術的手法（EEDI）、運航的手法（SEEMP）で行うことが合意され³⁾、MARPOL 条約の一部改正による GHG 削減規制が MEPC62（2011 年 7 月）にて採択された。これによって、国際海運からの GHG 排出規制が 2013 年 1 月 1 日より開始されることとなった。引き続き MEPC63（2012 年 2 月）にて条約改正に必要となる、EEDI 計算ガイドライン⁴⁾、EEDI 検査と認証ガイドライン⁵⁾、SEEMP 策定のガイドライン⁶⁾を採択し、また、EEDI 規制値の参照線計算のガイドライン⁷⁾を採択した。MEPC64（2012 年 10 月）において、上記ガイドラインの一部改正⁸⁾、統一解釈等⁹⁾の承認とともに、当所が中心となって検討を進めてきた、代表海象における速力低下係数 f_w 計算の暫定試行ガイドライン¹⁰⁾が承認された。また、条約発効上 2012 年中に策定が必要な、最低出力を算定するためのガイドラインについては、MEPC64 で結論が出ず、海上安全委員会 MSC91（2012 年 11 月）にて、将来改定することを前提として暫定ガイドライン¹¹⁾が承認され、GHG 規制に必要なガイドラインが整った。

これに対応した国内法も整備され、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律等の一部を改正する法律が成立し、我が国でも当規制が 2013 年 1 月 1 日より実施される¹²⁾。

2.2 技術的手法 EEDI

2.2.1 EEDI 規制

エネルギー効率の高い船舶の建造・調達を促すことを目的として、技術的手法では、建造時にエネルギー効率設計指標が決められた値以下であることを要件とする。

輸送効率の高い海運分野は、他交通モードからのモーダルシフトにより世界的な GHG 排出量の削減が可能である一方で、世界経済の発展に伴い、今後海上輸送量の増加が予想される。このため、輸送効率向上を指向し、400 総トン以上の国際航海を行う新造船舶を対象に、エネルギー効率を指標とし、EEDI 規制値（Required EEDI）及び EEDI 到達値（Attained EEDI）による規制を行う。

(2-1)式に示すとおり、Attained EEDI が Required EEDI 以下であると認証された船舶のみが就航できる。

$$\text{Required EEDI} \geq \text{Attained EEDI} \quad (2-1)$$

2.2.2 EEDI 規制値

EEDI 規制値（Required EEDI）は、EEDI 規制値を決めるための参照線（reference line）を適用船種別に作成し、その数式を与え、これに対し、時期別に削減率（X %）を設定するものである。

Required EEDI は(2-2)式により算定される。

$$\text{Required EEDI} = \left(1 - \frac{X}{100}\right) \cdot a \cdot b^{-c} \quad (2-2)$$

ここで、X は、船種・適用時期・サイズ別に定められた CO₂ 削減率の百分率表示であり表-2.1 に示す値、a, b, c は、1999-2009 年のデータを使い、船種別に定めた定数であり、表-2.2 に示す値である。EEDI 参照線の例を図-2.1 に示す。

Required EEDI の計算を行う船種は、バルカー、ガス船、タンカー、コンテナ船、一般貨物船、冷凍貨物船、兼用船の 7 船種である。客船、RoRo 船等への適用については、引き続き検討が行われている。

適用時期は、Phase 0 から Phase 3 に分類され、

Phase 0：2013 年 1 月 1 日から 2 年

Phase 1：2015 年 1 月 1 日から 5 年

Phase 2：2020 年 1 月 1 日から 5 年

Phase 3：2025 年 1 月 1 日以降

であり、時期が進むにつれ削減率 X が大きくなっていく。

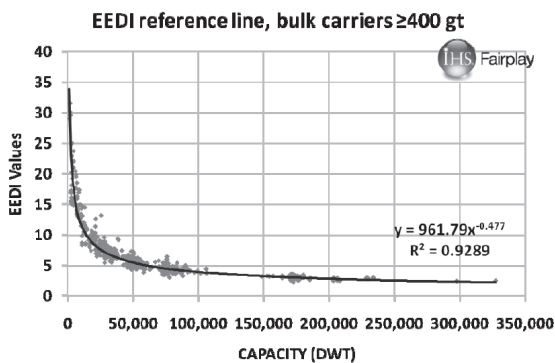
表-2.1 EEDI の削減率 (X %)

船種	サイズ	Phase 0	Phase 1	Phase 2	Phase 3
バルカー	20,000DWT以上	0	10	20	30
	10,000-20,000DWT	N/A	0-10*	0-20*	0-30*
ガス船	10,000DWT以上	0	10	20	30
	2,000-10,000DWT	N/A	0-10*	0-20*	0-30*
タンカー	20,000DWT以上	0	10	20	30
	4,000-20,000DWT	N/A	0-10*	0-20*	0-30*
コンテナ船	15,000DWT以上	0	10	20	30
	1,000-15,000DWT	N/A	0-10*	0-20*	0-30*
一般貨物船	15,000DWT以上	0	10	15	30
	3,000-15,000DWT	N/A	0-10*	0-15*	0-30*
冷凍貨物船	5,000DWT以上	0	10	15	30
	3,000-5,000DWT	N/A	0-10*	0-15*	0-30*
兼用船	20,000DWT以上	0	10	20	30
	4,000-20,000DWT	N/A	0-10*	0-20*	0-30*

*: サイズに対して直線補間した値とする。

表-2.2 EEDI 参照線 (reference line) の係数

船種	a	b	c
バルカー	961.79	DWT	0.477
ガス船	1120.00	DWT	0.456
タンカー	1218.80	DWT	0.488
コンテナ船	174.22	DWT	0.201
一般貨物船	107.48	DWT	0.216
冷凍貨物船	227.01	DWT	0.244
兼用船	1219.00	DWT	0.488

図-2.1 EEDI 参照線の例¹³⁾ (バルカー)

2.2.3 EEDI 到達値

個船毎の EEDI 到達値 (Attained EEDI) は(2-3)式により計算される。

Attained EEDI の計算を行う船種は、バルカー、ガス船、タンカー、コンテナ船、一般貨物船、冷凍貨物船、兼用船、客船、RoRo 貨物船 (自動車運搬船)、RoRo 貨物船、RoRo 客船の 11 船種である。

$$\text{Attained EEDI} = \frac{EEDI_{\text{Numerator}}}{EEDI_{\text{Denominator}}} \quad (2-3)$$

$$EEDI_{\text{Numerator}} = \prod_{j=1}^n f_j \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)} \right) + P_{AE} C_{FAE} SFC_{AE}^* + \left(\prod_{j=1}^n f_j \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} SFC_{AE} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME} SFC_{ME} \quad (2-4)$$

$$EEDI_{\text{Denominator}} = f_i \cdot f_c \cdot \text{Capacity} \cdot f_w \cdot V_{ref} \quad (2-5)$$

(2-3)式は貨物輸送に関するエネルギー効率を表し、輸送量 1 トン 1 海里あたりに排出される CO₂ グラム数を算定するものである。

(2-3)式を概説すると、まず、機関からの燃料消費量に燃料種別毎に定める CO₂ 換算係数を掛け、CO₂ 排出量を算定する。これを輸送量・輸送速度で除算したものがエネルギー効率となる。エネルギー効率は推進エネルギーに対するものであるため、推進に関係しないエネルギーは控除する。この他に、アイスクラスの採用、革新技術による省エネ、容積修正、代表海象での速力低下の考慮など、各種控除・補正がある。

MEPC63 の前に開催された中間会合 (EE-WG2: 2012 年 1 月) では包括的な技術的検討が行われたが、構造強化、共通構造規則、容積修正、シャトルタンカーに関する控除の提案があり、審議の上、その適用が決まった。審議が不十分と思われるところもあるが、直前に迫った実行を遅らせるより、より効果的な GHG 削減を目指したものである。

以下、EEDI 到達値の計算に使用する(2-4)、(2-5)式の各係数について解説する。

なお、以下では下付添字 *ME*, *AE* はそれぞれ主機、補機を表す。

(1) C_F

燃料消費量から CO₂ 排出量への換算係数であり、無次元値で示される。燃料種別毎に規定し、表-2.3 にその数値を示す。

表-2.3 燃料消費量から CO₂ 排出量への換算係数

種別	C_F
Diesel / Gas Oil	3.206
LFO (Light Fuel Oil)	3.151
HFO (Heavy Fuel Oil)	3.114
LPG-P (Liquefied Petroleum Gas; Propane)	3.000
LPG-B (Liquefied Petroleum Gas; Butane)	3.030
LNG (Liquefied Natural Gas)	2.750

(2) SFC

単位出力単位時間当たりの燃料消費量 (燃料

消費率)であり、NO_xテクニカルファイル記載の値を使用する。単位は g/(Kwh)とする。

(3) V_{ref}

船の平水中速力であり、水深が深く、*Capacity*で定義される喫水状態での値である。単位は knot とする。

なお、*Capacity*が総トン数で規定される客船、RoRo 客船は夏期満載状態の状態とする。

(4) *Capacity*

輸送量を表す値であり、船種毎に以下の通り規定される。

1. バルカー、タンカー、ガス船、RoRo 貨物船、一般貨物船、冷凍貨物船、兼用船
夏期満載状態での載貨重量 (DWT)。
ただし、海水密度を 1.025(kg/m³)とする。
2. 客船、RoRo 客船
国際総トン数 (GT)。
3. コンテナ船
夏期満載状態での載貨重量の 70%の値。

(5) $P_{ME(i)}$

各主機の出力で、それぞれの主機の連続最大出力 ($MCR_{ME(i)}$) の 75%の値とする。単位は kW とする。

$$P_{ME(i)} = 0.75 MCR_{(i)} \quad (2-6)$$

なお、軸発電機を装備している場合、推進出力に該当しないことから、以下の2つのオプションにより、軸発電機相当分の出力を控除する。

1. $0.75 \sum_{i=1}^{nME} P_{PTO(i)} \leq P_{AE}$ の場合

(2-7)式で算定する。

$$\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} = 0.75 \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} - \sum_{i=1}^{nME} P_{PTO(i)} \right) \quad (2-7)$$

ここで $P_{PTO(i)}$ は軸発電機の 75%出力であり、単位は kW とする。

2. $0.75 \sum_{i=1}^{nME} P_{PTO(i)} > P_{AE}$ の場合

推進用の出力に回せないと技術的に検証できた場合はその分を控除可能である。

(6) $P_{PTI(i)}$

各軸モータの 75%出力。単位は kW とする。
推進用出力の加算分となる。

$$\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} 0.75 P_{SM,max(i)}}{\eta_{Gen}} \quad (2-8)$$

ここで、 $P_{SM,max(i)}$ は各軸モータ出力、 η_{Gen} は加重平均した発電機効率である。

この場合、推進用の出力 $\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)}$ は

$$\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} + \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i),Shaft} \text{ とする。}$$

ここで、

$$\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i),Shaft} = \sum_{i=1}^{nPTI} 0.75 P_{SM,max(i)} \cdot \eta_{PTI(i)} \quad (2-9)$$

であり、 $\eta_{PTI(i)}$ は各軸モータ効率である。

なお、推進用の出力に回せないと技術的に検証された場合は加算しないことが可能である。

(7) 軸発電機と軸モータに関する注釈

軸発電機と軸モータが共用の場合、*Attained EEDI* 計算にはどちらか一方を使う。

* : 軸発電機により通常最大航海負荷 (Normal Maximum Sea Load) の一部が供給されている場合、 SFC_{AE} と C_{FAE} に代わり SFC_{ME} と C_{FME} をその部分の計算に使っても良い。

** : 軸モータ使用した控除の場合、 C_{FME} SFC_{ME} の項には、 C_{FME} SFC_{ME} と C_{FAE} SFC_{AE} の加重平均を使用する。

(8) P_{AE}

主機出力から算定する補機出力相当分で、(2-10)式で算定する。単位は kW とする。推進用出力から荷役用出力の控除に相当する。なお、算定した P_{AE} が明らかに通常航海で使用する補機の全出力と異なる場合 (例えば客船)、 P_{AE} は電力表から得られる電力消費量 (推進用の出力を除外) を発電効率で除算した値で算定する。

$$P_{AE} = \begin{cases} 0.025 \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) + 250 \\ \text{for } \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \geq 10,000(\text{kW}) \\ 0.05 \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) \\ \text{for } \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} < 10,000(\text{kW}) \end{cases} \quad (2-10)$$

(9) $P_{eff(i)}$

推進に係る革新技術の主機 75%出力相当分。単位は kW とする。推進用出力の控除分である。

ただし、排熱回収を機械的に軸出力に戻す方式は V_{ref} でその効果はカウントされるため控除しない。

なお、二元燃料 (dual fuel) 機関や複数機関の場合、 C_{FME} SFC_{ME} は加重平均を使用する。

(10) $P_{AEff(i)}$

推進に係る革新技術の補機相当分。単位は kW とする。推進用出力の控除分である。

(11) f_j

船舶の設計要素による修正係数。無次元値であり、推進用出力の控除分である。

1. アイスクラス

(2-11), (2-12)式で算定する。

$$f_j = \text{Max}(f_{j0}, f_{j,min}) \quad (2-11)$$

$$f_j \leq f_{j,max} = 1.0 \quad (2-12)$$

ここで f_{j0} , $f_{j,min}$ は表-2.4 にて定める。
なお、表中の L_{pp} は垂線間長で、単位は m である。

2. シャトルタンカー

(2-13)式で算定する。

$$f_j = 0.77 \quad (2-13)$$

(12) f_w

代表海象での速力低下係数。無次元値であり、 V_{ref} の実海域修正分である。

1. *Required EEDI* との比較では、*Attained EEDI* を計算する際、

$$f_w = 1.0 \quad (2-14)$$

とする。

2. f_w を計算した場合、*Attained EEDI_{weather}* として EEDI テクニカルファイルに記載する。

この f_w は、個船毎のシミュレーション計算、もしくは、船種別に *Capacity* の関数として作成された標準 f_w カーブ・表により算定する。

(13) $f_{eff(i)}$

革新技術の利用係数。無次元値であり、推進用出力の控除分である。

なお、革新技術をどのように算定するかはのガイダンス作成を我が国が中心となり行っているが、当所もこの作業に参画している¹⁴⁾。

(14) f_i

各種技術・規制に伴う容量修正係数。無次元値であり、*Capacity* の控除分である。

f_i は、以下のいずれか適合する値とする。

1. アイスクラスに伴う容量修正係数 (f_i)

(2-15), (2-16)式で算定する。

$$f_i = \text{Min}(f_{i0}, f_{i,max}) \quad (2-15)$$

$$f_i \geq f_{i,min} = 1.0 \quad (2-16)$$

表-2.4 アイスクラスに伴う船舶の設計要素による修正係数 (f_j)

船種	f_{j0}	$f_{j,min}$	$f_{j,min}$	$f_{j,min}$	$f_{j,min}$
アイスクラス		IA Super	IA	IB	IC
タンカー	$0.308L_{pp}^{1.920}/\Sigma(P_{ME})$	$0.15L_{pp}^{0.30}$	$0.27L_{pp}^{0.21}$	$0.45L_{pp}^{0.13}$	$0.70L_{pp}^{0.06}$
バルカー	$0.639L_{pp}^{1.754}/\Sigma(P_{ME})$	$0.47L_{pp}^{0.09}$	$0.58L_{pp}^{0.07}$	$0.73L_{pp}^{0.04}$	$0.87L_{pp}^{0.02}$
一般貨物船	$0.0227L_{pp}^{2.483}/\Sigma(P_{ME})$	$0.31L_{pp}^{0.16}$	$0.43L_{pp}^{0.12}$	$0.56L_{pp}^{0.09}$	$0.67L_{pp}^{0.07}$

表-2.5 アイスクラスに伴う容量修正係数 (f_i)

船種	f_{i0}	$f_{i,max}$	$f_{i,max}$	$f_{i,max}$	$f_{i,max}$
アイスクラス		IA Super	IA	IB	IC
タンカー	$0.00138L_{pp}^{3.331}/Capacity$	$2.1L_{pp}^{-0.11}$	$1.71L_{pp}^{-0.08}$	$1.47L_{pp}^{-0.06}$	$1.27L_{pp}^{-0.04}$
バルカー	$0.00403L_{pp}^{3.123}/Capacity$	$2.1L_{pp}^{-0.11}$	$1.8L_{pp}^{-0.09}$	$1.54L_{pp}^{-0.07}$	$1.31L_{pp}^{-0.05}$
一般貨物船	$0.00377L_{pp}^{2.625}/Capacity$	$2.18L_{pp}^{-0.11}$	$1.77L_{pp}^{-0.08}$	$1.51L_{pp}^{-0.06}$	$1.28L_{pp}^{-0.04}$
コンテナ船	$0.1033L_{pp}^{2.329}/Capacity$	$2.1L_{pp}^{-0.11}$	$1.71L_{pp}^{-0.08}$	$1.47L_{pp}^{-0.06}$	$1.27L_{pp}^{-0.05}$
ガス船	$0.0474L_{pp}^{2.590}/Capacity$	1.25	$2.1L_{pp}^{-0.12}$	$1.6L_{pp}^{-0.08}$	$1.25L_{pp}^{-0.04}$

ここで f_{i0} , $f_{i, max}$ は表-2.5 にて定める。
 なお、表中の L_{pp} は垂線間長で、単位は m である。

2. 構造強化に伴う容量修正係数 (f_{ivse})
 (2-17)式で算定する。

$$f_{ivse} = \frac{DWT_{reference\ design}}{DWT_{enhanced\ design}} \quad (2-17)$$

ここで、 $DWT_{reference\ design}$ は、構造強化をしない場合の載貨重量、 $DWT_{enhanced\ design}$ は、構造強化をした場合の載貨重量であり、それぞれ(2-18), (2-19)式で算定される。

$$DWT_{reference\ design} = \Delta_{ship} - lightweight_{reference\ design} \quad (2-18)$$

$$DWT_{enhanced\ design} = \Delta_{ship} - lightweight_{enhanced\ design} \quad (2-19)$$

ここで、 Δ_{ship} は排水量であり、 $lightweight_{reference\ design}$ は構造強化をしない場合の軽貨重量、 $lightweight_{enhanced\ design}$ は構造強化をした場合の軽貨重量である。

なお、適用に当たり、材料、材料の等級の変更は認められない。

3. 共通構造規則 (Common Structural Rules: CSR) に伴う容量修正係数 (f_{icSR})
 CSR が適用されるバルカー、タンカーを対象とし、(2-20)式で算定する。

$$f_{icSR} = 1 + 0.08 \frac{LWT_{CSR}}{DWT_{CSR}} \quad (2-20)$$

ここで、 LWT_{CSR} は軽貨重量、 DWT_{CSR} は載貨重量である。

- (15) f_c
 容積修正係数無次元値であり、Capacity の控除分である。適用船種は、ケミカルタンカー、LNG 船とし、それぞれ以下にて算定する。

1. ケミカルタンカー (f_c)

(2-21)式で算定する。

$$f_c = \begin{cases} R^{-0.7} - 0.014 & \text{for } R < 0.98 \\ 1 & \text{for } R \geq 0.98 \end{cases} \quad (2-21)$$

ここで、 R は容積比(ton/m³)である。

2. LNG 船 (f_{cLNG})

(2-22)式で算定する。

$$f_{cLNG} = R^{-0.56} \quad (2-22)$$

- (16) L_{pp}

垂線間長であり、最小の型深さの 85% の位置での計画喫水線に平行な喫水線の全長の 96%、またはその喫水線上で船首材の前面から船尾垂線までの距離のうちいずれか大きいものとする。単位は m とする。

2.3 運航的手法 SEEMP

運航的手法の検討では、当初、EEDI と同様にエネルギー効率を指標とした、エネルギー効率運航指標 (Energy Efficiency Operational Indicator: EEOI) が検討された。EEDI と同じ単位で、輸送量 1 トン 1 海里あたりに排出される CO₂ グラム数である。しかし、EEOI は集荷量が多い場合有利となるなど、営業の観点が入った指標でもあることから、評価指標の一例とし、広く運航管理まで対象とすることとし、自己改善を図るものとして SEEMP が定められた。

SEEMP の作成にあたっては、

- ・適用するエネルギー効率改善措置 (実施方法、責任者)
- ・モニタリングツールに関する詳細 (計測方法、頻度等)
- ・目標 (計測可能なエネルギー効率改善目標値)
- ・自己評価の手順

を明確にし、計画-実施-モニタリング-評価・改善という PDCA サイクルを継続することで、CO₂ 排出削減を実行するものである。

具体的には、以下の取り組みが例示されている。

航海最適化として、航海計画最適化、ウェザールーティング (最適航路・最適回転数) 等の取り組み、運航最適化として、最適トリム、最適オートパイロット等の取り組み、その他、船体メンテナンス、排熱利用や、配船管理によるバラスト航海の削減、陸電利用や風力・太陽光等自然エネルギーの利用等である。これらの検討は当所委員が参加した通信部会により行われた¹⁵⁾。

3. 代表海象での速力低下係数 f_w

EEDI では実海域で速力低下することによる CO₂ 排出量の評価を加えることが可能である。この提案内容は、当所を中心に開発された研究成果

を基に、我が国から提案したものである。

EEDI は平水中で規定される指標のため、平水性能で最適化が行われることを危惧する船主国・船主団体を中心に、代表海象での船速低下を記載すべきとする我が国提案が広く支持された。その結果、MEPC64 にて代表海象における速力低下係数 f_w 計算の暫定試行ガイドライン¹⁰⁾が承認された。

f_w は 2.2.3 節に記載したとおり、任意で計算することが可能で、その場合、Attained EEDI_{weather} として EEDI テクニカルファイルに記載する。

実海域で遭遇する波や風はさまざまであるが、EEDI は設計指標であることから代表値を取り扱うこととし、北大西洋、北太平洋の長期発現確率を用いて、平均的な海象に近いビューフォート風力階級 6 に相当する海象が表-3.1 に示すとおり決められた。

表-3.1 f_w を算定する代表海象

平均風速	平均風向	有義波高	平均波周期	平均波向
m/s	deg.	m	s	m/s
12.6	0	3.0	6.7	0

f_w は、EEDI を計算する状態で算定される平水中速力 V_{ref} に対し、代表海象での速力 V_w を求め、(3-1)式の通り算定する。

$$f_w = V_w / V_{ref} \quad (3-1)$$

ここで、 P_B at $V_{ref} = P_{Bw}$ at V_w としてそれぞれの速力を求める。 P_B は平水中での主機出力、 P_{Bw} は代表海象での主機出力であり、主機出力が 75%MCR 一定での速力を求めるものである。図-3.1 に出力と速力低下との関係図を示す。

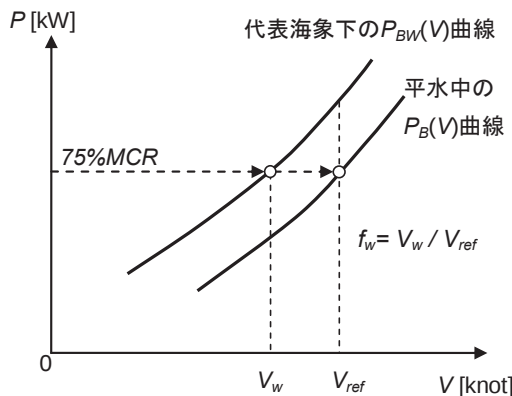


図-3.1 出力と速力低下との関係

f_w の計算に当たっては波、風の影響を評価する必要があるが、特に水面上形状を工夫するなどして波浪中抵抗増加を小さくした場合にも、その影響を正確に評価し、 f_w 値に反映させることができる指標である必要がある。波浪中抵抗増加は、現状の高度な数値計算でも水面上形状の影響をロバストに評価できないことから、当所が中心となって開発¹⁶⁾し、国内造船所、国内船社等の協力を得て検証^{17),18),19)}された、水槽試験結果を計算法に組込む方法により、水槽試験で得られた水面上形状の影響を反映させる方法が採用された。

標準 f_w カーブは、運航実績から求めることとし、広くデータの提供を呼びかけ、国内外の船社及び船主団体より提供を受け、当所にて解析、検討を行ったものである。集まった約 180 隻のうち、15 隻以上の有効データが集まった船種に対し、回帰分析により平均線を求め、この平均線が、解析したデータの中の下限値を通るように平行移動させ、標準カーブを求めたものである。これは、運航実績データの下限値を通ることとすることで、 f_w シミュレーションを行うインセンティブを働かせると共に、運航の安全上の観点からも、安易に実際よりも大きな f_w 値を算出することを防ぐようになっている。

標準 f_w カーブは、Capacity の関数として(3-2)式の通り算定する。

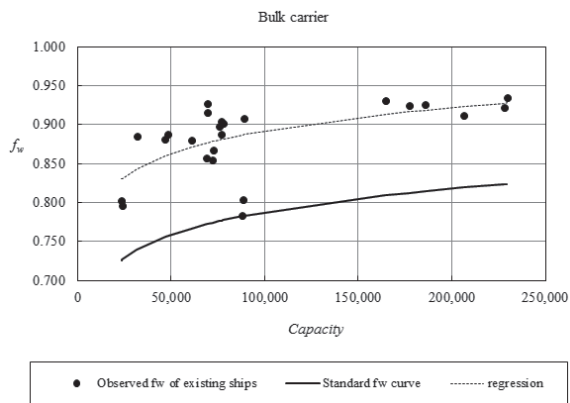
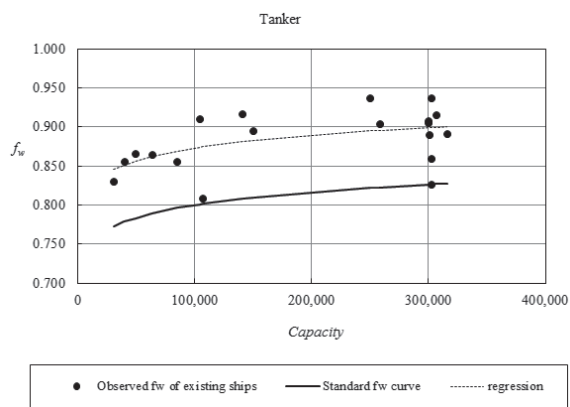
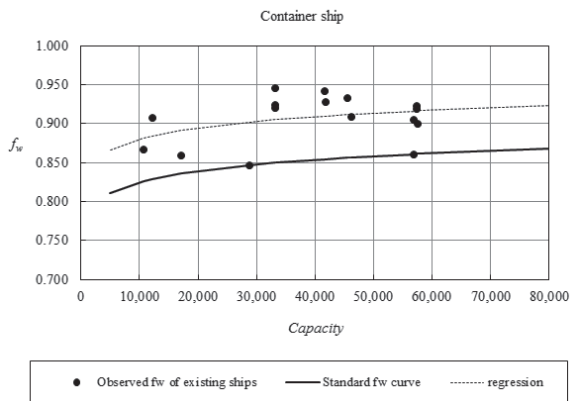
$$\text{standard } f_w \text{ value} = a \times \ln(\text{Capacity}) + b \quad (3-2)$$

ここで、 a 、 b は係数であり、バルカー、タンカー、コンテナ船の値を表-3.2 に示す。また、図-3.2 から 3.4 にそれぞれの標準 f_w カーブを示す。

なお、ITTC の耐航性委員会でも、代表海象における速力低下係数 f_w 計算法の推奨手法の検討が、当所委員を含め行われているところである。

表-3.2 標準 f_w カーブの係数

船種	a	b
バルカー	0.0429	0.294
タンカー	0.0238	0.526
コンテナ船	0.0208	0.633

図-3.2 標準 f_w カーブ (バルカー)図-3.3 標準 f_w カーブ (タンカー)図-3.4 標準 f_w カーブ (コンテナ船)

4. EEDI の検査と認証

Attained EEDI の算定結果は、認証者により検査と認証が行われる。

検査と認証の方法は、EEDI 検査と認証ガイドライン⁵⁾に記載されているが、その解釈を補完するものとして、国際船級協会連合 (International

Association of Classification Societies : IACS) にて産業界ガイドライン (Industrial Guidelines) を作成^{20), 21)}している。

認証事項のうち、平水中速力 (V_{ref}) は、水槽試験で予備認証が行われ、速力試運転にて最終的な認証が行われる。なお、タンカーなど、EEDI で定める喫水状態で速力試運転ができる船は予備認証を除外することができる。

平水中速力 (V_{ref}) は速力試運転で直接計測されるものではないため、速力試運転で波、風等の影響を修正し、平水中速力を求める方法の検討がノルウェーから提案²²⁾され、波、風影響の手法を絞ることが要請された。これをうけ、ITTC は就航中船舶の性能に関する専門家委員会 (Specialist Committee on Performance of Ships in Service : PSS) を 2011 年に設置し、速力試運転の解析法を検討することとなった。当所委員が主担となり、波浪中抵抗増加、風圧抵抗の検証²³⁾などを行った。外乱補正法、潮流修正の扱い等で問題が残るものの²⁴⁾、ITTC から MEPC64 に提案²⁵⁾、²⁶⁾され、速力試運転の解析方法として好ましい方法として脚注に記載された⁹⁾。

ITTC/PSS では引き続き速力試運転の実施法に関する検討を行っている。

一方、ISO でも、同じく速力試運転解析法を定めた ISO15016:2002²⁷⁾の改正が 2011 年より ISO/TC8/SC6/WG17 にて進められており、当所委員も技術的検討に参加している。

5. 最低出力ガイドライン

荒天回避に最低限必要な操縦性を担保するため、荒天下での操船を確保するための最低出力を算定するための暫定ガイドライン¹¹⁾が、MSC91 にて承認された。この暫定ガイドラインは、EEDI 規制に間に合わせるため、Phase 0 の期間に限り、かつ本ガイドラインが近く改定されることを条件に承認されたものである。現在、各国間で検討が行われており、MEPC65 (2013 年 5 月) に改訂審議が行われる見込みである。

当所も海象と規制値の関係評価等、暫定ガイドラインに対する国内検討に関わっている²⁸⁾。

本暫定ガイドラインでは、荒天海象 (adverse condition) は表-5.1 で示す状態とし、バルカー、タンカー、兼用船に対し、2 段階で評価を実施する。第 1 段階の評価で不合格な場合は、第 2 段階の評価を受けることができる。

表－5.1 暫定ガイドラインで定める荒天海象

有義波高	スペクトル ピーク周期	平均風速
m	s	m/s
6.0	8.0 to 15.0	19.0

第1段階：最低出力線による評価

第2段階：簡易評価

である。

第1段階で使用する最低出力線は船種別に(5-1)式で算定され、搭載主機出力の合計（MCR）がこの値以上であることが要求される。

$$\text{MinimumPowerLineValue} = a \times DWT + b \quad (5-1)$$

ここで、DWTは載貨重量であり、係数a、bは表－5.2で与える。

表－5.2 最低出力線の係数

船種	a	b
バルカー	0.0687	2924.4
タンカー	0.0689	3253.0
兼用船	タンカーと同じ	

第2段階の簡易評価は、舵面積が一定以上の値を有する(5-2)式の条件を満足する船舶に適用される。

$$A_R' = \frac{A_R}{L_{pp} T_m \left\{ 1.0 + 25.0 \left(\frac{B_{WL}}{L_{pp}} \right)^2 \right\}} \times 100 \geq 0.9 \quad (5-2)$$

ここで、 A_R' ：舵面積を幅影響を考慮した水面下側面積で除算した比率でパーセントで示す値（%）、 A_R ：舵面積、 L_{pp} ：垂線間長、 T_m ：中央喫水、 B_{WL} ：水線面での最大幅である。

簡易評価は、まず、要求速力（ V_{req} ）を求める。要求速力は、

（1）最低航海速力（ $V_{nv} = 4.0(\text{knot})$ ）

（2）最低保針速力（ V_{ck} ）

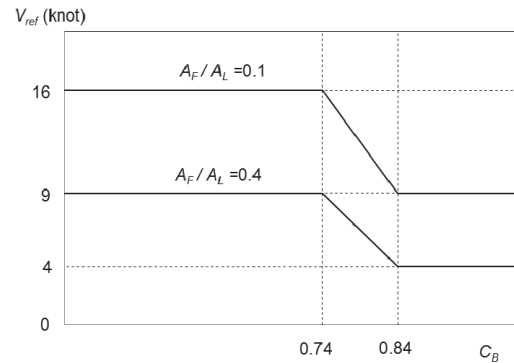
のうちどちらか大きいものとし、表5-1の荒天海象で向波向風とした場合を対象に、この要求速度（ V_{req} ）を出すために必要と計算される出力（ P_{req} ）が、搭載主機のトルクミット以下（搭載主機の作動範囲内）にあれば、荒天状態でも保針できるとする。

最低保針速力（ V_{ck} ）は舵面積をパラメータに、

(5-3)式で計算する。

$$V_{ck} = V_{ref} - 10.0 \times (A_R' - 0.9) \quad (5-3)$$

ここで、参照する保針路速度（ V_{ref} ）は図－5.1の通り与えられ、方形係数（ C_B ）、正面投影面積側面投影面積比（ A_F/A_L ）に関して中間値をそれぞれ直線補間して求める。

図－5.1 参照する保針速度（ V_{ref} ）

P_{req} の算定には、平水中抵抗、自航要素、風圧抵抗係数は簡易推定式が利用可能であるが、波浪中抵抗増加係数は規則波中試験結果を使用する。なお、低速であるため造波抵抗は考慮しない。

6. おわりに

外航海運からのGHG削減のため開始された第一段階の規制について、技術的手法、運航的手法の内容を解説した。これらは我が国が中心的役割を担いIMOでの検討を通じ作成されたが、本稿に示す通り、当所は我が国提案の技術内容の検討を担当している。

今後は第二段階として、経済的手法や経済的手法に将来つなげ得ることを考慮した更なる技術的・運航的手法（「中間的手法」と呼ばれている）が検討されと考えられる。経済的手法については、UNFCCCが2015年までに2020年以降の枠組みを策定する計画であることから、IMOでもそれにあわせ、2015年までに一定の結論を得て、2020年には経済的手法を実行する意思を事務局長が表明している。

我が国等が提案している、総量規制を伴わず、国際航海からのGHG削減に焦点を当てた提案と、欧州を中心に提案されている、総量規制を伴い、他セクターからの排出権の購入により削減を行う提案についてもこれから検討が行われると考える。

参考文献

- 1) 国土交通省海事局: 国際海運における世界初の CO₂ 排出規制の導入について、プレス発表 (2011)
- 2) Resolution MEPC.203(62), “Amendments to the annex of the protocol of 1997 to amend the international convention of pollution from ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto (Inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI)”, (2011)
- 3) 吉田 公一: IMO における GHG 排出規制の動向、海上技術安全研究所報告、第 9 巻、第 4 号 (2009)
- 4) Resolution MEPC.212(63), “2012 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships”, (2012)
- 5) Resolution MEPC.214(63), “2012 guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (EEDI)”, (2012)
- 6) Resolution MEPC.213(63), “2012 guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP)”, (2012)
- 7) Resolution MEPC.215(63), “Guidelines for calculation of reference lines for use with the energy efficiency design index (EEDI)”, (2012)
- 8) Resolution MEPC.224(64), “Amendments to the 2012 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships”, (2012)
- 9) MEPC 64/23, “Report of the marine environment protection committee on its sixty-fourth session”, by the Secretariat, (2012)
- 10) MEPC.1/Circ.796, “Interim guidelines for the calculation of the coefficient f_w for decrease in ship speed in a representative sea condition for trial use”, (2012)
- 11) MSC-MEPC.2/Circ.11, “Interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions”, (2012)
- 12) 国土交通省海事局: 国際海運からの CO₂ 排出削減のための条約改正に伴う CO₂ 排出規制の開始について、プレス発表 (2012)
- 13) MEPC62/6/4, “Calculation of parameters for determination of EEDI reference values”, by the Secretariat, (2011)
- 14) MEPC64/4/8, “Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI”, Submitted by Denmark, Germany and Japan, (2012)
- 15) MEPC62/5/4, “Reduction of GHG Emissions from Ships, Report of the Correspondence Group”, Submitted by Japan, (2011)
- 16) M. Tsujimoto, K. Shibata, M. Kuroda and K. Takagi, “A Practical Correction Method for Added Resistance in Waves”, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.8, (2008), pp. 147-154
- 17) 辻本 勝、佐々木 紀幸、藤原 敏文、上野 道雄、臼井 謙彰、加戸 正治、野村 大吉、高木 健: 海の 10 モード指標計算法、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 10 号 (2009)、pp.97-104
- 18) M. Tsujimoto, N. Sasaki, K. Takagi, “On the Evaluation Method of Ship Performance for Blunt Ships -Extension of 10 mode Index for Ships-”, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.15, (2012), pp. 21-27
- 19) 辻本 勝、黒田 麻利子、粉原 直人、宇都 正太郎: 波浪中水槽試験と f_w 、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 15 号 (2012)、pp. 81-84
- 20) MEPC 64/4/32, “Development of the first version of industry guidelines on calculation and verification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)”, Submitted by BIMCO, CESA, IACS, ICS, INTERCARGO, INTERTANKO, ITTC, OCIMF and WSC, (2012)
- 21) MEPC 64/INF.22, “First version of industry guidelines on calculation and verification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)”, Submitted by BIMCO, CESA, IACS, ICS, INTERCARGO, INTERTANKO, ITTC, OCIMF and WSC, (2012)
- 22) MEPC 62/5/5, “Verification of the EEDI and Comments on ISO 15016:2002 and the equivalent methods for performing sea trials”, Submitted by Norway, (2011)

- 23) M. Tsujimoto, "Validation for Estimation Methods of Added Resistance in Waves and Wind Resistance", Conference Proceedings of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.15, (2012), pp. 175-178
- 24) MEPC64/4/43/Rev.1, "Comments on document MEPC 64/4/15 – ITTC Recommended Procedure 7.5-04-01-01.2, "Speed/power trials, part 2, analysis of speed/power trial data"", Submitted by Japan and the Republic of Korea, (2012)
- 25) MEPC64/4/15, "ITTC Recommended Procedure 7.5-04-01-01.2, "Speed/power trials, part 2, analysis of speed/power trial data"", Submitted by the International Towing Tank Conference (ITTC), (2012)
- 26) MEPC64/INF.6, "Additional information on ITTC Recommended Procedure 7.5-04-01-01.2, "Speed/power trials, part 2, analysis of speed/power trial data"", Submitted by the International Towing Tank Conference (ITTC), (2012)
- 27) ISO 15016:2002, "Ships and marine technology -Guidelines for the assessment of speed and power performance by analysis of speed trial data", (2002)
- 28) MEPC64/4/42, "Comments on the proposed interim Guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions", Submitted by Japan and the Republic of Korea, (2012)