

国際海運におけるエネルギー効率化に 向けた枠組み作り(フェーズ2)

(2011 年度報告書)

2012 年 3 月

財団法人 日本船舶技術研究協会

はしがき

本報告書は、日本財団の 2011 年度助成事業「国際海運におけるエネルギー効率化に向けた枠組み作り(フェーズ 2)」の成果を取りまとめたものである。この事業は、現在喫緊の課題となっている国際的な温室効果ガス (GHG) の削減に向けて、国際海運から排出される GHG 量についても効果的かつ合理的な削減に寄与する目的で、(1) 国際海事機関 (IMO) や気候変動枠組み条約締約国会議 (COP) 等を通じた「国際的な枠組み作りへの対応」と、(2) 船舶から排出される GHG 量削減の具体的手法として LNG 等の代替燃料に関する「船舶の代替燃料利用に向けた総合対策の策定」から成り立っている。

具体的には、国際的な枠組み作りへの対応に関しては、「エネルギー効率化国際対応委員会」を設置し、各委員並びに関係者のご協力のもと、特に技術的手法の検討加速を目的として、その制度の詳細及び導入による効果についての「エネルギー効率設計指標(EEDI)規制レビューに関する調査研究」を行うとともに、IMO・COP 等の各種国際会議に出席し、主要関係国への働きかけを行った。

一方の船舶の代替燃料利用に向けた総合対策の策定については、GHG 排出削減のみならず大気汚染物質排出量抑制にとっても効果の大きな天然ガスを船用燃料とすることに着目し、「代替燃料総合対策策定検討委員会」ならびに ISO で審議されている LNG 燃料船等へのバンカリングに関するガイドラインの課題の抽出を目的に「LNG ISO 対応検討ワーキンググループ」を設置して、各委員並びに関係者のご協力のもと、「LNG 燃料船の経済運航実現に関する課題の検討」を外航船や内航船について具体的に評価を行うとともに、世界の燃料供給インフラ整備状況や、欧州等各国における船用 LNG 燃料の実用化に向けた動き等の調査等を行い、関連する課題の明確化及び解決策の検討等について研究を行った。

エネルギー効率化国際対応委員会
委員名簿（順不同、敬称略）

委員長	畔津 昭彦	（東海大学）
委員	岡村 敏	（有識者）
	吉田 公一	（海上技術安全研究所）
	松岡 巖	（運輸政策研究機構）
	島田 毅	（日本海事協会）
	大嶋 孝友	（日本海事センター）
	井上 清次	（川崎汽船）
	新井 健太	（商船三井）
	川嶋 民夫	（日本郵船）
	河本 賢一郎	（日本船主協会）
	薦田 哲男	（三井造船）
	上田 直樹	（三菱重工業）
	浅野 重明	（佐伯重工業）
関係者	田村 兼吉	（海上技術安全研究所）
	宇都 正太郎	（海上技術安全研究所）
	辻本 勝	（海上技術安全研究所）
	松井 裕	
	華山 伸一	（海洋政策研究財団）
	小俣 重雄	（日本海事協会）
	森本 清二郎	（日本海事センター）
	山口 祐二	（日本造船工業会）
	富澤 茂	（日本中小型造船工業会）
	澤田 拓也	（日本船用工業会）
	泉 史郎	（商船三井）
	田中 太一	（三菱重工業）
関係官庁	斎藤 英明[大坪新一郎]	（国土交通省 海事局 安全基準課）
	山村 真也[塩入隆志]	（国土交通省 海事局 安全基準課）
	松尾 真治	（国土交通省 海事局 安全・環境政策課）
	岡 建典	（国土交通省 海事局 安全・環境政策課）
	西室 麻里花	（国土交通省 海事局 安全・環境政策課）
事務局	田村 顕洋	（日本船舶技術研究協会）
	中村 幹	（日本船舶技術研究協会）
	杉山 哲雄	（日本船舶技術研究協会）

諸富 恭子 (日本船舶技術研究協会)

注) [] 内は、前任者を示す。

代替燃料総合対策策定検討委員会

委員名簿（順不同、敬称略）

委員長	高崎 講二（九州大学）	
委員	田島 博士（九州大学）	
	千田 哲也（海上技術安全研究所）	
	松本 俊之（日本海事協会）	
	増山 伸太（川崎汽船）	
	早嶋 達生（商船三井）	
	川嶋 民夫（日本郵船）	
	木田 隆之（アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド）	
	田中 一郎（川崎重工業）	
	横田 浩明（三井造船）	
	雲石 隆司（三菱重工業）	
	武田 清隆（ユニバーサル造船）	
	山口 祐二（日本造船工業会）	
	田中 圭（ダイハツディーゼル）	
	後藤 悟（新潟原動機）	
	大橋 一生（ヤンマー）	
	辻 一郎（日本舶用工業会）	
	上野 康弘（日本ガス協会）	
	アドバイザー	三浦 佳範（デット ノルスケ ベリタス）
	関係者	大島 寛（鉄道建設・運輸施設整備支援機構）
		村山 隆（鉄道建設・運輸施設整備支援機構）
富澤 茂（日本中小型造船工業会）		
三角 徹（大阪ガス）		
足立 一（東京ガス）		
岩本 泉（海上技術安全研究所）		
福田 哲吾（海上技術安全研究所）		
岸本 雅裕（海上技術安全研究所）		
平田 宏一（海上技術安全研究所）		
大橋 将太（海上技術安全研究所）		
小坂 浩之（海上技術安全研究所）		
安達 雅樹（海上技術安全研究所）		
佐々木千一（日本海事協会）		
千賀 禎弘（日本海事協会）		

林 竜也 (日本海事協会)
玉田 晃暢 (日本海事協会)
武居 信彦 (日本ガス協会)
主藤 英樹 (アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド)
本井 達哉 (川崎重工業)
小村 淳 (川崎重工業)
三井田靖央 (川崎汽船)
村越 知史 (商船三井)
熊田 徹 (商船三井)
山根 克仁 (日本郵船)
橋本 徹 (新潟原動機)
小野瀬一之 (住友商事)
新居田達雄 (住友商事)
野間口嘉行 (住友商事)
幸島 公彦 (住友商事)
上野 智規 (住友商事)
巽 直也 (住友商事)
宮崎 修 (石油資源開発)
大浜 正 (石油資源開発)
鈴木 清 (新和ケミカルタンカー)
関係官庁 坂下 広朗 (国土交通省 海事局 安全・環境政策課)
松尾 真治 (国土交通省 海事局 安全・環境政策課)
岡 建典 (国土交通省 海事局 安全・環境政策課)
溝手 雅士 (国土交通省 海事局 安全・環境政策課)
鈴木 長之 (国土交通省 海事局 総務課技術班)
濱中 郁生 (国土交通省 海事局 総務課技術班)
吉田 正彦 (国土交通省 海事局 船舶産業課)
江頭 博之 (国土交通省 海事局 船舶産業課)
奥川 雄士 (国土交通省 海事局 船舶産業課)
西守 男雄 (国土交通省 港湾局 国際・環境課)
事務局 田中 譲史 (日本船舶技術研究協会)
田村 顕洋 (日本船舶技術研究協会)
加戸 正治 (日本船舶技術研究協会)
中村 幹 (日本船舶技術研究協会)
杉山 哲雄 (日本船舶技術研究協会)
諸富 恭子 (日本船舶技術研究協会)

LNG ISO 対応検討ワーキンググループ

委員名簿（順不同、敬称略）

委員長	小田野 直光（海上技術安全研究所）
委員	柳 裕一郎（海上技術安全研究所）
	千賀 禎弘[菅 勇人]（日本海事協会）
	武居 信彦（日本ガス協会）
	三井田 靖央（川崎汽船）
	早嶋 達生（商船三井）
	松本 卓也（日本郵船）
	横田 浩明（三井造船）
	雲石 隆司（三菱重工業）
	山根 宏明（シンコー）
アドバイザー	三浦 佳範（デット ノルスケ ベリタス）
関係者	富澤 茂（日本中小型造船工業会）
	泉 史郎（商船三井）
	米澤 拳志（日本郵船）
	三角 徹（大阪ガス）
	足立 一（東京ガス）
	高橋 拓二（東京ガス）
	小玉 博文（日本舶用工業会）
	森 一慈（デット ノルスケ ベリタス）
関係官庁	松尾 真治（国土交通省 海事局 安全・環境政策課）
	岡 建典（国土交通省 海事局 安全・環境政策課）
	溝手 雅士（国土交通省 海事局 安全・環境政策課）
	神谷 和也（国土交通省 海事局 検査測度課）
	安田 智行（国土交通省 海事局 検査測度課）
	奥川 雄士（国土交通省 海事局 船舶産業課）
	齋藤 直宏（国土交通省 海事局 船舶産業課）
	濱中 郁生（国土交通省 海事局 総務課技術班）
事務局	田村 顕洋（日本船舶技術研究協会）
	中村 幹（日本船舶技術研究協会）
	杉山 哲雄（日本船舶技術研究協会）
	諸富 恭子（日本船舶技術研究協会）

注) [] 内は、前任者を示す。

国際海運におけるエネルギー効率化に向けた枠組み作り(フェーズ2)

目次

1. 国際的枠組み作りへの対応.....	1
1.1 国際的枠組み作りへの対応に関する検討体制.....	1
1.1.1 エネルギー効率化国際対応委員会.....	1
1.1.2 調査研究の概要.....	2
1.2 IMO および UNFCCC における審議への対応.....	3
1.2.1 国際会議の概要.....	3
1.2.2 IMO の動向.....	4
1.2.3 UNFCCC (気候変動枠組み条約) の動向.....	8
1.2.4 今後の展望.....	10
1.3 革新技术に係る EEDI 計算方法に関する調査研究.....	11
1.3.1 調査研究の目的.....	11
1.3.2 革新技术の調査.....	12
1.3.3 空気循環.....	13
1.3.4 排熱回収.....	17
1.3.5 太陽光発電.....	20
1.3.6 まとめ.....	28
2. 船舶の代替燃料利用に向けた総合対策の策定.....	29
2.1 船舶の代替燃料利用に向けた総合対策の策定に関する検討体制.....	29
2.1.1 代替燃料総合対策策定検討委員会.....	29
2.1.2 調査研究の概要.....	32
2.2 LNG 燃料船の経済運航実現に関する課題の検討.....	34
2.2.1 調査研究の目的および内容.....	34
2.2.2 外航 LNG 燃料船.....	36
2.2.3 内航 LNG 燃料船.....	111
2.3 電気推進型内航船への LNG 焚き船適用可能性調査.....	157
2.3.1 調査研究の目的.....	157
2.3.2 試設計条件と試設計結果の概要.....	158
2.3.3 試設計結果.....	166
2.3.4 経済性評価.....	170
2.3.5 総合評価.....	189
2.3.6 参考データ.....	193
2.4 世界の動向.....	199
2.4.1 LNG 燃料船に係る欧州調査報告.....	199
2.4.2 LNG 燃料船のインフラに関するシンガポール調査報告.....	211
2.4.3 「LNG 燃料船のバンカリングとインフラ」セミナー参加報告.....	217
3. まとめ.....	220

1. 国際的枠組み作りへの対応

1.1 国際的枠組み作りへの対応に関する検討体制

1.1.1 エネルギー効率化国際対応委員会

IMO に関し、本年度開催された EE-WG2・MEPC62 及び MEPC63 において、我が国の提案文書の作成を行い、他国からの提案について、その対処方針について委員会を設置し、審議を行った。一方、UNFCCC の会合 (COP17・AWG) についても、情報収集とともに我が国の対応を審議した。

○ 第 1 回エネルギー効率化国際対応委員会

日時： 2011年6月30日(木) 14:00～16:00

場所： (財)日本船舶技術研究協会 4F 大会議室

議題： ①第3回温室効果ガス対策中間会合 (GHG-WG3) の結果報告
②気候変動枠組条約 (UNFCCC) 特別作業部会 (AWG) ボン会合の結果報告
③第62回海洋環境保護委員会 (MEPC62) への対応について
④今年度調査研究内容について

○ 第 2 回エネルギー効率化国際対応委員会

日時： 2011年12月21日(水) 10:30～13:00

場所： (財)日本船舶技術研究協会 4F 大会議室

議題： ①前回議事録の確認
②第62回海洋環境保護委員会 (MEPC62) の結果報告
③第17回国連気候変動枠組条約締結国会議 (UNFCCC/COP17) の結果報告

○ 第 3 回エネルギー効率化国際対応委員会

日時： 2012年3月19日(月) 10:30～13:00

場所： 東海大学校友会館 富士の間

議題： ①前回議事録の確認

- ②第2回船舶のエネルギー効率化対策に関する作業部会中間会合（EE-WG2）
および第63回海洋環境保護委員会（MEPC63）の結果報告
- ③革新的省エネ技術の調査研究報告
- ④その他

1.1.2 調査研究の概要

- 調査研究名：「革新技術に係る EEDI 計算方法に関する調査研究」

本調査研究の目的は、EEDI（Energy Efficiency Design Index）の主要な革新的なエネルギー効率技術を計算・立証する方法を、MEPC64 に先だって開催された EE-WG2 へ提案することにある。

このため、最初に現状で実用可能と考えられる船舶への革新的なエネルギー効率技術を調査し、これを基に、革新的なエネルギー効率技術の実施予定に関する聞き取りを造船会社を実施した。この結果、要望の高かった技術として、空気潤滑、廃熱回収、太陽光発電の3つを選択し、これらの EEDI を計算・立証する方法を研究した。こうしてまとめられた結果は、国内関係者の合意を得た後、EE-WG2 への提案文章、インフォメーション文章の形でまとめられ、提案された。

1.2 IMO 及び UNFCCC における審議への対応

1.2.1 国際会議の概要

国際海運における CO₂ 排出は全世界の約 3% を占め、ドイツ一国に相当する。気候変動枠組条約 (UNFCCC) 京都議定書は、その対象を附属書 I に掲げる先進国に限定し削減対象外となっており、国際海運については、第 2 条第 2 項において、国際航空とともに専門の国際機関 (国際海事機関 (IMO) 及び国際民間航空機関 (ICAO)) を通じた作業によって、GHG 排出量の抑制を迫ることとされている。

UNFCCC 関係では、2011 年 11 月～12 月にダーバン (南アフリカ) において COP17 が開催され、2020 年からの適用を目標とした、新たな温室効果ガス排出抑制政策を 2015 年までに取りまとめる枠組み (ダーバン・プラットフォーム) が決定した。

一方、IMO では、同項の規定を踏まえ、2003 年第 23 回総会において、「船舶からの温室効果ガス削減に関する IMO の政策及び実行」に関する総会決議 A.963 (23) を採択するとともに、2006 年 10 月に開催された MEPC55 で同総会決議に基づく作業計画を合意し、これに基づき、技術的手法 (新造船のエネルギー効率の改善)、運航的手法 (減速航行、最適航路選択等運航のやり方を改善)、市場メカニズムに基づく経済的手法 (燃料油課金、排出量取引等) についての検討が進められている。

2011 年 7 月に行われた第 62 回海洋環境保護委員会 (MEPC62) では、議場内外における長時間の交渉の末、技術的手法 (エネルギー効率指標)、運航的手法 (個船ごとの船舶エネルギー効率管理計画の策定) の導入を柱とする海洋汚染等防止条約 (MARPOL 条約) 第 6 附属書の改正案が採択された。また、2012 年 2 月に開催された MEPC63 では、エネルギー効率設計指標の計算及び認証方法並びにエネルギー効率管理計画の策定に関するガイドラインが採択された。

上記のとおり、2013 年 1 月からの改正 MARPOL 条約の実施に必要なガイドラインが全て整うこととなった。これにより、全世界で非差別／統一的に適用される世界初の CO₂ 排出抑制スキームが、国際海運分野に導入されることとなる。

IMO では今後、経済的手法の策定議論を行うとともに、技術的手法の更なる改善検討を行うことが予定されている。

我が国は、世界有数の海運国・造船国として、その技術的知見を積極的に IMO に提案を行うとともに、MEPC 作業部会 (WG) の議長、連絡会合 (コレスポnden スグループ) のコーディネータを務める等、IMO の議論を主導してきたところである。今後も、産学官連携のもとに、各種の CO₂ 排出削減対策を IMO に提案し、国際的枠組み作りに主体的に貢献する必要がある。

1.2.2 IMO の動向

(1) IMO 会合の報告

2011年7月に開催されたMEPC62、2012年1月に開催された「第2回船舶のエネルギー効率に関する中間会合（EE-WG2）」及び2012年2月～3月に開催されたMEPC63の報告を以下に示す。

(i) IMO 第62回海洋環境保護委員会（MEPC62）の報告<GHG 関係>

日時：2011年6月11日～15日

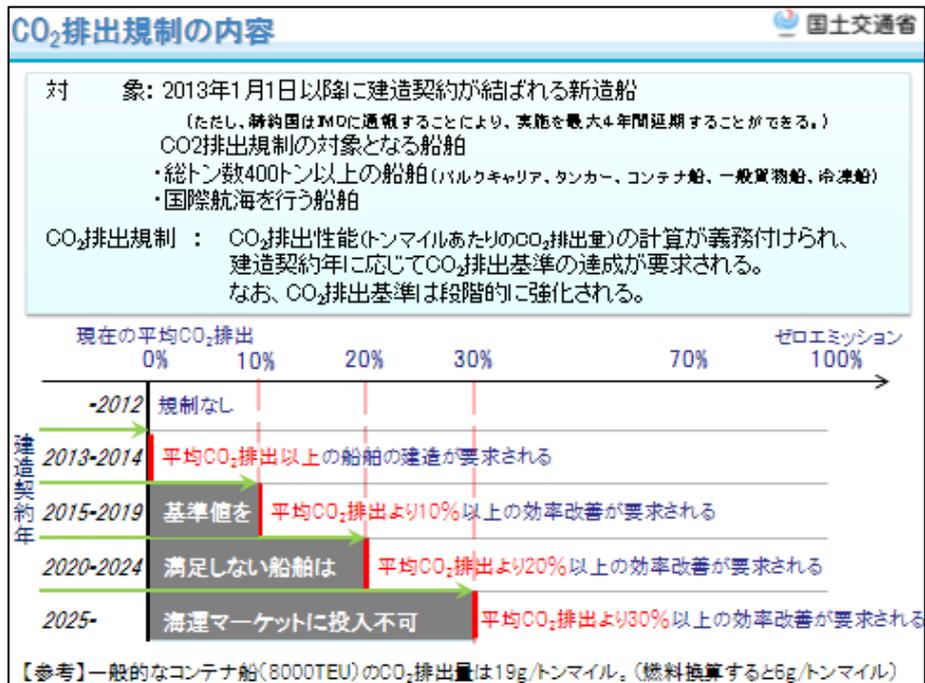
場所：ロンドンIMO本部

日本が主導的な立場で作成した国際海運におけるCO₂排出規制を世界で初めて導入するための海洋汚染防止条約（MARPOL条約）の一部改正案の審議が行われ、改正案が採択された。国際海運は、京都議定書の適用除外とされており、これまで温暖化対策が取られてこなかった分野であったが、今回の改正により、世界で初めて国際的な対策が行われることとなった。

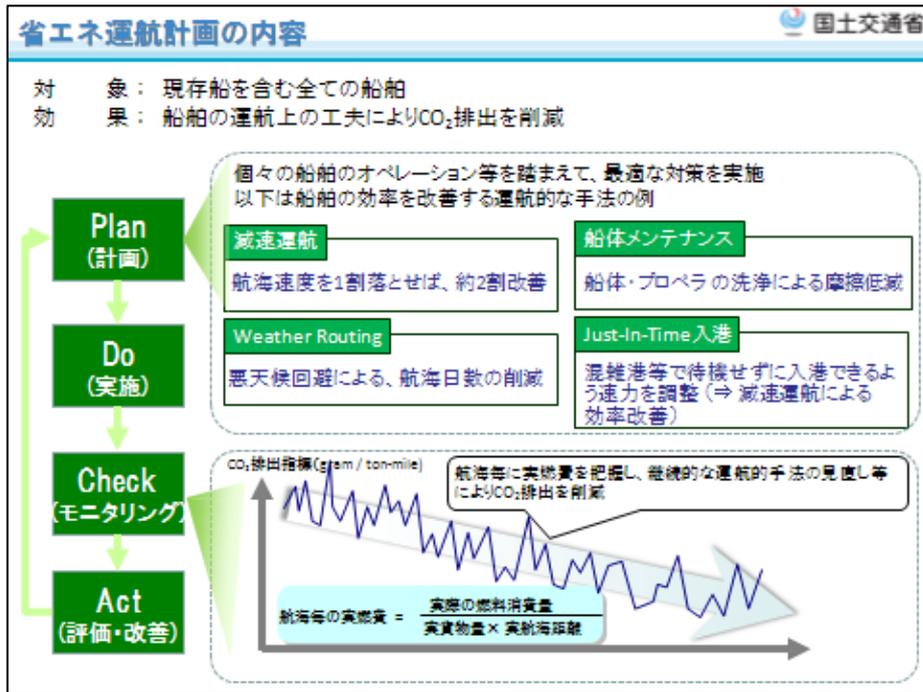
①条約改正案の骨子

今回の改正で以下の対策が、2013年1月^{*1}から義務付けられることとなる。

- 2013年以降に建造される船舶に対する船舶のCO₂排出指標（「エネルギー効率設計指標」：EEDI）の導入と、これに基づくCO₂排出規制の実施
- 省エネ運航計画（「船舶エネルギー効率管理計画」：SEEMP）の作成の義務付け



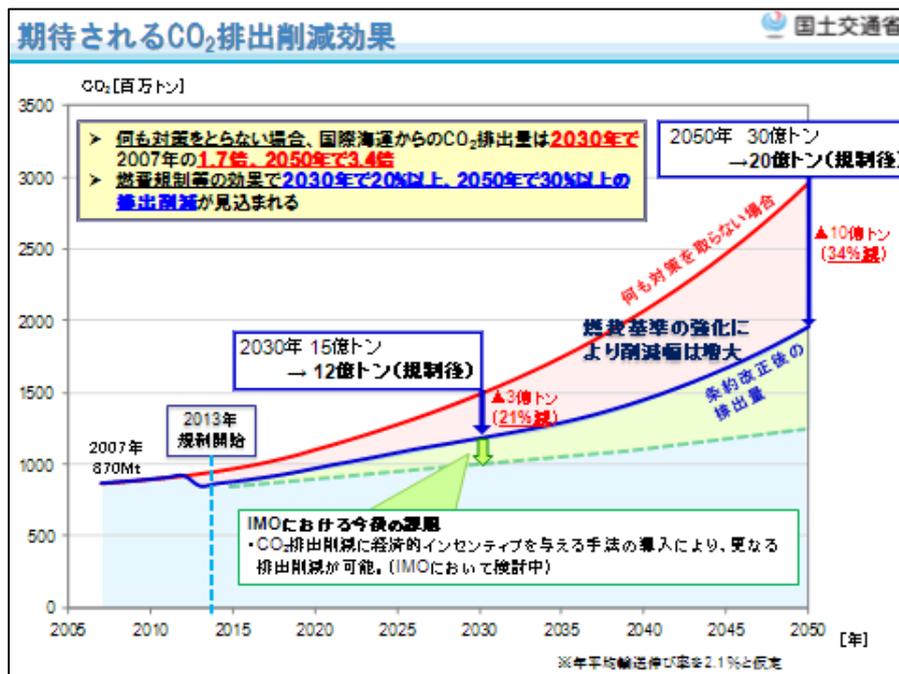
^{*1}締約国はIMOに通報することにより新造船に対する燃費規制の実施を最大4年間延期することができる。



図：CO₂ 排出規制の内容（出典：国土交通省）

②本条約改正により期待される効果

2013年以降、新たに建造される船舶は、船舶の種類毎に設定されたCO₂排出基準を満たすことが要求され、当該基準は、段階的に強化されるため、将来的に、船舶は燃費性能の優れたものに順次入れ替わることとなる。また、現在運航中の船舶も、省エネ運航計画の作成が義務付けられ、運航効率の向上などに取組むことになる。こうした対策により、何らの対策も講じない場合に比べ、2030年には約20%、2050年には約35%のCO₂排出量差削減が期待される。



出典：国土交通省

(ii) IMO/第2回船舶のエネルギー効率に関する中間会合 (EE-WG2) の報告

日時：2011年1月9日～13日

場所：ロンドン IMO 本部

① EEDI 計算ガイドライン案の最終化

EEDI の計算方法を記載したガイドライン (EEDI 計算ガイドライン) 案の審議が行われ、最終化された (主な議論は以下のとおり)。

(a) 実海域の船速低下影響係数 f_w 及び実海域におけるエネルギー効率設計指標 EEDI_{weather} について、それらの値を計算した際は EEDI テクニカルファイルに記載することを日本が提案したところ、多くの国からの幅広い支持を得て、日本提案が受け入れられました。一方、 f_w を計算するためのガイドライン (f_w 計算ガイドライン) については、今後関係国と議論をしつつ、日本が主導して更に内容を改善することとなった。

(b) ケミカルタンカーの運航特性及び船舶設計を考慮した補正係数 f_c について、MEPC62 において係数の導入については IPTA (International Parcel Tanker Association : 国際パーセルタンカー協会) の提案に基づき合意されていたが、その値については修正 (fine tuning) が必要とされていた。これを受け、我が国及びデンマークが共同で代替案を提案したところ、当該提案をベースにした係数が合意された。

(c) LNG (液化天然ガス) 運搬船の運航特性及び船舶設計を考慮した補正係数 f_{cLNG} 、IACS (International Association of Classification Societies : 国際船級協会連合) が作成する CSR (Common Structural Rules : 船舶構造基準) を満足することにより船体重量が増加することに対応するための補正係数 f_{iCSR} が、それぞれ新たに設定された。

② EEDI 検査・認証ガイドライン案の最終化

EEDI の検査・認証方法を記載したガイドライン (EEDI 検査・認証ガイドライン) 案の審議が行われ、最終化された (主な議論は以下のとおり)。

(a) 海上公試における速力の修正方法の見直しについて、日本及び ITTC (International Towing Tank Conference : 国際試験水槽会議) は、専門的知見を有する ITTC において検討することを提案していた。ITTC は当該作業を MEPC64 (本年 10 月) までに終了させることを表明し、日本及び ITTC 提案が受け入れられた。

③ SEEMP ガイドライン案の最終化

SEEMP の作成方法を記載したガイドライン (SEEMP ガイドライン) 案については、捜索・救助のための活動時の運航効率化モニタリングを対象外とすること等の議論を経て、最終化された。

④ その他

- (a) 本プロジェクトの調査研究結果を基に、日本より革新的省エネ技術の効果を EEDI の計算上どう反映させるかについてのガイダンス（革新的省エネ技術の計算ガイダンス）案を提案したところ、当該ガイダンス案に対して多くの国から賛同を得られた。本ガイダンス案については、今後関係国と議論をしつつ、日本が主導して更に内容を改善することとなった。
- (b) EEDI 値を満足させつつも荒天下において十分な耐航性を確保させるためのガイドライン（最低出力ガイドライン）について、今次中間会合で最低速力暫定基準を策定すべきと主張する国と、更なる議論が必要であるとする国に意見が分かれ、今後審議を継続することとなった。
- (c) 現在の EEDI 規制では対象外になっている船舶（旅客船、RoRo 船、ハイブリッド推進船）を EEDI 規制の枠組みに組み込むことについても、MEPC65（2013 年夏）での最終化に向け、議論が開始された。

(iii) IMO／第 63 回海洋環境保護委員会（MEPC63）の報告<GHG 関係>

日時：2012 年 2 月 27 日～3 月 2 日

場所：ロンドン IMO 本部

① 技術的・運航的手法

EE-WG2 の結果をもとに、「EEDI 計算ガイドライン」、「EEDI 検査・認証ガイドライン」、「SEEMP 策定ガイドライン」の 3 つのガイドライン等が採択された。これにより、2013 年 1 月に発効予定である規制の枠組みが整った。

一方、技術協力に係る決議案については、気候変動枠組み条約（UNFCCC）の CBDR 原則の適用を主張し、財政的支援を含めようとする途上国と、IMO においては他の条約の原則に触れるべきでなく、また財政的支援は IMO の技術的規則に関する決議にはふさわしくないと主張する先進国との間で意見がまとまらず、次回会合において継続審議されることとなった。

② 船舶の省エネ対策にインセンティブを与える仕組みの導入（経済的手法）

(a) 背景

IMO では、船舶の効率改善を促進するため、燃料油課金制度や排出量取引（ETS）などの経済的手法についても検討が行われている。日本からは、燃料油課金制度をベースとし、船舶の効率改善に一層のインセンティブを与える手法（規制値から更に燃費の優れた船舶には燃料油課金を減免する制度）を世界海運評議会（WSC^{※2}）と共同で提案している。

^{※2} WSC（World Shipping Council）：世界の定期航路船社約 30 社からなる海運業界団体であり、IMO のオブザーバー資格を有する。

提案国等	制度名称	制度概要
グループ A：国際海運からの実質的な CO ₂ 排出削減に焦点をあてた制度		
日本、WSC	EIS： Efficiency Incentive Scheme	燃料油への課金制度をベースとして、EEDI の優れた船舶の課金を減免する制度
米	SECT： Ship Efficiency and Credit Trading	一定の効率基準を設定し、当該基準を達成していない船舶と達成している船舶間において、効率クレジット（効率基準からの乖離率に活動量を乗じたもの）を取引する制度
ジャマイカ	PSL：Port State Levy	航海毎の燃料消費量に応じて、寄港地で課税する制度
バハマ	義務的な排出削減	過去の実績を基に、個船に排出削減義務をかける制度
グループ B：海運セクターの排出総量規制（キャッピング等）を行い、主として他セクターからの排出権の購入により削減を行う制度		
デンマーク等	GHG FUND	燃料油への課金制度であり、かつ、海運セクターの排出総量規制を伴う制度
独、諾、仏、英	ETS： Emission Trading System	海運セクターの排出総量規制を行い、個船に排出権を割り当て、実排出量に応じて排出権を取引する制度

※ その他、IUCN（国際自然保護連合）より、輸入額に応じて、収益の発生する MBM とセットで適用することを想定した、途上国に MBM の収益を払い戻す制度が提案されている。

昨年 3 月に開催された GHG 中間会合において、各経済的手法案については上記のように、制度の特徴に応じグループ A とグループ B に分類されている。

我が国提案の EIS を含むグループ A については、エネルギー効率の優れた国際海運へのキャッピングを伴わないため、世界経済の担い手である国際海運の活動を阻害しない、船舶の効率改善のための初期投資（効率の優れた船舶の導入等）を行ったとしても、燃料消費量の削減によって当該費用は回収可能である等の長所がある。

今次会合では、MBM に係る議論を加速するため、これら IMO に提案されている各制度を導入した場合の貿易等への影響調査の実施について審議が行われた。

その結果、影響調査の実施については、時間の制約により、調査の手法、クライテリア等の詳細について合意されなかったため、引き続き MEPC64 において検討されることとなった。

1.2.3 UNFCCC（気候変動枠組条約）の動向

(iv) UNFCCC 気候変動枠組条約第 17 回締約国会議／京都議定書第 7 回締約国会合（COP17/CMP7）の報告

日時：2011 年 11 月 28 日～12 月 10 日

場所：南アフリカ・ダーバン

① 全体

我が国は、全ての主要排出国が参加する公平かつ実効性のある国際枠組みの構築を目指して今次交渉に臨んだ。最大の焦点であった 2013 年以降の枠組みの在り方については、新たな作業部会を設置することなどの建設的な提案を行って交渉の進展に貢献した。他方、途上国が求めていた京都議定書の第二約束期間については、将来の包括的な枠組みの構築に資さないため日本は参加しないとの立場を貫いた。

今次会合では、将来の枠組みへの道筋、京都議定書第二約束期間の設定、緑の気候基金の基本設計等について合意するなどの成果があった。

将来の枠組みに関しては、法的文書を作成するための特別作業部会を立ち上げ、可能な限り早く、遅くとも 2015 年中に作業を終えて、議定書、法的文書または法的効力を有する合意成果を 2020 年から発効させ、実施に移すとの道筋に合意した。

京都議定書については、第二約束期間の設定に向けた合意が採択された。我が国を含むいくつかの国は第二約束期間には参加しないことを明らかにし、そのような立場を反映した成果文書が採択された。

② 国際交通関係^{※3}

エキスパートレベルの会合では、中国、インド、ブラジルの BASIC 諸国、アルゼンチン、サウジアラビア等が、国際交通分野の温暖化対策においても、UNFCCC の原則である CBDR の適用が重要であり、その旨を ICAO/IMO に対してガイダンスを行うよう主張。

一方、米国、日本、カナダ、豪州、EU、シンガポール、バハマ、パナマ、UAE、韓国等は、ICAO/IMO は独立した機関であり実績もあることから、特段のガイダンスは不要である旨主張し、議論は平行線となった。

また、先進国等から IMO での燃費規制採択について歓迎する旨の発言があった一方で、BASIC 諸国からは、同規制が僅か 49 か国の賛成だけで採択され、かつ CBDR が反映されていないこと等について不満が表明され、経済的手法の審議に際しては CBDR を盛り込むことが重要との指摘がなされた。

さらに、ボリビアが、国際交通分野における経済的手法を通じて創出される資金を途上国支援等の地球温暖化対策に使うよう提案したが、先進国・途上国を含めて多くの国が反対した。

エキスパートレベルでの交渉では議論がまとまらなかったことから、ファシリテーターを閣僚級（仏の環境・持続可能開発・運輸住宅大臣）に格上げして議論を行った。その結果、国際交通分野（航空・海運）の排出問題については検討を継続することは合意されたものの、具体的に踏み込んだ合意内容とはならなかった。

^{※3} ここでの議論は将来の枠組みに関するもの。なお、京都議定書では、国際交通分野は IMO/ICAO での作業を通じて GHG 排出削減を追求することとされており、議定書延長（第二約束期間）の場合でも当該取り扱いに変更はない予定（少なくとも今次会合において当該取り扱いの変更に関する議論は一切出していない）。

③ 長期資金関係

2009 の COP15（コペンハーゲン合意）において、気候変動対策の長期資金として、2020 年までに年間 1,000 億 US ドルを拠出することを合意済。なお、昨年の COP16（カンクン合意）に提出された国連事務総長諮問委員会レポート、2011 年の G20 に提出された世銀レポート等においては、国際交通分野が主要な拠出源と位置づけられているところ。

資金会合において、EU、ボリビアからは国際交通分野からの拠出を求める主張が行われたが、日本から特定の資金源のみに言及することは不適切である旨発言したところ、中国、インド、ブラジル、ノルウェー、カナダ、ナイジェリア、サウジアラビア、シンガポール、韓国、メキシコ、パナマ、バングラディッシュ等から支持があった。

長期資金に関しては、国連事務総長諮問委員会レポート、G20 レポート等に基づいて、2012 年に資金調達先の拡大・分析のための作業計画を策定すること等が合意された。なお、国際交通分野からの拠出についての直接的な言及はなされなかった。

1.2.4 今後の展望

以上のとおり、2011 年 7 月に開催された MEPC62 及び 2012 年 2 月に開催された MEPC63 において、CO2 排出抑制のための技術的手法及び運航的手法にかかる MARPOL 条約附属書 VI の改正案が採択された。MARPOL 条約附属書 VI の改正は Tacit 形式が採られており、2012 年 7 月までに附属書 VI 締約国の 1/3 以上の国が本改正案に対し異議通告を行わなければ発効が確定する。

このように今年度は CO2 排出抑制策に関する国際議論に極めて大きな進展が得られた 1 年となったが、一方で現行の技術的手法では RoRo 船、旅客船に関する基準値が設定されておらず、EEDI 規制が適用されていない状況にある。また、DFDE 推進等既存の推進機関と異なる推進機関を有する船舶についても EEDI 規制の適用対象外とされている。更に、本プロジェクトの研究結果である革新的省エネルギー技術の効果算定方法については、これから詳細の審議を行うこととなっている。

合理的かつ効果的な CO2 排出抑制策を更に充実させるとともに、我が国の国際競争力の一層の強化を図るためには、これらの RoRo 船、旅客船及び新推進機関に関する EEDI 計算方法の策定及び革新的省エネルギー技術の取扱いに関するガイダンスについて、引き続き我が国が国際議論を主導する必要がある。

また、技術的手法及び運航的手法について一定の成果を得たことから、IMO において今後は経済的手法に関して一層重点的に検討を行うことが予想される。経済的手法は、今後の国際海運活動に直接的に影響を及ぼす性質のものであることから、引き続き当該審議に積極的に参画することが必要不可欠である。また、当該議論とあわせ、UNFCCC における議論についても国際海運の特徴を踏まえない不適切な枠組みが策定されることのないよう、適切に対応していくことが必要である。

このように GHG 排出抑制に向けた国際的な枠組みについては来年度以降も引き続き議論が行われるところ、我が国においても造船国・海運国としての産学官の知見を集約し、引き続き積極的に国際議論を主導していくことが必要である。

1.3 革新技術に係る EEDI 計算方法に関する調査研究

1.3.1 調査研究の目的

本調査研究の目的は、MARPOL 73/78 の Annex VI の規則 5, 6, 7, 8, 9, 20 に従って、EEDI (Energy Efficiency Design Index) の革新的なエネルギー効率技術を計算・立証する方法を示すことにある。このため、①現状での革新的なエネルギー効率技術の調査、②革新的なエネルギー効率の将来技術に関する調査を実施、③②の結果、有望な革新的なエネルギー効率技術について、EEDI を計算・立証する方法を研究、④MEPC64 に先だって開催される EE-WG への提案文章、インフォメーション文章の形でまとめる、といった手順で本調査研究を進めることとした。

なお、革新的なエネルギー効率技術は下記のカテゴリーA,B,C に大別され、カテゴリーB,C については、さらに B-1,B-2,C-1,C-2 に分類される。

カテゴリーA : P_{ME} と V_{ref} の相互変化により、パワーカーブをシフトさせる。例えば、 V_{ref} を一定としたとき、 P_{ME} が減少する。

カテゴリーB : P_{eff} として節約されたエネルギーをカウントすることにより、主機関の出力から (省エネルギーデバイスの効果の結果) 節約分のエネルギーを控除する。

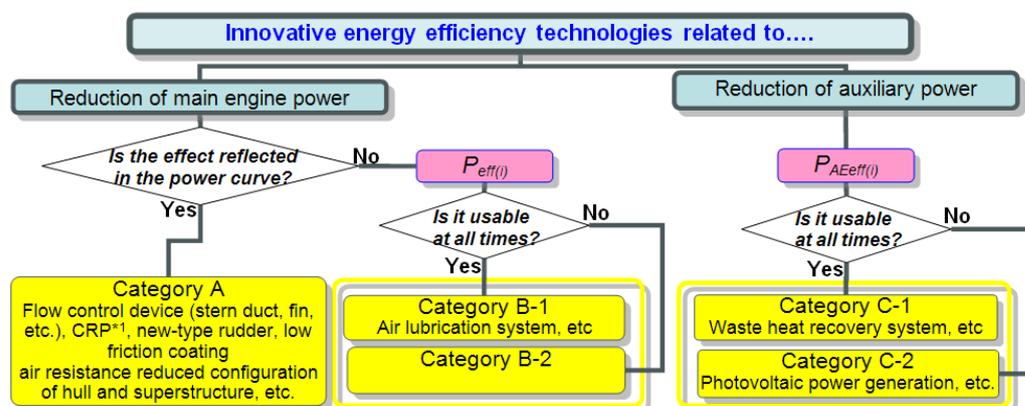
カテゴリーB-1 : 稼働中いつでも利用でき、有効性ファクター(f_{eff})を 1 として取り扱える技術。

カテゴリーB-2 : 限られた条件下のみで利用できるもので、有効性ファクター(f_{eff})を 1 未満とすべき技術。

カテゴリーC : P_{AEff} として節約されたエネルギーをカウントすることにより、補機関の出力から (省エネルギーデバイスの効果の結果) 節約分のエネルギーを控除する。

カテゴリーC-1 : 稼働中いつでも利用でき、有効性ファクター(f_{eff})を 1 として取り扱える技術。

カテゴリーC-2 : 限られた条件下のみで利用できるもので、有効性ファクター(f_{eff})を 1 未満とすべき技術。



*1 Contra-Rotating Propeller

図 1.1.1 革新的なエネルギー効率技術の分類

1.3.2 革新技術の調査

エネルギー効率向上の観点から海運業界では省エネルギーのための革新技術の開発が盛んに行われている。2013年1月から義務化されるEEDIの算定においては、推進に係る機械的革新技術(P_{eff} 等)や補助機関の出力低減に係る電氣的革新技術(P_{Aeff} 等)といった形で考慮されている。

本研究の目的は、これら P_{eff} や P_{Aeff} などの革新技術に係る項の算定方法を検討することであるが、その前段階として、文献等から現状で船舶に適応可能な革新技術を調査した。この結果を革新技術リストとして表2.1.1に示す。リストでは主機・補機系、船体・船型系、推進系、運航・保守系という4つの分野に分けて技術を整理した。

表 2.1.1 革新技術リスト

	技術分野	適用技術・インフラ
主機・補機系	回収エネルギーの利用	熱交換器効率向上技術, 蒸気製造技術向上技術, 造水装置技術, 蒸気タービン発電機, パワータービン, インバータ効率向上, リチウムイオン電池, キャパシタ改良
	代替燃料	天然ガス輸送・貯蔵技術開発, 天然ガスハイドレート化, 蒸気タービン改良エンジン, デュアルフューエル・ディーゼル, LNG・CNG搭載技術, バイオディーゼル
	燃料電池	ディーゼル・燃料電池ハイブリッド, ガスタービン・燃料電池ハイブリッド, 燃料電池船, 船用燃料電池スタック開発, 船用水素貯蔵技術, 船用水素輸送技術, 洋上水素供給
	ガスタービン	ガスタービンエンジン
	バッテリー走行	インバータ効率向上, リチウムイオン電池, 電気二重層キャパシタ, ハイブリッドキャパシタ, 超伝導フライホイール, 次世代電池(リチウム金属電池, リチウム硫黄電池), 洋上発電・給電プラットフォーム技術, 超伝導モータ, 太陽光発電
船体・船型系	大型化	大型船建造, ドック大型化, ハブ港ネットワーク
	船体形状・船首形状改良	双胴船(カタマラン), 三胴船(トリマラン), 単胴船船首形状改良(球状バルブ等)
	軽量化	高張力鋼利用, アルミ部材適用, 構造部材低減, FRP, CFRP, バラスト低減・ノンバラスト
	舵・船尾改良	形状最適化, フィン装着
	粘性抵抗低減	マイクロバブル, 空気潤滑法, 空気膜法, 摩擦低減塗料
	風圧抵抗低減	居住区外壁への板装着
	船内省電力化	低電力消費型照明機器, 低電力消費型航海計器, 荷役機器の省エネ化, 送電ロス対策
推進系	プロペラ改良	CRP, 遊転プロペラ, ポッド推進, 二軸化
	省エネ付加物	プロペラ前後への省エネデバイス装着
	外乱エネルギー利用	波浪推進, 帆走技術(凧), 帆走技術(高揚力帆)
運航・保守系	運航面の高度化	ウェザールーチン, オートパイロット改良, 陸電利用, 配船計画の高度化, 陸上輸送を含めた運航最適化
	運航支援の高度化	シームレス物流のための接点機能改善, 自動着棧技術, 港湾荷役機器改善, ICTを利用した通関・荷物追跡, 将来船への機能対応, メンテナンス最適化, 修繕ドック機能向上

次に主機・補機系、船体・船型系、推進系については、タンカー／バルカー、コンテナ船、ローロー船／フェリーといった主要な商船船種別に適用の可能性を調査した。調査の中では、新造船だけでなく、レトロフィットの可能性も考慮した。結果を、表2.1.2に示す。なお、運航・保守系については、どの船種に対しても有効であることからこの調査から除外している。新造船に対しては、ほとんどの

技術が適用可能であるが、レトロフィット適用の可能性のある技術は限定的である。

表 2.1.2 主要な商船船種別の革新技術適用可能性

適用技術	タンカー／バルカー		コンテナ船		ローロー船／フェリー	
	新造船	レトロフィット	新造船	レトロフィット	新造船	レトロフィット
主機・補機系						
回収エネルギー利用	○		○		○	○
デュアルフューエル・ディーゼル	○	○	○	○	○	○
バイオ燃料	○		○		○	
ディーゼル・燃料電池ハイブリッド	○		○		○	
バッテリー走行	○		○		○	
船体・船型系						
大型化	○		○		○	
船型改良	○		○		○	
ノンバラスト	○		○		○	
バラスト低減	○	○	○	○	○	○
部材軽量化	○		○		○	
空気膜法	○	○	○	○	○	○
摩擦低減塗料	○	○	○	○	○	○
風圧低減(居住区)	○	○	○	○	○	○
船内省電力化	○	○	○	○	○	○
推進系						
CRP	○		○		○	
ポッド推進	○		○		○	
プロペラ二輪化	○					
プロペラ周り省エネデバイス	○	○	○	○	○	○
波浪推進	○		○		○	
帆走(風)	○	○			○	○
帆走(高揚力帆)	○				○	

1.3.3 空気潤滑

1.3.3.1 空気潤滑の概要

空気潤滑法は革新的なエネルギー効率化技術の一つである。船の前方の船底からブローア(送風機)等を用いて細かい気泡を噴き出して船体表面を覆うことにより、航行時の船体と海水との摩擦抵抗を低減させる技術である。

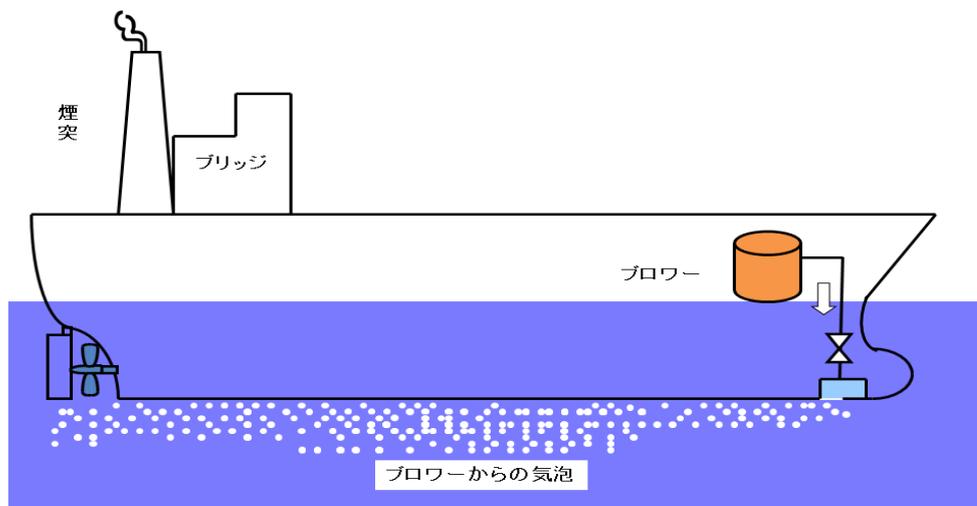


図 3.1.1 空気潤滑法の概念図

1.3.3.2 計算法

(i) 空気潤滑法による馬力低減

革新的エネルギー効率化技術である空気潤滑法による馬力低減係数 P_{eff} は次式によって計算されるものとする。右辺の第1項は空気潤滑法による主機馬力の低減量を、第2項は空気潤滑法を駆動するために必要な動力を定める。本手法では EEDI 計算式における f_{eff} は 1.0 とする。

$$P_{eff} = P_{MEffAL} - P_{AEffAL} \frac{C_{FAE} SFC_{AE}}{C_{FME} SFC_{ME}} \quad (3.2.1)$$

P_{eff} は 75%MCR に対して、空気潤滑法によって得られる正味の馬力低減量であり、単位は kW である。ただし軸発電機を用いる場合は、EEDI 計算ガイドライン 2.5 に従い、75%MCR から軸発電機分を控除した値を用いる。 P_{eff} は満載状態及び海上試運転状態のそれぞれについて求める。

P_{MEffAL} は空気潤滑法による主機馬力低減量であり、単位は kW である。 P_{AEffAL} は EEDI 計算ガイドラインにおいて定義された Capacity に対応する状態（以下では満載状態とする）及び海上試運転状態のそれぞれについて以下を考慮して定められる。

- ① 空気中被覆される面積
- ② 空気膜厚
- ③ 空気膜による摩擦抵抗低減率
- ④ 気泡による推進効率の変化（自航要素及びプロペラ単独効率）及び
- ⑤ 付加物を設ける場合は、付加物による抵抗の変化

P_{AEffAL} は満載状態において空気潤滑法を駆動するために必要な動力（パワー）であり、単位は kW である。 P_{AEffAL} は原則としてメーカーが計画したブローアの定格出力の 75% とする。ただし、この値が満載状態における通常航海で用いる出力と大きく異なる場合には、別途計算を行った上で、他の値をとることができる。その場合、計算書を認証機関に提出すること。

(ii) 空気潤滑法を用いた EEDI 計算における留意事項

空気潤滑法の効果を二重取りすることを避けるために、EEDI 計算ガイドラインの paragraph 2.2 で定めた V_{ref} は空気潤滑システムを稼働させない状態で計算すること。

EEDI 計算ガイドラインに基づき、空気潤滑システムを稼働させた状態での EEDI は満載状態において計算すること。

1.3.3.3 認証方法

(i) 一般

革新的エネルギー効率化技術を用いた船舶の EEDI の認証は、EEDI 認証ガイドラインに従い実施すること。認証ガイドラインに明文の定めのない空気潤滑法に係る追加要件を以下に定める。

(ii) 設計段階における予備的な認証

船主又は造船所が作成する EEDI テクニカルファイルは、認証ガイドラインの paragraph 4.2.2 に記載された項目以外に以下を含むこと。

- ① 空気潤滑システムの概要
- ② P_{MEffAL} : 空気潤滑法を用いた場合の V_{ref} における満載時及び海上試運転時の主機馬力低減量。
- ③ EDR_{full} : 空気潤滑法を用いた場合の満載時における主機馬力低減率。 EDR_{full} は P_{MEffAL} を EEDI 計算ガイドラインで定義された P_{ME} で割ることによって計算する (図 3.3.1 参照)。
- ④ EDR_{trial} : 空気潤滑法を用いた場合の海上試運転時における主機馬力低減率。 EDR_{trial} は P_{MEffAL} を EEDI 計算ガイドラインで定義された P_{ME} で割ることによって計算する (図 3.3.1 参照)。
- ⑤ P_{AEffAL} : 空気潤滑システムを稼働するために必要な動力、及び
- ⑥ 満載時に空気潤滑システムを稼働させた場合の EEDI の計算結果。

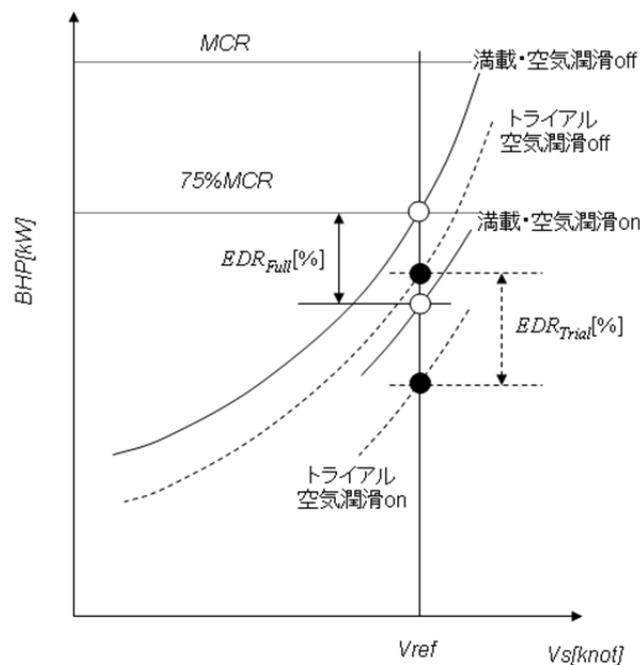


図 3.3.1 空気潤滑法による主機馬力低減率 (EDR_{full} 及び EDR_{trial}) の計算

認証ガイドラインの paragraph 4.2.7 の記載内容に加えて、認証者が造船所に直接提出することを要求できる追加情報は以下を含む。

- ① 空気潤滑システムの稼働による主機馬力低減量(P_{MEffAL}) 計算法の詳細、及び
- ② 空気潤滑システムの稼働に必要な動力(P_{AEffAL})計算法の詳細

(iii) 海上試運転による EEDI の最終認証

空気潤滑法による効果を海上試運転による結果を用いて最終認証する。海上試運転による認証方法は、特記なき場合は認証ガイドラインの paragraph 4.3 に従うものとする。

海上試運転に先立って、以下の書類を認証機関に提出しなければならない。速力試験に用いる試験手順の記述。試験手順には空気潤滑法を用いた場合の計測方法を含むこと。

認証機関は海上試運転に参加し、認証ガイドラインの paragraph 4.3.3 に記載された項目が、空気潤滑 ON/OFF 時のそれぞれにおいて計測されていることを確認しなければならない。

海上試運転における主機負荷は、空気潤滑 ON/OFF 時のそれぞれについて、 V_{ref} を通る馬力曲線が作成できるように定めること。

空気潤滑法を稼働させない場合について作成された馬力曲線をもとに以下を計算する。

- ① 75%MCR における満載状態の船速 V_{ref} を求める。ただし軸発電機を用いる場合は EEDI 計算ガイドラインの paragraph 2.5 に従い、75%MCR から軸発電機分を控除した値を用いること。
- ② 得られた V_{ref} が設計段階で得られた値と異なる場合は、新たな V_{ref} を用いて主機馬力低減率を満載状態及び海上試運転状態について再計算する。

造船会社は海上試運転において計測された速度と主機の出力をもとに空気潤滑法を稼働させた場合について馬力曲線を作成し、以下の計算を行う。

- ① 海上試運転状態での V_{ref} における主機馬力低減率の実測値 (ADR_{trial}) を求める。
- ② 海上試運転を満載状態以外で実施した場合、満載状態における主機馬力低減率の推定値 (ADR_{full}) を次式で計算する。

$$ADR_{Full} = 1 - (1 - EDR_{Full}) \times \frac{1 - ADR_{Trial}}{1 - EDR_{Trial}} \quad (3.3.1)$$

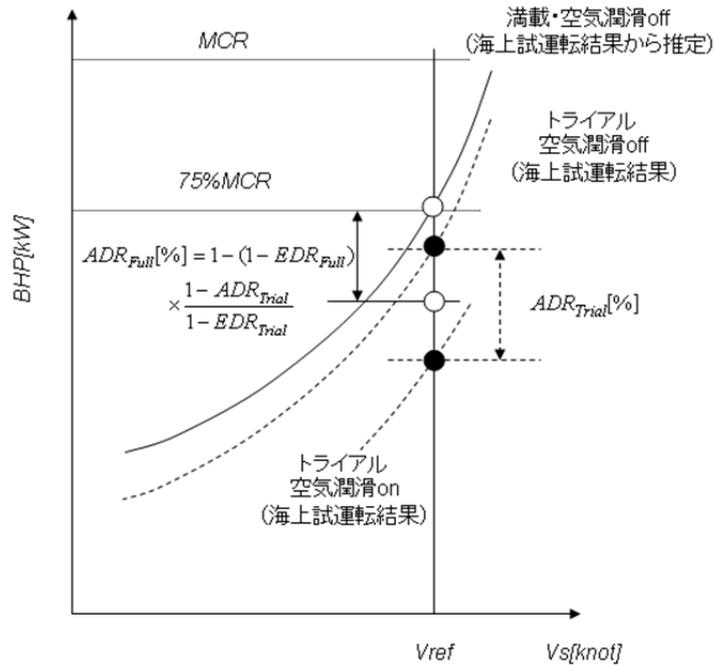


図 3.3.2 海上試運転結果に基づいた空気潤滑法による主機馬力低減率 (ADR_{full} 及び ADR_{trial}) の計算

満載状態及び海上試運転状態における空気潤滑法による馬力低減量 P_{MEffAL} を次式で計算する。

$$P_{MEffAL_Full} = ADR_{Full} \times 75\%MCR \quad (3.3.2)$$

$$P_{MEffAL_Trial} = ADR_{Trial} \times 75\%MCR \quad (3.3.3)$$

船主または造船会社は海上試運転結果を用いて、必要に応じて EEDI テクニカルファイルを改定すること。改定版には以下の内容を含むこと。

- ① V_{ref} 但し、設計段階で得られた船速と異なる場合のみ改定する。
- ② 空気潤滑法を用いた場合の V_{ref} における満載時及び海上試運転時の主機馬力低減量 P_{MEffAL}
- ③ 空気潤滑法を用いた場合の満載状態及び海上試運転状態での主機馬力低減率 (ADR_{full} 及び ADR_{trial})、及び
- ④ 空気潤滑法を用いた場合の満載状態における EEDI の計算結果。

1.3.4 廃熱回収

1.3.4.1 革新的エネルギー効率化技術の概要

本ガイドラインでは、electrical 革新技术($P_{AEff(i)}$ 関連)としての廃熱回収技術について記述される。廃熱回収を用いた mechanical 革新技术($P_{eff(i)}$ 関係)については (例えば軸加勢) 本ガイドラインの範囲外である。

廃熱回収技術は、エンジンの排ガス・冷却水等の熱エネルギーを回収し電力生成して活用することで、エンジンにおいて燃焼させた燃料のエネルギーの利用効率を向上させるものである。

廃熱回収 (発電型) による動力生成方法として、(A) 熱交換器により熱エネルギーを回収し熱機関を駆動し発電機を駆動する方法と、(B) パワータービン等により直接発電機等を駆動する方法がある。さらに、これらの方法を組み合わせたシステムもある。

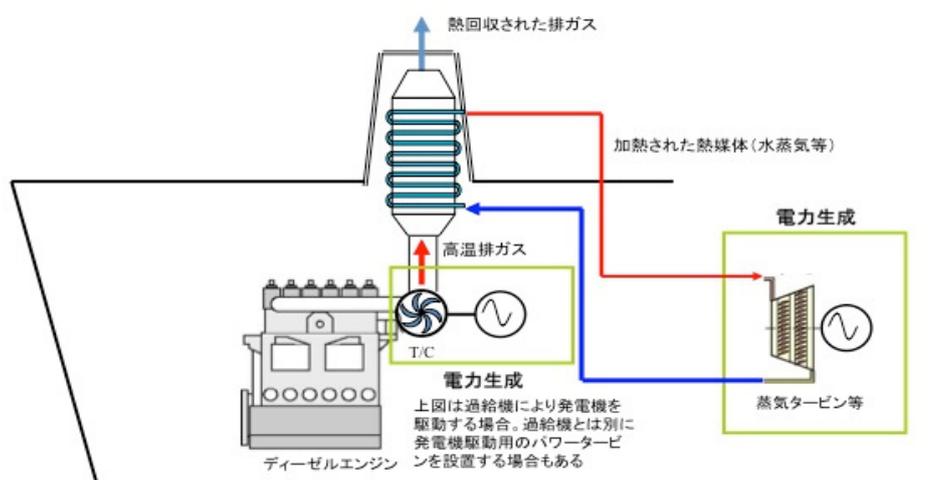


図 4.1.1 廃熱回収のイメージ図

1.3.4.2 計算

(i) 廃熱回収による馬力低減量

廃熱回収システム (発電型) により生成される馬力低減量は次式によって計算されるものとする。右辺の第 1 項は廃熱回収による補機出力の低減量 and/or shaft motor への電力供給量を、第 2 項は廃熱回収システム (発電型) を駆動するために必要な動力を定める。

$$(f_{eff} \cdot P_{AEff}) = P_{AEffEHR} - P_{AEffEHR_Loss}$$

この場合において、 $(f_{eff} \cdot P_{AEff})$ は、 P_{AE} (廃熱回収 (発電型) によって shaft motor への電力供給を行うシステムにあつては、 $P_{AE} + \sum P_{pu(i)}$) の値を上限とする。

- 1) $(f_{eff} \cdot P_{AEff})$ は、EEDI 計算ガイドラインにおける EEDI 算出条件における、廃熱回収によって

得られる正味の馬力低減量であり、単位は kW である。 f_{eff} は通常の場合、1.0 とする。なお、複数の方法を組み合わせる場合はそれぞれの方法により得られる($f_{eff} \cdot P_{AEff}$)の合計とする。

- 2) $P_{AEffEHR}$ は廃熱回収による発電機補機の馬力低減量であり、単位は kW である。
- 3) $P_{AEffEHR}$ は次式により定められる。

$$P_{AEffEHR} = \frac{W_e}{\eta_g}$$

ここで、

W_e : 廃熱回収システムによる算出された発電量。

η_g : 発電効率 (効率は 95% とする。なお、正確な数値が判る場合はそれに置き換えても差し支えない)

- 4) W_e は以下を考慮して定められる。
 - ① エンジン排ガス流量および温度
 - ② 廃熱回収システム (発電型) の構成
 - ③ 廃熱回収システム (発電型) を構成する機器の効率・性能
- 5) $P_{AEffEHR Loss}$ は廃熱回収システム (発電型) を駆動するために必要なポンプ等の動力であり、本システムを駆動させるための補機を新たに設置した場合のみ考慮する。単位は kW である。

(ii) 廃熱回収による CO₂ 低減量

廃熱回収による CO₂ 低減量は馬力低減量($f_{eff} \cdot P_{AEff}$)に、 C_{FAE} 及び SFC_{AE} を乗じることによって計算する。

1.3.4.3 認証方法

(i) 一般

革新技術 EEDI の認証は、EEDI 認証ガイドラインに従い実施することとする。認証ガイドラインに明文の定めのない革新技術に係る追加要件を以下に定める。

(ii) 設計段階における予備的な認証

- 1) 認証ガイドライン第 4.2.2 節について、船主又は造船所が作成する EEDI テクニカルファイルは、次を含むこと。
 - ① 廃熱回収システムの概要を示す配管・計装図、あるいはプロセスフロー図、および構成機器仕様等の関連情報
 - ② 廃熱回収システムによる馬力低減量
 - ③ EEDI の計算結果
- 2) 認証ガイドライン第 4.2.7 節について、認証者が造船所に直接提出することを要求できる追加情報は、次を含む。
 - ① 廃熱回収システムにより回収される熱エネルギー量の推定プロセス
 - ② ガイダンス第 4.1 節に規定する($f_{eff} \cdot P_{AEff}$)の計算方法の詳細

(iii) 海上試運転による EEDI の最終認証

廃熱回収による補機の馬力低減量は、廃熱回収を構成する主要機器の Shop test の結果を用いて最終認証とする。Shop test の実施が困難な主要機器（たとえば排ガスエコマイザーなど）は、海上試運転において、発生蒸気量・温度等を計測することで認証する。ただし、計測された蒸気量・温度等は、設計時の排ガス条件、主機負荷 75%時等における値に補正する。排ガス条件は、主機負荷の微小誤差の補正、機関室温度の補正（主機燃費計測条件である ISO condition=25°C）、等に基づくものとする。

1.3.5. 太陽光発電

1.3.5.1 太陽光発電の概要

太陽光発電（Photovoltaic : PV）は、船上に太陽光発電モジュールを複数台配置することにより発電した電気を、船の推進力または船内電力の一部として利用する。太陽光発電モジュールは、太陽電池セルを複数個組み合わせて取り扱いを容易にしたものであり、太陽電池セルの形式には結晶型、薄膜型、集光型といった種類がある。（図 5.1.1 参照）

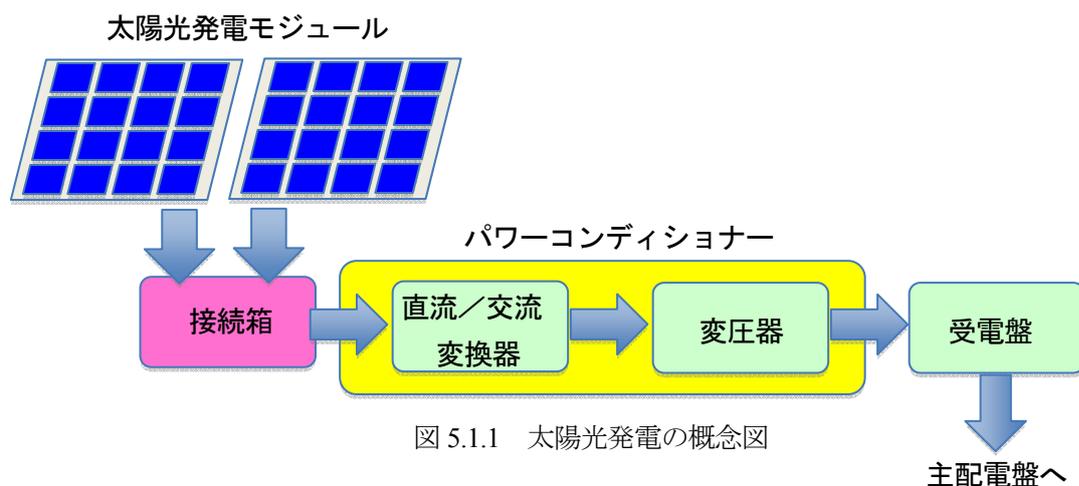


図 5.1.1 太陽光発電の概念図

1.3.5.2 航路上の平均日射照度と平均気温

(i) 平均日射照度（Average Solar Irradiance）

太陽光発電による発電量を計算する場合、航路上での平均日射照度データが必要であるが、そのために、全世界の平均日射照度の推定を行う。全世界の平均日射照度を求める方法として、ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) データを用いる方法と、モデルを組み合わせる方法により求める方法の 2 種類を実施し、比較した。

1) ISCCP 日射照度データ

ISCCP は 5 個の静止気象衛星 GMS (Geostationary Meteorological Satellite) と 2 個の極軌道衛星 polar orbit satellite を用いて地球の輝度 luminance・雲量 degree of cloudiness に関するデータを収集する計画で

あった。1983年から5年間の計画であったが、実質的には8年分のデータが公表されており、集められたデータは気候予測等の基礎資料となっている。そこで、Jul. 1983～Jun. 1991の96カ月分の月別日射照度データ^[1]を平均して平均日射照度を求めると、図5.2.1の様になる。

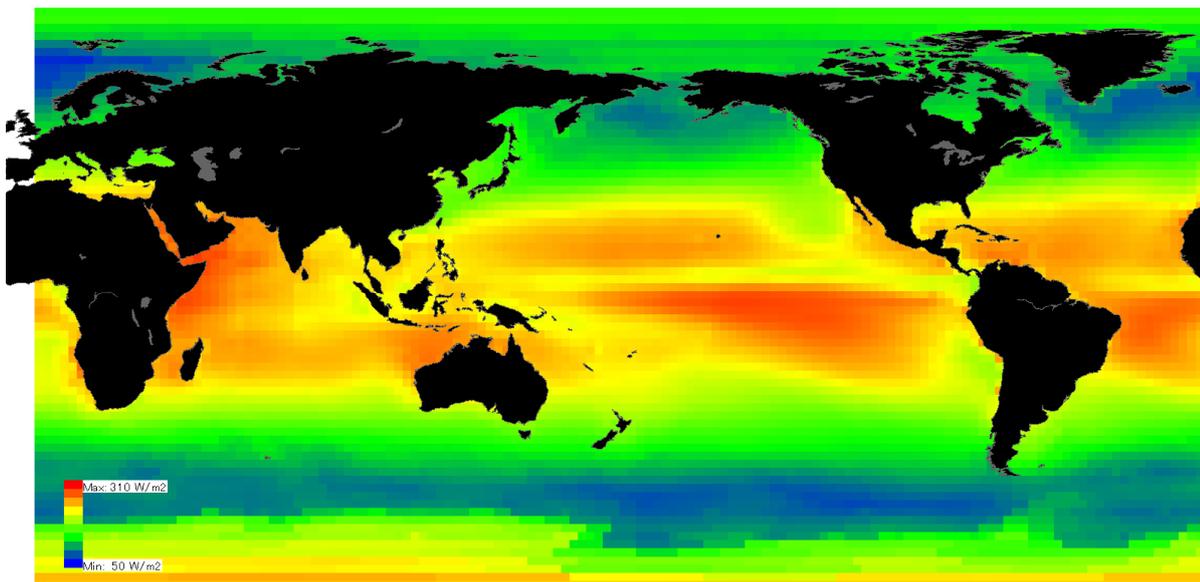


図 5.2.1 ISCCP データによる平均日射照度 (青 50 W/m²～赤 310 W/m²)

2) モデル計算による日射照度

平均日射照度は、太陽高度 solar altitude、大気透過率 atmospheric transmittance と雲量 degree of cloudiness のデータを組み合わせてモデル計算することによっても推定可能である。大気透過率と雲量が日射照度に与える影響から求めた月別回帰式^[2]を用いて、日射照度の年間平均を与える式を求めた。

これに、2010年1年分の太陽高度データ^[3]及び雲量に係る GPV(Grid Point Value)データ (気象庁 Japanese Meteorological Agency から6時間毎に公表される予報値 predictor)^[4]を代入し、2010年における日射照度の年間平均を求めると図5.2.2の様になる。

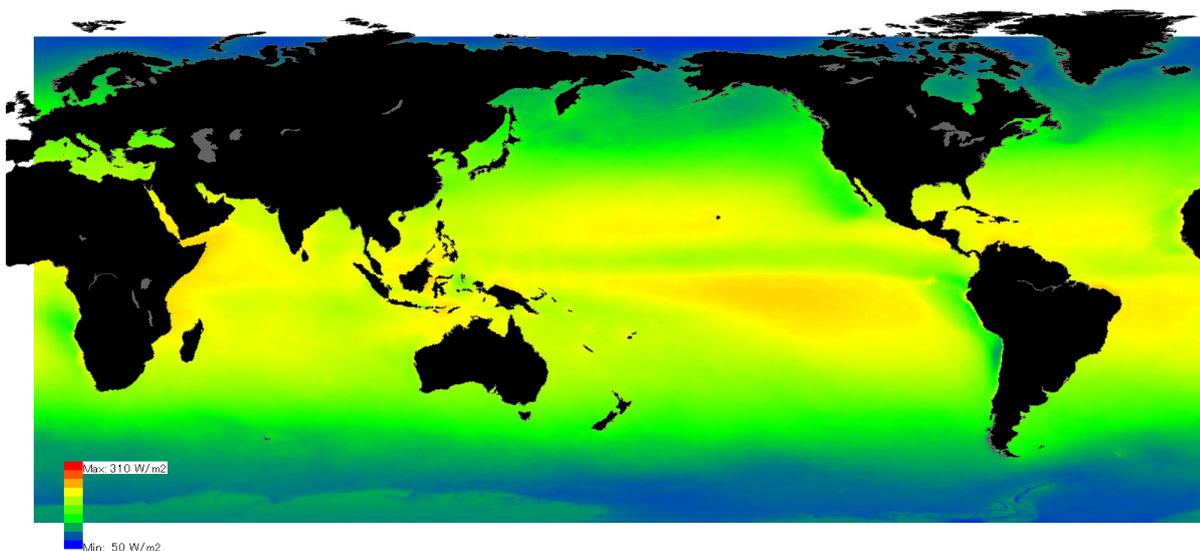


図 5.2.2 モデル計算による平均日射照度 (青 50 W/m²～赤 310 W/m²)

3) ISCCP データとモデルによる日射照度の比較

図 5.2.1 と図 5.2.2 の平均日射照度を用いて、等緯度線 parallel of latitude に沿った海上での日射照度の年間平均値（陸地を除いた海上のみの日射照度）を計算すると図 5.2.3 に示す様になる。

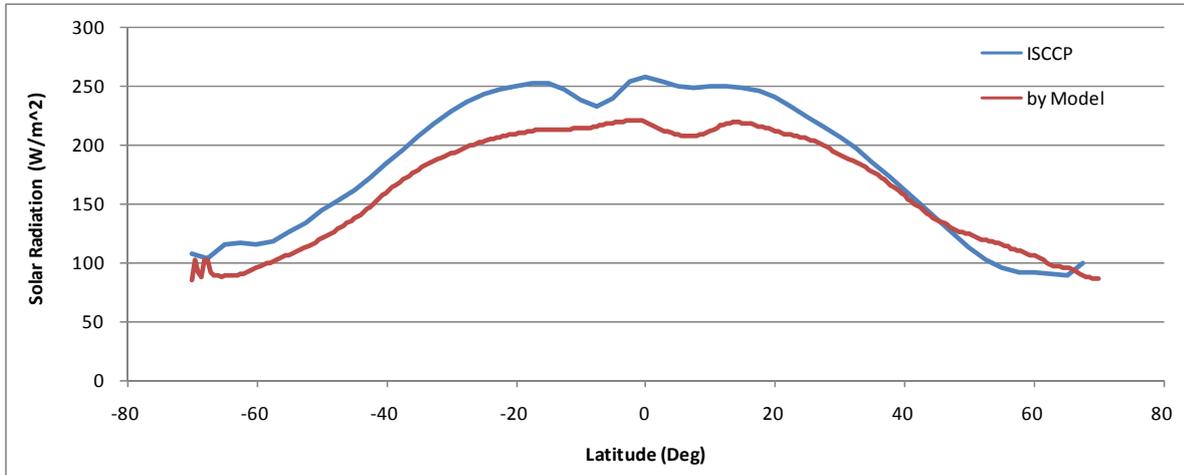


図 5.2.3 等緯度線に沿った日射照度の年間平均値（海上のみ）

モデル計算による平均日射照度は、ISCCP データによる平均日射照度と大差はないが、北半球の高緯度 high latitude 部分を除き、やや低くなる。これは、モデル計算が東京における観測データをベースとしていることが要因として考えられる。

(ii) 平均気温

太陽光発電による発電量を決定するのにもう 1 つ重要な要素は気温である。太陽電池セルの効率は周囲の気温によって大きく影響を受けるため、航路上での平均温度データが必要であるが、そのために、まず全世界の平均温度の推定を行う。全世界の平均気温の推定が必要となる。GPV データ^[4]は、気温情報も含んでおり、これにより 2010 年の年平均気温を求めると図 5.2.4 となる。なお、他のデータベース^[5]を用いても同様な平均気温分布が得られた。

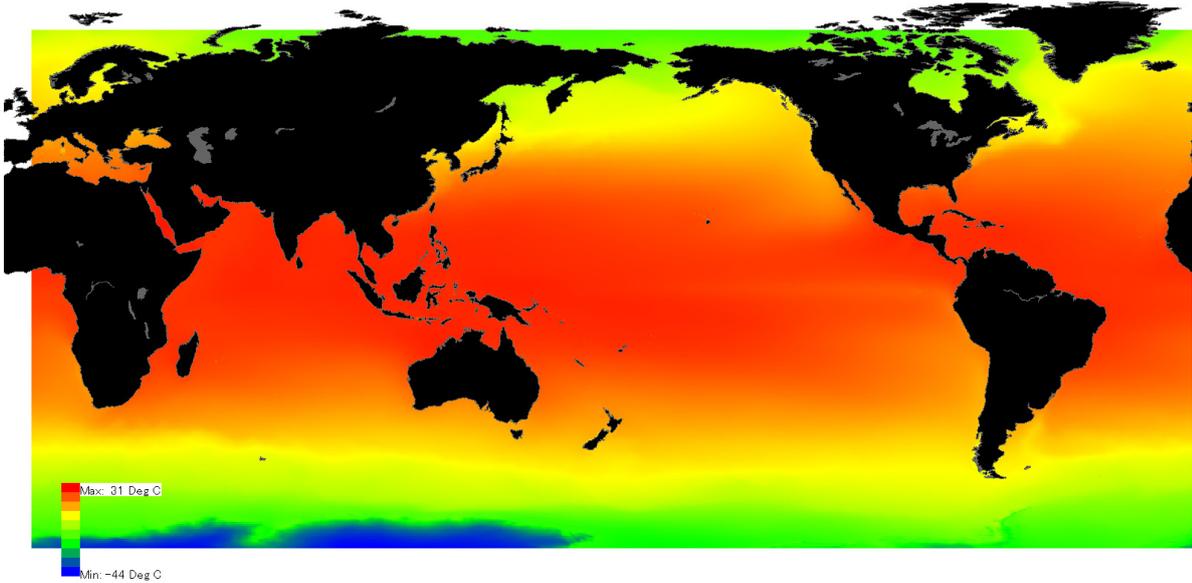


図 5.2.4 海上の年平均気温 (2010 年 青-44°C~赤 31°C)

海上の年平均気温で、等緯度線に沿った平均値 (陸地を除いた海上の大気温度) は図 5.2.5 に示す様になる。

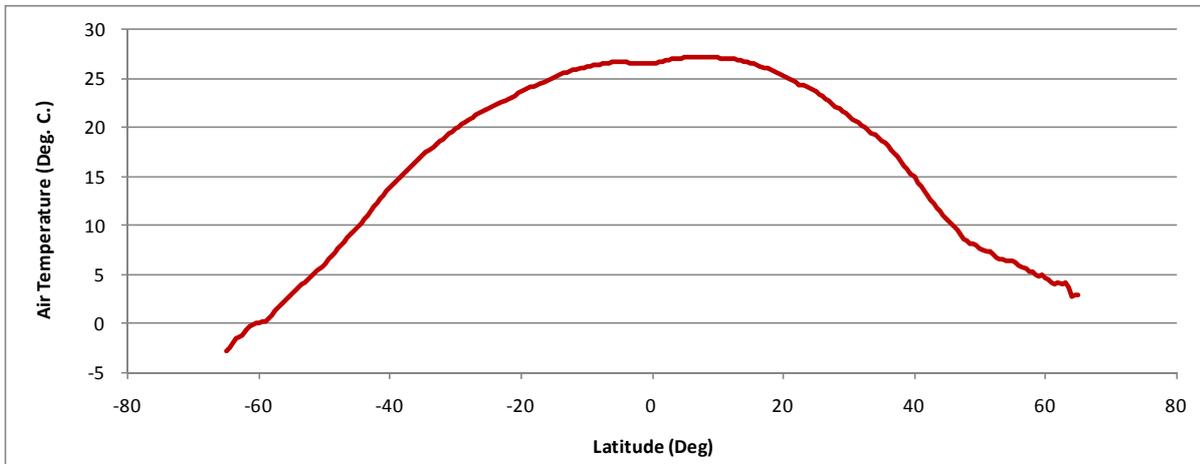


図 5.2.5 等緯度線に沿った年平均気温 (海上のみ)

(iii) 代表航路

kite に関するドイツ提案 (MEPC 62 /INF.34) では、商船が通る代表的な航路 (以下、代表航路) を図 5.2.6 の様に設定し、代表航路上の風向・風速に関する確率分布を示している。これに習って、代表航路での日射照度平均値を求めることとする。

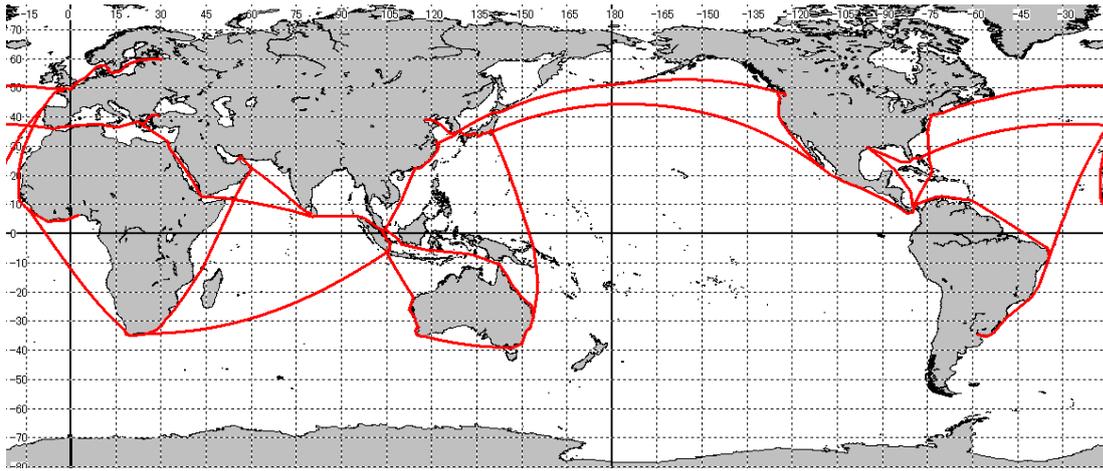


図 5.2.6 代表的な航路

(iv) 航路上の日射照度と気温

代表航路を構成する航路（発着港 departure and arrival port の組み合わせ）を表 5.2.1 の様に定め、各航路の平均緯度、航路長 nautical distance、および航路上での日射照度（ISCCP データとモデル計算）を示す。

表 5.2.1 代表航路を構成する発着港間の航路長、航路平均緯度、平均日射照度、平均気温

Origin Port	Destination	Averaged Latitude (Deg)	Route Length (NM)	Radiation ISCCP (W/m ²)	Radiation Model (W/m ²)	Temp. (Deg. C)
Busan	→ Tacoma	47.9	4634	120.2	129.1	7.8
Busan	→ Tianjin	36.4	685	198.7	180.7	13.5
Busan	→ Tokyo	34.3	642	189.7	183.9	15.7
Cape Town	→ Dubai	-6.7	4800	238.6	217.0	24.8
Cape Town	→ SemangkaBay Term.	-24.6	5140	213.7	200.1	22.1
Colon(PAN)	→ Houston	20.4	1539	237.8	214.6	25.9
Colon(PAN)	→ New York	24.6	1992	219.6	206.6	23.6
Colon(PAN)	→ Recife	5.5	3211	244.8	224.5	27.0
Cotonou	→ Freetown	5.4	1108	238.9	222.2	26.4
Dubai	→ Colombo	16.8	1900	250.0	213.2	27.1
Fremantle	→ Singapore	-15.2	2293	233.8	208.0	24.8
Hong Kong	→ Shanghai	26.1	819	222.1	187.7	20.0
Houston	→ Piraeus	33.7	6212	197.9	190.7	20.7
Le havre	→ Cape Town	7.4	5980	219.7	193.2	20.6
Le havre	→ st. petersburg	56.0	1484	95.2	130.0	7.7
New York	→ Le havre	47.7	3103	128.9	133.2	10.0
Newcastle(AUS)	→ Fremantle	-36.9	2218	183.0	178.0	15.1
Newcastle(AUS)	→ Singapore	-11.7	4075	236.7	212.3	25.7
Piraeus	→ Gemlik	39.4	357	161.5	183.3	16.3
Piraeus	→ Suez	34.1	685	180.8	191.8	20.0
Recife	→ Buenos Aires	-23.3	2216	212.5	207.5	22.4
Recife	→ Le havre	22.4	3995	207.8	192.2	21.2
shanghai	→ Busan	32.8	472	204.0	178.9	16.4
Singapore	→ Hong Kong	11.5	1437	234.8	214.3	26.9
Suez	→ Singapore	11.3	4932	247.6	223.4	27.5
Tacoma	→ Cabo San Lucas	35.5	1976	179.8	166.7	15.4
Tokyo	→ Colon(PAN)	31.5	7746	187.4	163.3	17.6
Tokyo	→ Newcastle(AUS)	1.5	4302	241.0	204.6	25.3

次に図 5.2.7 では、図 5.2.3 の等緯度線に沿った日射照度（曲線で表す）に表 5.2.1 の代表航路別の平均日射照度（●で表す）を重ねた。ただし、各港間航路の緯度は絶対値を取り、等緯度線に沿った平均日射照度は北半球のみを描いている。

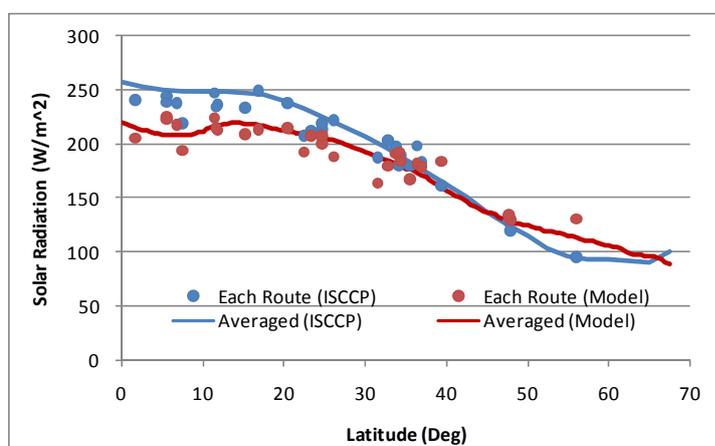


図 5.2.7 平均日射照度と航路上日射照度の比較

図 5.2.7 より、ISCCP データ、モデル計算のどちらを利用するにしても、航路の平均的な緯度で航路上の平均日射照度をおおよそ把握することができる。

また、ISCCP データと Model の等緯度線に沿った平均日射照度は緯度 45 度付近で、大小関係に逆転が生じている。表 5.2.1 で平均緯度（絶対値）が 45 度を超える航路は Busan→Tacoma、Le havre→st. Petersburg、New York → Le havre、の 3 航路であり、その航路長の合計は 9200 海里ほどである。代表航路の長さは 80,000 海里ほどであるため、45 度を超える 3 航路の長さは代表航路の 1 割程度となる。

航路長で重みを付けた代表航路の平均日射照度の平均値は、ISCCP データで 207W/m²、モデル計算で 191W/m² となった。これより様々な誤差も考慮して代表航路での日射照度を 200W/m² と定義することが妥当と考えられる。

気温についても、図 5.2.5 の等緯度線に沿った平均気温（曲線で表す）に表 5.2.1 の代表航路別平均気温（●で表す）を重ねたものを図 5.2.8 に示す。

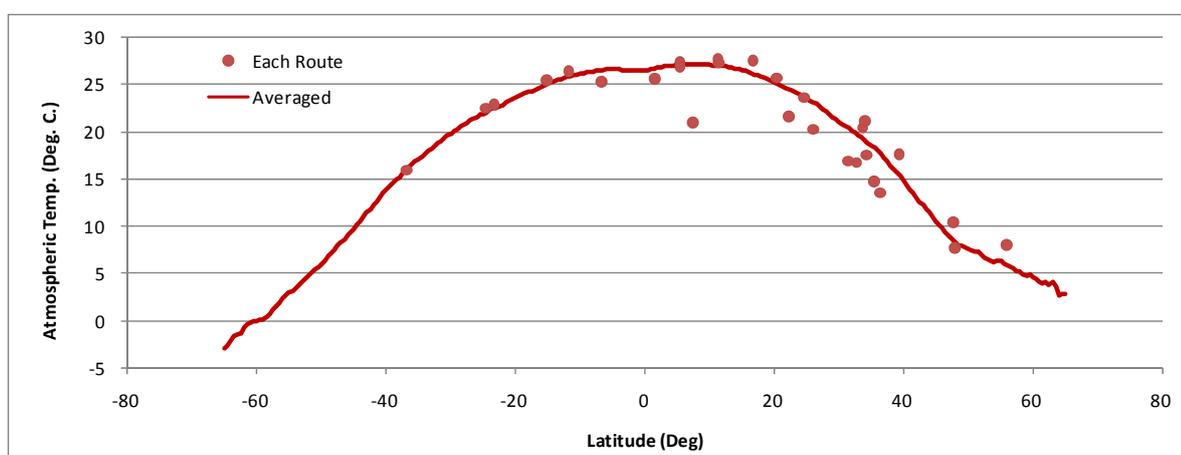


図 5.2.8 平均気温と代表航路別平均気温の比較

これから代表航路の平均気温を計算すると 21°C となった。気温に対して太陽光電池のパネル表面温度がどの程度高くなるかは経験的に推測するしかないが、+10~+30°C 程度とする文献が多い。これより様々な誤差も考慮して、代表航路でのパネル温度を 40°C と定義することが妥当と考えられる。

1.3.5.3 太陽光発電の EEDI 計算方法

太陽光発電により生成される電力は次式によって計算されるものとする。

$$f_{eff} \cdot P_{AEff} = \{f_{rad} \times (1 + L_{temp} / 100)\} \times \{P_{max} \times (1 - L_{others} / 100) \times N\} \quad (5.3.1)$$

ここで、 $f_{eff} \cdot P_{AEff}$ は、太陽光発電によって生成される正味の総電力であり、単位は kW である。 f_{eff} は、有効性の係数である。代表航路における日照値及び気温と、太陽光発電のカタログ値の環境との比として、次の式によって表される。

$$f_{eff} = f_{rad} \times (1 + L_{temp} / 100) \quad (5.3.2)$$

f_{rad} は、公称最大出力計測時の基準条件の日射照度に対する代表航路での平均日射照度の比の値である。IEC規格でのカタログ値¹の基準条件（STC：Standard Test Condition）は、AM(Air Mass)1.5、モジュールの温度25℃、日射照度1000W/m²である。代表航路での平均日射照度は前節の推定から200W/m²とすることが妥当であると指摘されている。したがって f_{rad} は、次の様に計算される。

$$f_{rad} = 200 \text{ W/m}^2 \div 1000 \text{ W/m}^2 = 0.2 \quad (5.3.3)$$

L_{temp} は太陽光発電モジュールの温度による修正係数で、単位は%で、通常マイナスの値である。代表航路での平均気温から、モジュールの平均温度は前節の推定から40℃とすることが妥当であると指摘されている。したがって、 L_{temp} は温度係数のカタログ値 f_{temp} （%/℃）から次式によって計算されるものとする。

$$L_{temp} = f_{temp} \times (40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \quad (5.3.4)$$

P_{AEff} は、太陽光発電のカタログ値の環境における発電量であり、次の式で表される。

$$P_{AEff} = P_{max} \times (1 - L_{others} / 100) \times N \quad (5.3.5)$$

ここで、 P_{max} は太陽光発電モジュールの公称最大出力であり、単位はkWである。 P_{max} は性能認証規格¹に基づいて求めたカタログ値とする。 L_{others} はその他の損失であり、パワーコンディショナでの損失、接点での損失、電気抵抗による損失等の合計で、単位は%である。実績から、パワーコンディショナでの損失を5%、それ以外の損失の計を5%とみなし、 L_{others} は10%とする。ただし、パワーコンディショナでの損失5%については、その代わりにIEC規格によるカタログ値²を用いることもできる。 N は、太陽光発電システムで使用しているモジュールの枚数である。

1.3.5.4 認証方法

(i) 一般

革新的エネルギー効率化技術を用いた船舶のEEDIの認証は、EEDI認証ガイドラインに従い実施すること。認証ガイドラインに明文の定めのない太陽光発電に係る追加要件を以下に定める。

(ii) 設計段階における予備的な認証

1) 船主又は造船所が作成するEEDIテクニカルファイルは、認証ガイドラインの Paragraph 4.2.2 に記載された項目以外に以下を含むこと。

① 太陽光発電システムの概要

- ② 太陽光発電システムを用いた場合の発電力
- ③ 太陽光発電システムを稼働させた場合の EEDI の計算結果。

認証ガイドラインの paragraph 4.2.7 の記載内容に加えて、認証者が造船所に直接提出することを要求できる追加情報は以下を含む。

- ① 太陽光発電システムの稼働による補助電力低減の計算法の詳細、及び
- ② 太陽光発電システムの稼働によって生成される正味の総電力($f_{eff} \cdot P_{AEff}$)計算法の詳細

(iii) 海上試運転による EEDI の最終認証

太陽光発電による正味の総電力は EEDI テクニカルファイルに基づいて確認される。最終認証に先立ち、海上試運転において太陽光発電システムの形式が申請と一致しているかを確認するものとする。

参考文献

- [1] <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.ISCCP/figviewer.html?plotype=colors>
- [2] Kenichi Kimura and Mitsuhiro Udagawa, 雲量係数による曇天時日射照度の推定法: Environmental Engineering, 大会学術講演梗概集. 計画系 45(計画), Architectural Institute of Japan, pp.193-194, 1970, (in Japanese)
- [3] <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/topics/html/topics2005.html>
- [4] <http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/jmadata/>
- [5] http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/download.html

脚注

¹結晶型については IEC 61215(Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval / First edition)、薄膜型については IEC 61646(Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval / First edition)、集光型については IEC 62108(Concentrator Photovoltaic (CPV) Modules and Assemblies Design Qualification And Type Approval)を参照のこと。

² IEC 61683(Photovoltaic systems –Power conditioners –Procedure for measuring efficiency)を参照のこと。

1.3.6 まとめ

今回、空気潤滑、廃熱回収、太陽光発電の3技術について、EEDIを計算・立証する方法を研究し、これを基にEE-WGへの提案文章、インフォメーションペーパーの形でまとめて提出した。参考資料として、これらの資料を添付する。なお、これら3技術以外にも有望な革新的なエネルギー効率技術は多数存在することを付記する。

2. 船舶の代替燃料利用に向けた総合対策の策定

2.1 船舶の代替燃料利用に向けた総合対策の策定に関する検討体制

2.1.1 代替燃料総合対策策定検討委員会

国際機関に我が国の意見を反映させつつ、他方でエネルギー効率向上と効果的な温室効果ガス等の排出削減に有望な代替燃料として LNG を燃料とする船舶の普及環境の整備に係る対策の策定のための調査を行うことにより、関連する研究開発や普及促進に寄与することを目的とした。

近年の燃料油価格の高騰や、温暖化効果ガスや NO_x、SO_x といった船用エンジンからの排ガスに対する規制強化等の趨勢を受けて、LNG を燃料とする LNG 燃料船への関心は、ますます高くなってきている。船級協会や造船所、エンジンメーカー等から数多くコンセプトシップやパイロットプロジェクトの発表が相次いでおり、インフラ面での対応等にまだ課題は残すものの、本格的普及が次第に視野に入りつつある段階に差し掛かっているといえる。

このような環境下、2010 年度の調査研究事業では、船用燃料として LNG を利用する際のインフラに関する調査や世界の各港湾の供給ガスの組成調査等を行い、主にインフラ面からの LNG を船用燃料として利用する際の課題について、調査を行った。

本年度の事業においては、LNG 燃料船の本格的普及の現実的可能性を前提として、その普及環境の整備のために必要と考えられる以下の 3 点について調査を実施した。

- (1) LNG 燃料船及びインフラに係る規制の課題整理
 - ・ LNG 燃料の船舶間移送の業界手順についてのレビュー
 - ・ IGF コードに関する検討状況のフォロー
 - ・ 港湾における LNG 燃料供給方法、インフラ整備に関する世界の動向調査
- (2) LNG 燃料船の経済運航実現に関する課題の検討
 - ・ 検討のための具体的な航路（内航及び外航）、運航条件の想定
 - ・ これらに適応する LNG 燃料船（内航及び外航）の要目等の取り纏め
 - ・ バンカリングを含む LNG 燃料船の運航オペレーション全体の検討
 - ・ 経済性確保に向けた課題の抽出及び解決方策の検討
- (3) LNG 燃料船に係る最新動向の整理
 - ・ 各種の実船建造計画の動向調査
 - ・ ガスエンジン、燃料タンク等の開発動向の調査

上記の調査研究および検討を行うために、有識者、海事産業界、関連団体より構成された委員会を設置した。なお、バンカリングに関する ISO 関連の整備のため、委員会の下部組織としてワーキンググループを立ち上げた。

○ 第 1 回代替燃料総合対策策定検討委員会

日時： 2011年5月26日(木) 13:30~15:30

場所： (財)日本船舶技術研究協会 4F 大会議室

議題： ① (財) 日本船舶技術研究協会の LNG 関連委員会の活動状況等について
② LNG 燃料船導入促進事業の実施について
③ 最近の動向に関する情報提供
④ 本年度の調査研究計画 (案) について

○ 第 2 回代替燃料総合対策策定検討委員会

日時： 2011年7月28日 (木) 13:30~15:30

場所： (財)日本船舶技術研究協会 4F 大会議室

議題： ① 前回議事録の確認
② 新造船政策について
③ 経済運航実現に関する課題調査について
④ ISO ガイドライン (LNG 燃料船への供給設備) について

○ 第 3 回代替燃料総合対策策定検討委員会

日時： 2011年11月1日 (火) 15:10~16:20

場所： 東京ガス (株) 袖ヶ浦工場 LNG プラザ

議題： ① 前回議事録の確認
② LNG 燃料船の経済運航実現に関する F S 中間報告
③ 欧州地区・シンガポール地区調査報告
④ LNG ISO 対応検討ワーキンググループについて
⑤ LNG 基地 (東京ガス袖ヶ浦工場) 視察 (13:40~)

○ 第 4 回代替燃料総合対策策定検討委員会

日時： 2012年2月24日 (金) 13:30~17:00

場所： スタンダード会議室赤坂 7階 A 会議室

- 議題： ①前回議事録の確認
②講演「米国シェールガス革命と LNG 化の見通し及びその影響」
③講演「苫小牧における LNGSTS プロジェクトの紹介」
④LNG 燃料船の経済運航実現に関する課題の検討成果報告
⑤電気推進型内航船への LNG 焚き船適用可能性調査成果報告
⑥国際会議報告（2件）
⑦今後の展開について

○ 第1回 LNG ISO 対応検討ワーキンググループ

- 日時： 2011年9月13日（火） 13:30～17:00
場所： （財）日本船舶技術研究協会 4F 大会議室
議題： ①ワーキンググループの事業計画について
②ISO の PT1 の状況およびその対応について

○ 第2回 LNG ISO 対応検討ワーキンググループ

- 日時： 2011年10月25日（火） 13:30～15:30
場所： （財）日本船舶技術研究協会 4F 大会議室
議題： ①前回議事録の確認
②ISO の PT1 の状況およびその対応について

○ 第3回 LNG ISO 対応検討ワーキンググループ

- 日時： 2011年12月22日（木） 15:30～17:50
場所： （財）日本船舶技術研究協会 4F 大会議室
議題： ①前回議事録の確認
②ISO TC67 WG10 PT1 第2回会合の結果について
③ISO TC67 WG10 PT1 第3回会合の対応について

○ 第4回 LNG ISO 対応検討ワーキンググループ

- 日時： 2012年3月21日（水） 13:30～14:40
場所： （財）日本船舶技術研究協会 4F 大会議室
議題： ①前回議事録の確認
②ISO TC67 WG10 PT1 第3回会合の結果について

③ISO TC67 WG10 PT1 第4回会合の対応について

2.1.2 調査研究の概要

○調査研究名：「LNG 燃料船の経済運航実現に関する課題の検討」

LNG 燃料船の経済運航実現に関する課題の検討を行うために、NO_x3 次規制及び低硫黄燃料規制（ECA 外は硫黄分 0.5%、ECA 内は硫黄分 0.1%の LSFO）導入後を想定した油焼き船と LNG 燃料船について比較を実施した。具体的には、外航船については日本-欧州航路の 9,000TEU コンテナ船を、内航船については瀬戸内海を航行するフェリー（10,000 トンクラス、数百トンクラス）について、在来船の主要目、運航プロファイル、燃料消費量などを調査し、LNG 燃料船関連規則を踏まえ、LNG 燃料船のコンセプト検討（推進システム、LNG 燃料タンク容量、タンク配置、SCR 配置、バンカリング）を実施した。

その結果、9,000TEU クラスのコンテナ船については、全海域 LNG 焚きの場合には LNG タンク容量約 16,000m³、地中海 ECA のみ LNG 焚きの場合には LNG タンク容量約 5,000m³が必要であり、TEU 数を維持しつつ、主要目は船長のみを変える場合、それぞれ 45m、30m の船長増が必要となることが明らかになった。バンカリングは、STS（Ship to Ship）が現実的であり、現状の航行スケジュールに影響なく可能との検討結果が得られた。また、経済性については、DCF 法による評価では、LNG 燃料価格及び LSFO の燃料価格次第であるが、最近の LNG 価格の水準では、油焼き（LSFO 及び NO_x3 次規制対応以降、LSFO が C 重油の 1.5 倍と設定した場合）に比べて LNG 燃料を全海域で使用する場合、LNG 燃料船の方が経済性が優れているという結果が得られた。

内航船では、在来船と同様の航続距離の維持を前提として LNG 燃料タンク容量を決める場合、タンク寸法が大きくなり配置に検討が必要となるが、運航プロファイルに比べて在来船の燃料タンク容量が過大傾向にあるため、運航実態を踏まえた必要燃料量の検討を行うことにより、より余裕のある LNG タンクの配置が可能と考えられる。また、経済性については、DCF 法による評価では、最近の LNG 価格の水準では、油焼き（LSFO 及び NO_x3 次規制対応以降、LSFO が C 重油の 1.5 倍と設定した場合）に比べて大型・小型フェリー共に経済性が優れている結果が得られた。

外航・内航いずれの場合も、経済性は、NO_x3 次規制による SCR 装置導入、LNG 化に伴う船価の増加による影響は限定的であり、燃料（LSFO、LNG）価格が大きく影響する結果となった。

○調査研究名：「電気推進型内航船への LNG 焚き船適用可能性調査」

LNG 燃料船の実用化に際しては、船舶の安全性確保と高い経済性が求められる。IMO ですすめられている LNG 燃料船の安全要件に関する「IGF コード」策定作業への日本提案をベースに内航小型船に適用した場合の技術的課題と経済性評価をおこなった。今回の調査では内航小型船として JRIT が普及を促進している SES をモデルとし、複数の LNG 専焼の発電機関と A 重油焚き発電機関の組み合わせ船舶を想定し実施した。

その結果として、技術課題の抽出については、①ガスエンジンの開発促進、②LNG タンクおよび機器の標準化促進、③スーパーエコシップの普及促進、④燃料電池船の開発、⑤ LNG 焚き船の船種の拡大、などがあげられ、今後、LNG の供給体制や安全基準などのインフラ整備を進めながらハーモナイズしていくことが重要である。

一方、経済性評価については、省エネ設備の搭載による船価の上昇や貨物搭載容積の減少などによって運航経済性は非常に厳しい結果となった。しかしながら、CO₂ 等の排出低減による環境への効果が高く、沿岸地域の地方自治体の環境対応要求にも合致していることから、SES を前提とした LNG 燃料船の普及のためのさまざまな施策（規制緩和や LNG 価格対策など）を行うことで極めて有効な手段となりえることがわかった。

2.2 LNG燃料船の経済運航実現に関する課題の検討

2.2.1 調査研究の目的および内容

2.2.1.1 背景および目的

船舶からの排気ガス規制強化により、NO_x（窒素酸化物）、SO_x（硫黄酸化物）の上限値が厳しく規定され、さらには、トン・マイル当たりのCO₂排出量の規制に向けた議論が行われている。その解決策の1つとして、NO_x、SO_x、CO₂のいずれも大幅に削減できるLNG（液化天然ガス）を従来からの重油の代替燃料として利用することに期待が寄せられている。具体的には、ガス燃料の燃焼方式にも依るが、重油（A、C）に比べ、最大NO_xで約90%、SO_xでほぼ100%、CO₂で約25%の削減が見込まれる。加えて原油価格の高騰に伴い、在来型ガスだけではなく掘削技術向上によりシェールガスなどの非在来型ガス田での生産も採算に合ってきたことから、原油に比べ天然ガスは今後長期的には安定した価格にて供給されることが期待されている。さらに、原油から船用燃料油を製造するコストの上昇（SO_x排出抑制を目的とする低硫黄燃料の割高さ）やNO_xの削減対策となるSCR装置の設置を考慮すると、船舶におけるLNGへの燃料の転換は今後の世界共通のトレンドであると考えられる。

したがって、本検討では、外航船及び内航船それぞれについて実現可能性が高いものとして我が国関係者の関心が高い船種を対象に、それら船舶の概念を経済性評価を行うために必要な程度に固め、バンカリング等の船舶以外の要素も含めたトータルシステムとして見た場合の経済性を検討し、さらには経済的に成立させるための課題を明確化することにより、我が国におけるLNG燃料船の検討促進に資することを目的とする。

2.2.1.2 調査研究の内容

2.2.1.2.1 外航

対象船種は9000TEUクラスのコンテナ船、航路は日本－欧州航路でかつ地中海区域をECA海域と仮定する。

(1) 既存船の主要目及び運航実態の調査

対象船舶の経済性検討のベース作りを目的として、日本－欧州航路に就航している9000TEUクラスのコンテナ船の主要目、運航実態を把握するため、

- ◆ 船の主要目：全長、幅、深さ、喫水、総トン数、機関出力等
- ◆ 航路：主要発着港、1航海当たりの運航距離・航行時間
- ◆ 運航形態：運航速度、1年間当たりの航海数等
- ◆ 燃料消費燃料消費量
- ◆ バンカリング概要：バンカリングの場所、頻度等
- ◆ コスト構造

等について調査を行う。

(2)LNG 燃料コンテナ船のコンセプトの検討

(1)で検討した既存船をベースに、2016年以降の第3次 NO_x 規制及び2020年ないし2025年以降の SO_x 規制に対応した想定油焚船（以下、「ECA 対応油焚船」）を検討する。また、それをベースに LNG 燃料船とした場合のコンセプトを検討する。

LNG 燃料船のコンセプトは、

- ▶ 主要目は ECA 対応油焚船との比較を有意にするため、コンテナ積載数を同じとし、LNG 燃料船化にあたって主要目を変更する必要がある場合には、船長を変更する。
- ▶ 運航形態は ECA 対応油焚船と基本的に同じとし、運航速度を維持するために、必要に応じて機関出力を変える。
- ▶ LNG 燃料の使用海域は、ECA 海域のみのケースと、2020年以降の全海域(専焼船)の2パターンを検討する。

また、暫定 IGF ガイドライン等の安全基準を考慮して、

- ◆ ガス燃料貯蔵タンクの方式、容量、体積
 - ◆ 推進システム（機関形式、機関出力（主機、補機）、推進システムの方式等）
 - ◆ 主要機器の配置（ガス燃料貯蔵タンクの設置場所等）
 - ◆ 年間燃料消費量（LNG、液体油）等
- 等を検討する。

(3)経済性の評価

- ① LNG 燃料船と ECA 対応油焚船の初期コストの比較を行う。LNG 燃料船とした場合の追加費用および削減費用等については、造船所等からもヒアリングしつつ、価格を推定することとするが、未だ市場に出回っていない主要機器等の将来の価格推定が困難な場合等には、ある程度幅を持った価格設定に基づく複数のパターンを算出する。
- ② 運航コスト部分の比較については、ECA 対応油焚船の年間燃料コストと LNG 燃料船の燃料コスト（バンカリングに必要なコストも含む）を比較する。このほか、LNG 燃料船となることで、変動する可能性のある費用要素があれば、合わせて評価する。燃料コストについては、将来の価格見通しも踏まえ、いくつかの価格パターンを設定し比較する。以上の結果から、ECA 対応油焚船と LNG 燃料船のトータルコストを、コストの変動要因を複数のシナリオにまとめたうえで評価し、LNG 燃料コンテナ船のコスト面での課題の整理を行う。

2.2.1.2.2 内航

対象船種はフェリーとし、航行区域は全て ECA 海域と仮定し、10000 総トンクラス、及び数百トンクラスの2ケースについて検討する。

(1) 既存船の主要目及び運航実態の調査

対象船舶の経済性検討のベース作りを目的として、瀬戸内海に現在就航してい

る 10000 トンクラス及び数百トンクラスのフェリーの主要目、運航実態を把握するため船社等から以下について聞き取り調査を行う。

- ◆ 船の主要目：全長、幅、深さ、喫水、総トン数、機関出力等
- ◆ 航路：主要発着港、1 航海当たりの航行距離・運航時間
- ◆ 運航形態：運航速度、1 年間当たりの航海等
- ◆ 燃料消費量
- ◆ バンカリング概要：バンカリングの場所、頻度等
- ◆ コスト構造

(2)LNG 燃料フェリーのコンセプトの検討

LNG 燃料フェリーのコンセプトを 2.2.1.2.1 (2) と同様に検討する。

ただし、検討にあたっては下記を前提条件とする。

- ▶ 専ら LNG 燃料で運航するケースを想定する。

(3)経済性の評価

2.2.1.2.1 (3) と同様に経済性の評価を行う。

2.2.1.3 その他

経済性の評価にあたっては、船員費、メンテナンス費用、売船時の価格、保険料等の経済性に影響を与える可能性ある要素については考慮していない。

2.2.2 外航LNG燃料船

2.2.2.1 参照とした油焚船モデル

2.2.2.1.1 概要

LNG外航船のコンセプトを検討するための参照として、平成23年現在運行されている油焚船の主要目や航路などを調査した。その結果、日本—欧州航路にて運行されている9300TEUコンテナ船をモデルとした。航路規模やインフラ整備状況、およびLNG燃料にかかる理解度を鑑みると、船主をはじめとする関係者が最も関心の高い航路および船種であることが最も大きい理由である。これを油焚船（現存船）とする。

そしてLNGバンカリングの現状も踏まえつつ、LNG外航船のコンセプトはECA海域もしくは全海域にてLNGを焚いたとしてもコンテナの積載数をはじめとする当モデルにて提示する主要目（船長を除く）・運行条件を可能な限り確保することを基本方針とした。

2.2.2.1.2 油焚船（現存船）の主要目

9300TEUの油焚きコンテナ船モデルのコンセプト図を図2.1.2.1に示す。その主要目は以下の通りである。

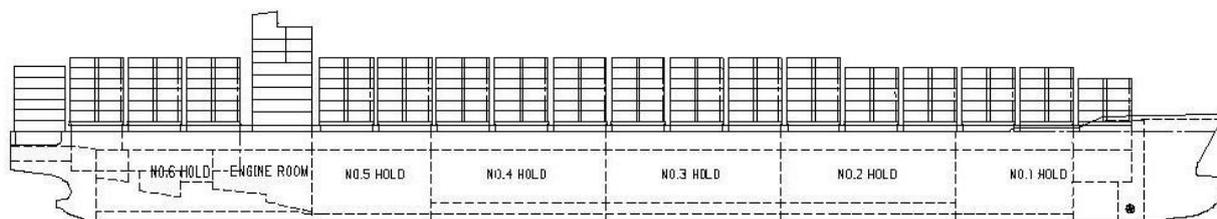


図2.1.2.1 9300TEU油焚きコンテナ船のコンセプト

主要目

船長Lpp	315.00m
船長Loa	332.15m
全幅	45.20m
深さ	26.80m
喫水	
計画運航	12.50m
夏期満載	14.00m
ブリッジ高さ	船底から57.6m
	甲板から31.2m
載貨重量	
計画運航喫水	約71,200ton
夏期満載喫水	約88,200ton
コンテナ積載量	
最大積載数	9144TEU
コンテナ配置	Mid-ship
ON DECK	18列8段
IN HOLD	16列10段
総トン数	105,644ton
計画速度	24.5knot
主機	DU WARTSILA 11RT-flex96C×1機
連続最大出力	58,400kW×99.5rpm
常用出力	45,120kW×91.3 rpm

2.2.2.1.3 航路

モデルとする航路を図2.1.3.1に示す。航路は東シナ海、マラッカ海峡、インド洋、スエズ運河、地中海、ジブラルタル海峡、ケルト海、ドーバー海峡を經由する日本ー欧州間で、航行速度19knotで片道約35日、往復で約70日要する。

なお、本調査では、ECA海域として地中海全域(7,128マイル)及び日本沿岸域の沿岸(ECAなし(0マイル)、50マイル、100マイルの3ケース)と仮定し検討した。

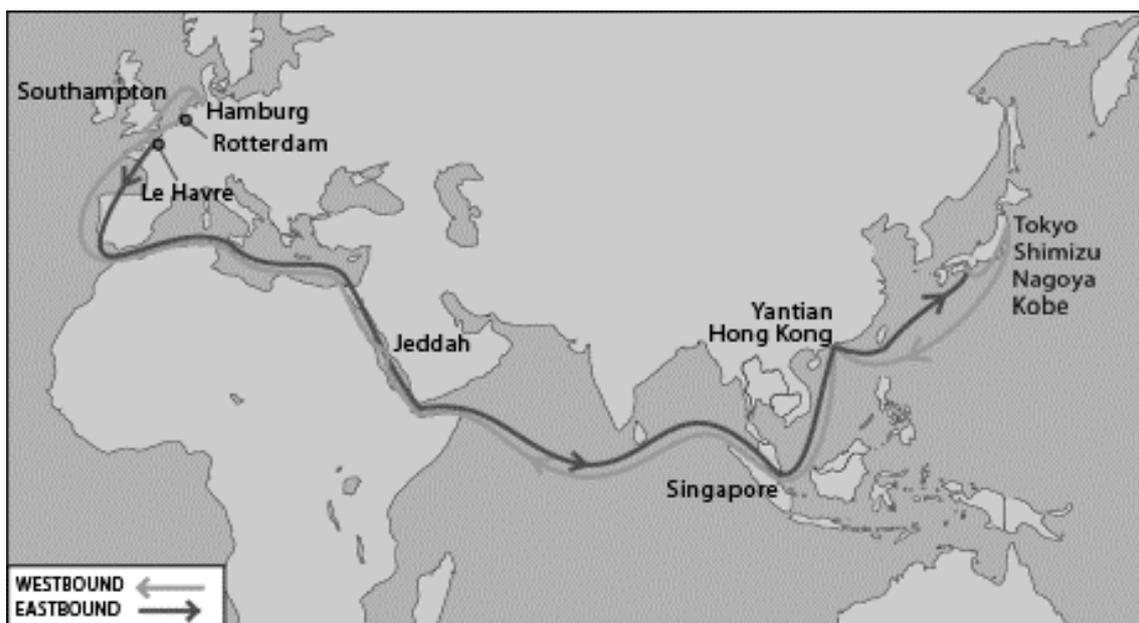


図2.1.3.1 9300TEU油焚きコンテナ船のモデル航路

2.2.2.1.4 運航形態

表2.1.4.1に各港間の所要日数を示す。表中の略称についてUKBは神戸港、NGOは名古屋港、SMZは清水港、TYOは東京港、YTNは深圳港、HKGは香港港、SINはシンガポール港、JEDはジッダ港、RTMはロッテルダム港、HAMはハンブルグ港、SOUはサウサンプトン港、LEHはル・アーブル港である。

モデルとなる9300TEU油焚きコンテナ船が所属する船団が各停泊港に到着・出発する曜日を表2.1.4.2に示す。この欧州航路において停泊する多くの港にて荷役等に要する時間は一昼夜以内である。該当する国内港の内、神戸港では土曜日18時から翌日曜日17時までの23時間、東京港では水曜日8時から翌木曜日17時までの33時間、それぞれ停泊する標準スケジュールが組まれている。ロッテルダム港では木曜日に到着し土曜日に出港するスケジュールが組まれている。資料によると、補油時間は10時間、補油速度は400～500m³/hである。

2.2.2.1.5 燃料消費

現存の油焚船の燃料消費量は実績からわかるが、E C A対応船との比較を行うため、一往復（ラウンド）分の燃料消費量を以下のように区分けした。まず第3次NO_x規制導入後を想定し、ECAは地中海全域と日本沿岸から0マイル、地中海全域と日本沿岸から50マイル、地中海全域と日本沿岸から100マイルの3ケースを設定した。そして、航行時の平均船速を19ktとし、主機馬力は22,000 kWとし、各区間の海マイルから所要時間を計算し、主機の実績平均燃費をかけて主機燃料消費量を計算した。出入港時（パイロット乗船時）も同様に平均燃費と時間をかけて燃料消費量を算出した。補機については、航海中と停泊中の各々の発電電力から航海時と停泊時（出入港時含む）の時間を算出し、補機の実績平均燃費をかけて補機の燃料消費量とした。ボイラーの燃料消費は実績をみて決めた。

表2.1.4.1 各港間の所要日数

W/B	JED	RTM	HAM	SOU	LEH	E/B	SIN	HKG	YTN	UKB	NGO	SMZ	TYO
UKB	23	32	34	37	39	RTM	26	30	31	35	37	38	39
NGO	21	30	32	35	37	HAM	24	28	29	33	35	36	37
SMZ	21	30	32	35	37	SOU	22	26	27	31	33	34	35
TYO	19	28	30	33	35	LEH	20	24	25	29	31	32	33
YTN	14	23	25	28	30								
HKG	14	23	25	28	30								
SIN	9	18	20	23	25								
JED	-	9	11	14	16								

表2.1.4.2 各停泊港に到着・出発する曜日のリスト

Origin	ETA/ETD
Kobe	SAT/SUN
Nagoya	MON/TUE
Shimizu	TUE/TUE
Tokyo	WED/THU
Yantian	MON/TUE
Hong Kong	TUE/TUE
Singapore	FRI/SUN
Jeddah	TUE/TUE
Rotterdam	THU/SAT
Hamburg	SAT/MON
Southampton	TUE/WED
Le Havre	THU/FRI
Singapore	THU/FRI
Hong Kong	MON/TUE
Yantian	TUE/WED
Kobe	SAT/SUN

Turnaround days 70
Weekly/Fixed Day Service

ECAについての各ケースにおける航路の内訳を表2.1.5.1に示す。なお、ECA導入後も導入前と比べて航路は変更しないとの前提でECA海域での航行距離を求めた。この前提において、日本のECAを沿岸から0マイルから沿岸から50マイルに変更することで、ECA海域の航行距離は481海マイル分増加する。さらに100マイルに拡大すると、ECA海域の航行距離は518海マイル分増加することになる。

表2.1.5.1 ECA設定に対する油焚きコンテナ船の路程

単位：海マイル

		ECA海域	その他	計
日本ECA なし (0マイル)	日本 (港数4)	0	381	381
	日本～スエズ (港数5)	0	8,090	8,090
	EU (港数5)	7,128	0	7,128
	スエズ～日本 (港数3)	0	7,909	7,909
	計	7,128	16,380	23,508
日本ECA 50マイル	日本 (港数4)	481	0	481
	日本～スエズ (港数5)	0	8,040	8,040
	EU (港数5)	7,128	0	7,128
	スエズ～日本 (港数3)	0	7,859	7,859
	計	7,609	15,899	23,508
日本ECA 100マイル	日本 (港数4)	581	0	581
	日本～スエズ (港数5)	0	7,990	7,990
	EU (港数5)	7,128	0	7,128
	スエズ～日本 (港数3)	0	7,809	7,809
	計	7,709	15,799	23,508

補油地； ロッテルダム
 補油時間： 10時間
 補油レート： 400～500m3/h

これを元にした各ケースにおける燃料油の消費量の試算結果を図2.1.5.1～図2.1.5.3に示す。それぞれの図においてME FOCは主機での燃料油の消費量を、DG

FOCは補機発電機での燃料油の消費量を、BLR FOCはボイラーでの燃料油の消費量をそれぞれ示す。ボイラー消費量は少ないためグラフにはほとんど見えない。なお、停泊中には出入港時のパイロット乗船中の燃料消費も含む。

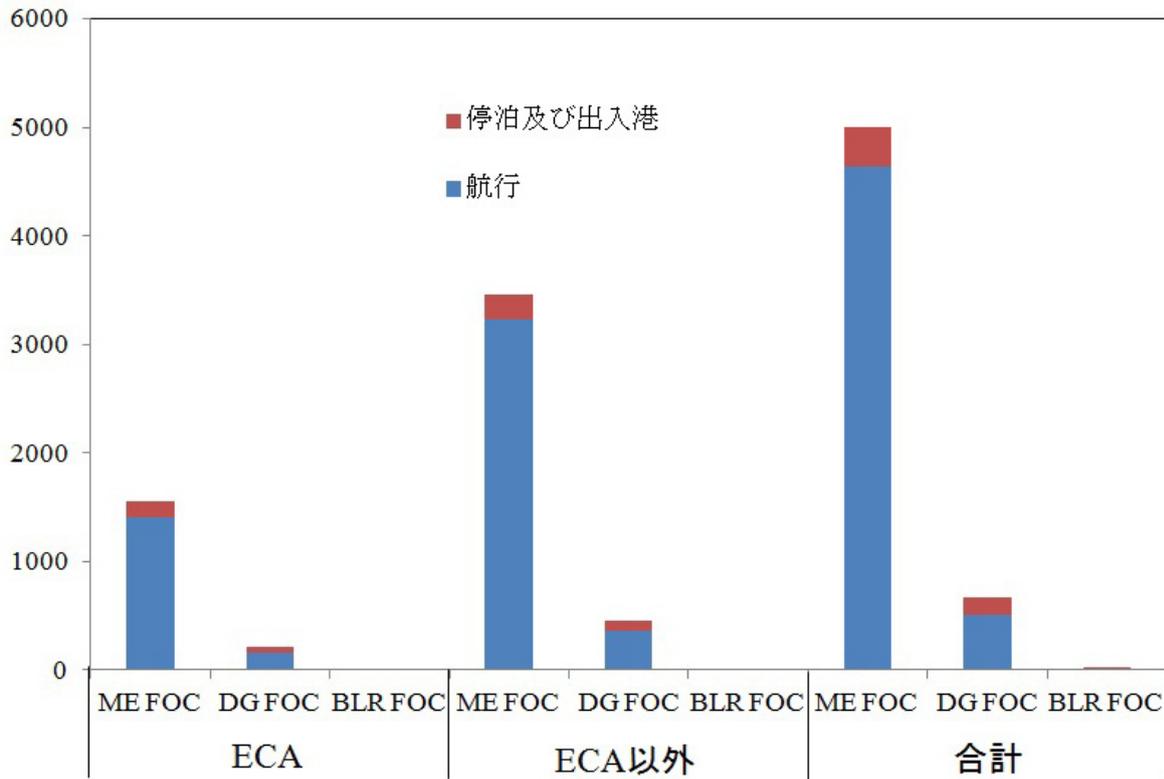


図2.1.5.1 油焚きコンテナ船の燃料消費量、日本沿岸ECAなし（単位：ton）

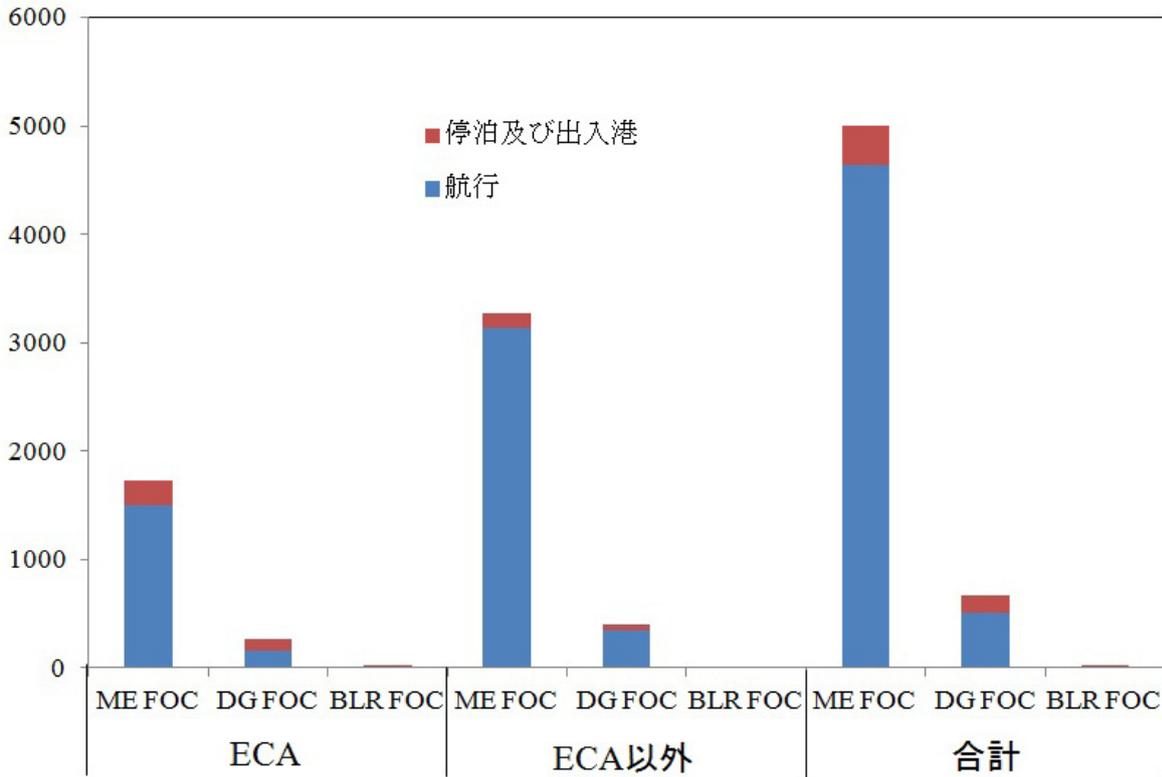


図2.1.5.2 油焚きコンテナ船の燃料消費量、日本沿岸ECA50マイル（単位：ton）

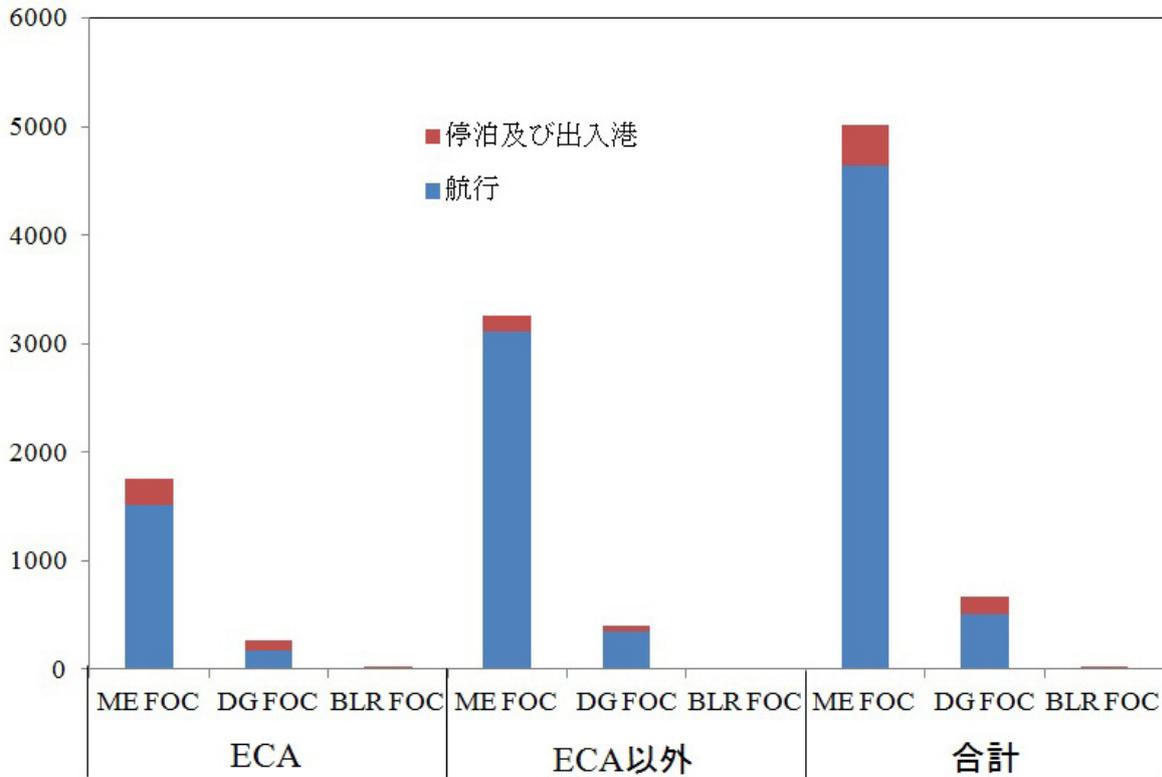


図2.1.5.3 油焚きコンテナ船の燃料消費量、日本沿岸ECA100マイル（単位：ton）

2.2.2.1.6 コンテナ船の傭船料等のコスト構造

モデルとした9300TEUの油焚コンテナ船のコスト構造として下記の数値を用いた。

- 一般マーケットベースの傭船料 US\$3,350,000
1ラウンド航海（70日）当りの数値（資本費、船費、店費を含む）である。
- 港費・運航費 US\$1,800,000
同じく1ラウンド航海（70日）当りの数値である。
- 燃料油単価マーケット価格
 - ロッテルダム船用重油（高硫黄分） US\$660/Mt
 - ロッテルダム船用ガスオイル（0.1%低硫黄分） US\$990/Mt
 - （参考：東京船用ディーゼルオイル（1.5%硫黄分） US\$1,080/Mt）

引用 http://www2.nykdline.com/liner/service_network/eu_loop_a.html

2.2.2.2 LNG燃料コンテナ船のコンセプト検討

2.2.2.2.1 概要

LNG燃料船として主機や補機のガスエンジンの検討、LNG燃料として必要な燃料タンクの種類や配置、燃料ガス供給システム、LNGバンカリングシステム等の機器付帯設備の検討、NO_x対策としてのSCR脱硝装置の配置、検討を行った。

LNG燃料の使用は日本—欧州航路の全海域において使用する場合とECA海域のみで使用する場合の2ケースについて検討した。ECAの設定については、バルチックE海等の既存ECAと地中海を全域ECAとした。我が国のECAについては議論の途中であり、沿岸0マイルと50マイル、100マイルをECAとする3ケースについて検討した。

2.2.2.2.2 LNG燃料船コンセプトの基本方針

2.2.2.1で参照とした油焚船と基本的な主要目、コンテナ積付数、運航プロファイル（航路、運航速力、運航スケジュール）を同じとしてLNG燃料コンテナ船のコンセプトを検討した。従い、計画速力は油焚船と同じである。LNG燃料タンクの大きさの検討に当たっては、2.2.2.1で参照した油焚船の現状の運航速力（減速運転）での1ラウンドトリップ分の油燃料消費量をベースにしてLNG燃料消費量を計算し、LNG燃料タンクの大きさを決めた。

LNG燃料タンクの容量は、船社等の意見を踏まえ、1ラウンドに1回消費量の全量を国内にて補給する計画で、余裕を見て1ラウンドトリップ消費量の1.5倍の容量とした。これはある港で1回LNGの補給に失敗しても、半航海は持続できる余裕がある。また、油燃料タンクについてはスペース上特に変更せず、LNG燃料船にもそのまま残した形にしている。

2.2.2.1で参照とした油焚船と同一運航プロファイルで同一船速、同一コンテナ積付数を揃えることを基本方針としているので、追加されるLNG燃料タンク等の必要スペースを検討するに当たり、主要目（全長、型幅、型深）のうち、型幅、型

深は油焚船と合わせ、全長を増加することで必要スペースを確保し、コンテナ積付数を油焚船と同じとするようにした。さらに、船長増加による同一計画船速を保つため主機必要馬力の計算は海技研所有のソフト（Hope Light）により計算し、それを踏まえてLNG燃料消費を求めた。

2.2.2.2.3 主機および推進システム

2.2.2.1で参照とした油焚船は低速ディーゼル主機プロペラ直結推進システムであり、LNG燃料船ではこの低速ディーゼル機関をガスインジェクション低速機関に置き換えることを基本とした。また、推進システムの候補として中速リーンバーンDF機関の電気推進システムも検討した。

LNG燃料船は第3次NO_x規制及びSO_x規制導入(ECA対応)後における就航を想定しており、NO_x規制は一般海域ではTier II 規制に、ECA海域ではTier III 規制に適合したエンジンとした。このため、Tier II 対応による燃費の悪化とガスインジェクション低速機関ではNO_xの処理装置が必要であるが、本調査ではSCR脱硝装置を設置する計画とした。なお、機関がリーンバーンガスエンジンの場合はNO_x処理装置は不要である。リーンバーンガスエンジンのメタンスリップについては何らかの後処理装置が必要となるかもしれないが、ここでは検討していない。

主機等の推進システムの主要目と平均燃料消費率を表2.2.3.1に示す。

表2.2.3.1 推進システムの主要目比較

		油焚船	油焚船	LNG船	LNG船	LNG電気推進船	LNG電気推進船
		(現存船)	(ECA対応船)	(ECAのみ使用)	(全海域使用)	(ECAのみ使用)	(全海域使用)
		A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
推進システム		低速主機直結	低速主機直結	低速主機直結	低速主機直結	中速電気推進	中速電気推進
平均速力	kn	19	19	19	19	19	19
船長 Lpp	m	315	315	345(*1)	360(*1)	345(*1)	360(*1)
船体 B X D	m	45.2X26.8	45.2X26.8	45.2X26.8	45.2X26.8	45.2X26.8	45.2X26.8
計画喫水	m	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
プロペラ駆動力	kW	22000	22000	23100(*2)	23650(*2)	23100(*2)	23650(*2)
平均熱効率(油換算)	g/kWh	170	174(*3)	174(*3)	174(*3)	185(*4)	185(*4)
NOx対応		Tier I 対応	Tier II/III対応				
主機		低速ディーゼル	低速ディーゼル	ガスインジェクション	ガスインジェクション	リーンバーンDF	リーンバーンDF
形式		11RT-flex96C	11RT-flex96C	11K98ME-GI	11K98ME-GI	16V50DF	16V50DF
台数	台	1	1	1	1	4	4
カタログ出力	kW	66,330	66,330	66,220	66,220	4X15,200	4X15,200
本船MCO	kW	58,400	58,400	58,400	58,400	4X15,200	4X15,200
補機		中速ディーゼル	中速ディーゼル	リーンバーンDF	リーンバーンDF	リーンバーンDF	リーンバーンDF
形式				6L34DF	6L34DF	6L34DF	6L34DF
台数		4	4	4	4	1	1
カタログ出力	kW	2,900	2,900	2,700	2,700	2,700	2,700
平均出力(航海中)	kW	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900
平均出力(停泊中)	kW	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
平均燃費(油換算)	g/kWh	217	217	217	217	193(*5)	193(*5)
主補機メイン使用燃料							
ECA内(*6)		LSFO	LSFO(0.1%S)	LNG	LNG	LNG	LNG
ECA外		HFO	LSFO(0.5%S)	LSFO(0.5%S)	LNG	LSFO(0.5%S)	LNG
ボイラ形式		油焚	油焚	LNG焚	LNG焚	LNG焚	LNG焚
SCR脱硝装置							
主機		-	要	要	要	-	-
補機		-	要	-	-	-	-

(*1)・・・LNG船のLppを油炊船に比べてECAのみLNG使用は30m増、全海域LNG使用の場合45m増加。
 (*2)・・・プロペラ駆動力はコンテナ数をキープするために船長(Lpp)を増加し、同一船速を得るための駆動力で、DW/LWの推定から、海技研が保有する計算プログラム(HOPE)で計算したものである。詳細は別資料参照。
 (*3)・・・Tier II 対応による燃費悪化考慮(2%)
 (*4)・・・発電効率97%、電気推進効率95%を考慮。
 (*5)・・・効率の良い主発電機での発電効率を考慮。
 (*6)・・・将来のECAについては現存ECAと地中海を全域ECAと仮定し、日本については沿岸0(ECA無)と沿岸50、100マイルの3ケースを仮定する。

2.2.2.1で参照とした油焚船（現存船）（A-1）の主機は11シリンダーの低速ディーゼル機関（11RT-flex96C）でNOx Tier I 規制適合としており、減速運転平均速力19knの平均出力は22,000kwで本船MCO出力の約38%である。2.2.2.1.5.に記された燃料消費量から計算した平均燃費は170g/kwhと計算される。また、補機発電機は中速ディーゼル機関4台装備されており、2.2.2.1.5.に記された平均出力から計算した平均燃費は217g/kwhと計算される。現存船においても既存のECAでの燃料S分規制やEUでの港での燃料S分規制があるが、主使用燃料油は主機、補機共にいわゆるバンカー油のHFOであり、比較を簡単にするため全量HFO使用とした。

油焚船（ECA対応）（A-2）はNOx Tier II/Tier III 対応船であり、Tier II による主機燃費の悪化を2%と仮定し174g/kwhとした。補機については燃費の悪化は考えていない。また、油焚船（ECA対応）（A-2）は2020/25年の燃料硫黄グローバル規制も考慮し、ECA内では0.1%S分燃料、ECA外では0.5%S分燃料を焚くものとしてLNG燃料船との燃料経済性等を比較した。

LNG船（ECAのみ使用）（B-1）は主機をガスインジェクションディーゼル機関（11K98ME-GI）で、補機は中速リーンバーンDF機関（6L34DF）とし、熱効率（燃費）は基本的にA-2船と同じとした。2.1.で参照とした油焚船のコンテナ搭載数を維持するためには、LNG燃料タンク設置スペース分として船長（Lpp）を30m長くする必要がある。併せて、船長延長後においても、2.2.2.1.で参照とし

た油焚船の航海速度19knを維持するために平均航海出力を5%増加し23,100kwとした。LNG船（全海域使用）（B-2）の場合も主機等は同じであるが、LNGタンクスペースの関係上Lppを45m延長し、同一航海速度19knを維持するため、平均出力は7.5%増加し23,650kwとした。

船長（Lpp）を増加した時の船速維持の為の海技研所有のプログラムHope Lightによる計算例を表2.2.3.2に示す。表は15mと30m増加した場合の計算例であるが、それぞれ2.5%、5%馬力増となるため、45m増加の時は7.5%馬力増とした。

LNG電気推進船も同様にECAのみLNG使用（C-1）船と全海域LNG使用（C-2）船を検討した。主機は中速リーンバーンDF機関（16V50DF）で、発電効率、変換効率等の電気推進効率を考慮して熱効率を悪くし平均燃費は185g/kwhとした。一方、補機については通常航海中は主機で発電できるため効率が良く、停泊時の悪化分を考慮しトータルとして平均燃費を193g/kwhとした。

2.2.2.2.4 油焚船（現存船）、油焚船（ECA対応）、LNG船の燃料消費量比較

A-1船の使用燃料油はいわゆるバンカー油で3.5%S分までのHFOとし、A-2船の燃料油については将来の硫黄規制を考慮し、ECA内は低硫黄燃料LSFOの0.1%S分の燃料を、ECA外の一般海域でも低硫黄燃料LSFOの0.5%S分の燃料を使用するとし、HFOの使用は無いとした。

LNG船の主機ガスインジェクションME-GI機関はガス燃料の引火の為のパイロット燃料油が必要で、パイロット燃料油の最小割合は100%負荷時において全燃料熱量の5%相当である。パイロット燃料油の噴射量は通常固定されており、負荷が下がるとメイン燃料が減り相対的にパイロット燃料油の割合は増えることになる。本船は減速運転で平均負荷は38%MCOであることから、パイロット燃料油の割合を本船の平均負荷で10%とした。また、ME-GI機関は主機負荷25%未満等の低負荷では確実な運転を行うため全量パイロット燃料油を使用し、ガス燃料は使用しない。そのため、本検討では、港湾内のパイロット乗船中の運転時間はパイロット燃料油のみ使用とした。パイロット油はECA内は0.1%S分、ECA外は0.5%S分のLSFOを使用するとした。

中速リーンバーンDF機関もパイロット燃料油が必要で、DF機関メーカーのカタログ値を踏まえ100%負荷時全燃料熱量の1%相当とし、本船の平均負荷では全熱量の3%相当をパイロット燃料油とした。本パイロット油も低速機関と同じとした。

ボイラーは、油焚船では油焚を、LNG船ではLNG焚とした。

SCR脱硝装置の寸法についてはNO_xテクニカルコードに従って計画し、本船MCO出力をベースに検討している。還元剤である尿素水の必要数量は油換算燃料消費量の数量の10%としている。使用尿素水は尿素の割合が40%のものである。

ME-GI機関はLNG燃焼時、油燃焼に比べNO_x排出量が10%以上少ないことから、尿素水の使用量を油焚船に比べ10%減とした。

船種別（A-1、A-2、B-1、B-2、C-1、C-2）に燃料及び尿素の消費量を総括したグラフを図2.2.4.1に示す。LNGの単位はタンク容積の関係からm³単位とし、油の単位はtonとした。

表2.2.3.2 Hope Lightによる馬力の推定計算例

9300TEUコンテナ船の軽荷重量(Lw)及び必要馬力の推定													
主要目		現状船	LNG焚船A	LNG焚船B									
全長	m	332.15	347.45	362.15									
Lpp	m	315	330.3	345									
幅	m	45.2	45.2	45.2									
深さ	m	26.8	26.8	26.8									
船速	kt	19	19	19	一航海の平均船速								
馬力	kW	22,000	?	?	一航海の平均馬力								
喫水	m	12.50	12.50	12.50	喫水は不明		12.5mを使用						
載貨重量	DW (t)	71,200	72,200	73,200			0						
(内訳)													
貨物重量	Wc (t)	56,200	56,200	56,200									
燃料重量	Wf (t)	10,000	11,000	12,000									
バラスト重量	Wb (t)	5,000	5,000	5,000			Ballastの要否不明						
軽荷重量	LW (t)	28,500	30,800	32,800			0						
(内訳)													
船殻重量	Wh (t)	22,000	24,000	25,900									
船装重量	Wf (t)	2,000	2,100	2,200									
機装重量	Wm (t)	4,000	4,200	4,200									
電装重量	We (t)	500	500	500									
排水量	△ (t)	99,700	103,000	106,000			△= DW + LW						
Cb		0.545	0.537	0.530									
HOPE推定値		V	BHP	V	BHP	V	BHP	V	BHP (kW)		比		
		(kts)	(kW)	(kts)	(kW)	(kts)	(kW)	(kts)	①現船	②A船	③B船	④=②/①⑤=③/①	
		17.45	12,687	17.49	13,153	17.53	13,591	17.5	12,800	13,173	13,532	1.029	1.057
		17.92	13,734	17.96	14,242	18.00	14,720	18.0	13,940	14,324	14,715	1.028	1.056
		18.38	14,880	18.43	15,390	18.47	15,909	18.0	13,940	14,324	14,715	1.028	1.056
		18.85	16,131	18.90	16,655	18.95	17,170	18.5	15,185	15,572	15,977	1.025	1.052
		19.32	17,493	19.37	18,027	19.42	18,556	19.0	16,552	16,931	17,337	1.023	1.047
		19.79	18,981	19.84	19,517	19.89	20,054	19.5	18,056	18,417	18,811	1.020	1.042
		20.25	20,612	20.31	21,141	20.36	21,678	20.0	19,714	20,045	20,419	1.017	1.036
		20.72	22,406	20.78	22,916	20.83	23,444	20.5	21,541	21,831	22,178	1.013	1.030

◆ 現状船
 ■ LNG焚船A
 ▲ LNG焚船B
 — 多項式(現状船)
 — 多項式(LNG焚船A)
 — 多項式(LNG焚船B)

$y = 24.176x^3 - 1147.5x^2 + 20250x - 118989$
 $y = 20.666x^3 - 924.28x^2 + 15581x - 87191$
 $y = 21.135x^3 - 929.9x^2 + 15313x - 83666$

19ノット前後で、およそ2.5%の馬力増加になる。
 19ノット前後で、およそ5%の馬力増加になる。

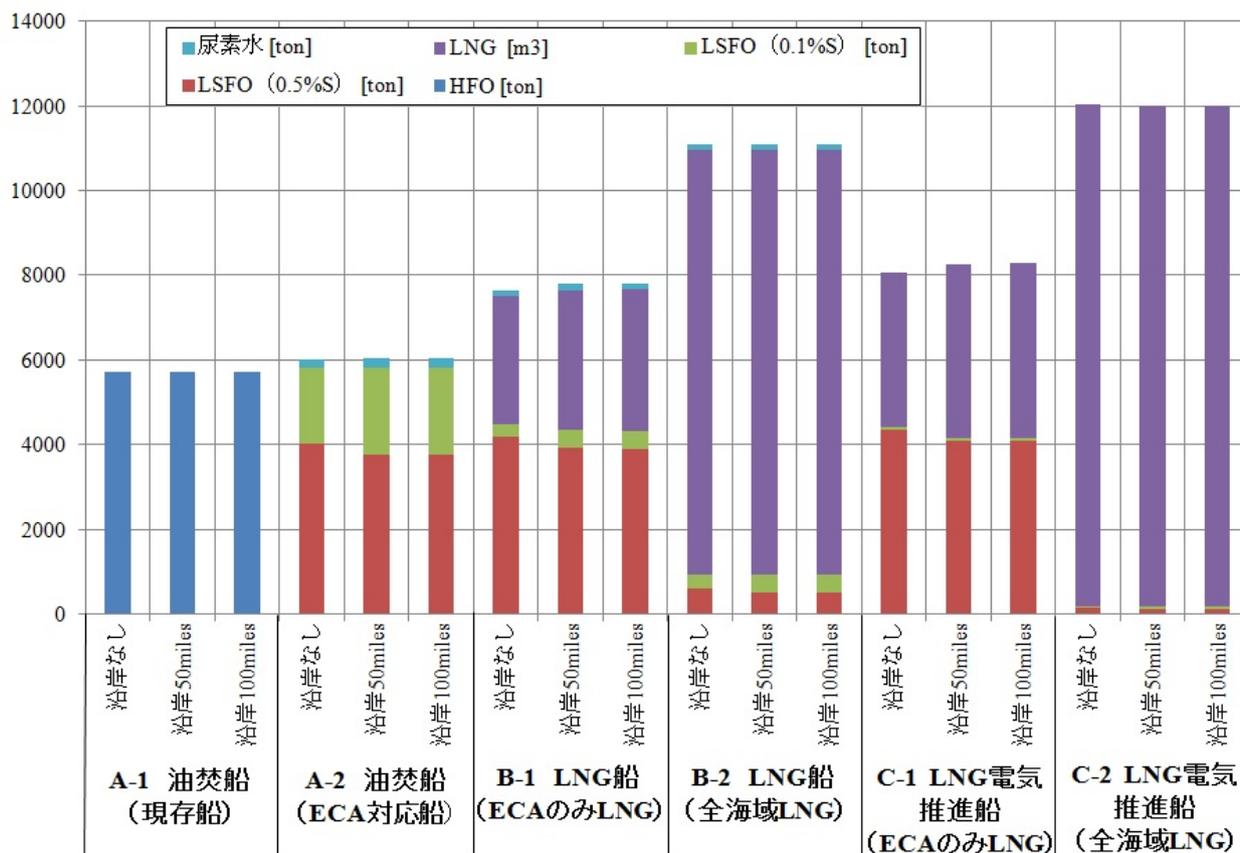


図2.2.4.1 1ラウンドトリップでの燃料消費量総括
 (「沿岸なし」、「沿岸50mile」、「沿岸100mile」は日本沿岸ECAがなし、50マイル、100マイル、をそれぞれ示す)

2.2.2.2.5 LNG貯蔵タンクの仕様

(i) LNGタンクの仕様検討条件

コンテナ船に積載するLNG貯蔵タンクの仕様について検討した。この仕様はLNG燃料船の関連規則であるIGCコード、IGFコード案（現在IMOにて審議中）、IGF暫定ガイドライン、船級が発行している関連ガイドラインへの適合を前提とした。IGFコード案の審議においてタンク外壁と船舶側壁との距離に関する規定についてはIGF暫定ガイドラインに比べ緩和の方向で現在IMOで審議が進んでおり、これを踏まえて、本調査ではその緩和案を踏まえて検討することにした。

LNGタンクの仕様を検討するための条件を以下に挙げる。

- ① タンクの容量は1ラウンド燃料消費量の1.5倍の容量とする。

前項にて挙げた油焚きコンテナ船の燃料タンク容量が通常1.5~2ラウンド程度であること、並びに航路の寄港地における船用LNGのバンカリングおよびLNGチェーンに関わるインフラの整備状況を踏まえて、日本で1ラウンド分のLNGを補給し、航海が予定通り終了して日本に戻った際になお0.5ラウンド分のLNGが残っている状態にするのが現実的であると判断し、タンク合計で1.5ラウンド分のLNGが積載可能な容量にする方針とした。

- ② タンクは地中海ECA海域のみLNGを使用する場合と全海域にてLNGを使用す

る場合の2つを想定する。

QUANTUM9000をはじめとして過去提案された LNG 外航船のコンセプトの多くは ECA 海域のみに LNG 燃料を使用する前提でタンクの仕様を検討している。一方で将来 SOx 規制がさらに強化され ECA 以外でも低硫黄燃料の使用が義務づけられる可能性も無視できない。それを考慮し LNG タンクは、小容量が見積もられる地中海 ECA 海域のみ LNG を使用する場合だけでなく、大容量が見積もられる全海域にて LNG を使用する場合も検討することにした。

- ③ 推進システムは低速直結の場合と中速電気推進の場合、双方を想定する。

環境への負荷軽減を目的に外航船にも将来電気推進が普及する場合を見越して、LNGを燃料とする中速電気推進の場合も検討することにした。

- ④ タンク形式はType BとType Cの両方を検討する。

Type B タンクは、船形に合わせてタンクの形状や容量が決められる。通常は直方体状で耐スロッシング性を考え内部で分けられ、大気圧貯蔵であるが、部分二次防壁が要求される。一日当たりの LNG 蒸発量の指標となる BOR は 0.14~0.2%である。主に IHI マリンユナイテッド(日)が SPB(Self-supporting Prismatic Type B Tank System) 型として多くの LNG タンカーにて採用、建造した実績がある。

一方 Type C タンクはいわゆる圧力容器で二次防壁は要求されない。タンク形状は通常は円筒形状だが二つのタンクを繋ぎあわせたバイロブ状容器も造られている。こちらも耐スロッシング性に優れており、BOR は 0.21~0.23%である。大容量のものは TGE-Marine (独) で 20,000m³ の容量のものが建造実績がある。小型のものが主に北欧の LNG フェリー用タンクとして使われている。どちらも一長一短の特徴があることからそれぞれの容器を使用した場合を検討することにした。

- ⑤ タンクの断熱材厚さは300mmとする。

タンクの種類によらず、既存の LNG タンクの断熱材が 300mm 以上の厚さにしていることから、これを踏襲することにする。

- ⑥ LNG タンクを複数配置させる場合、隣り合うタンク外壁間の距離は 380mm 以上とする。

これは IACS の共通解釈を踏襲することにした。

- ⑦ Type C タンクは横置きで船長方向の配置を想定する。

Type C タンクは配置の柔軟さが特長の一つであり、例えば前述の QUANTUM 9000 は縦置き (鉛直方向) に Type C タンクを配置している。Type C タンクを船体内に配置させる場合そのパターンは以下の 4 つが考えられる。

- ・パターン1：横置き、船幅方向に配置
- ・パターン2：横置き、船長方向に配置
- ・パターン3：縦置き、船幅方向に2本配置
- ・パターン4：縦置き、船幅方向2本×船長方向2本、合計4本配置

このうち、パターン1は他のパターンよりスロッシングの影響が高いと予

想される。パターン3は特に全海域LNGを使用するケースでは大型化し、タンクの高さはデッキを越えてブリッジのそれに近くなり、航行時の視界をタンクが塞ぐおそれがある。加えてLNGタンクの自重により船体中央部への応力集中が生じる可能性がある。パターン4も高さはパターン3より抑えられるものの同じ問題が生じうる。

以上の考察から、Type Cタンクはパターン2：横置きで船長方向の配置、で検討する方針とした。

⑧ LNGタンクの配置に伴う船長の増加は15m単位とする。

LNGを燃料としてもコンテナ船のコンテナの積載量を確保するためにはLNGタンクの直上にあるデッキにもコンテナを積載（ただし、コンテナとLNGタンクの間にはコンテナ落下時の安全確保のために十分丈夫なカバー構造物を設置する）することが有効であると考えた。40feetコンテナ1列分もしくは20feetコンテナ2列分をそのデッキ上に積載することを想定し、LNGタンクの配置に伴う船長の増加分は15m単位（15m、30m、45m、...）に設定することとした。

⑨ タンク配置に関する規定

高さ方向の制限についてはLNG燃料船関連規則によると船底外板から船幅Bについて $B/15$ と2mの短い方の距離以上離すこととされている。当該船に適用すると $B=45.20\text{m}$ より $B/15=3.01\text{m}$ と2mよりも長くなるので、タンクは船底外板から2m以上離すことになる。船体内に収める場合のタンクの高さ制限は船体深さ26.80mより24.8mになる。

船幅方向の制限については、LNG燃料船関連規則による旅客船以外の船幅方向の制限についてはdを制限長さとする、

- タンク容量（V）が $1,000\text{m}^3$ 以下の場合、 $d=0.8\text{m}$
- Vが $1,000\text{m}^3$ 以上 $5,000\text{m}^3$ 未満の場合、 $d=0.75+V\times 0.20/4,000\text{ m}$
- Vが $5,000\text{m}^3$ 以上 $30,000\text{m}^3$ 未満の場合、 $d=0.8+V/25,000\text{ m}$

の代替規則の適用が可能とされている。タンク容量は、複数搭載する場合は個々のタンクのものである。本調査においては代替規則を考慮する方針とした。

またタンクは主機の前方に隣接させる。LNG燃料船関連規則より、TypeBを採用する場合は部分的に二次防壁を設ける必要がある一方、TypeCを使う場合主機とタンクとの間にコファダムの設置が必要ないとした。

⑩ タンク内圧に関する規定

LNG燃料船関連規則によると最大許容作動圧力を10bar(=1MPa)として密閉区画で貯蔵することができるのとことである。従って通常使用時はこれより低い内圧に設定した。

⑪ 視界に関する規定

SOLAS（海上における人命の安全のための国際条約）要件によると、甲板上のコンテナは船橋（ブリッジ）からの視界を妨げない範囲で積付けを行う必要があり、船首から前方水面までの視界がLoaの2倍もしくは500mの短い方以内とすることが求められる。

本調査では船長の延長に伴う視界に関する検討も行う。水面は満載状態での平均喫水を14mでかつ船首方向に2m上向きのトリムを仮定した。すなわちLpp船首位置における喫水が15m、同船尾位置における喫水が13mとし、その延長線上看し線の見通し線の先端があるとした。LNGタンクの配置により上記要件を満たさない場合は、甲板上のコンテナ配置や船橋の位置を見直すことにした。

(ii) 充填率の検討

LNG燃料船関連規則によると、Type Cタンクでは標準温度（IGCコード15.1.4で定義。LNGの圧力と温度を制御する装置を搭載している場合は積荷終了時、輸送中又は荷役時での貨物温度のうち大きい方）において満杯の98%を越えて充填してはならない、外部から加熱される可能性が非常に小さい場合でも個別審査にて95%を越えることはないとする。したがって95%以上の充填は控えるべきである。

温度と圧力に対する充填率の制限について、関連規則では以下の相関式を提示している。

$$LL = FL \frac{\rho_R}{\rho_L} \quad (2.2.5.2.1)$$

LLは積荷時の温度および圧力についての充填率制限値、FLは積付制限値で前述より98%としている。 ρ_R は基準温度でのLNG比重、 ρ_L は積荷時の温度及び圧力でのLNG比重で大気圧でのLNG比重0.42を採る。タンクの最大許容設定圧力（MARVS）と関連づけると、MARVSを高く設定すると ρ_R が下がることでLLは低下する。そのため必要量のLNGを貯蔵するためにはタンクの容積を大きめに設定しなければならず、その分を確保するためにさらに船長を長くしなければならない。このことからType Cタンクにおける試算ではMARVSは0.147MPa（ゲージ）、基準温度をこの圧力に対する飽和温度-149℃、 $\rho_R=0.40$ とした。これによりLL=93.6%となり、詳細検討では充填率を93.6%として試算する方針とした。一方Type Bタンクでは大気圧での貯蔵を想定し、(相関式2.2.5.2.1)より充填率は98%として試算する。

(iii) タンク仕様の詳細

代替規則を考慮してタンク容量と仕様を検討した結果を表2.2.5.3.1に示す。

全海域LNGを使用するケースでは、代替規則を適用することにより内径の大きいタンクの配置が容易になる。これにより、Type Cタンクについては図2.2.5.3.1にて示されるシリンダリカル（円筒）型2基だけではなく、図2.2.5.3.2にて示されるシリンダリカル型2基を組み合わせたバイロブ型1基の配置も併せて検討可能となった。前項より充填率を93%としたことで、必要タンク容積は16,038m³という結果となった。タンクの鏡板を2:1の半楕円鏡にすると、シリンダリカル型とバイロブ型それぞれの寸法は以下の通りである。なお内圧に対する強度を確保するため、タンクの内部鋼板は9%ニッケル鋼で板厚32mm、その外から肉厚300mmの断熱材を巻いているとしている。

・シリンダリカル型 内部容積 16,184m³（2基）

	外部長さ	35.5m (内部長さ34.8m)
	外径	18.7m (内径18m)
・バイロブ型	内部容積	16,188m ³ (1基)
	外部長さ	36.7m (内部長さ36.0m)
	外部幅	34.3m (内部幅33.6m)
	断面中心間距離	15.0m

TypeBタンクについては充填率を98%としたことで必要容積は約15,325m³、外部長さは31.9m、外部最大幅は39.3mとなった。

地中海ECAのみLNGを使用するケースでも同様に試算した結果、TypeCタンクの必要容量は4,969m³となり寸法については以下の結果になった。なお板厚は24mmとしている

・シリンドリカル型 (図2.2.5.3.3)	内部容積	5,020m ³ (2基)
	外部長さ	24.9m (内部長さ24.2m)
	外径	12.7m (内径12m)
・バイロブ型 (図2.2.5.3.4)	内部容積	5,052m ³ (1基)
	外部長さ	25.2m (内部長さ24.5m)
	外部幅	24.1m (内部幅23.4m)
	断面中心間距離	11.3m

TypeBタンクは必要容積約4,748m³、外部長さは24.9m、外部最大幅は18.5mとなった。

TypeCタンクの支持構造について、各タンクの支持点は前後2箇所であり、タンクの熱による変形を船体構造に無理なく伝達するように、タンクと支持構造の間には断熱と緩衝を兼ねた強化積層木材（又は高硬度の南洋材）を配置する。その位置に、タンク(自重+LNG)の動的荷重を含む重量を船底構造、動揺等による横荷重を船側構造、また浸水事故時に於ける浮き上がり力を上甲板構造で、それぞれ支える十分な強度を有する主要構造部材を設ける。材質は強度及び軽量化の効率上から高張力鋼を採用するのが一般的である。本支持構造では、タンクの熱収縮を、前後方向はスライディングサポートで、周方向については支持構造と積層木材間の滑りで吸収できるものとしている。実船の設計に当たってはこの区画独自の構造配置と外力条件により、他の貨物倉とは別に三次元構造解析を行う必要があると考えている。

表2.2.5.3.1 タンク容量評価

必要積載量条件	1.5ラウンド分						
推進システム	低速直結						
タンク形式	シリンドリカル 型TypeC		バイローブ 型TypeC		TypeB		
LNG使用条件	全海域	地中海 ECA	全海域	地中海 ECA	全海域	地中海 ECA	
MARVS [MPa,G]	0.147	0.147	0.147	0.147	—	—	
LL (積付制限) (%)	93.6%	93.6%	93.6%	93.6%	98.0%	98.0%	
必要積載量 [m ³]	15,018	4,653	15,018	4,653	15,018	4,653	
必要タンク内容積 *1) [m ³]	16,038	4,969	16,038	4,969	15,325	4,748	
最低必要タンク [個]	2	2	2	2	1	1	
タンク径× タンク長さ*2) [m]	18×35	12×24	18×36	12×25	長さ： 31.2	長さ： 24.2	
タンク搭載最大幅 [m]	38	26	33	23	38.6	17.8	
1タンク当 たり重量 *3)	LNG [ton]	3,379	1,047	3,379	1,047	—	—
	タンク本体 [ton]	569	192	575	186	—	—
	防熱材 [ton]	85	40	86	40	—	—
	Cold Box [ton]	0	0	0	0	—	—
	タンク全体 [ton]	4,033	1,279	4,040	1,273	—	—
各タンク積載量 [m ³]	7,578	2,350	7,579	2,365	16,660	5,096	
各タンク内容積 [m ³]	8,092	2,510	8,094	2,526	17,000	5,200	
タンク個数 [個]	2	2	2	2	1	1	
タンク総積載量 [m ³]	15,155	4,701	15,159	4,731	16,660	5,096	
タンク総内容積 [m ³]	16,184	5,020	16,188	5,052	17,000	5,200	

*1) 積付制限を加味。 *2) 概算値 *3) COLD BOX、ドーム、補強材は含まず。

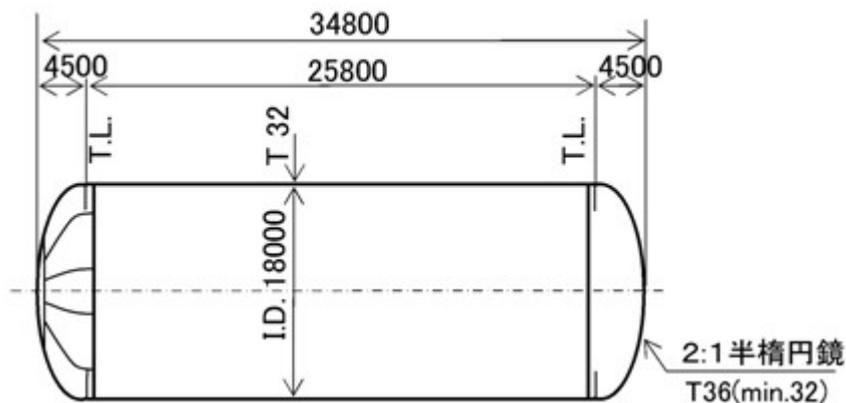


図2.2.5.3.1 全海域LNGコンテナ船タンク、TypeCシリンドリカル型（単位：mm）

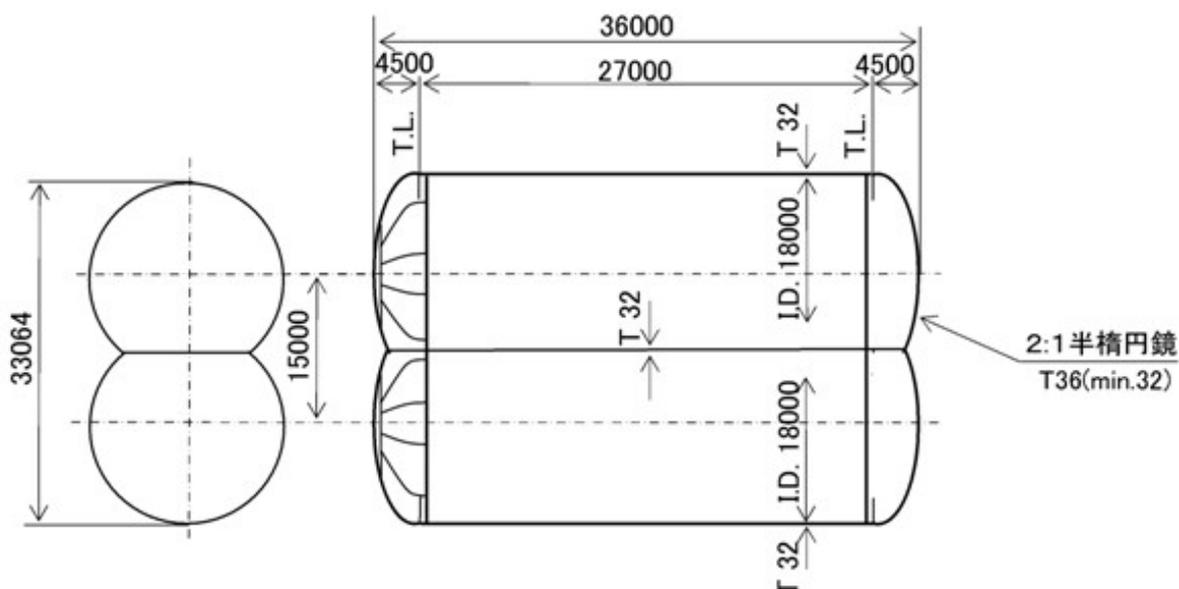


図2.2.5.3.2 全海域LNGコンテナ船タンク、TypeCバイロブ型（同上）

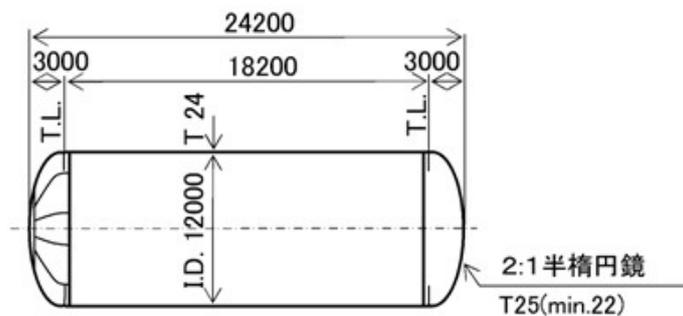


図2.2.5.3.3 地中海ECAのみLNG使用のコンテナ船タンク、TypeCシリンドリカル型（同上）

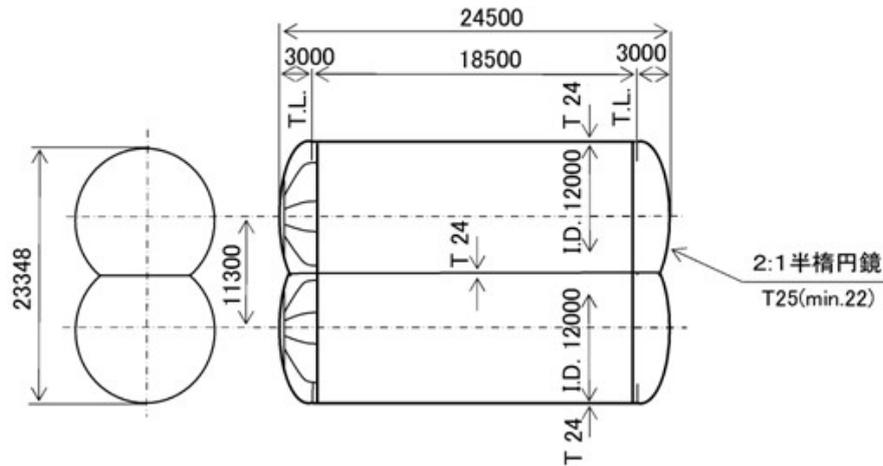


図2.2.5.3.4 地中海ECAのみLNG使用のコンテナ船タンク、TypeCバイローブ型
(同上)

(iv) 全海域LNGを使用するコンテナ船のタンク配置

全海域LNGを使用するコンテナ船のコンセプトについて、シリンダリカル型Type Cタンクを採ったケースについてのものを図2.2.5.4.1に、バイローブ型Type Cタンクを採ったケースについてのものを図2.2.5.4.2に、それぞれ示す。いずれも船橋の真下に主機を、タンクはその主機の前面に、それぞれ配置している。タンクを積載した船倉デッキ上にもコンテナを積載することで、必要数を維持している。補機は主機の斜め前にあたるデッキ位置に配置する。

双方に共通した船体全体の一般配置図を図2.2.5.4.3に、ここから機関室周辺を拡大した配置図を図2.2.5.4.4に、それぞれ示す。LNGを満載したタンクを保持するためにその周囲に高張力鋼の構造材を配置している。この区画にはコンテナ搭載用ハッチは不要であるのでデッキ構造が配置されるが、その荷重条件は前述したタンクの浮き上がり力の他に、デッキ上積載コンテナの荷重に対しても十分な強度を有する構造であることが要求される。各タンクの直上にはタンク接続スペースを設けてLNGの補給及びBOGの抽出に必要な配管系を設置する。タンクと主機の間の区画には燃料油(重油)タンクに加えてLNG用のコンプレッサールームを設ける。その直上のデッキにはLNG補給用のパンカリングステーションを両舷に配置する。主機の直上には船橋を貫通させるかたちでSCRを配置する。これらについては改めて後の章で解説する。

シリンダリカル型Type Cタンクを採ったケースでの船体断面を図2.2.5.4.5に、バイローブ型Type Cタンクを採ったケースでの船体断面を図2.2.5.4.6に、それぞれ示す。両者の差はほとんどないが、前者を採った場合隣り合うタンクの間さらに構造材を追加している。

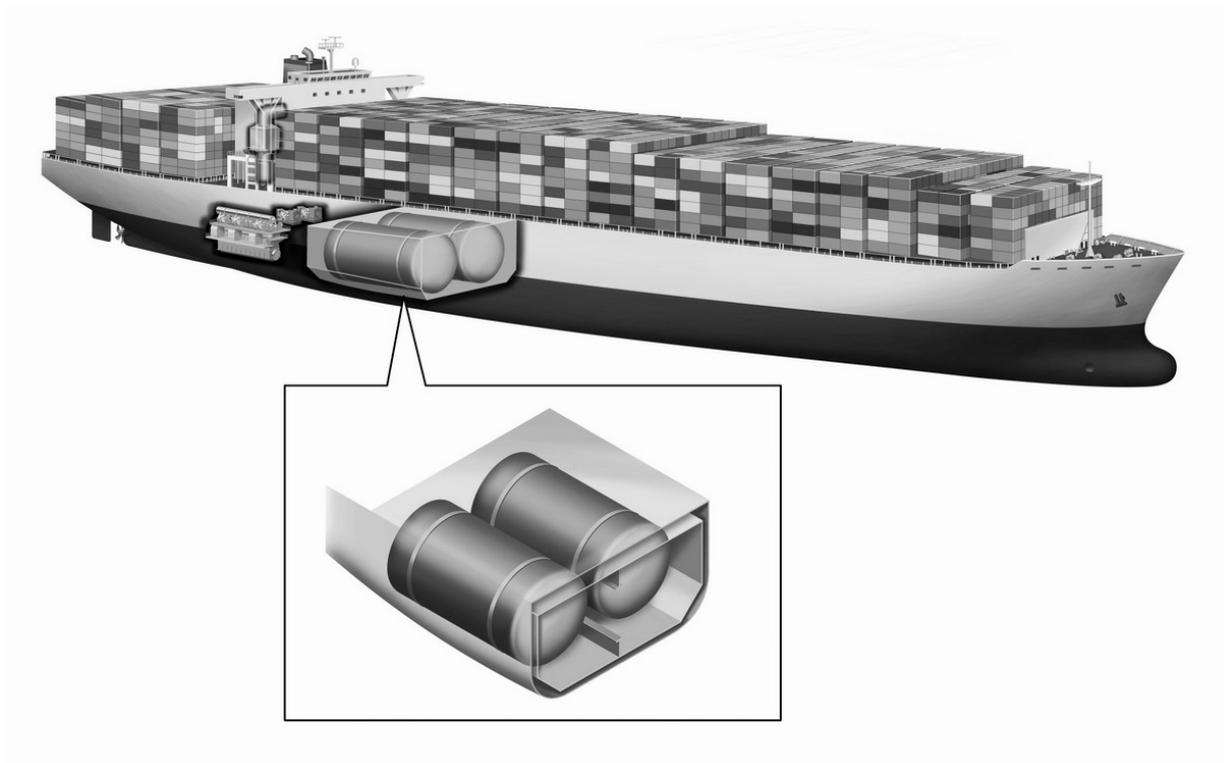


図2.2.5.4.1 全海域LNG使用のコンテナ船コンセプトとタンク配置
(シリンドリカル型TypeCタンク)

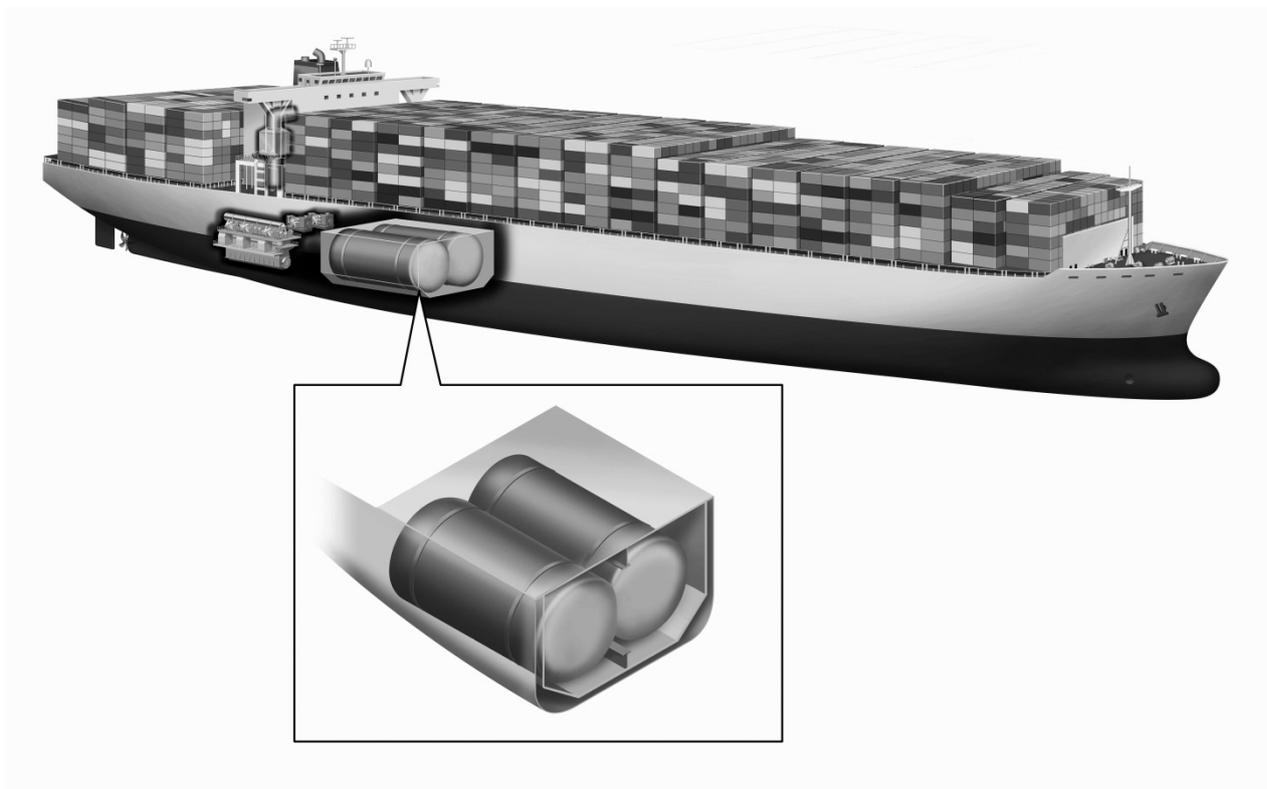


図2.2.5.4.2 全海域LNG使用のコンテナ船コンセプトとタンク配置
(バイローブ型TypeCタンク)

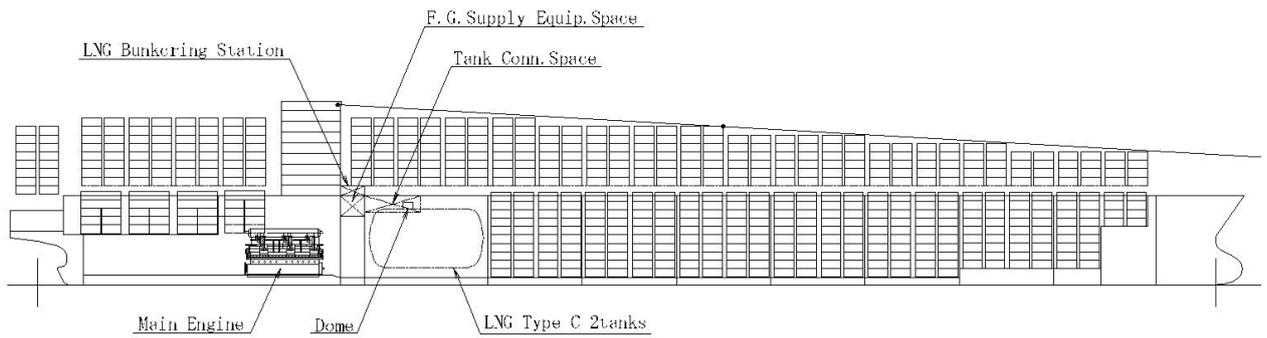


図2.2.5.4.3 全海域LNG使用のコンテナ船一般配置、TypeCタンク使用
(シリンドリカル型、バイロブ型共通)

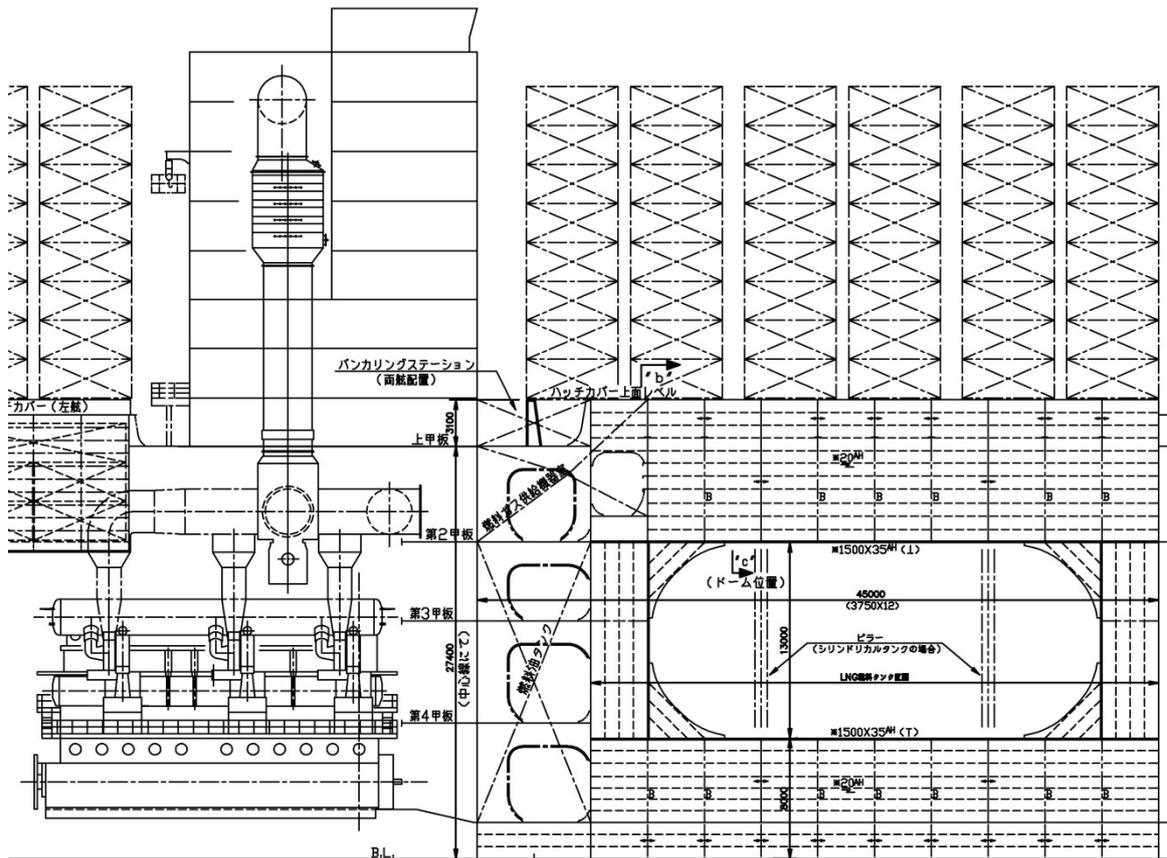


図2.2.5.4.4 全海域LNG使用のコンテナ船機関室周辺配置、TypeCタンク使用
(シリンドリカル型、バイロブ型共通)

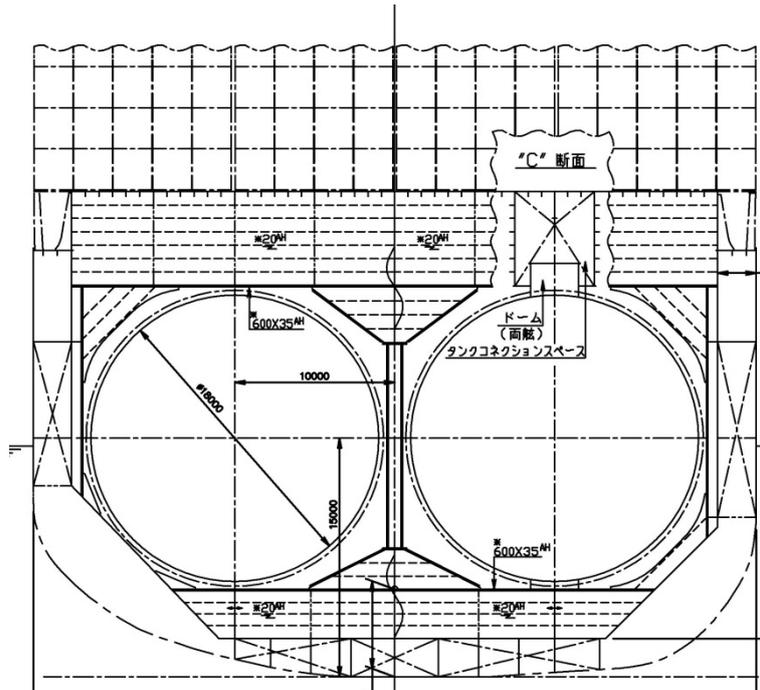


図2.2.5.4.5 全海域LNG使用のコンテナ船断面
(シリンドリカル型TypeCタンク)

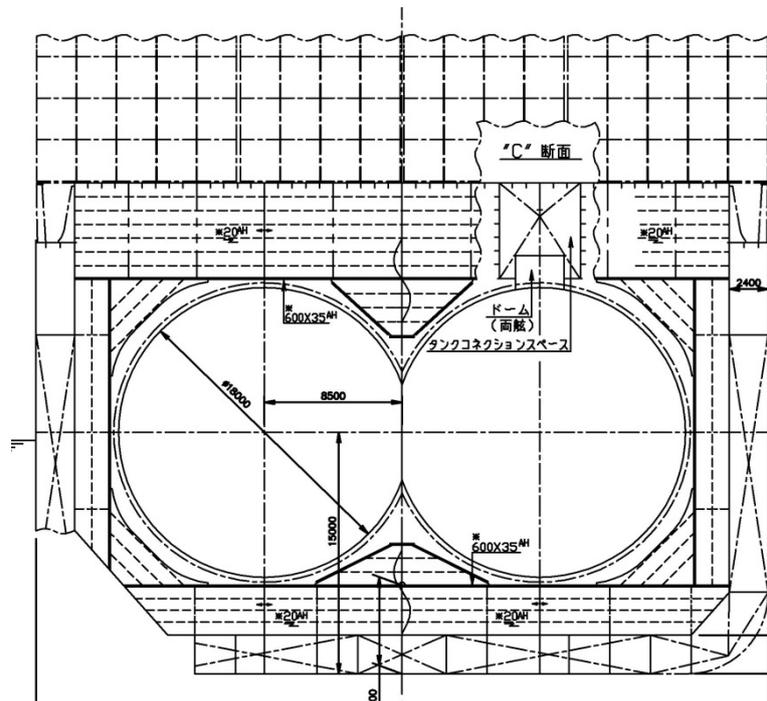


図2.2.5.4.6 全海域LNG使用のコンテナ船断面
(バイロブ型TypeCタンク)

Type Bタンクを採ったケースでのコンセプトを図2.2.5.4.7に、機関室周りの配置図を図2.2.5.4.8に、船体断面を図2.2.5.4.9に、それぞれ示す。TypeCタンクを採った場合と比較して主要機器の配置の差はほとんどない。ただタンクの仕様からタンク接続スペースはコンテナを積載するデッキの直下に配置する。

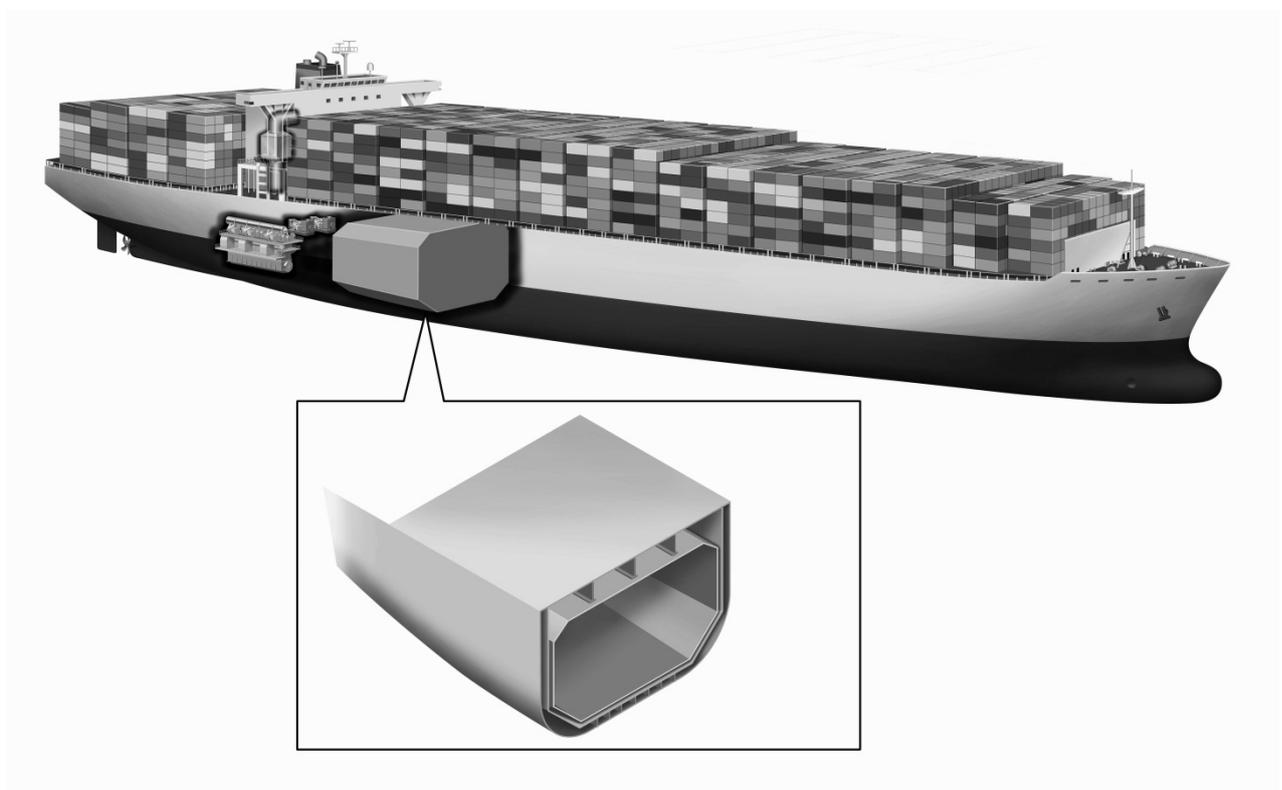


図2.2.5.4.7 全海域LNG使用のコンテナ船コンセプトとタンク配置
(TypeBタンク)

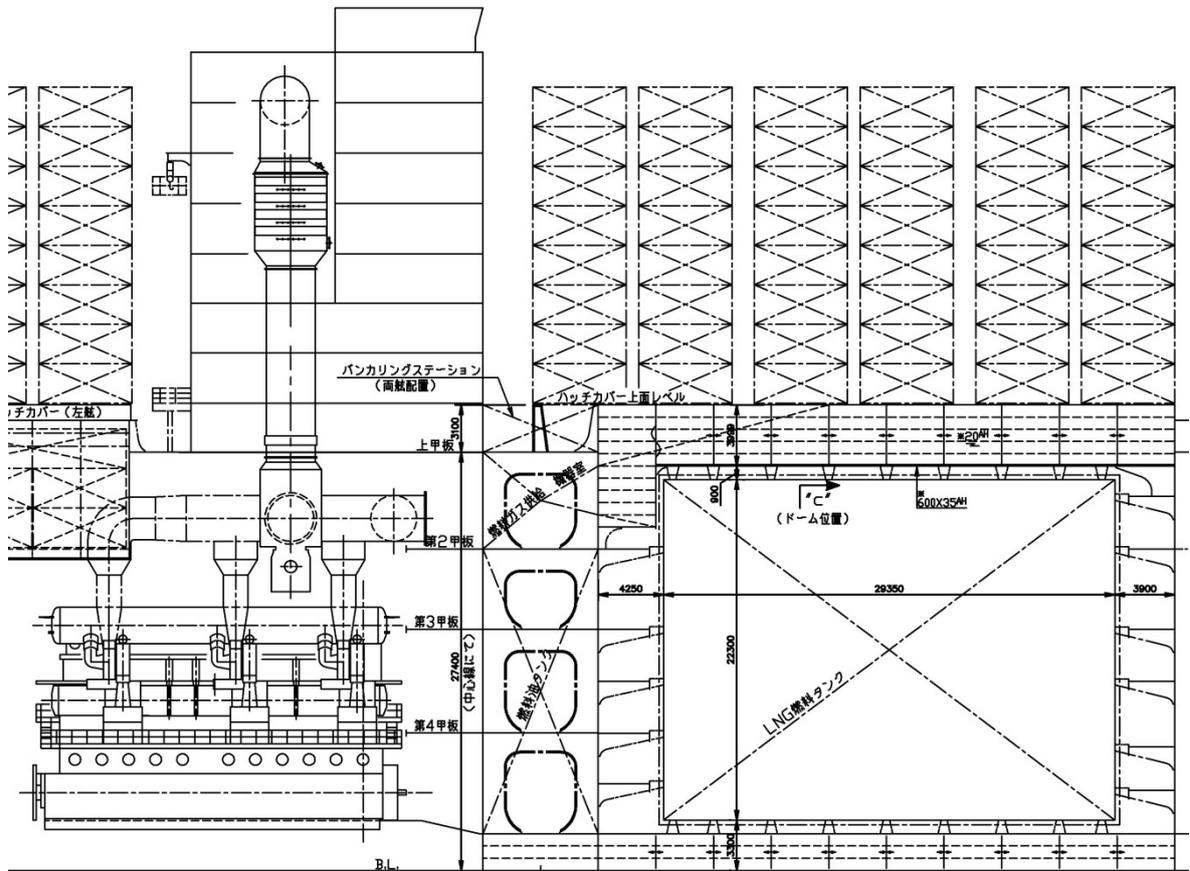


図2.2.5.4.8 全海域LNG使用のコンテナ船機関室周辺配置、TypeBタンク使用

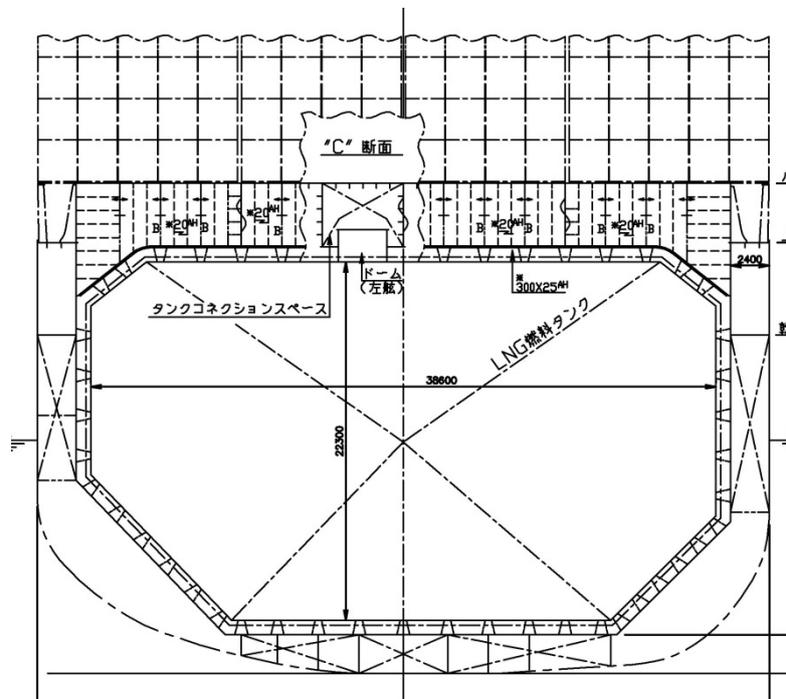


図2.2.5.4.9 全海域LNG使用のコンテナ船機関室周辺配置、TypeBタンク使用

(v) 地中海ECAのみLNGを使用するコンテナ船のタンク配置

地中海ECAのみLNGを使用するコンテナ船のコンセプトについて、シリンドリカル型Type Cタンクを採ったケースについてのものを図2.2.5.5.1に示す。バイローブ型Type Cタンクを採ったケースについてのコンセプトもほぼ同じであるので省略する。概算ではタンクの搭載に伴い最低15m分の船長延長が必要であったので、延長分を30mにしたことで船体内のスペースに余裕が出てきている。これを踏まえて船倉内のタンク直上にもコンテナを積載させることで必要な貨物量を確保している。検討の結果、TypeCタンク直上には16列4段のコンテナスペースが確保できる見込みである（図2.2.5.5.2）。これを実現するにはデッキ上積載コンテナだけではなくタンク直上積載コンテナの荷重に対しても十分な強度を有する構造であることが要求される。

シリンドリカル型Type Cタンクを採ったケースでの船体断面を図2.2.5.5.3に、バイローブ型Type Cタンクを採ったケースでの船体断面を図2.2.5.5.4に、それぞれ示す。全海域LNGを使用するコンテナ船のコンセプトと比較してコンプレッサールームをタンクおよびタンクコネクションスペースの直上に配置するよう変更している。この区画についても直上の積載コンテナからの荷重に対して十分な強度を有する構造であることが要求される。

Type Bタンクを採ったケースでの機関室周りの配置図を図2.2.5.5.5に、船体断面を図2.2.5.5.6に、それぞれ示す。TypeCタンクを採った場合と比較して主要機器の配置はほぼ同じである。

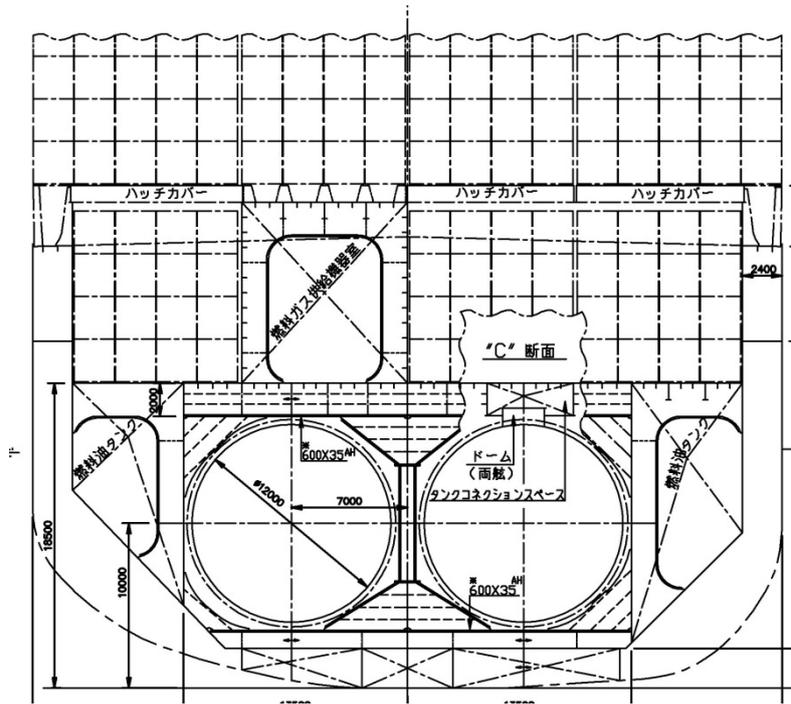


図2.2.5.5.3 地中海ECAのみLNG使用のコンテナ船断面
(シリンダリカル型TypeCタンク)

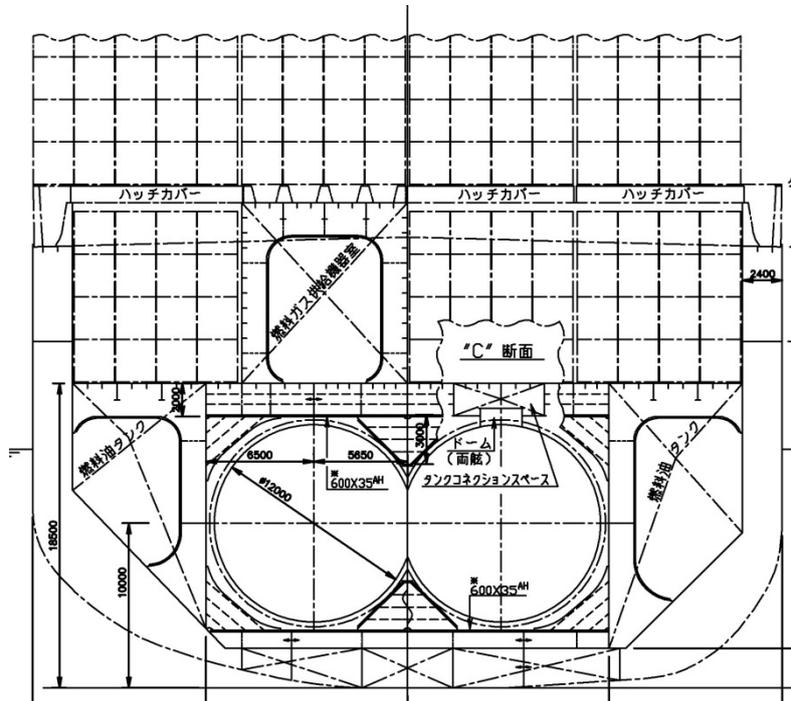


図2.2.5.5.4 地中海ECAのみLNG使用のコンテナ船断面
(バイロブ型TypeCタンク)

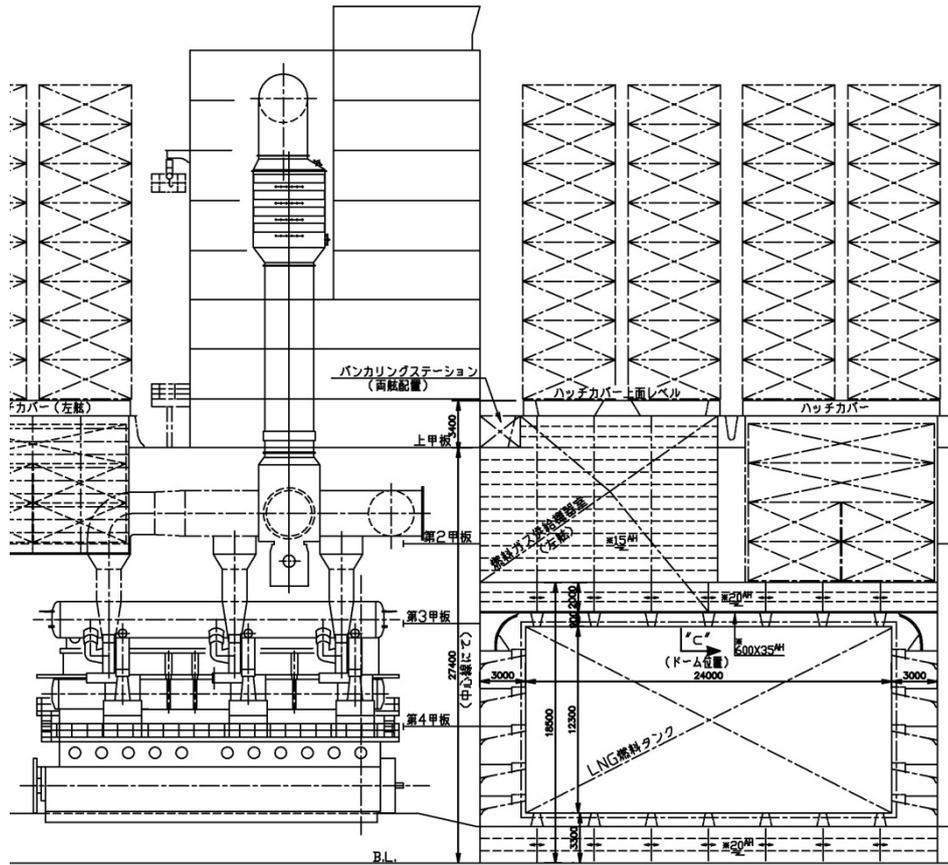


図2.2.5.5.5 地中海ECAのみLNG使用のコンテナ船機関室周辺配置、TypeBタンク使用

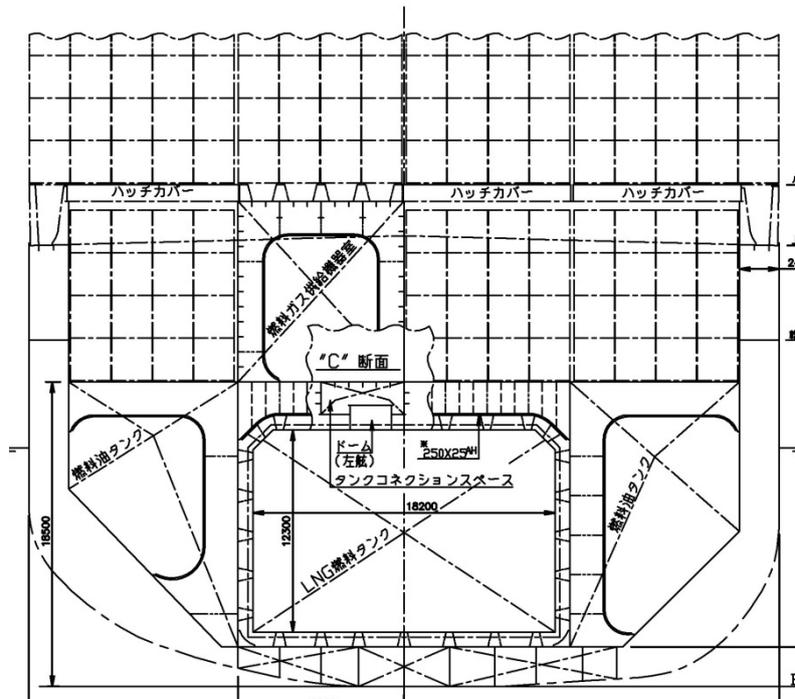
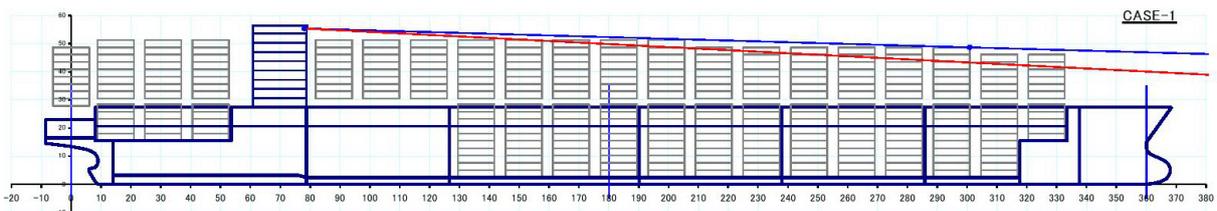


図2.2.5.5.6 地中海ECAのみLNG使用のコンテナ船断面、TypeBタンク使用

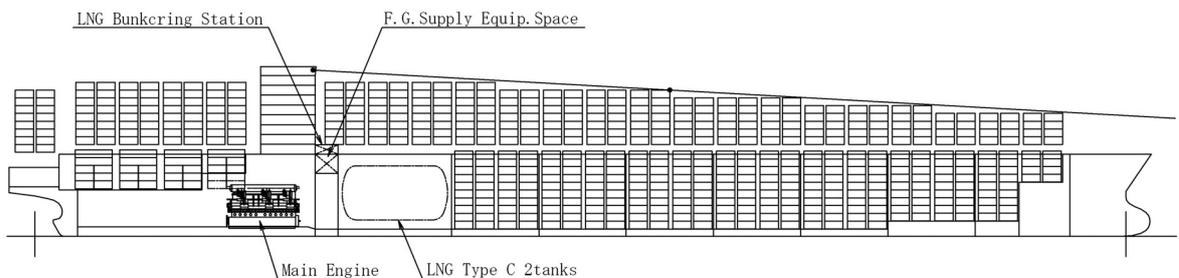
(vi) 船長延長による視界への影響と改善策

コンテナ積載量と視界の確保について検討した結果を図2.2.5.6.1に示す。
CASE1は油焚き船の船橋位置及び船橋より船尾側のコンテナ配置を変えずに船長を45m延長した場合の配置図である。船長延長に伴い満載時の積載量は9144TEUから9272TEUに増やすことができる。ただし油焚き船と比べて船橋見透しははなはだ不利になることから、船首側甲板上のコンテナ数を減らす必要があり、実際の満載時積載量は9272TEUより抑えることになる。

その改善策として船橋の位置を船首側に移動する方法が考えられる。CASE2は同じく船長を45m延長しているのに加えて船橋の位置を40フィートコンテナ1Bay分、約15m船首側に移動した場合の配置図である。このときの満載時コンテナ積載量は9260TEUとCASE1より少なくなるが、船首側甲板上のコンテナ数を油焚き船より減らさずに視界を確保できる見込みである。



CASE1：コンテナ積載量9272TEU、船橋の位置そのまま



CASE2：コンテナ9160TEU、船橋を船首側に約15m移動

図2.2.5.6.1 全海域LNGを使用するLNGコンテナ船の一般配置と視界の確保

(vii) LNGタンク搭載に関する今後の課題

LNGタンク搭載に関わる今後の課題を以下に示す。

- ・ 今後は性能関係を含む船の総合的な仕様条件をもとに設計を進め詳細検討を行われるべきである。
- ・ タンク支持の構造設計についてはこの区画独自の構造配置と外力条件により、他の貨物倉とは別に三次元構造解析等含み総合的に検討されなければならない。
- ・ バイローブ型Type Cタンクに於ける”Y”字部についてはFEM計算等で詳細寸法を決める必要があるものの、同構造の実績はあり充分採用可能と考える。
- ・ Type Bタンクについては、船内の容積効率が他のタンク型式より優れている一方で、詳細構造や安全性等について別途詳細な検討、評価が必要である。
- ・ 全海域LNGを使用するケースでのType Bタンクにおいては自由液面の影響が大きくなり、復原性が悪化する。従ってタンクは2個に分け、タンク幅方向を小さくする必要があるが、タンクを2個に分離する要領等について、別途詳細な検討、評価が必要である。

参考文献

IMO, International Code for the Construction of And Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code), (ISBN 9789280112771), 1993.

IMO BLG 13/18, Interim Guidelines on safety for gas fuelled engine installations in ships, 2010.

ABS, GUIDE FOR PROPULSION AND AUXILIARY SYSTEMS FOR GAS-FUELED SHIPS, 2011.

馬場ら、SPB方式LNG船用アルミタンクのすみ肉溶接ビード形状の改善、日本船舶海洋工学会論文集、Vol.5, No.6, pp.77-84, 2007.

Jürgen Harperscheidt, LNG Storage and Fuel Gas Systems, LNG – Fuel for Shipping, 2011.

2.2.2.2.6 LNG船化による主な追加装置と配置

LNGを船舶の燃料として利用するためには、LNG貯蔵燃料タンク、主機、補機のガス化以外に下記のもので船に必要である。

- ・ LNGバンカーリングステーション
- ・ タンクコネクションスペース
- ・ 燃料ガス供給システム
- ・ ベントマスト（追加ベンティレーション）

これらを配置した系統図を図2.2.6.1に示す。

①LNGバンカーリングステーション

本船へのLNG燃料の補給については現段階でLNG供給側のインフラ設備が明確化されていないが、本船の設備は出来るだけ簡素化し、ローディング時等に必要となる設備は供給側で持つとする。たとえば、ローディング時に発生するBOGは供給側に返送する。

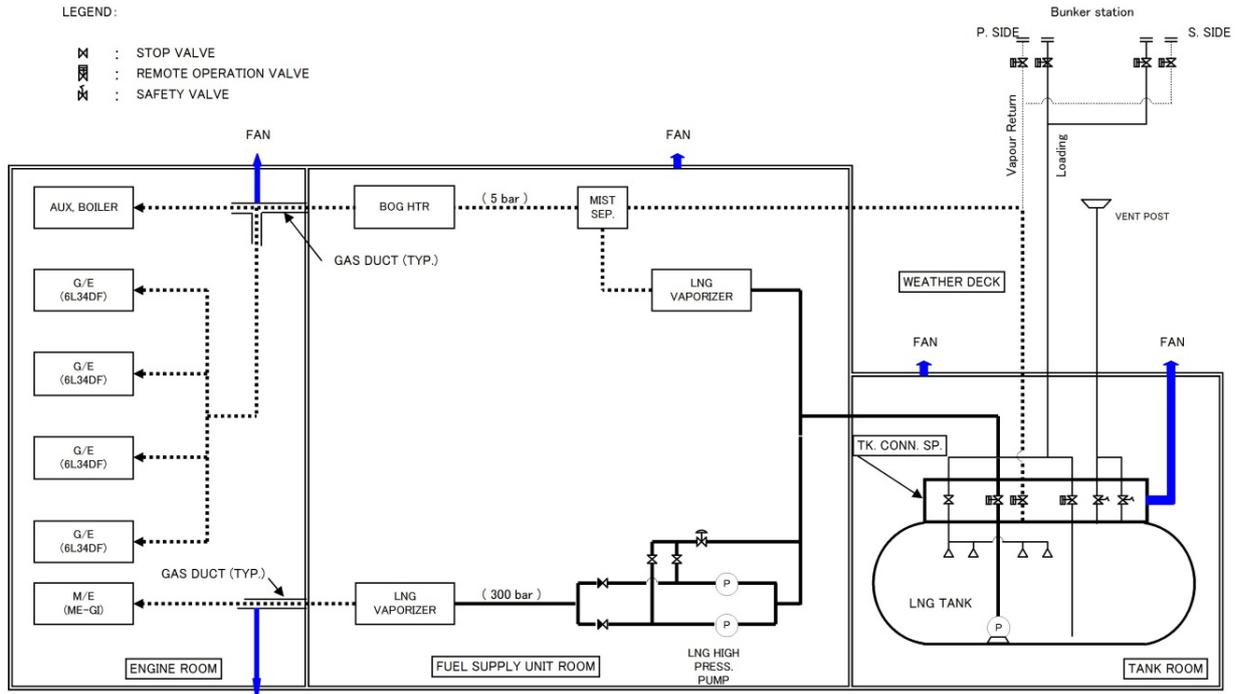


図 2.2.6.1 概略燃料システム系統図

バンカーリングステーションは、換気性能（自然換気）、作業性等を考慮し左右舷のオープンデッキ上の2か所に設ける。

バンカーリングステーションから燃料貯蔵タンクへのLiquid, Vapor Lineの配管は換気性能を考慮し、また落下物による配管へのダメージを避けるためプロテクションを設置する。パイプ本数、サイズ等の詳細についてはバンカーリング速度に依存する。万一の漏えい時船体材料保護の為にウォーターカーテン等を設ける。

② タンクコネクションスペース

開放甲板にある場合を除いて、全てのタンク接続部、付属品、フランジ、およびタンク付弁はタンクコネクションスペース内に設けなければならない。タンクコネクションスペースの隔壁の材料は、燃料タンクと同じ設計温度を有するものでなければならない。

③ 燃料ガス供給システム

LNG 燃料ブースターポンプ、LNG 燃料ベーパーライザー、LNG 燃料加熱器、BOG 供給コンプレッサー等のガス供給機器を配置する必要がある。

ガスコンプレッサーの電動機については、隔壁で仕切られたモーター室を設けそこを安全区画として、駆動軸を隔壁貫通させることで設置する。

供給システムの系統としては、低速ディーゼル ME-GI 機関供給のための高圧系統（300bar）と発電用機関と補助ボイラの為の低圧系統（10bar）を考慮する。

高圧系統の一例のプロセスダイアグラムを図 2.2.6.2 に示す。

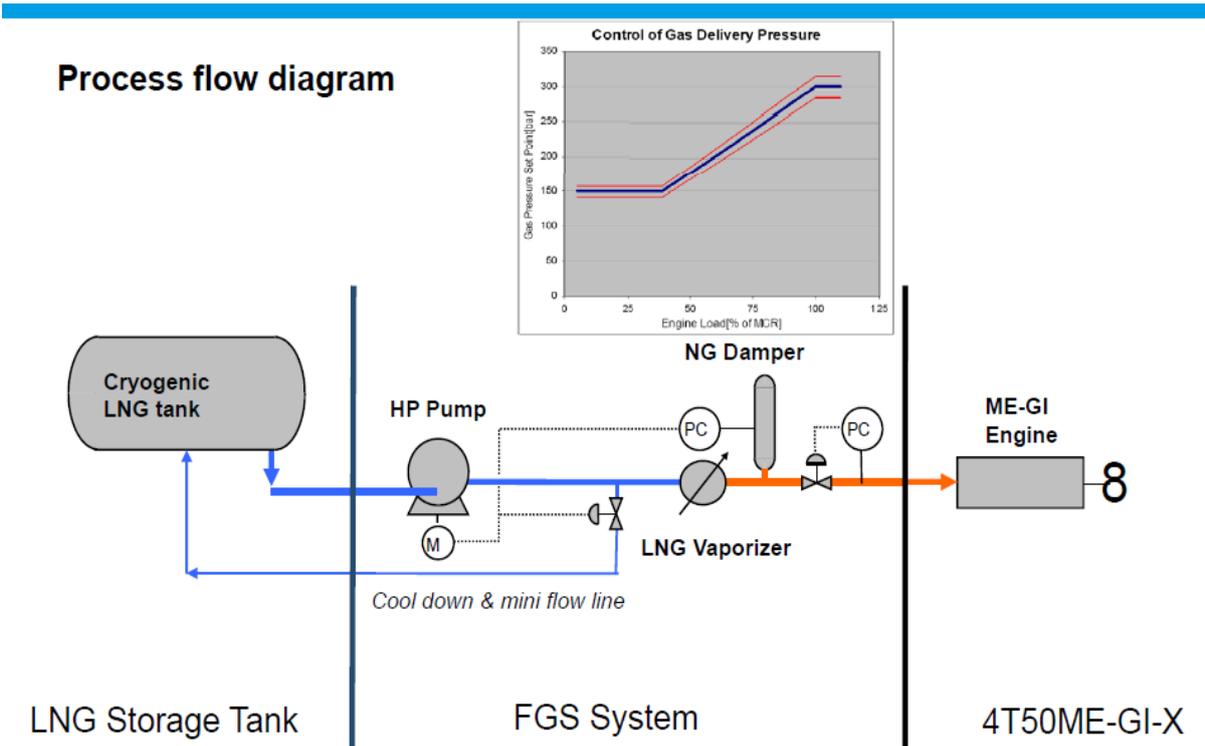


図 2.2.6.2 高圧系統のプロセスダイアグラムの例

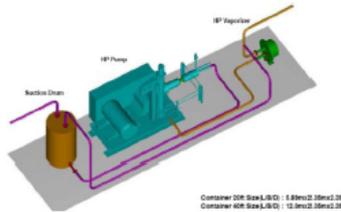
低速ガスインジェクション機関（ME-GI 機関）の燃料ガスの圧力は最大 30MPa 必要であり、極低温液体ポンプか高圧ガス圧縮機が必要であるが、高圧ガス圧縮機では必要駆動力が主機出力の 3 % も必要となり極低温液体ポンプの方が駆動力が圧倒的に少なく（1 % 以下）有利である。

ガス供給システムについては各メーカーが発売しており、図 2.2.6.3 に各メーカーの概念図を示す。

Cryostar
LNG Pump System



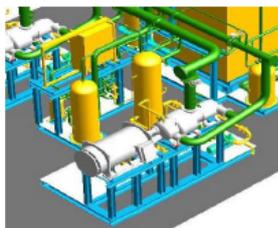
DSME
LNG Tank & Pump System



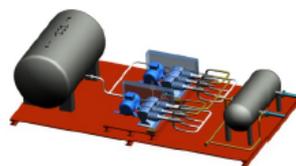
Burckhardt Compression
Laby-GI Compressor



TGE
LNG Tank & Pump System



HHI
Gas supply system



Hamworthy Gas System
LNG Tank & Pump System

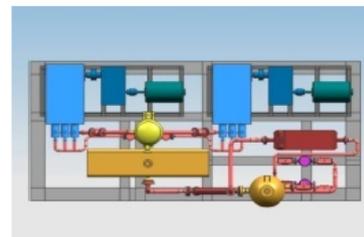


図 2.2.6.3 各社の船用 LNG 供給システム概念

一方リーンバーン中速DFガスエンジンは0.5MPa程度の燃料ガス供給圧で良く、燃料タンクからのBOG（ボイルオフガス）の利用が第1義的に考えられる。

全海域でLNG燃料を使用する場合、燃料タンクの容量は15,000m³程度あり、BOGレートを1日0.2%としても、1日に30m³のLNGが出ることになる。補機のリーンバーンDFエンジンの航海時の平均出力は1,900 kWで燃費が油換算で217 g / k Whであり油換算で約1日10トン（LNGでは19m³）の消費であり、BOGが余ることになる。燃料貯蔵量が2/3程度になるとBOGが1日20m³程度となりちょうど補機リーンバーンの消費と合うようになる。BOGが余る場合はある程度圧縮して貯める等の措置が必要となるかもしれない。再液化装置も考えられるが今のところ高価と言われている。

④ ベントマスト（追加ベンティレーション）

配管内のガスフリー、窒素パージ等のために配管内のベントが必要で、ベントしたガスが十分安全に拡散するよう適当な場所にマストを配置する。

また、タンク室や密閉区域の換気のためのベンティレーションや、ガス配管をダクト内を通して2重管にした場合に、ダクト内を換気ファンで引き負圧にすることが必要である。