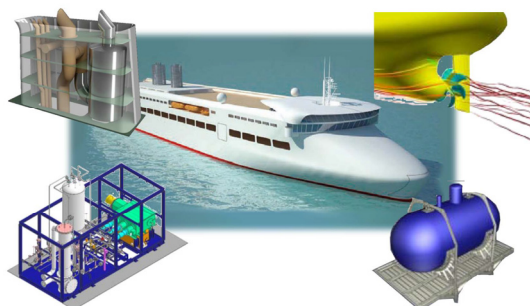


マリンエンジニアリング事業における 環境ソリューションへの取組み

Approach to Environmental Solutions in the Marine Engineering Business



大塚 浩友*¹
Hiroto Otsuka

渡辺 祐輔*²
Yusuke Watanabe

金子 秀明*³
Hideaki Kaneko

佐伯 和基*³
Kazuki Saiki

小柳 翔*³
Sho Koyanagi

加藤 雅之*³
Masayuki Kato

船舶は一度に大量の物資を運ぶことができ、他の輸送手段に比べて環境に優しい輸送手段であるが、近年、環境への配慮から船舶に関連するさまざまな環境規制強化が進められている。これらの規制は、NO_x、SO_x、CO₂といった大気汚染や地球温暖化に関わるものから、生態系保護に関するものまで幅広い分野に及び、それぞれに応じた適切な対策を講じる必要がある。当社では、船舶・海洋領域に関わる幅広い環境負荷の低減ニーズに対応すべく、多様な環境ソリューションを提供している。本報では、それらの中から、省エネルギー船型、SO_x スクラバーシステム、LNG 燃料船、船舶・洋上 LNG 設備について説明する。

1. はじめに

当社では、船舶・海洋領域のエンジニアリング事業を通じて、目まぐるしく変化・進化する市場環境や技術革新、お客様のニーズに対応するよう新たな価値を提供している。近年、海事分野では、海上輸送の増加に伴う船舶のエネルギー消費増大による環境問題への影響が関心事となっている。船舶に関連する環境規制が次々と強化されており、これに対応するソリューションへのニーズが高まっている。また、他の化石燃料に比べて環境に優しいクリーンエネルギーとして天然ガスの需要が拡大しており、液化天然ガス(LNG)運搬船や天然ガスを燃料として利用する船舶、浮体式発電設備に対するニーズも高まりを見せている。本報では、これらのニーズに対して当社が提供する環境ソリューションを説明する。

2. 船舶を取り巻く環境規制への対応

船舶は貨物の大量輸送が可能で輸送効率がよく、陸上・航空輸送に比べると環境に優しい輸送手段である一方、世界全体の海上輸送は増加を続けており、環境問題への対策が求められてきている。このような背景から、船舶による大気・海洋への環境負荷低減を目的とした各種規制が、国際海事機関(IMO: International Maritime Organization)によって定められ、今後順次強化されることから、これに対応するソリューションのニーズが高まっている。

表1に船舶に対する環境規制の概要を示す。また主な規制内容を以下に示す。

CO₂排出規制(EEDI規制)では、新造船のみを対象とし、1トンの貨物を1マイル輸送する際に排出するCO₂の量を規制値以下とすることが要求されており、設計時の水槽試験及び海上試運転時に適合の確認が行われる。現在はPhase1規制(基準値から10%削減)が開始され、今後段階的に強化されることとなっている。

*1 三菱造船株式会社 マリンエンジニアリングセンター 管理グループ グループ長

*2 三菱造船株式会社 マリンエンジニアリングセンター 開発部 主席技師

*3 三菱造船株式会社 マリンエンジニアリングセンター 開発部

表1 船舶に対する環境規制一覧

	目的	規制項目	規制対象	規制内容	対応策
1	温室効果ガス削減 オゾン層保護	CO ₂ 排出量 (EEDI*規制)	新造船 改造船	基準値からの削減量(建造契約日)** Phase1 (2015 年以降) 10%削減 Phase2 (2020 年以降) 20%削減 Phase3 (2025 年以降) 30%削減	省エネ船型・省エネデバイス 液化ガス燃料 省エネ推進プラント
2		オゾン層破壊物質	全船舶	CFC(クロロフルオロカーボン)全廃 2020 年以降 HCFC(ハイドロ CFC)全廃	代替冷媒対応型冷凍機
3	大気汚染防止	SO _x 排出量 粒子状物質 PM	全船舶	燃料油中の硫黄濃度 一般海域 : 2020 年以降 0.5%以下 指定海域***: 2015 年以降 0.1%以下	低硫黄燃料油 液化ガス燃料 SO _x スクラバー
4		NO _x 排出量	機関出力 130kW 以上	2000 年の1次規制からの削減量(起工日) 一般海域 : (2011 年以降) 約 20%削減 指定海域****: (2016 年以降) 約 80%削減	液化ガス燃料 SCR(選択式触媒還元脱硝装置) EGR(排ガス再循環)
5	生態系保護	バラスト水	全船舶	2017 年9月発効 次回証書更新検査までに装置を搭載 排出バラスト水に含まれるプランクトン, 細菌の数及び大きさ	バラスト水処理装置
6	海洋汚染防止	油分	全船舶	排水中の油分濃度 15ppm 以下	油水分離器
7		汚水	全船舶	排水中の大腸菌数, 浮遊物質質量等	汚水処理装置

* EEDI: Energy Efficiency Design Index(エネルギー効率設計指標)

** 船種やサイズによって異なる

*** 指定海域: 北海, バルト海, 北米, 米国カリブ海

**** 指定海域: 北米, 米国カリブ海(2021 年1月1日以降に起工する船に対しては, 北海, バルト海も対象となる)

SO_x 規制は, 酸性雨等の原因物質とされている SO_x について, 船舶からの排出量を削減することを目的に定められた。船舶排ガス中の SO_x は燃料油に含まれる硫黄分濃度に依存するため, これを規制したものとなっている。一般海域と指定海域(ECA: Emission Control Area)においてそれぞれ段階的に規制強化され, 2020 年から一般海域で硫黄分 0.5%未満の燃料油を使用することが義務化される。燃料油転換の代替手段として, SO_x スクラバーにより排ガス中の SO_x を除去することを条件に通常燃料油を使用することも認められている。

バラスト水管理規制は, 水生生物が本来の生息地ではない海域に移入・繁殖することによる生態系への悪影響を防止するため制定された。バラスト水中のプランクトンや細菌を薬剤や紫外線を用いて殺菌する装置(バラスト水処理装置)の設置が必要で, 2017 年9月から全新造船に適用する必要がある。

これらの環境規制に対する海運業界の動向として以下が挙げられる。

- ・低燃費船型の採用意欲の上昇
- ・LNG・LPG 等のクリーンな燃料を使用する推進プラントへの移行検討
(燃料供給インフラ整備を見据えながらの検討が必要)
- ・低硫黄燃料の代替手段としての SO_xスクラバーの搭載検討の活発化
(将来の低硫黄燃料油と通常燃料油の価格差が不透明な中の投資判断が必要)
- ・既存船へのバラスト水処理装置搭載工事の順次施工
- ・環境対策への投資が必要となる老齢船の解撤加速
- ・追加装置やシステムの操作, 保守に対する乗員の負担増の懸念

当社では, これらのさまざまな市場動向(ニーズ)に対し, 質の高い環境ソリューションを提供しており, 次章以降で説明する。

3. 船型ライセンスビジネスにおける取り組み

3.1 環境規制と船型

船舶を取り巻く環境規制の中でも特に船型に関わるのが CO₂ 排出量削減を目的とした EEDI 規制であり, 段階的に規制値を強化していくことが海洋汚染防止条約(MARPOL 条約)で定められている。EEDI 規制値は, 1999 年から 2008 年までの間に就航した船の EEDI 平均値を基準とし

て、2020年以降に契約される船に対しては基準から20%削減、2025年以降は30%削減することが要求される。EEDIの改善にはCO₂排出量の少ない燃料への転換なども有効な手段であるが、何よりも推進性能に優れた船型を開発することが求められる。

3.2 船型ライセンス

こうした状況の中、高性能船型開発に対する需要の高まりを受け当社では2012年から本格的に造船所に向けた船型ライセンス提供を開始している。

船型ライセンス提供に当たっては、お客様である造船所や船主の要望に合わせて柔軟な対応を行っており、開発済ラインナップから船型を提供することや、初期計画やプロペラ設計を含むカスタマイズされた船型を提供することも可能である。これまで開発した船型は20船型に上り、その船種はコンテナ運搬船、ばら積み船、自動車運搬船、RoRo船など多岐にわたる。

3.3 運航プロファイルを考慮した船型開発

上記EEDIは省エネ性能を表す重要な指標の一つであるが、規則で定められた夏期満載喫水、75%MCR(連続最大出力)という状態における値であり、必ずしも実際の運航状態における性能を表すものではない。

そのためEEDIのみに注目して船型開発を行った場合、実運航で燃費が悪いという事態も起こりうる。特にコンテナ運搬船のような貨物の量や航路によって喫水、速力が変化する船においては配慮が必要である。

当社における船型開発では実際の運航状態(喫水、速力)と運航時間を考慮して船型最適化を行うが、この運航状態と運航時間の分布のことを運航プロファイルと呼び、想定する航路やスケジュールに応じてこれを用意する。(図1に運航プロファイルの例を示す。)

一方、各運航状態での性能推定を行い各状態での所要馬力もしくは燃費を推定する。これらのデータを組み合わせることで、実際の運航時の総合的な燃費性能を定量的に算出することが可能となり、これを最小とするよう船型変更を行って推進性能の特性を調整していくことにより実運航における燃費性能に優れた船型を決定している。

このように当社では規則を満足するだけでなく、実運航における性能でもお客様に満足いただける船型開発を提供している。

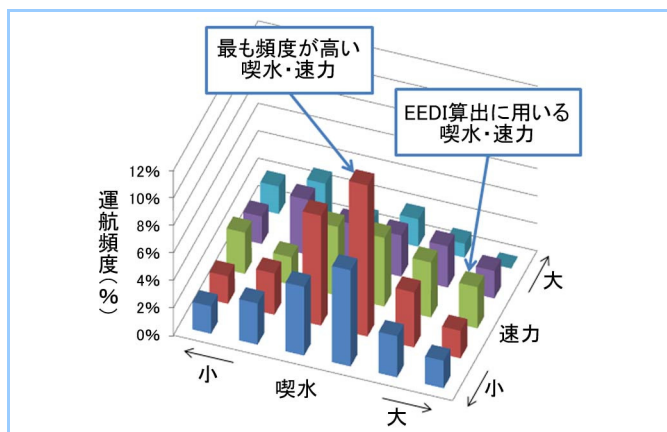


図1 運航プロファイルの例

3.4 総合的な船型開発力を活かした環境への貢献

当社は民間企業としては世界最大規模の水槽試験設備を保有し、曳航水槽の他にキャビテーション水槽、耐航・操縦性水槽、浅水域水槽、大型風洞設備なども有している。これまでに実施された多数の試験結果はデータベースとして整備され、自社建造船からのフィードバックも併せて活用することにより、幅広い船種・船型における高精度の性能推定を行うことが可能である。

また、高効率プロペラに加え、リアクションフィンなどの省エネデバイスを組み合わせた船型を提供することも可能で、総合的に最適となるよう船型開発を行っている(図2)。

当社では次世代の省エネデバイスの開発の他、大規模並列計算機を用いた CFD 解析技術の構築なども継続して取り組んでおり、今後も低燃費船型の提供による環境への貢献を続けていく。

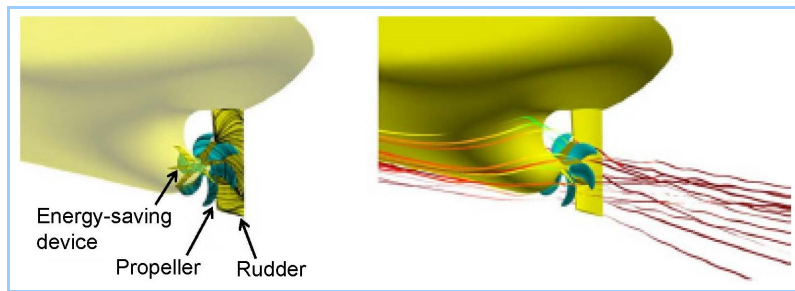


図2 舵・省エネデバイス・プロペラの一体解析状況

4. SO_x スクラバーシステム

4.1 背景

船舶で使用する重油燃料中の硫黄分により、排出される燃焼ガスには大気汚染や酸性雨の原因物質とされる SO_x が含まれる。MARPOL 条約ではこの SO_x 低減のため、燃料油中の硫黄分濃度規制が段階的に強化されている。既に欧州の北海及びバルト海や北米沿岸海域などの ECA (汚染物質の放出規制海域) では硫黄分が 0.1% を超えない燃料油の使用が強制化されているが、ECA 以外の一般海域においても 2020 年 1 月 1 日以降は 0.5% を超えない燃料油を使用することが義務付けられる。

MARPOL 条約では、排ガス中の硫黄酸化物を規制値以下に低減できる排ガス浄化装置を搭載することにより、従来の高硫黄重油燃料を継続使用することが認められている。

4.2 SO_x スクラバーシステム

当社は 2 ストロークディーゼル機関の排ガスを投入して脱硫性能を評価・検証するスクラバー実証プラントを建設し、2010 年より三菱化工機(株)と共同で湿式スクラバー技術をベースとする排ガス浄化装置の開発を開始した。ハイブリッド SO_x スクラバーシステムは、上記実証プラントにより得られた知見をもとに開発された製品である。本システムは取水した海水を直接排ガスに散布するオープンループモードと排ガス洗浄水を苛性ソーダ (NaOH) で中和しながら循環利用するクローズドループモードという 2 つの排ガス洗浄方式を有する“ハイブリッド型”であり、大洋、河川、港内等多様な航行海域における排ガス洗浄処理が可能な仕様となっている。

オープンループシステムの概要を図 3 に示す。ポンプを用いて船外から取水された海水はスクラバータワー内に散布され排ガスと接触し硫黄酸化物を分離・吸収する。洗浄に使用した海水は排水として船外に放出される。

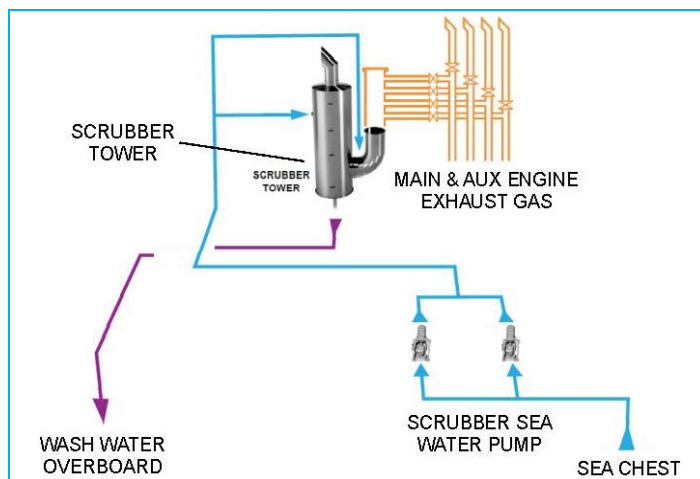


図3 オープンループシステム

ハイブリッドスクラバーシステムの概要を図4に示す。本システムはクローズドループとオープンループ両方のモードで運転できる機能を備えている。クローズドループモードではスクラバータワー下部のタンクから取水された循環水はスクラバータワー内に散布され排ガスと接触することで硫黄酸化物を分離・吸収する。その後洗浄水はタンクに回収されるが硫黄酸化物を吸収して酸性を帯びるため、循環ライン中のpHを監視しながら適宜苛性ソーダを注入しpHを一定の範囲に保つようコントロールする。また、循環水の比重増加を監視しその一部を排水処理装置で随時処理し混濁物を除去する。クローズドループモードでは上述のように処理を行った再循環水を用いるため、航行海域の海水性状によらず安定した排ガス洗浄が可能である。

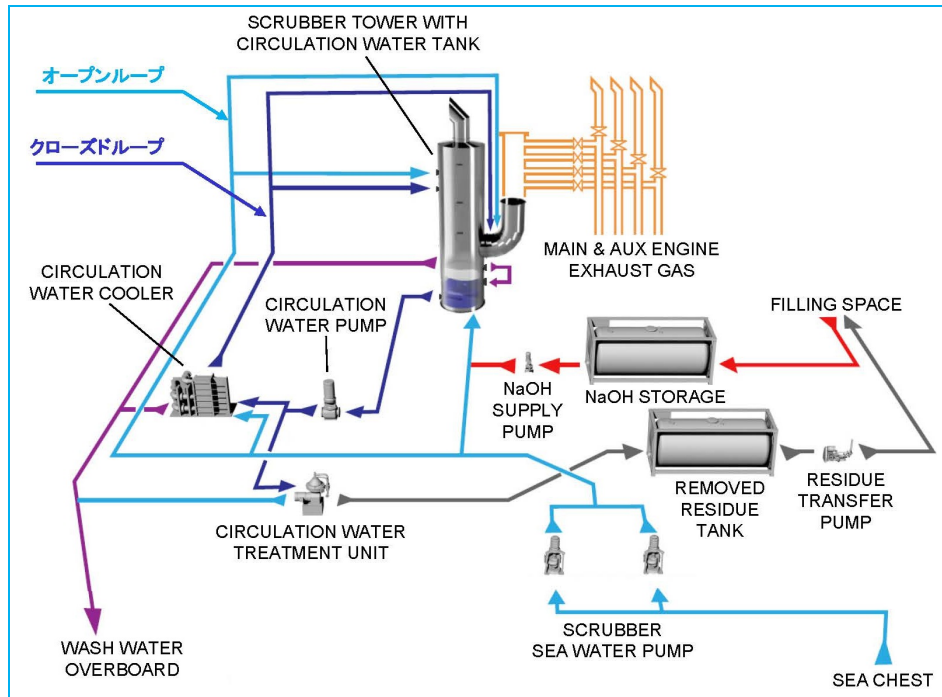


図4 ハイブリッドシステム

ハイブリッドシステムの場合、オープンループモードのみの単独システムに比して要素機器数が増加するため設計及び搭載工事の難易度が上がる傾向にある。当社ではこの負担を軽減するため主要補機をモジュール化し輸送用コンテナに内蔵したコンテナパッケージ(図5)もオプションとして提供可能である。



図5 ハイブリッドシステムコンテナパッケージ全景

SOx スクラバーシステムは、主機関及び燃料供給システムの変更・改修が不要であり、就航船向けとしても大きなメリットがあるが、搭載にあたっては改修用図面の準備や旗国承認手続き等のエンジニアリングを要する。当社は造船分野での経験を生かした改修用図面作成、旗国認定用ドキュメント作成を含めたレトロフィットエンジニアリングのパッケージ提供にも対応していく。

5. LNG 燃料船

2020年に一般海域に適用開始予定のSOx規制に対する、最も効果的な対策の一つが、従来の重油燃料からLNG燃料への転換である。LNGは、重油と比較した場合、硫黄分を含有していないため、SOxフリーであるだけでなく、LNGの主成分であるメタンのC/H比が低いため、同じ発熱量を発生する際に生成されるCO₂を約20%以上低減可能であり、非常に有望な代替燃料と目されている。一方、LNG燃料船の建造は、LNG運搬船やLPG運搬船等の液化ガス船の建造経験が少ない造船所にとっては、技術的ハードルが高いため、造船所に対するエンジニアリングサポートが求められている。そこで、当社では、造船所からのニーズに応えるべく、長年にわたるLNG/LPG運搬船の新造船、修繕事業を通して培った液化ガス技術を生かし、LNG燃料船向け船用ガスハンドリング設備及びエンジニアリングサービスの提供を行っている。

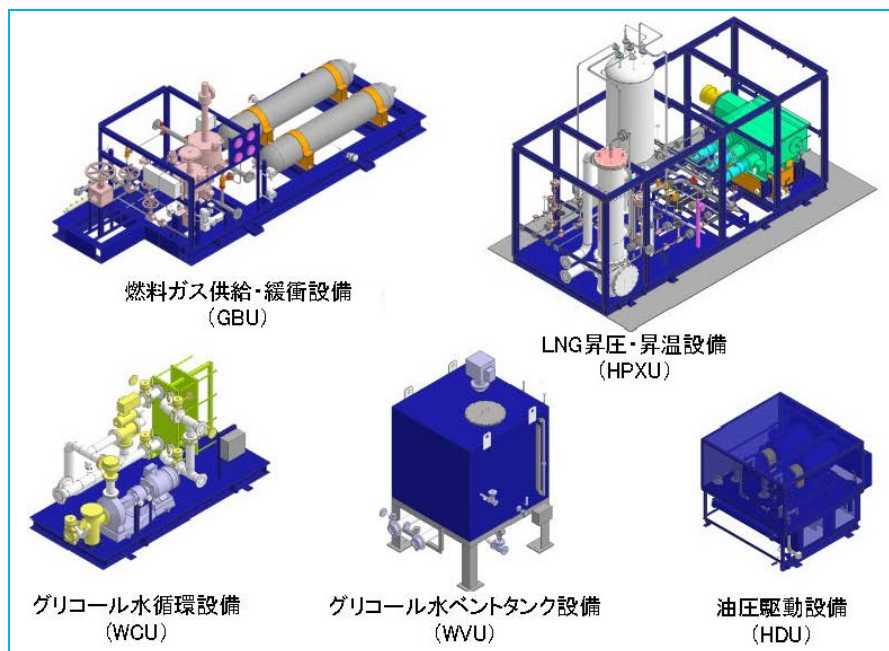


図6 船用ガス供給設備モジュール(2元燃料2サイクル直噴機関向け)

図6に船用ガス供給設備モジュール(2元燃料2サイクル直噴機関向け)、図7に船用ガス供給設備モジュール(2元燃料2サイクル予混合機関向け)、図8にLNG燃料タンク設備(IMO Type Cタンク)、図9に船用ガス供給設備実証プラントを示す。このプラントは船用ガス供給設備モジュールと類似仕様の陸上プラントであり、当該設備を用いて実際にLNGを用いた試験を行うことで、設備の性能や信頼性の実証を行うことが可能である。

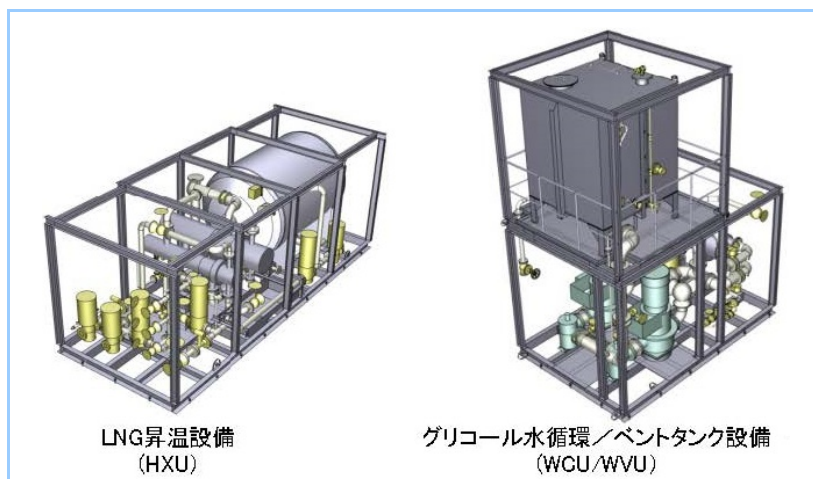


図7 船用ガス供給設備モジュール(2元燃料2サイクル予混合機関向け)

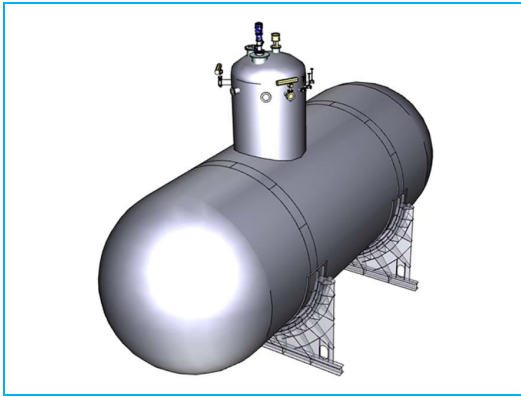


図8 LNG燃料タンク設備(IMO Type Cタンク) 図9 船用ガス供給設備実証プラント

当社設備の特徴は下記の通りである。

- ・各種機関にマッチさせた、最適なガス供給設備の提案が可能
- ・モジュール化して提供するため、造船所据付作業の省力化が可能
- ・実証プラントでの試験結果に基づく、信頼性の高い設備の提供が可能

当社は、造船所への各ガス供給設備の提供にあたっては(株)ディーゼルユナイテッドと協業し、2元燃料2サイクル予混合機関(X-DF機関)とガス供給設備のパッケージ販売を行っている。本販売体制の実現により、船主及び造船所は下記メリットを享受することができる。

- ・販売契約及びアフターサービス窓口の一元化(Single Window)
- ・LNG燃料パート責任所掌の明確化(Single Responsibility)
- ・造船所作業(仕様調整等)の省力化

また、上記設備提供のみならず、LNG燃料船の初期検討から試運転・引渡しまでのエンジニアリングサービスを含む、トータルソリューションの提案も行っており、造船所に対するLNG燃料船建造のサポート、さらにはLNG燃料船普及に寄与すべく、取り組んでいる。

これまで、船用エンジンメーカーへの2元燃料機関実証設備向けガス供給設備の提供やLNG燃料船の型式承認(AIP)取得を目的とした、造船所へのエンジニアリングサービスの提供等を行ってきたが、今後も引き続き、質の高い環境ソリューションの提供を通じて、環境負荷低減への貢献を続けていく。

6. 船舶・洋上 LNG 設備 (MHI-GEMS)

6.1 LNG サプライチェーンの洋上展開

液化天然ガス(LNG)及び天然ガスは、製造過程で硫黄分は除去されていて、内燃機関で燃料として使用した場合、燃焼ガス中の窒素酸化物や煤塵の発生を極めて低いレベルに抑えることができる環境に優しい燃料である。

最近では電力需要が急伸する新興国などでLNGの需要は世界各地で急速に増している。また船舶分野でもLNG需要が及んでおり、沿岸国の大気汚染に対処する環境規制を主因にした船舶燃料のLNG化も始まりつつある。

LNGは設備投資規模が他の燃料に比べて大きいので、当社では、規模が小さい都市(地域)においてもLNG利用が経済的に成立するように投資規模を抑えたLNGサプライチェーンの洋上展開を提案する。この提案は、産業発展が著しい新興国、とりわけ東南アジア、南アジア、中南米地域において有望であり、将来的にはアフリカ地域の産業振興にも役立つと期待する。

これらの地域が要望するのは迅速且つ安価な電力の確保であり、電力需要は比較的低出力から始まり、しかも短期間での整備が求められるケースが多い。

製造～受入設備を浮体化したLNGサプライチェーン案は、小規模から始まる段階的な拡張投資が可能で、短期間に仕上げる事ができる。

また浮体式であれば、周辺のインフラ整備が進んでいない、オフショア供給範囲が広くならざるを得ない地域でもライフラインも含めて一括して造船所で建造し、現地へ持ち込むことができる。したがって、移設・置換による段階的な設備増強を要望する新興国への展開や中小ガス田の開発では、浮体式が有利である。

6.2 MHI-GEMS

当社では、LNG 運搬船、LPG 運搬船の新造船、修繕事業で培った、液化ガスの深冷保存、再液化、再ガス化、ガス燃焼、動力利用等に関する技術をベースに、船舶や浮体に搭載する液化ガス設備及びモジュールを開発、MHI-GEMS(Gas ship Equipment Module and System)と称して製品化し、エンジニアリング事業を展開している。

図 10 に提案するサプライチェーンと各船舶・浮体に搭載する設備群の一例を示す。洋上 LNG 生産貯蔵積出設備(FLNG)向けの動力設備、LNG 運搬船向けの再液化設備、中・小型 LNG 運搬船や洋上 LNG 貯蔵設備等向けのタイプ C 型 LNG 貯蔵タンク、洋上 LNG 再ガス設備(FSRU)等向けの LNG 再ガス化設備(MORV : Marine Open Rack Vaporizer 採用タイプ)などの船舶・洋上 LNG 設備のパッケージ供給により、船舶燃料の LNG 化や、分散型ガス焚発電による新興国電力需要への対応といった LNG サプライチェーンの拡充に寄与し、海洋における環境負荷物質の排出低減に貢献してゆく。

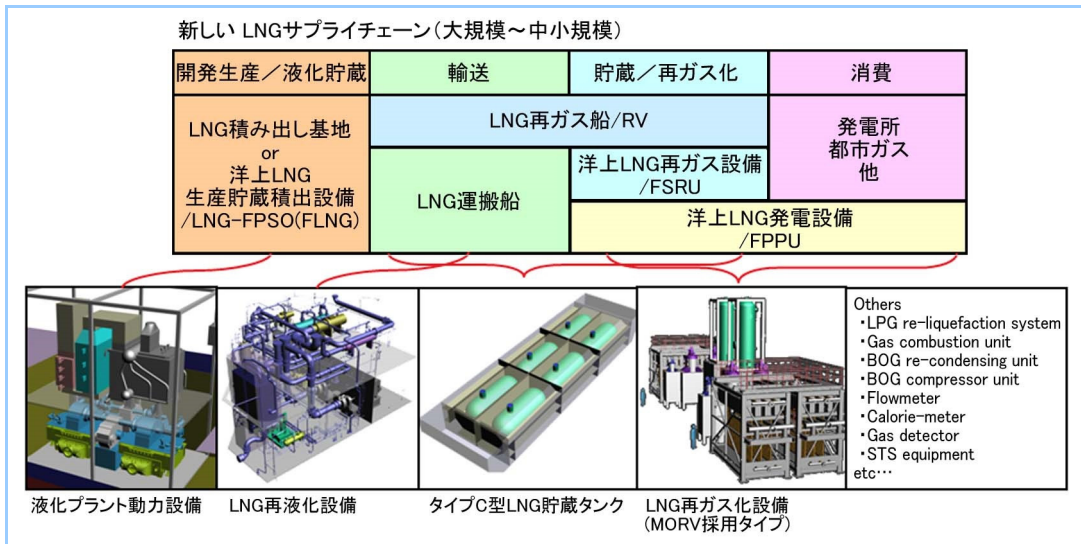


図 10 新しい LNG サプライチェーン(大規模~中小規模)

7. まとめ

本報では、当社の所有する船舶・海洋領域の製品・技術の中から環境をテーマとしたソリューションについて説明した。

効率的な海上輸送と環境負荷を低減するシステムの提供、また環境に優しいクリーンエネルギーの活用や海洋を利用した次世代のエネルギーソリューションなど、さまざまな分野において環境技術を活用したソリューションのニーズがますます高まっている。当社はマリンエンジニアリング事業において、お客様のニーズに対応したより着実に効果的なソリューションを提供していくことにより社会の持続的な発展に貢献していく。