

ガスと重油で大型船を動かす

NO_x 排出量を大幅低減 希薄予混合燃焼方式デュアルフューエルエンジン

大型船舶の推進装置として低速 2 ストローク・ディーゼルエンジンが主に使用されている。クリーンかつ安価と期待される燃料の液化天然ガス (LNG) を使って大型船舶を推進させるために、IHI グループでは希薄予混合燃焼方式による世界最大のデュアルフューエルエンジンを開発した。

株式会社ディーゼルユナイテッド
技術部 開発グループ

株式会社 IHI 技術開発本部



DU 相生工場設置の国内最大級のテストエンジン

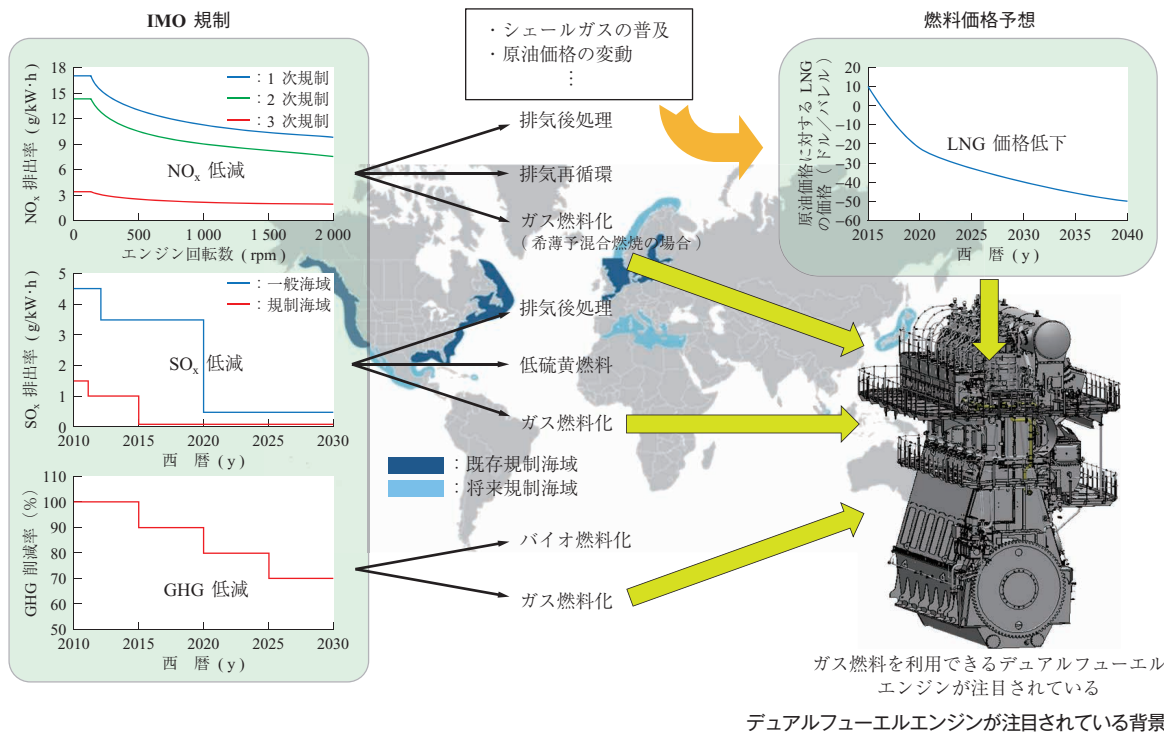
船用大型エンジンの市場ニーズ

タンカー、コンテナ船、ばら積み船など世界に数多くある大型船舶の推進装置として、主に安価な低質重油を燃料に使用する低速 2 ストローク・ディーゼルエンジンが使用されている。これはこの形式の持つ高い経済性と信頼性によるものである。

一方、船舶においても環境規制は強まっており、国際海事機関 (IMO) によって、特定の海域に対して酸性

雨の原因となる窒素酸化物 (NO_x)、硫黄酸化物 (SO_x)、温暖化の原因となる温室効果ガス (GHG) の低減が規定されている。

ディーゼルエンジンでこれらの規制に対応するためには、NO_x を無害化する排気後処理装置や、NO_x の発生を低減させる排気再循環 (EGR) 装置、および SO_x 低減のために高価な低硫黄燃料油を使用する必要がある。また、GHG 低減に関しては、既にディーゼルエンジンは高い熱効率を実現しており、本エンジン



方式によるこれ以上の低減は難しい。

このような背景を受け、低質重油だけではなく、環境規制対応が比較的容易な液化天然ガス (LNG) を燃料として利用できるデュアルフューエル (DF) エンジンが注目されている。LNG は重油よりも単位発熱量当たりの炭素数が少ないため、二酸化炭素 (CO₂) の排出量が少なく、GHG 低減に効果的であるうえ、硫黄成分を含まないため、高価な低硫黄燃料油を使う必要もない。また、陸上発電用 4 ストローク・ガスエンジンと同じ希薄予混合燃焼方式を用いることによって、排気後処理装置を用いることなく低 NO_x を実現することが可能である。さらに、アメリカからのシェールガス輸入により、LNG の価格低下も期待される。

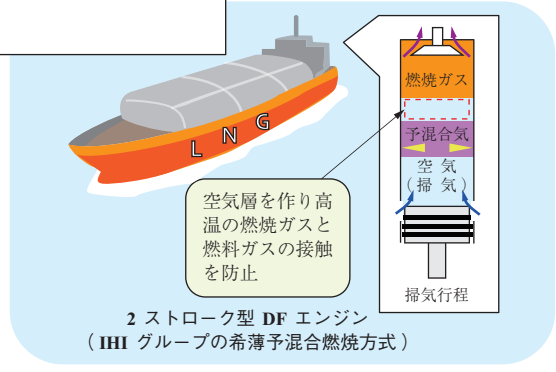
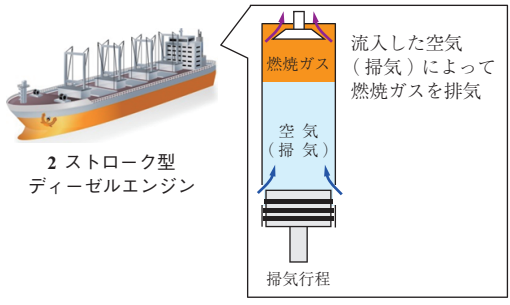
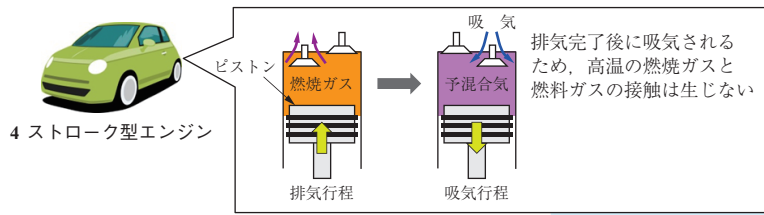
DF エンジンは以上のようなガス燃料を用いることによるメリットがあるのみならず、規制海域外において、低質重油と LNG の燃料価格の動向に従い、より安価な燃料を自由に選択することが可能となる。また、二元燃料供給化によって、船舶の運航信頼性を向上できる。

IHI グループのデュアルフューエルエンジンの特徴

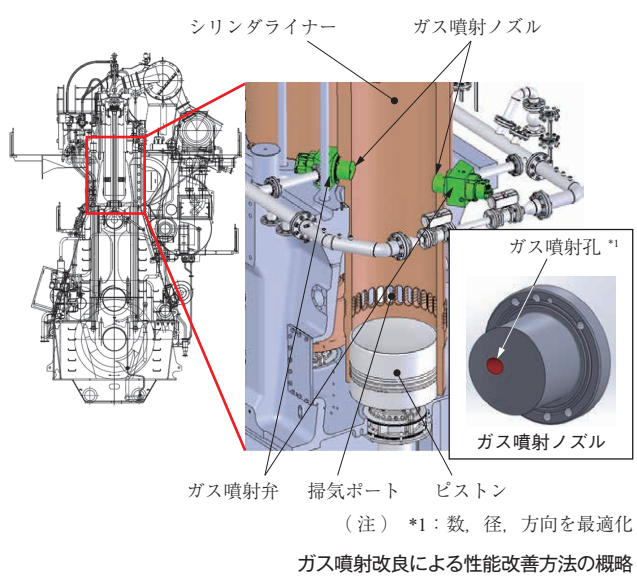
船用大型エンジンにはクランク軸 1 回転に 1 回燃焼を行う 2 ストローク方式が用いられている。この方式では、前サイクルの燃焼ガスを、燃焼室内に導入

された新たな空気によって押し出して排気する掃気が行われる。そのため、燃焼室内へ供給された燃料ガスが高温の残留燃焼ガスと接触し異常燃焼が生じたり、燃料ガスが排気管へ未燃のまま排出されたりする可能性があった。株式会社ディーゼルユナイテッド (DU) と IHI が考案・開発した DF エンジンでは、シリンダライナー壁に設けたガス噴射弁から燃料ガスを最適なタイミングで燃焼室へ直接噴射させ、掃気ポートから流入する空気と短時間で混合させて予混合気を形成する。同時に、先に掃気ポートから流入した空気が燃焼ガスを上方へ押し出しながら、ガス弁位置よりも高い位置にその境界が到達した時期に燃料ガスを噴射することによって、燃料ガスと高温の燃焼ガスとの接触防止を実現させた。この際に、燃料ガスの噴射時期と燃焼室内空気流動を適切に制御することによって、燃料ガスがそのまま流出してしまうメタンスリップ現象も低減できる。また、この方式では、ピストンによる圧縮によって燃焼室内圧力が上昇する前に、燃料ガスの噴射を完了するため、燃料ガスを高圧にする必要がなく、低圧での噴射が可能である。

船用大型 DF エンジンとしては、既に高压噴射方式が実用化されているものの、この方式はディーゼルエンジンの燃料を重油からガス燃料へ変更したものであり、ガス燃料を噴射するために高压に加圧する必要



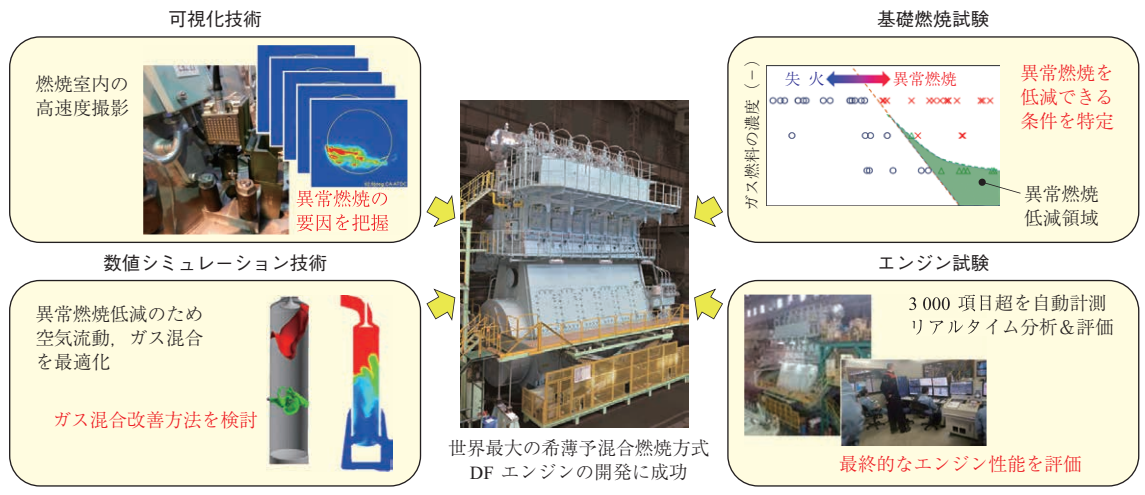
2 ストローク型デュアルフューエルエンジンの特徴



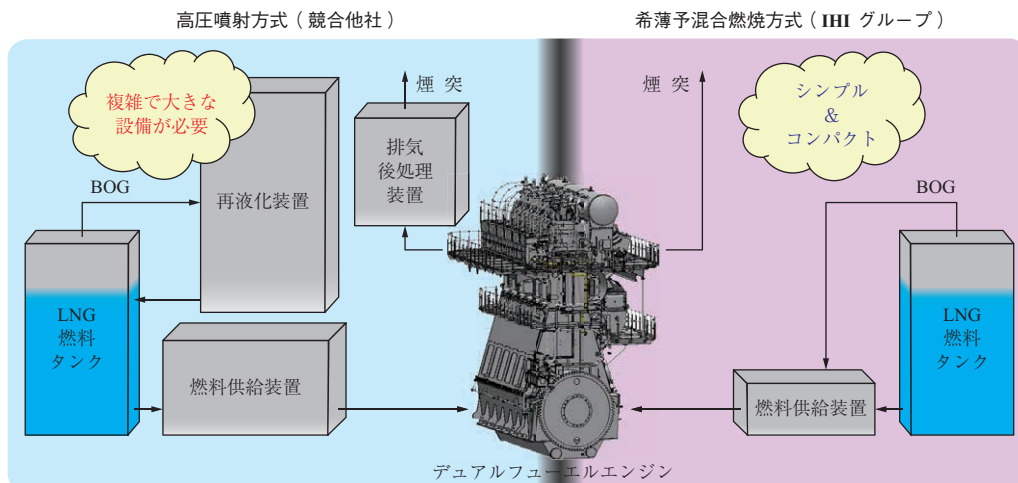
がある。また、燃焼方式がディーゼルエンジンと同じ拡散燃焼方式であり、IMO の NO_x 3 次規制をエンジン単独でクリアできないため、排気後処理装置または EGR 装置が必要である。これに対して、IHI グループでは、陸上発電用ガスエンジンと同じように、あらかじめ燃料ガスと空気を混合した予混合気を燃焼させる希薄予混合燃焼方式を採用し、排気後処理装置などを使わずにエンジン単体で IMO の NO_x 3 次規制クリアを達成した。

シンプルなエンジンシステム

LNG タンクからは自然蒸発にともなうボイルオフガス (BOG) が常に発生しており、これをエンジンの燃料の一部として利用する。高圧噴射方式の DF エ



世界最大の希薄予混合燃焼方式デュアルフューエルエンジンの実現を支えた技術



（注） 本図は各装置の大きさのイメージを示す。
デュアルフューエルエンジンのシステム構成の比較

エンジンではガス燃料を高圧に加圧する必要があるが、BOGを直接加圧すると非常に多くのエネルギーを必要とするため、再液化装置によっていったん液化した後に液体のLNGをポンプで加圧する。このため、巨大な再液化装置、燃料供給装置が必要であり、NO_x低減のためには排気後処理装置なども必要になる。その結果、エンジンシステム全体が巨大で複雑なものとなり、初期コストも高くなる。

一方、IHIグループの希薄予混合燃焼方式のDFエンジンではガス供給圧力が低く、BOGをコンプレッサーで直接昇圧できるため、再液化装置は不要であり、燃料供給装置も小型である。また、エンジン単体で低NO_x化を実現できているため排気後処理装置なども不要であり、エンジンシステム全体のコンパクト化、シンプル化が可能となっている。

さらに、高圧噴射方式では高圧の燃料ガスが漏れた際のリスクが高く、安全面が不安視されているが、IHIグループのDFエンジンでは、ガス圧力が低く安全上のリスクも非常に低い。

大型化へのチャレンジ

従来、希薄予混合燃焼方式のDFエンジンとしては、ピストン直径500mmのものが最大であり、エンジン技術者の常識として、予混合燃焼方式で大型化すると異常燃焼が発生しやすくなると言われていた。IHIグループではエンジン試験をとおして、この方式のDFエンジンは、本来よりも早いタイミングで燃

料が着火する過早着火と呼ばれる異常燃焼が生じやすく、大型化時に課題になることを明らかにした。また、燃焼室内の高速可視化計測によって、本現象がピストンしゅう動のために供給されている潤滑油が火種となり、予混合気引火することで発生していることを解明した。さらに、基礎燃焼試験などによって、ガス混合を促進し、予混合気の濃度を希薄化することによって過早着火を低減できることを見いだした。

数値シミュレーション技術を駆使し、ガス混合を改善し希薄化を実現できるガス噴射ノズルの噴孔数、噴孔径、噴射方向などを決定し、DU相生工場（兵庫県）に新たに設置した国内最大級のテストエンジンで、ピストン直径720mmの世界最大の希薄予混合燃焼方式のDFエンジンの開発に成功した。

今後の展開

今後のLNG需要の増加とともに、船用大型デュアルフューエルエンジンのニーズもますます高まっていくと考えられる。IHIグループは、これまで培ってきたデュアルフューエルエンジン技術を活かし、本エンジンで市場を席巻できるように営業活動を推進する所存である。

問い合わせ先

株式会社ディーゼルユナイテッド
技術部 開発グループ
電話（0791）24-2294
<https://www.ihi.co.jp/du/>