

船用デュアルフューエル機関「28AHX-DF」の開発

Development of Marine Dual Fuel Engine “28AHX-DF”

廣 仲 啓太郎	新潟原動機株式会社	技術センター技術開発グループ	グループ長
渡 辺 孝 一	新潟原動機株式会社	技術センター製品開発グループ	GE 開発チーム チーム長
三 村 敬 久	新潟原動機株式会社	技術センター技術開発グループ基礎技術 1 チーム	シニアアシスタントマネージャ
倉 井 智 広	新潟原動機株式会社	技術センター製品開発グループ	GE 開発チーム シニアアシスタントマネージャ
結 城 和 広	新潟原動機株式会社	技術センター製品開発グループ	GE 開発チーム

船用分野における排ガスは規制の強化が行われており、この規制を満足する手段の一つとして船用ガス燃料機関の適用が注目されている。しかし、ガス燃料機関を船用分野で使用するためには過渡応答性の改善、冗長性の確保など解決すべき技術的課題がある。今回開発を行った「28AHX-DF」は、これらの技術的課題を解決し、過渡応答性を大幅に改善することに成功し、従来のディーゼル機関に比べ遜色のない過渡応答性を実現した。また、デュアルフューエル機関とすることで、ガスモードからディーゼルモードへ瞬時に切替えを可能とし、冗長性の確保も実現した。

As exhaust gas regulations are strengthened in the marine field, the application of gas fuel engines in marine vessels is attracting more and more attention as one way to satisfy the IMO NO_x Tier III regulation. However, conventional gas fuel engines have some technical problems to be solved, such as low transient performance and lack of redundancy. Niigata’s newly developed dual fuel engine, the “28AHX-DF,” succeeded in improving transient performance, and has realized transient performance equivalent to Niigata’s conventional diesel engine. Also, the “28AHX-DF” has the same level of redundancy as a diesel engine, thanks to the new dual fuel engine.

1. 緒 言

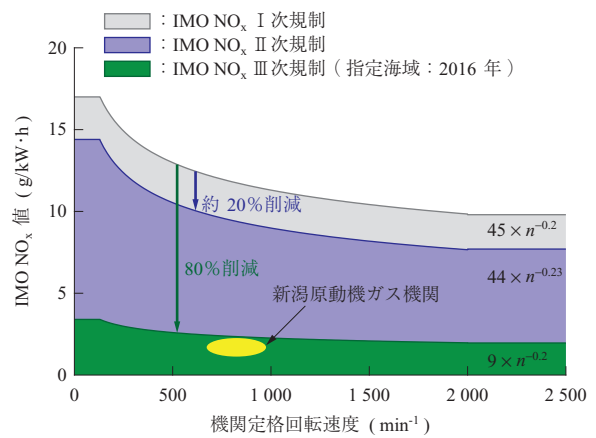
新潟原動機株式会社は、IMO (International Maritime Organization) NO_x Ⅲ次規制をクリアできる船用デュアルフューエル機関として、国内初となる「28AHX-DF」を開発した。本機関は従来のガス燃料機関に比べ、過渡応答性を大幅に改善することで、船用分野に適合できるガス燃料機関である。

なお、デュアルフューエル機関とは 2 種類の異なる燃料を使用できる機関を指し、本稿ではガス燃料と A 重油、軽油などの石油燃料の 2 種類の燃料に対応する機関を指す。

近年、地球環境保護が船用分野においても注目され、IMO NO_x Ⅲ次規制に代表される排ガス中に含まれる有害物質の排出規制が厳しくなっている。

希薄燃焼ガス燃料機関は、高出力、高効率と低窒素酸化物 (NO_x) 排出を同時に実現した機関として広く知られており⁽¹⁾、IMO の NO_x Ⅲ次規制を、第 1 図に示すように排気後処理装置を用いることなく機関単体で満足することができる。

また、船用分野にガス燃料機関を適用するうえでは、ど



(注) 45 × n^{-0.2} : IMO NO_x Ⅰ次規制値
44 × n^{-0.23} : IMO NO_x Ⅱ次規制値
9 × n^{-0.2} : IMO NO_x Ⅲ次規制値
n : 機関定格回転速度

第 1 図 IMO NO_x 規制
Fig. 1 Regulation of IMO NO_x

のような条件化においても運転を継続することが重要であり、このためには冗長性を確保し、従来のディーゼル機関と同等の信頼性をもつ必要がある。今回開発した機関についてはデュアルフューエル機関を採用した。

今後、船用分野での環境規制に適合する手段の一つとして活用が期待できる。

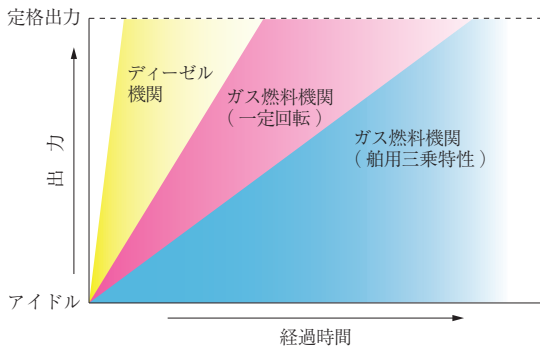
2. 技術的課題

ガス燃料機関を船用分野で使用するための最も大きな課題は過渡応答性の改善である。

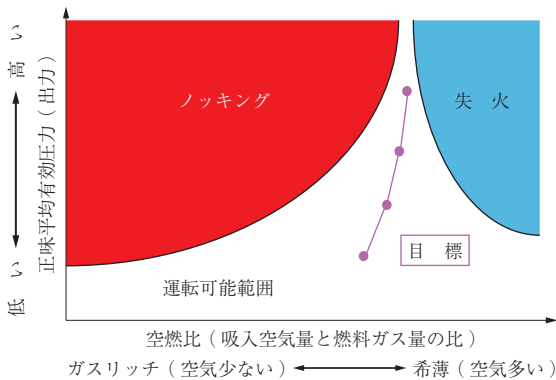
第2図に一般的なガス燃料機関の出力増加時間比較を示す。ディーゼル機関に比べ、ガス燃料機関の出力増加速度が遅いことが分かる。さらに、発電機運転や可変ピッチプロペラなどに適用する機関回転速度を一定とした運転に比べ、船用三乗特性での出力増加時間が長くなることが分かる。

また、無負荷状態からの負荷投入、ベースロードに対しての負荷投入いずれの場合においても、ディーゼル機関に比べガス燃料機関は負荷投入量が少なくなる。

技術的課題として重要なのは、ガス燃料機関の運転可能範囲である。**第3図**にガス燃料機関の運転可能範囲を示す。横軸は吸入空気量と燃料ガス量の比である空燃比で、右に行くほど燃料に対して空気の量が多く、左に行くとき空気の量が少ないことを表す。縦軸は、機関の出力を表す正味平均有効圧力である。**第3図**に示すように空燃比が小さ過ぎると、ノッキングと呼ばれる異常燃焼が発生し機関の故障につながる。逆に、空燃比が大き過ぎると失火が発生



第2図 出力増加時間比較
Fig. 2 Comparison of transient speed up to rated output



第3図 ガス燃料機関の運転可能範囲
Fig. 3 Operational range of gas fueled engine

生し燃焼変動が大きくなる。さらに、出力を上げると空燃比の適正範囲は狭くなる。このため、ガス燃料機関では、この空燃比を適切に調整することが必要である。

しかし、急速に出力を増加させる場合は燃料ガスの増量に対して、過給機の応答遅れや空燃比制御の遅れによって空気量が不足し空燃比が小さくなることがあり、この場合ノッキングが発生し運転の継続ができなくなることがある。ディーゼル機関でも急速に出力を増加させる場合には空燃比が下がるが、この場合不完全燃焼による煤は出るものの運転継続は可能である。これが、ガス燃料機関の過渡応答性がディーゼル機関の過渡応答性に対して劣る理由である。

なお、本稿ではノッキングを燃料ガスと空気の混合気が火炎に押されて高圧になり、自己着火する現象と位置づける。また、ガス燃料機関はディーゼル機関に比べ複雑な制御が必要であることから、大幅な電子化が必要不可欠である。船用で用いる場合、いかなる場合も運転を継続することが求められており、大幅な電子化に対応する冗長性の確保も課題の一つである。

3. 開発機関

今回開発を行った船用デュアルフューエル機関「28AHX-DF」の仕様を**第1表**に、外観を**第4図**に示す。

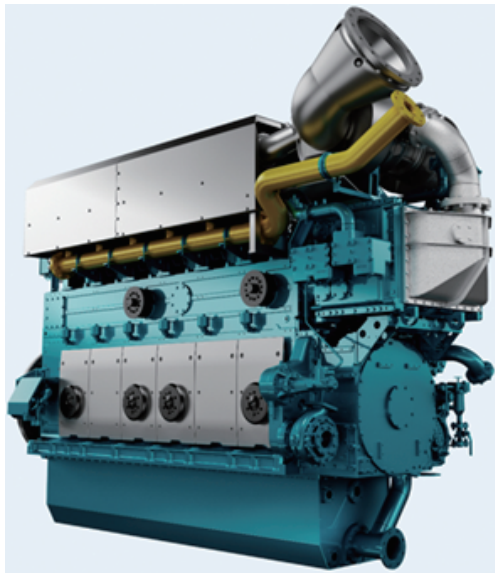
シリンダーヘッドには、従来のディーゼル機関と同じ燃料噴射弁を配置するとともに、マイクロパイロット用のコモンレール燃料弁も設置した。これによって、ディーゼルモード時にはディーゼル機関と同等の信頼性を確保するとともに、ガスモード時にはパイロット燃料の少量噴射による低NO_x性能と安定した着火性を実現させた(**第5図**)。

ディーゼルモードとガスモードは任意の出力で切り替えることが可能であり、すべての出力領域でのガスモード運転が可能である。また、ガスモード運転時における異常発生時には、瞬時にディーゼルモードに切り替え、運転を継続することで冗長性の確保を行った。

ガスモードにおいては、空気と燃料ガスの混合比を最適

第1表 「28AHX-DF」仕様
Table 1 Specification of “28AHX-DF”

項目	単位	仕様		
燃焼方式 (ガスモード)	-	直噴マイクロパイロット油着火希薄燃焼方式		
シリンダ数	筒	6	8	9
定格出力	kW	1 920	2 560	2 880
定格回転速度	min ⁻¹	800	800	800
燃料ガス	-	天然ガス		
液体燃料	-	A 重油		



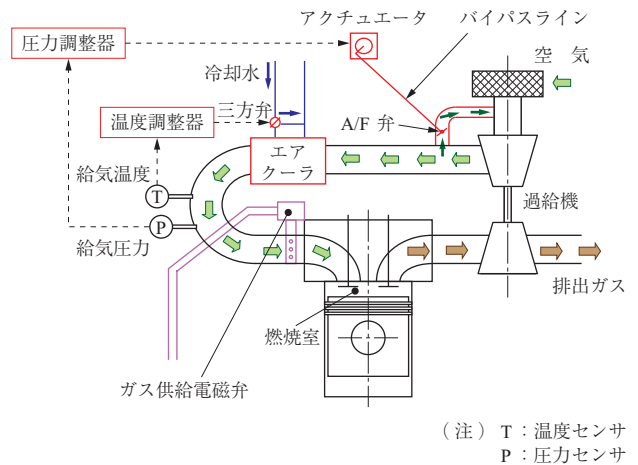
第4図 「28AHX-DF」外観
Fig. 4 Appearance of "28AHX-DF"

に制御するためのシステムとして、第6図に示すような給気温度制御と給気圧力制御が可能な装置を採用した。

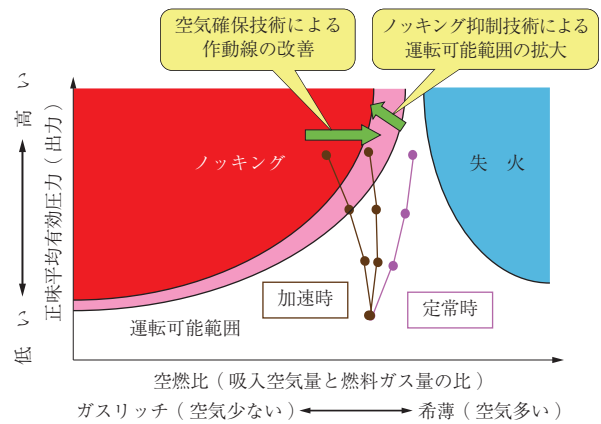
4. 機関運転性能

給気温度制御と給気圧力制御が可能な装置を採用したことによって、運転時・加速時に必要な空気量を確保した。また、ノッキング発生時にはコモンレールによる着火タイミングを適切に調整するなど、ノッキング抑制技術を採用した。これらの技術の組合せによって第7図に示すように、従来のガス燃料機関に比べ運転可能範囲を拡大し、大幅な過渡応答性の改善を実現した。

第8図に機関をアイドルから定格回転まで出力を上げた過渡応答性試験結果を示す。この試験は船用三乗特性で

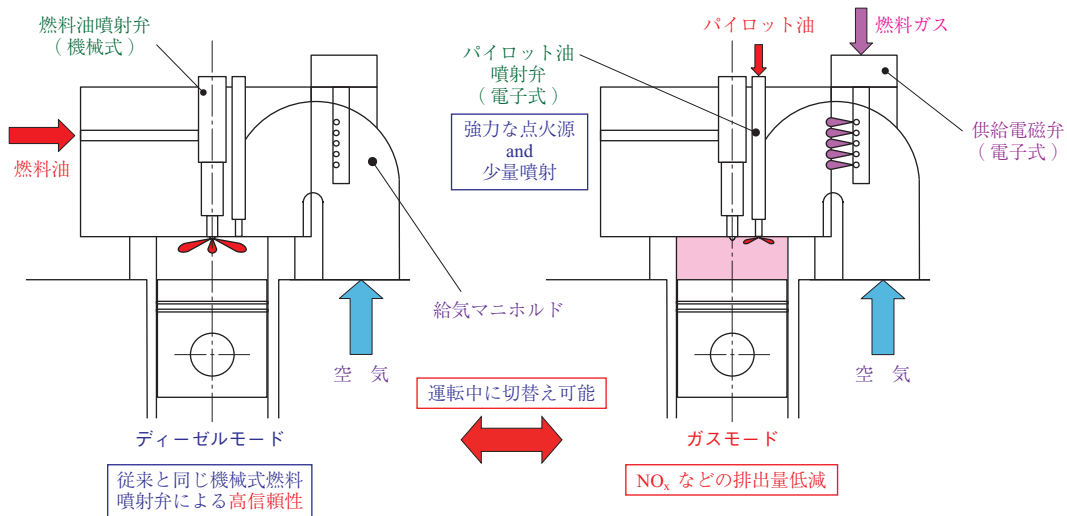


第6図 空燃比制御システム図⁽²⁾
Fig. 6 Systematic sketch of A/F control⁽²⁾

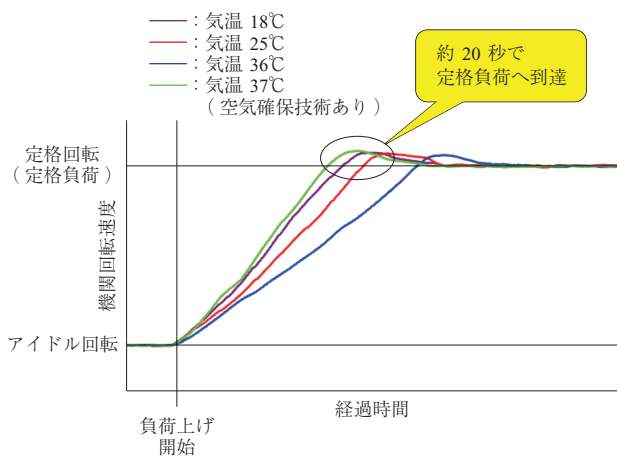


第7図 過渡応答性改善
Fig. 7 Improvement of transient performance

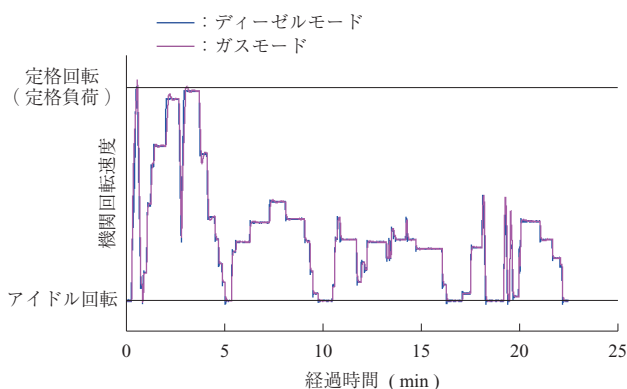
の操作であり、縦軸の回転速度における定格回転速度は定格出力である。設計仕様内の気温では約20秒の出力上昇時間を実現している。また、37℃という高い気温におい



第5図 デュアルフューエル機関におけるモード切替え
Fig. 5 Operational mode change of dual fuel engine



第 8 図 過渡応答性試験結果
Fig. 8 Test result of transient performance



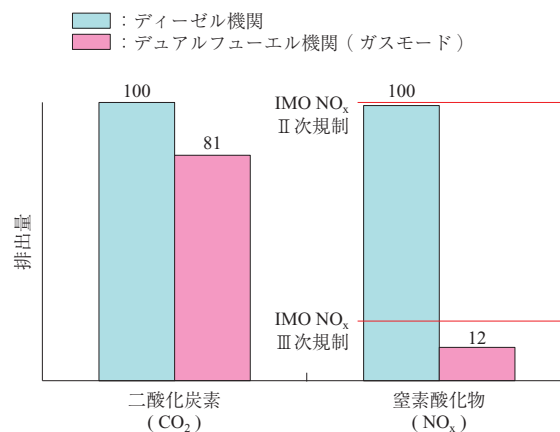
第 9 図 過渡応答性比較結果⁽²⁾
Fig. 9 Comparison of transient performance⁽²⁾

でも、追加の空気確保技術との組合せによって 15 秒の出力上昇時間を実現した。

さらに、従来のディーゼル機関と同等の過渡特性をもつことを確認することを目的として、実際のタグボートの操船を模擬した運転パターンを、ディーゼルモードとガスモードでテスト機関での運転確認を行った。第 9 図に過渡応答性比較結果⁽²⁾を示す。両モードの軌跡がほぼ一致していることから分かるように、従来のディーゼル機関に比べ遜色ない結果を得ている。

なお、これらの試験は固定ピッチプロペラの運転パターンを模擬したものであり、船用の分野において、ガス燃料機関が従来のディーゼル機関と同様の推進システムで使用可能であることを示した結果になる。

一方、環境面である機関からの排ガス特性を第 10 図に示す。ガスモードでは IMO の NO_x Ⅲ次規制を満足し、ディーゼルモードでは IMO の NO_x Ⅱ次規制を満足している。また、CO₂ に関しても、ガスモードにおいてはディーゼル運転に比べ、19%の低減を確認している。



第 10 図 排ガス特性比較
Fig. 10 Comparison of emission in exhaust gas

5. 結 言

今回の開発において、空気確保技術・ノッキング抑制技術により、ガスモードにおける過渡応答性が大幅に改善され、ディーゼル機関並みの過渡応答性を実現した。これによって、船用推進システムとして最もシンプルな、固定ピッチプロペラ直結を用いたガス燃料船への適用が可能であることが確認された。また、デュアルフューエル機関を採用することで、船用推進システムに求められる冗長性を確保するとともに、IMO NO_x Ⅲ次規制を満足することができた。

今回紹介した、「28AHX-DF」は、国内初となる天然ガスを燃料とする船舶（LNG 運搬船を除く）に採用された。

— 謝 辞 —

今回紹介した船用ガス燃料機関「28AHX-DF」には、国土交通省の「船舶からの CO₂ 削減技術開発支援事業」の補助対象事業、および一般財団法人日本海事協会の共同研究事業、公益財団法人日本財団の助成事業による一般財団法人日本船舶技術研究協会との共同研究として支援を受けて開発された要素技術の一部を使用している。

ここに記して心から謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 渡辺孝一, 後藤 悟, 橋本 徹: 希薄燃焼ガスエンジンの負荷操作過渡時の燃焼改善 第 24 回内燃機関シンポジウム 論文 72 2013 年 11 月
- (2) 渡辺孝一: 高過渡特性を有する DF 機関 第 84 回マリンエンジニアリング学術講演会 論文 139 2014 年 11 月