

ジャパンエンジンコーポレーションの カーボンニュートラルに向けた取り組み*

松田 力** 江戸 浩二**
上田 哲司** 大場 啓道**

1. はじめに

株式会社ジャパンエンジンコーポレーション（以下当社）は国内唯一の船用2サイクルディーゼル機関のライセンサーであり、約100年の歴史を持つ。当社UE機関のラインナップは、ボア33cmから80cmまでと、幅広いニーズに対応している。更に、MGO (Marine Gas Oil) 専焼コンセプトに当社独自技術である層状水噴射技術を適用したUEC-LSJ機関をラインナップに加えるなど、更なる低燃費化へ向けた技術開発を行っている（図1参照）。また、IoTを活用した機関の状態監視、制御技術の開発や、当社独自開発の低圧EGRシステム及び、低圧SCRシステムを市場投入済みであり、低燃費化技術と並行して環境規制対応技術等についても幅広く対応している。

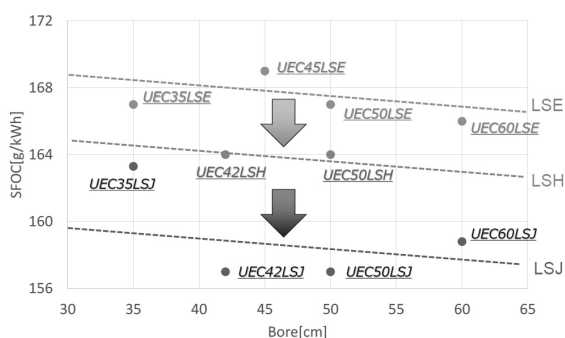


図1 UE機関 低燃費化の変遷

2. 高効率エンジンの開発

UE機関は機関単体での低燃費化を継続的に推進している。特に最新シリーズの一つであるUEC-LSH機関は世界でもトップクラスの低燃費機関であり、EEDIフェーズ3達成へ貢献してきた。

また、当社が開発したUEC-LSJ機関は、MGO専焼コンセプト（SOxスクラバー不要、燃料供給システムの簡

略化、燃料の加熱不要）と当社独自の技術である層状水噴射技術を組み合わせることでNOx、SOx規制に適合しつつ、燃費を大幅に低減させた機関である。UEC-LSJ機関は排ガス後処理装置なしでIMO-NOx Tier2レベルのNOx排出率を維持し、従来機関に対し約5%の燃費低減を実現する。

UEC-LSJ機関に搭載されている層状水噴射システムを図2に、注水ポンプ、燃料ポンプを図3に示す。燃料噴射弁に設けた注水口から燃料噴射管内に注水することで、燃料噴射管内に、燃料と水の層を形成する。最終的に燃料ポンプにより燃料噴射管内の燃料を噴射することで燃料と水がシリンダ内に層状噴射される。この水を用いた層状噴射により、NOx生成の重要なパラメータである燃焼火炎の温度を効率的に低下させ、NOxの排出を抑えつつ燃費低減を実現する。

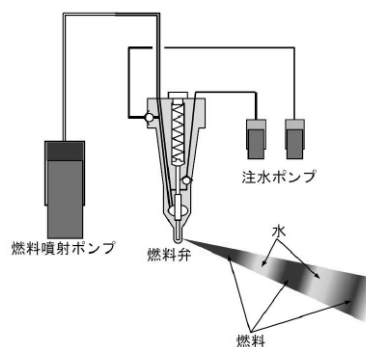


図2 層状水噴射システム



図3 注水ポンプ及び燃料ポンプ

*原稿受付 令和3年10月21日。

** (株)ジャパンエンジンコーポレーション (明石市二見町南二見1番地)

尚、既存機関の噴射系を刷新し、燃料噴射モードの最適化により、低負荷～常用負荷域での更なる低燃費化を図った機関（UEC42LSH-Eco-D4 機関、UEC50LSH-Eco-C4 機関等）を開発中である。これら最新ラインナップは2023年に市場投入予定である。

3. カーボンフリー燃料を使用したエンジン開発

現在、国際海事機関（IMO）による GHG 削減戦略に於いては、2050 年までに船舶からの GHG 排出量 50%削減（2008 年比）、今世紀中のできる限り早いタイミングでの GHG 排出量ゼロが目標とされている。海運における 2050 年目標である GHG50%削減を更に強化してゼロを目指すことも盛んに議論され始めているなか、これを達成するためには、ゼロエミッション船の早期普及が必要で、船舶の耐用年数を考慮すると 2030 年を待たない導入が開始される必要がある。

一方で、最近のカーボンニュートラルへの意識の高まりから、GHG 排出削減目標が前倒しされれば、ゼロエミッション船の導入は更に早まり、普及が加速することも十分想定される。このような状況下で、当社は、カーボンフリー燃料である、水素及びアンモニアを燃料とする船用 2 ストロークディーゼル機関の技術開発を実施中であり、以下にその取り組み状況を紹介する。

3.1 水素燃料エンジンの開発について

燃料としての水素の特性は、点火エネルギーが小さく燃焼速度が速いことである。従い、着火は容易で、バイオ燃料や e-fuel を使用したパイロット着火方式や火花点火方式を採用することにより、ゼロエミッション化を達成可能である。一方で、その着火性の高さ、可燃範囲が広いことから、エンジンの燃焼制御や、安全面への高度な対策が必要である。

当社は、これら水素の特性を総合的に評価し、拡散燃焼方式による船用 2 ストローク水素燃料エンジンの開発を実施する計画である。尚、水素拡散燃焼を用いた機関本体の設計コンセプトは拡散燃焼方式の LNG 機関と類似している点もあり、当社は既に単筒試験機により拡散燃焼方式の LNG 機関の開発を完了しており、周辺技術を応用することで速やかに開発することが可能である。ただし、特に水素脆化による燃焼室、燃料噴射系機器の信頼性、及び運用時の安全性確保などを考慮した材料選定、装置設計を行い、十分な検証を実施した上で市場投入を行う。

また、水素燃料供給システムやタンク、4 ストローク主機関・発電機関等を含む機関室全体のシステムインテグレーションを実現すべく、川崎重工業株式会社、ヤンマーパワーテクノロジー株式会社との協業を行っ

ている。2021 年 8 月には、3 社共同出資により HyEng 株式会社（以下 HyEng）を設立した。HyEng は、図 4 に示す通り、共通の基礎技術分野での共同研究、共用設備の設置などを推進し、コンソーシアムで、世界に先駆けて、外航・内航大型船向けに水素燃料エンジン投入を目指している。

水素燃料エンジン開発のセンター会社的な役割

水素供給設備を含めた推進システムのインテグレーション

水素推進システムの国際的標準化やルール作りをリード

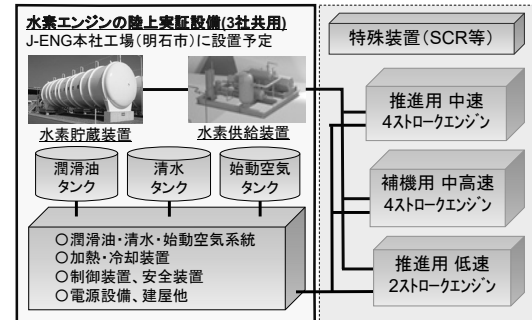


図 4 水素燃料エンジンの同時並行開発事例

3.2 アンモニア燃料エンジンの開発について

燃料としてのアンモニアの特性は、点火エネルギーが大きく、燃焼速度が遅いことである。従い、着火及び、着火後も良好な燃焼状態を継続させることが難しい。さらに、不完全な燃焼により、熱効率低下や未燃アンモニア、 N_2O （亜酸化窒素）を生じる可能性がある。特に N_2O の温暖化係数は CO_2 に対し 265 倍であることから、確実な燃焼により N_2O の生成を抑制させることが重要であり、技術的難易度も高い。これらより、難燃性燃料の混燃率の向上と併せて、効率的に燃焼させることによる N_2O 排出量のミニマイズが可能となる燃焼制御が重要となる。

アンモニアは難燃性燃料であり、燃焼行程における持続的な火炎の保持が機関の高効率化、 N_2O 生成の抑制に基本的に重要である点は上記の通りである。当社は UEC-LSJ 機関へ適用した層状水噴射技術を応用した、層状アンモニア噴射コンセプトを適用することで、本技術課題に対応する。具体的には、UEC-LSJ 機関における注水ポンプを応用し、アンモニアを燃料噴射管に注入し、パイロット燃料とアンモニア燃料の層を形成し、UEC-LSJ 機関同様に燃料ポンプによりパイロット燃料とアンモニアをシリンダ内に層状噴射する。この時、パイロット燃料をバイオ燃料とすれば、ゼロエミッション化を狙う事も可能となる。

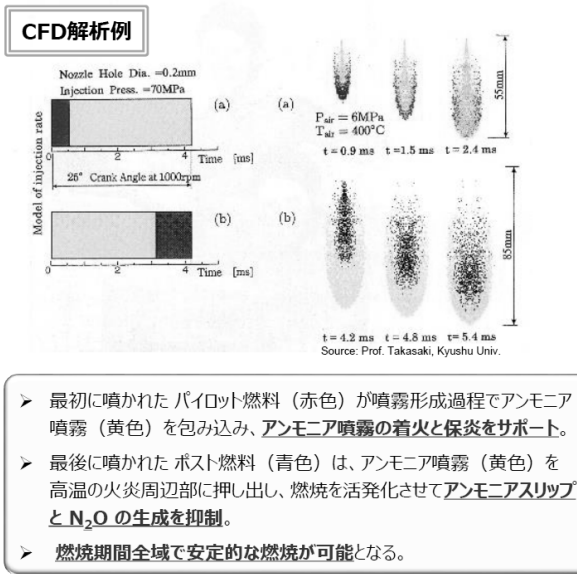


図5 層状アンモニア噴射コンセプト

図5に示す様に、層状燃料の先端のパイロット燃料がアンモニアを着火し効率的に燃焼させるとともに、最後にも噴射されることで、間に挟まれたアンモニアの燃え切りを促進し、未燃アンモニアと N_2O の低減に重要な役割を果たす。

上記コンセプトの有効性を確認するために、大型(自由噴霧長さ 350 mm)の定容燃焼試験装置を用い、軽油とアンモニアの層状噴射による燃焼試験を実施した。噴射率は、噴射初期のみ軽油割合が高い Pattern(X)と、層状噴射システムの特性を活かして、噴射始めと噴射終わり時期両方の軽油割合を高めた Pattern(Y)の二つの噴射パターンによる混焼試験を実施し、 N_2O などエミッションと熱発生率を評価した。尚、本試験は海上技術安全研究所殿のご協力のもとで実施した¹⁾。

図6に軽油とアンモニアの混焼試験時の熱発生波形を示す。アンモニア混焼率（熱量割合）は何れのパターンでも50~60%、燃料噴射期間はおよそ30msである。噴射終わり時期の軽油割合が低くなっている Pattern(X)では噴射初期にパイロット燃料（軽油）が燃焼することによる高い熱発生率と、そのあとでアンモニアの比較的緩慢な燃焼による熱発生率が継続していることが確認できる。層状噴射の特性を活かして噴射終わり時期の軽油割合を高めた Pattern(Y)では、Pattern(X)同様に噴射初期にパイロット燃料が燃焼することによる高い熱発生率と、そのあとでアンモニアの比較的緩慢な燃焼による熱発生率が継続しているが、燃焼終了時に再度熱発生率が高くなり、軽油による燃焼促進が行われていることが確認できる。

図7は、Pattern(X)とPattern(Y)それぞれの燃焼によるエミッション発生量を、噴射された燃料（アンモニ

ア+軽油)の発熱量当たりの値として示す。本図より、Pattern(X)に比べてPattern(Y)による燃焼では、 NO_x 等のエミッションを同等レベルとしつつ、 N_2O の生成を大幅に低減でき、さらに未燃アンモニアも低減できていることが分かる。これらは、層状アンモニア噴射コンセプトが難燃性燃料であるアンモニアを効率よく燃焼させることが可能であるとともに、合理的にGHG削減効果が得られることを示している。

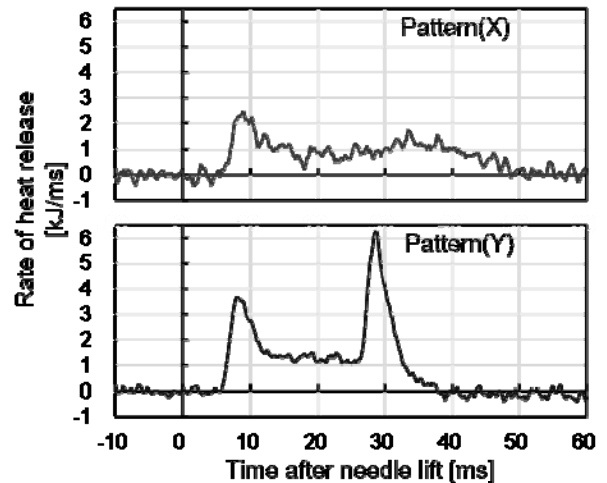


図6 定容燃焼装置による熱発生波形

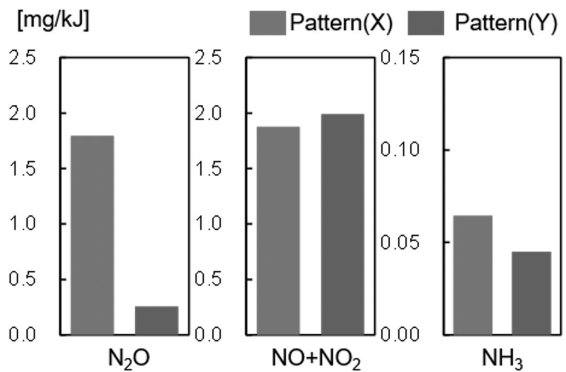


図7 定容燃焼装置によるエミッション

4. まとめ

当社は、カーボンニュートラル達成に向けた取り組みとして、水素、アンモニアなどのゼロカーボン燃料を使用する船用2ストロークエンジンの開発を推進していく。当社がこれまで低燃費エンジンをラインナップ化し、市場投入していく中で培った独自技術、例えば層状噴射技術などを応用し、高いレベルの技術開発でGHG削減に貢献し、船舶分野における脱炭素化による持続可能な社会の実現を目指す。

5. 謝辞

本論文作成に際し、燃焼試験にご協力頂いた、海上技術安全研究所の市川氏及び、ご指導頂きました九州大学名誉教授高崎先生に感謝申し上げます。

参考文献

1) 市川ほか, 層状噴射によるアンモニアのディーゼル噴霧燃焼改善のための基礎研究, 日マリ学講, 91 回論集 (2021), 253-254

著者紹介

松田 力

- ・ 1986 年生.
- ・ (株) ジャパンエンジンコーポレーション
- ・ 九州大学 機械航空工学科

江戸 浩二

- ・ 1974 年生.
- ・ (株) ジャパンエンジンコーポレーション
- ・ 神戸大学大学院 機械工学専攻

上田 哲司

- ・ 1983 年生.
- ・ (株) ジャパンエンジンコーポレーション
- ・ 日本マリンエンジニアリング学会 正会員
- ・ 東京工業大学大学院 機械宇宙システム専攻

大場 啓道

- ・ 1989 年生.
- ・ (株) ジャパンエンジンコーポレーション
- ・ 慶応義塾大学大学院 総合デザイン工学専攻