

# GHG削減に向けた船舶用Dual Fuel（二元燃料）エンジンの開発動向

高崎 講二\*

## 1. はじめに

本稿は、2023年発行のClassNK技報No.7「GHG削減に向けた船舶用エンジンと燃料開発の取り組み」の続報となる。また、IMOによる「2050年国際海運からのGHG排出ネットゼロ」の目標に向けて、本年発行されたClassNK代替燃料インサイト（以下、NKインサイト）にある代替燃料導入のための4ステップの中で、本稿はステップ3の「代替燃料を理解する」ための補足となる。

それにも記載されている通り、現時点での代替燃料の生産量はどれも圧倒的に不足している。しかしながら2050年の目標を達成するには、今後の生産規模の拡大を見据えて、それら使用可能な船用エンジンの開発を今から進めておく必要がある。本稿では前報に引き続き、ゼロエミッション（ゼロカーボン）燃料とカーボンニュートラル燃料を利用する船用エンジンの開発について、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）による「グリーンイノベーション基金事業・次世代船舶の開発（以下、GI基金）」を含む国内の進捗状況、また欧州側の開発動向についても一部を紹介する。

本稿でのDual Fuel（二元燃料）（以下、DF）エンジンの定義は、代替燃料のどれか一つと従来重油のどちらも使えることであり、代替燃料のサプライ体制が整うまでは重油で運転することもあり得る。そのためには、船内の重油タンクは十分な容量を残しておく必要がある。また、本稿で挙げられた代替燃料はどれも重油より自己着火性に劣り、筒内での着火のため少量のパイロット重油が噴射される。代替燃料が不足の場合は重油の噴射量を積極的に増やして、いわゆる「代替燃料と重油の混焼モード」にすることも可能となっている。

## 2. ゼロエミッション燃料とカーボンニュートラル燃料

ゼロエミッション燃料としては、再生電力で水を電気分解して生成するグリーン水素と、原料は化石燃料でもよいが、製造時に出るCO<sub>2</sub>を回収貯蔵しながら作ったブルー水素がある。水分を多く含むオーストラリアの褐炭から水素を作り、現地で液化して日本に輸送するプロジェクトがブルー水素利用の一例である。それらの水素と窒素を合成したアンモニア（NH<sub>3</sub>）もゼロエミッション燃料となる。

カーボンニュートラル燃料としては以下のものがある。バイオ燃料は燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出するが、その前に大気中のCO<sub>2</sub>を吸収しているためゼロカウントとなる。合成メタン・合成メタノールについては前報でも解説したが、グリーン・ブルー水素に陸上の産業から回収したCO<sub>2</sub>（陸側はCO<sub>2</sub>排出となる）を合成させることで、船からのCO<sub>2</sub>はゼロカウントとなる規則の制定が期待される。これについては今後IMOで議論される。

実際に合成メタン・合成メタノールの供給がない時点では、グレーなもの（化石の天然ガスや化石燃料から作られるメタノール）でもよいから取りあえず運用を開始し、グリーンやブルーなものが出て来た時点でそちらに転換すると言う考え方もある。以下にさらに詳しく解説する。

バイオ燃料：NKインサイトによると、カーボンニュートラルなメタン・LPG・メタノールは、上記の合成による方法以外にいずれもバイオ由来で生成することもできる。ただし、ここでは現時点で試験運航も行われているバイオディーゼル油のみに言及する。

植物油にプロセスを掛けてFAME（Fatty Acid Methyl Ester）にした場合のエンジン燃焼には問題はなく、重油焚きディーゼルにドロップイン、つまりエンジン側の設定を何も変えずに使用可能である。また重油と混合してバンカリングすることができる。ただし原材料の量が課題である。食用油の燃料への直接転用には世界的に反対が多く、現時点で原料となる食廃油は航空業界と取り合いになっている。

参考に、国土交通省海事局と一般財団法人日本海事協会（以下、NK）では、バイオ燃料の取扱いについてそれぞれ以下のガイドライン等を改訂している。

\* 九州大学名誉教授・国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所フェロー

- ・海事局：バイオ燃料取り扱いガイドライン2024年3月改訂<sup>1)</sup>
- ・NK：バイオ燃料使用に向けたテクニカルガイド2024年4月改訂<sup>2)</sup>

**合成メタン**：現用される天然ガスの主成分はメタンであるため、合成メタンは既存のLNG燃料船に対してもドロップインである。現時点でLNG燃料船を建造して化石の天然ガスを使いつつ、合成メタンの出現を待って混合あるいは転換して行く考え方もある。

**合成メタノール**：メタノールは性状的に常温・常圧下で液体と言う取り扱い上有利な点があり、後述するように燃焼も良好である。MAN Energy Solutions（以下、MAN）開発の低速2ストロークのメタノールエンジンは、メタノール運搬船の主機として2016年からすでに稼働している。合成メタンも合成メタノールも前述の作り方による高コストが課題で、NKインサイトの図「代替燃料の製造経路・コスト（2030年時点での見込み）」によると、両者とも重油の4.2倍と見積もられている。

**アンモニア**：エンジンは、後で紹介するように低速2ストロークも中速4ストロークも現在開発中である。NKインサイトでは、グリーンアンモニアのコストは重油の3.1倍、ブルーアンモニアで重油の1.9倍と見積もられている。前述のように、最初はグレーなアンモニアでもよいかからサプライチェーンの整備を急ぎたい状況がある。国土交通省海事局では、アンモニア燃料船への安全かつ円滑な燃料補給の実施に向けて、昨年度からアンモニアバンカリングガイドライン検討委員会を開催し<sup>3)</sup>、毒性も考慮した漏洩対策に十分な検討を行っている。

**水素**：水素エンジンも、後述するように低速2ストロークも中速4ストロークも開発中である。NKインサイトでは、コストは液化グリーン水素で重油の3.8倍、液化ブルー水素で3.1倍と見積もられている。アンモニアに比べて割高となっていることから、水素液化のためのコスト低減が現時点での課題である。船では液化水素の船内タンク容量等の課題もあり、GI基金による水素エンジン開発においては、当初は液化水素運搬船向けや日本・東南アジア間など近海航路向けの用途を想定している。

上記の代替燃料の中でどれが本命か？を問われることも多いが、1種類では全世界のサプライを賄えないという見方が一般的で、世界の多くの研究機関が2050年にどれも残るであろうという予想を立てている。その背景の中で、本稿ではメタノール、アンモニア、水素を燃焼させる各DFエンジンの開発について解説する。

### 3. メタノール(CH<sub>3</sub>OH)DFエンジンの開発動向

#### 低速2ストローク・メタノールエンジン

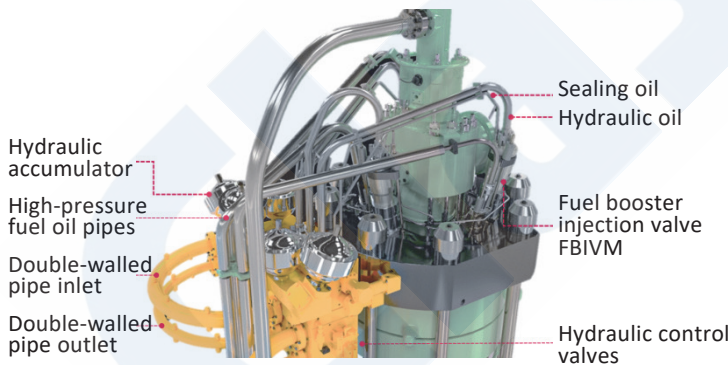


図1 MANの低速2ストローク・メタノールエンジン  
G95ME-C10.5-LGIM（シリンダ径：950mm）  
シリンダカバー部（MAN社提供）



図2 WinGDの低速2ストローク・メタノールエンジン開発のための単気筒テストエンジン  
SCE920（シリンダ径：920mm）（WinGD社提供）

始めにディーゼル型のメタノールエンジンについて解説する。低速2ストローク主機に関してはMAN、WinGD社ともこのタイプを開発している。メタノールの性状とディーゼル噴霧燃焼については前報に解説している。性状として常圧での沸点が65℃であり、ライン圧力（株式会社三井E&S（以下、三井E&S）の発表<sup>4)</sup>で1.3MPa）を掛けてエンジンに液体で送り込み、筒内には通常の高圧ディーゼル噴射が可能である。ただし体積当たり発熱量が重油の約4割であるため、同じ出力を得るには2.5倍の体積を噴射するシステムを必要とする。

メタノールの引火点は9℃と低いですが、着火点（自己着火温度）は440℃と高く、筒内で着火させるため重油等

のパイロット噴射を必要とする。ただし、一旦着火すると軽油よりも良好な燃焼を示す。上述のように、低速2ストロークエンジンはすでに就航して技術的には完成の域にあり、最近は特に大型コンテナ船向けに多くのオーダーがある。図1はその大型主機のシリンダカバー部で、DFの特徴からメタノール噴射ノズルと重油噴射ノズルがペアで3対装備されている。また黄色の部分、低引火点と毒性に備えた漏洩対策として用意される二重管部を示す<sup>5)</sup>。

WinGDも、2015年よりアルコール燃料（エタノール・メタノール）主機関向けに燃焼試験、リグテスト及び4気筒テストエンジン（シリンダ径：500mm）にて開発に取り組んでいる。さらにシリンダ径：920mmの単気筒テストエンジン（図2）でも検証を実施しており、同口径の大形コンテナ船向け10X92DF-Mエンジンの工場出荷試験を2025年1Qに予定している<sup>6)</sup>。

#### 中速4ストローク・メタノールエンジン

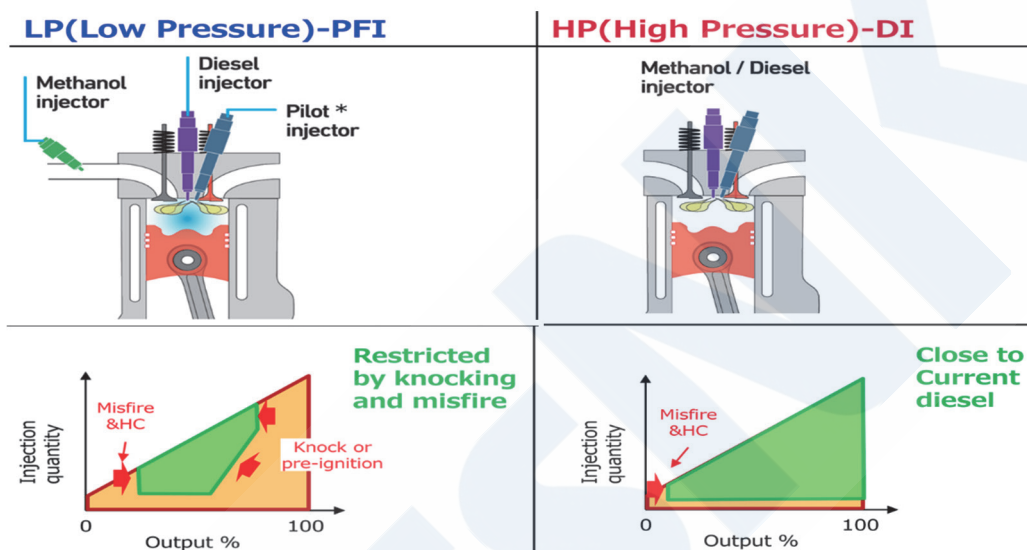


図3 中速4ストローク・メタノールエンジンの燃焼パターン2種類<sup>7)</sup>

船内発電機あるいは中小型船舶の主機として、中速4ストロークのメタノールエンジンの開発も行われている。ここでは、図3を使ってディーゼル型のほかオットーサイクル型の燃焼パターンを紹介する。

- ・ディーゼル型の燃焼（図3右：HP(High-Pressure)-DI(Direct Injection)）では、ピストンによって圧縮された高温・高圧の空気中に、さらに高圧の液体メタノールをディーゼル噴射して噴霧燃焼をさせる。これまでの重油（この図ではディーゼル油）の噴射系に加えて大型のメタノール噴射系が必要で、そのシステムが高価になる可能性がある。オットー型に対する長所としては、ディーゼル型では原理的にノッキング等の異常燃焼は起こらないため、高出力・高Pme（Pme：正味平均有効圧力）・高効率を狙うことができる。
- ・オットーサイクル型燃焼（図3左：LP(Low-Pressure)-PFI(Port Fuel Injection)）では、メタノールを吸気管に噴射し、気化したメタノールと空気の混合気を作ってピストンで圧縮した後、パイロット噴射により着火して火炎伝播を実現させる。吸気管に噴射する低压噴射系は、ディーゼル型の高压噴射系よりもシンプルでレトロフィットにも適している。ただしノッキング等が起こり得るため、図3の左下に示すようにメタノール混焼率やメタノールによる出力範囲が制限される傾向にある（図中の緑色部がメタノール、茶色部がディーゼル油使用範囲）。

国内のヤンマーパワーテクノロジー株式会社（以下、ヤンマーPT）とダイハツディーゼル株式会社（以下、ダイハツディーゼル）では、テストエンジンを使って両燃焼パターンの比較を行い発表している<sup>7) 8)</sup>。また両社とも、メタノール燃料に対応したエンジンを2026年に発売する予定と発表している。阪神内燃機工業株式会社では、シリンダ径280mmの低速4ストロークエンジンLA28Mをすでに開発している。こちらはディーゼル型を採用し、またDFでなくメタノール専焼とされている。ただしメタノールを使わない場合でも、パイロット用のA重油を増量して船級が求める船速で航行できる冗長性を確保している<sup>9)</sup>。国内では、株式会社赤阪鐵工所も、コモンレール式の電子制御システムを組み込んだディーゼル型の低速4ストロークメタノールDFエンジンを、2026年に開発完了予定である<sup>10)</sup>。

欧州側におけるMANの4ストロークエンジンの例を挙げると、発電機仕様のL21/31DF-M型（シリンダ径：210mm）とL27/38DF-M型（270mm）はオットーサイクル型で開発されている。また在来の大型4ストローク機種に対しても、メタノールDFへ改造するレトロフィット・パッケージの提供を始めると発表している<sup>11)</sup>。

またこの分野で先鞭を付けたWärtsilä社では、すでにW32型（シリンダ径：320mm）メタノールエンジンがディーゼル型で開発されリリースされている。さらに、従来燃料の船舶をメタノール燃料に転換する方法についても発表している<sup>12)</sup>。

4ストロークのディーゼル型では、燃料噴射ノズルをシリンダヘッドの中央に配置するため、1本のノズルにメタノール用と重油用の複数のニードル弁を仕込むような燃料噴射ノズルも開発されている。

#### 4. アンモニア (NH<sub>3</sub>) DFエンジンの開発動向

##### 低速2ストローク・アンモニアエンジン

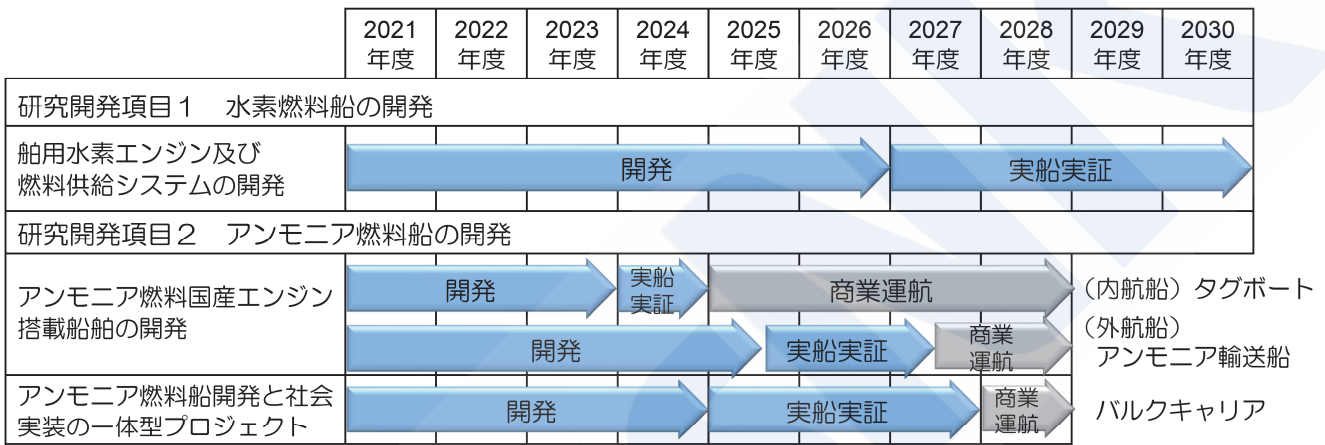


図4 GI基金「次世代船舶の開発」プロジェクト実施スケジュール（一部）<sup>13)</sup>

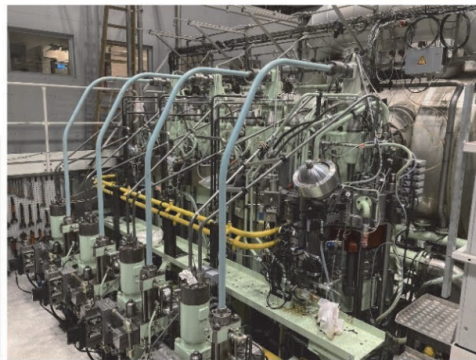
低速2ストローク主機は、MAN, WinGD, 株式会社ジャパンエンジンコーポレーション (J-ENG) (以下、ジャパンエンジン) のライセンサー3社で、ディーゼル噴射タイプの開発が進んでいる。アンモニアの性状として、常圧での沸点は-33℃であるため常温・常圧では気体となる。船内液体貯蔵には半冷加圧式あるいは冷却式タンクが想定され、エンジンに送り込む際は液体をさらに加圧（三井E&Sの発表ではライン圧力は8.3MPa）する<sup>4)</sup>。

ここで、前述のGI基金・次世代船舶の開発スケジュールについて図4を使って解説する<sup>13)</sup>。アンモニア燃料船の開発の項の「アンモニア燃料船開発と社会実装の一体型プロジェクト」で建造予定のバルカーの主機は、MANが開発し三井E&Sで製造される低速2ストロークのアンモニアエンジン7S60-LGIA型（7気筒・シリンダ径：600mm）となる。MANではテストエンジン（図5：シリンダ径：500mm）の1気筒でのテストを終え、さらに全4気筒でアンモニアを燃焼させるテストを開始する予定である。

◆ MAN-ES 1cylinder test

- 1cylinder of the test engine (4T50ME-X) was modified to be ammonia specification.
- Combustion test has started in Jul. 2023

Intermediate results of 1cylinder test  
 Pilot oil consumption : Similar to other LGI engines  
 NOx : Similar or lower than reference diesel operation on MGO  
 NH<sub>3</sub> : plan to balance NH<sub>3</sub> to the NOx emissions and remove both by SCR technology  
 N<sub>2</sub>O : Very low



\* Quoted from MAN Facebook dated July 6th Test engine (4T50ME-X)

As of March 2024, 1cylinder test continues

図5 MAN社の1気筒アンモニア運転テスト結果<sup>4)</sup>

アンモニア燃焼では、これまでCO<sub>2</sub>の約300倍の温暖化ガスであるN<sub>2</sub>Oの排出が懸念された。現時点（2024年8月）では上記3社とも確定したGHG排出量、環境性能を開示していないが、MANから1気筒テストの定性的データ（図5）が提供されている<sup>4)</sup>。これによるとN<sub>2</sub>Oの排出はVery lowとなっている。ただし未燃アンモニアの排出が予想より多く、対策としてSCR内でNO<sub>x</sub>と反応させて低減する計画とされている。

次に、図4中の「アンモニア燃料国産エンジン搭載船舶の開発」について解説する。日本郵船株式会社・ジャパンエンジン・株式会社IHI原動機（以下、IHI原動機）・日本シブヤード株式会社は、国産エンジンを搭載したアンモニア燃料アンモニア輸送船（図6）の建造に関わる一連の契約を締結した（2023年12月）<sup>14)</sup>。4社はGI基金事業への採択以降にNKとともにコンソーシアムを組んでおり、「アンモニア燃料国産エンジン搭載船舶の開発」に向けて世界をリードする取り組みが本格化する。

背景・目標として以下の項目がある。

- (1) 国際海運ネットゼロエミッション達成への貢献
- (2) アンモニアバリューチェーンの構築
- (3) 日本の海事産業の強化
- (4) アンモニアの船用利用に関わる国際ルール化



図6 アンモニア燃料アンモニア輸送船  
AFMGC: Ammonia-Fueled Medium Gas Carrier<sup>14)</sup>



図7 ジャパンエンジン社の単気筒アンモニアテストエンジン（左）とアンモニア供給設備（右）<sup>15)</sup>

図7に、ジャパンエンジンでテスト中の単気筒エンジンとそのアンモニア供給設備を示す<sup>15)</sup>。同社では、低速2ストロークエンジンでは世界初のアンモニア混焼試験運転を実施した。

WinGD社でも、図8に示すテストエンジンを使って低速2ストロークのアンモニアエンジンを開発中で<sup>16)</sup>、韓国で建造予定のLPG/アンモニア輸送船主機として、シリンダ径520mmの6X52DF-Aエンジンの出荷を2025年2Qに予定している。

それに関連して、三菱造船株式会社がアンモニア燃料供給装置およびアンモニア処理装置を開発しており、2024年4月にNKから基本設計承認（AiP）が発行された<sup>17)</sup>。



図8 WinGDの低速2ストローク単気筒  
テストエンジン（シリンダ径：520mm）  
（WinGD社提供）

## 中速4ストローク・アンモニアエンジン

図9 A-Tug さきがけ（主機出力1618kW x 2台）<sup>19)</sup>図10 A-Tug用中速4ストローク28ADF型エンジン  
（出力：1618kW/台・D/S：280/390mm・6気筒・  
回転数：750rpm・Pme：1.8MPa）<sup>18)</sup>

図4の「アンモニア燃料国産エンジン搭載船舶の開発」中のタグボートについて解説する。IHI原動機では、アンモニア燃料タグボート（図9：A-Tug：魁（さきがけ））の主機向けに開発、陸上試験を進めていた4ストロークアンモニアDFエンジンが完成し、NKは世界初となるアンモニア燃料船用エンジンの船級型式承認を発行した（2024年4月）<sup>18)</sup>。本エンジンは現在A-Tugに装備され、A-Tugは東京湾での曳船業務に従事して3カ月間の実証航海が行われる予定である<sup>19)</sup>。

本エンジンの外観を図10に示す。このエンジンはアンモニアのオットーサイクル型であり、同タイプのメタノールエンジンと同様に、アンモニアは吸気管に投入し空気との混合気を作ってピストンで圧縮、上死点付近でパイロット重油により着火する。陸上試験ではアンモニアの混焼割合95%（熱量で5%がパイロット重油）を達成した。懸案のN<sub>2</sub>Oについては後処理装置によって低減され、GHG削減率としても重油比較で最大90%以上を達成できている。その他、タグボートに必要な負荷変動への追従性能および、運転中と停止後の実機からのアンモニア漏洩ゼロを確認している。さらに同社は、前述のアンモニア燃料アンモニア輸送船AFMGCの発電機向けエンジン（シリンダ径：250mm）も開発中である。

GI基金のほか、ヤンマーPTとダイハツディーゼルが単気筒エンジンでアンモニア燃焼試験を行っている<sup>7) 8)</sup>。また、水素を混焼してアンモニアの燃焼を改善する研究も行われている。ただしこれは、船上でアンモニアの一部を水素に改質できる装置との組み合わせが必須になる。

また欧州においても、Wärtsilä社はW25型（シリンダ径：250mm）アンモニアエンジン（オットーサイクル）を開発してリリースを開始した。一例として、PSV（Platform Supply Vessel）改造のために、W25エンジンのほかアンモニア燃料ガス供給から排ガス処理システムまでのパッケージの提供について発表されている<sup>20)</sup>。

## 5. 水素DFエンジンの開発動向

図4のNEDOによるGI基金事業・次世代船舶の開発スケジュールの中の、研究開発項目1 船用水素エンジン及び燃料供給システムの開発について解説する。

図11は、前報でも紹介した船用水素エンジン及びMHFS（Marine Hydrogen Fuel System）の開発の概要である。川崎重工業株式会社（以下、川崎重工業）の中速4ストローク水素DFエンジン（拡大図12）は、すでに2022年11月にNKから基本設計承認（AiP）が発行されており<sup>21)</sup>、推進用主機としての開発を目指して、同社で建造される大型液化水素運搬船の発電機にて長期実証を行う予定である。このプロジェクトの水素4ストロークエンジンでは、水素が吸気管に低圧で供給されて空気との混合気を作るオットーサイクル型が採用されている。川崎重工業のエンジンでは、オットーサイクル特有の異常燃焼の抑制技術として排気再循環を採用し、すでに水素混焼率は95%（熱量5%はパイロット重油）に達している。8気筒の8L30KG-HDFタイプ（シリンダ径：300mm）水素モードでの出力は2.4MWと発表されている<sup>22)</sup>。

図11中の補機用4ストローク水素エンジンはヤンマーPTによる開発で、単筒機による水素混焼実証を通して、ディーゼルマイクロパイロット着火による水素燃焼方式を確立して目標を達成している。またGI基金のほかに、水素燃料対応のハイブリッド電気推進式内航タンカー向け高速4ストローク水素エンジンも開発中である<sup>23)</sup>。



事業期間：2021年度～2030年度

出典：川崎重工業，ヤンマーPT，ジャパンエンジン

図11 船用水素エンジン及びMHFS (Marine Hydrogen Fuel System) の開発 (NEDOホームページ)

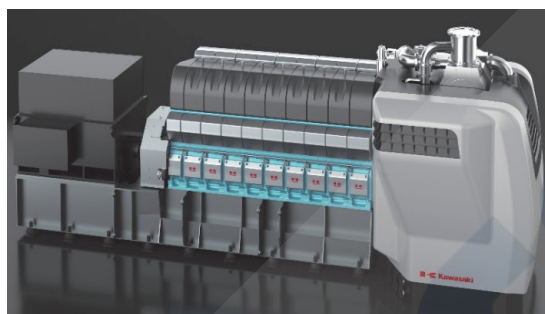


図12 水素焚きDF発電機エンジン  
(提供：川崎重工業)<sup>22)</sup>



図13 水素燃料多目的船 (1万7500重量トン型)  
(完成予想図)<sup>24)</sup>

図11右のジャパンエンジンの低速2ストローク水素エンジンの開発に関連したこととして、株式会社商船三井、商船三井ドライバルク株式会社、尾道造船株式会社、川崎重工業、ジャパンエンジン計5社による水素燃料多目的船（図13）の区画配置コンセプトに対し、2023年10月にNKからAiPが発行されている<sup>24)</sup>。このエンジンではディーゼルサイクル型が採用され、水素はピストンで圧縮された空気に高圧（30MPaのオーダー）で噴射される。そのため、液相でポンプ昇圧した水素を高圧下で気化させて、より少ない動力で高圧水素（気体）を得るMHFSを開発（川崎重工業）して本船に搭載する。プロジェクトの中で、現時点ではジャパンエンジンの水素高圧噴射系の単体試験が進んでいるほか、エンジン材料の水素脆化についても研究機関と共同でデータを収集している<sup>13)</sup>。

ダイハツディーゼルと三井E&Sは、水素燃料使用の外航船舶の推進システムに必要な技術開発として、国土交通省の「海事産業集約連携促進技術開発支援事業」（2021～2023年度）に参画した。ダイハツディーゼルでは、水素供給設備と単気筒エンジン（オットーサイクル型，シリンダ径：230mm）を使った試験を行った。その結果、96%のGHG低減（ディーゼルとの比較）と天然ガスエンジン相当の高出力運転を達成した<sup>25)</sup>。

三井E&SとライセンサーのMANでは、三井E&Sの低速2ストロークテストエンジン（シリンダ径：500mm，4気筒，出力：7MW/117rpm）の1気筒を改造して水素燃焼のテストを行った<sup>26)</sup>。これは天然ガスエンジンME-GI機関をベースとしたディーゼルサイクル型で、100%負荷運転において当該気筒の95%相当の熱量を水素燃料で賄い（5%はパイロットA重油），A重油で運転する他の3シリンダと同等の安定した燃焼圧力波形が得られること，またエンジンが必要とする高圧水素を水素供給設備から安定供給できることを確認した。

欧州の4ストロークエンジンではWärtsilä社の開発が進んでおり，LNGからクラッキングにより水素を製造する技術にも取り組んでいる。

アントワープ・ブルージュ港では、Anglo Belgian CorporationとCMB.TECH社が開発した中速の水素・軽油DFエンジン（2000kW/台）2基を搭載したタグボートが稼働している。タグボートには液化水素でなく圧縮水素が搭載されている。さらに船用水素専焼（Mono-fuel）エンジンも開発されている<sup>27)</sup>。日本のジャパンハイドロ株式会社が開発した水素燃料船にも上記の会社のエンジンが採用される<sup>28)</sup>。

## 6. まとめ

昨年の前報では、各代替燃料をエンジンで使用する場合の燃焼上の課題と解決策について述べた。本稿では、船舶用Dual Fuel（二元燃料）エンジンが課題を解決して開発されつつある状況を紹介した。このように、エンジン開発は国内外において技術的には十分勢いがあると言える。最初に述べたように、各代替燃料の生産規模、サプライチェーンの可能性、コストの課題等が残るが、それらが解決した際にすぐに対応できるよう、安全面も含めた技術の完成とそれを生かす人材の育成が望まれる。

## 参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ（2024年3月）：船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドラインを策定
- 2) ClassNKガイドライン：バイオ燃料使用に向けたテクニカルガイド（第1.1版）（2024年4月）
- 3) 国土交通省ホームページ（2024年1月）：アンモニアバンカリングガイドライン検討委員会の開催について
- 4) 三井E&S発表資料, 2024.
- 5) MAN Energy Solutions社資料・CIMAC 2023 Paper No.523.
- 6) WinGD社資料・Future Fuel Technology Update, Sept. 2024
- 7) ヤンマーPT発表資料, 2024
- 8) ダイハツディーゼル発表資料, 2024
- 9) 阪神内燃機工業ホームページ：最新ニュース 2024年7月4日
- 10) 赤阪鐵工所ホームページ：ニュースリリース 2024年6月24日
- 11) MAN Energy Solution社ホームページ：26. Jul. 2024.
- 12) Wärtsiläホームページ：Wärtsilä Marine Methanol Conversion.
- 13) NEDOホームページ：次世代船舶の開発 NEDOグリーンイノベーション基金
- 14) NKプレスリリース 2024年1月25日
- 15) ジャパンエンジン発表資料, 2024
- 16) WinGD社ホームページ：Technical Information Note 035
- 17) NKプレスリリース 2024年4月11日
- 18) NKプレスリリース 2024年4月8日
- 19) NKプレスリリース 2024年8月23日
- 20) Wärtsiläホームページ：Wärtsilä 25 Ammonia (wartsila.com) & Press release 26 Aug. 2024.
- 21) NKプレスリリース 2022年11月30日
- 22) 川崎重工業発表資料, 2024
- 23) NKプレスリリース 2024年6月19日
- 24) NKプレスリリース 2023年10月19日
- 25) ダイハツディーゼルホームページ：2024年4月8日
- 26) 三井E&Sホームページ：2024年3月7日
- 27) CIMAC 2023 Paper No.203.
- 28) CMB.TECH | JPNH<sub>2</sub>YDRO opens Hydrogen Engine R&D Centre in Japan