

交通運輸技術開発推進制度  
令和6年度業務実績説明書

アンモニア直接燃焼エンジンの技術開発

令和7年8月  
JFE エンジニアリング株式会社

## I. 研究開発成果の要約

作成年月	令和7年8月
研究課題名	アンモニア直接燃焼エンジンの技術開発
研究代表者名	清水 明
研究期間	令和5年9月6日～令和7年3月31日
研究の目的	<p>近年、地球規模での気候変動対策として温室効果ガス排出削減への取り組みが国際的に加速している。カーボンニュートラル実現に向けた代替燃料の一つとしてアンモニア燃料が注目されており、その実用化に向けたアンモニア燃焼エンジンの技術開発が喫緊の課題となっている。しかし、アンモニア燃料特有の難燃性および燃焼特性により、排出ガス中にはアンモニア、窒素酸化物、および亜酸化窒素が比較的高濃度で含まれることが懸念される。特に、亜酸化窒素は二酸化炭素と比較して約265倍の温室効果を有するため、その排出抑制は環境負荷低減において極めて重要である。本研究では、先行して実施した燃焼数値解析から得られた知見を基盤とし、最適燃焼条件の確立およびアンモニア燃料の燃焼性向上を目的として、アンモニア燃焼エンジンの実証試験を実施した。</p>
研究成果の要旨	<p>本研究はカーボンニュートラル実現に向けたアンモニア直接燃焼エンジンの技術開発を目的としている。先行して実施した燃焼数値解析の知見を基に、実証試験により空気過剰率、給気温度、アンモニア投入量・時期、燃料油噴射時期、燃料油二段噴射などのパラメータを最適化した結果、目標としたアンモニア混焼率50%を達成した。さらに、触媒システム適用により、NH<sub>3</sub>濃度とNO<sub>x</sub>濃度は99%以上、N<sub>2</sub>O濃度は80%以上の除去率を達成し、目標値を上回る性能が確認された。実証試験後の材料評価では、各部品に腐食損傷、異常摩耗、窒化の兆候は確認されなかった。アンモニア混焼率50%で10MW x 2基搭載の内航船フェリーを20年間運用した場合、約44万トンのCO<sub>2</sub>削減効果が見込まれる。</p> <p>本研究の成果により、アンモニア混焼エンジンの適用可能性が実証され、カーボンニュートラル実現に向けた技術基盤が確立されたといえる。今後は、アンモニア混焼率のさらなる向上や、ディーゼルエンジンからアンモニア混焼エンジンへのレトロフィット実装など、実用化に向けた取り組みを進めていく。</p>
知的財産権 取得状況	
研究成果発表実績	

## II. 研究開発の目的と実施体制

### 研究開発の目的

近年、地球規模での気候変動対策として温室効果ガス排出削減への取り組みが国際的に加速している。カーボンニュートラル実現に向けた代替燃料の一つとしてアンモニア燃料が注目されており、その実用化に向けたアンモニア燃焼エンジンの技術開発が喫緊の課題となっている。しかし、アンモニア燃料特有の難燃性および燃焼特性により、排出ガス中にはアンモニア、窒素酸化物、および亜酸化窒素が比較的高濃度で含まれることが懸念される。特に、亜酸化窒素は二酸化炭素と比較して約265倍の温室効果を有するため、その排出抑制は環境負荷低減において極めて重要である。本研究では、先行して実施した燃焼数値解析から得られた知見を基盤とし、最適燃焼条件の確立およびアンモニア燃料の燃焼性向上を目的として、アンモニア燃焼エンジンの実証試験を実施した。

### 研究実施体制

本研究は、JFEエンジニアリング株式会社の独自研究とする。

### III. 研究開発の成果

#### 1. 序論

本研究では、実機スケール試験機によるアンモニア混焼試験により目標性能の達成を目指す。アンモニア燃料については難燃性という燃焼特性を有していることから、未燃アンモニアの排出、窒素酸化物（以下、NO<sub>x</sub>と称する）の排出、および亜酸化窒素（以下、N<sub>2</sub>Oと称する）の生成が課題となる。燃焼数値解析で得られた技術を基に、実証試験にて最適な燃焼条件を獲得し、アンモニア燃料の難燃性の課題をクリアすることに成功した。

#### 2. 開発ロードマップ

表2-1にアンモニア開発のロードマップを示す。本研究はR5年度～R6年度に渡り実施され、R6年度に実機燃焼試験を実施した。R6年度の燃焼試験では、2022年度までに実施された数値解析及び今年度の開発結果を基に、空気過剰率、アンモニア投入量・時期、燃料油噴射時期、燃料油二段噴射などのパラメータを最適化し、開発目標の性能を満たすことを確認した。

表2-1 アンモニア開発のロードマップ

	2017-2018	2019-2022	2023-2024		2025	2026～
基礎研究 (数値解析)	SIP*参画 NH3:20%	JFE独自研究 NH3:20-90%				
実機開発 商品化			本研究(実機燃焼試験)		NH3 80%検討	
		3気筒試験機 NH3:50%混焼開発	試験機設計・製作 設備準備(NH3等)	開発 試験	実証試験 商品化	受注開始

\*SIP:戦略的イノベーション創造プログラム(内閣府)

### 3. 試験研究概要

#### 3. 1 試験装置・設備

本実証試験においては、図3-1に示す3シリンダ構成、定格出力2,250kW、定格回転数600min<sup>-1</sup>のエンジンを使用した。表3-1に実証試験機の諸元を示す。シリンダ数および定格出力を除く仕様は商用向けエンジンと同一である。また、図3-2に示すアンモニア供給設備は、アンモニアの貯蔵および移送機能を有し、主要構成機器として液化アンモニアポンプ（500kg×5本）、気化器、中和槽、ならびに制御・計測装置で構成されている。本設備のフローを図3-3に示す。液化アンモニアは気化器において約0.7MPaのガス状に相変化した後、エンジンへ供給される。

表3-1 実証試験機仕様

シリンダ径	400 [mm]
ストローク	500 [mm]
シリンダ数	3気筒
回転数	600 [min <sup>-1</sup> ]
出力	2250 [kW]



図3-1 3シリンダ試験機

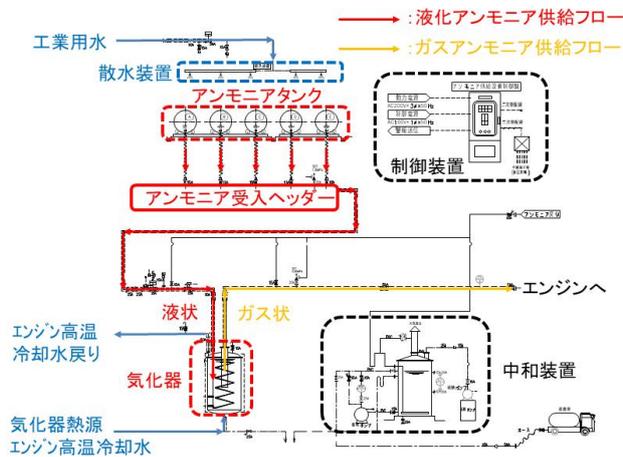


図3-3 アンモニア供給設備フロー図



図3-2 アンモニア供給設備外観

続いて、アンモニア燃焼システムのフローダイアグラムを図3-4に示す。シリンダヘッド直前の給気ポートに設置されたガス弁を介して、アンモニアがガス状で噴霧される。アンモニアは空気と予混合気を形成してシリンダ内に導入され、シリンダ中央に配置された噴射弁から噴霧される燃料油（重油）の火炎により、アンモニアと重油の混合燃焼が実現される。NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、NO<sub>x</sub>等主要排ガス各成分はフーリエ変換赤外分光光度計（FTIR）で計測した。

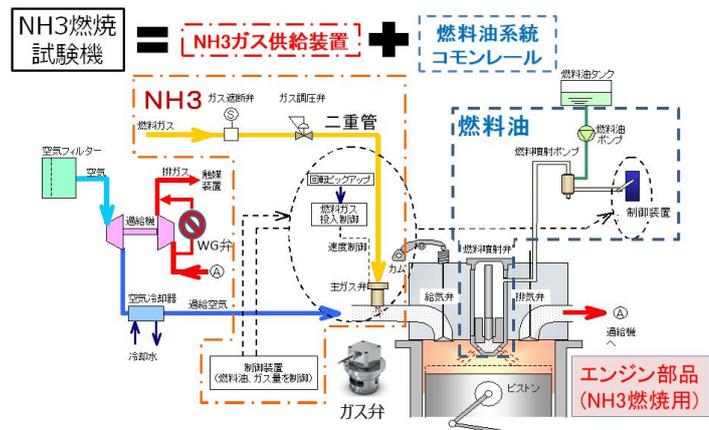


図3-4 アンモニア燃焼システムのフローダイアグラム

### 3. 2 安全対策と腐食対策

表3-2にアンモニア特性上に起因する安全上の課題を示す。アンモニアは毒性があり人体に有害であるため、漏洩防止対策および漏洩発生時時の安全対策が不可欠である。本研究では、安全対策として以下の処置を講じた。毒性に対する安全対策として、①アンモニア燃料配管の二重管構造化②アンモニア漏洩検知システムの導入③漏洩検知時のエンジン自動危急停止機能④漏洩アンモニアのパーズ機能ならびに除害装置を実装した。腐食対策としては、①アンモニア腐食を考慮した耐食性ガス供給弁の採用②表面温度低減を目的とした中空式冷媒入給・排気弁を採用した。さらに、ハンドリング技術として、アンモニアをガス状態で安定的に保持するための温度、圧力制御システムを構築した。加えて、アンモニア漏洩時の避難経路の確保および作業員に対する事前周知と安全教育を徹底することで、包括的な安全管理体制を確立した。

表3-2 アンモニア特性に関連する安全課題と開発対応

特性	課題	開発内容
毒性	安全対策、ハンドリング技術	漏洩対策・漏洩検知、除外化、温度・圧力制御
腐食性	構成機器材料制限	耐腐食性材料の選定、機器開発

### 3. 3 開発目標

表3-3に本研究における開発目標値を示す。本研究では、アンモニア混焼率を10%から段階的に上昇させ、最終的に50%での最適化を目指した。この混焼率は、現状のアンモニア価格、および供給体制を考慮した上で設定した社会実装において現実的な目標値である。また、未燃アンモニアのエンジン出口における濃度を2%以下に

表3-3 開発目標値

評価項目	目標値 (エンジン出口)	目標値 (触媒後)
アンモニア混焼率	50%	
未燃アンモニア率	2%以下	0.1%以下
出力・熱効率	ベースエンジンと同等	
N <sub>2</sub> O	80ppm以下	10ppm以下
NO <sub>x</sub>	900ppm以下	90ppm以下
開発コンセプト	ディーゼルからのレトロフィット可能化	

抑え、アンモニア燃焼率98%以上の達成を目標とした。排ガス成分については、N<sub>2</sub>OおよびNO<sub>x</sub>のエンジン出口濃度をそれぞれ80ppm以下、900ppm（ディーゼルIMO Tier II規制レベル）以下とすることを目標とした。ただしNO<sub>x</sub>濃度をディーゼルと同一レベルに維持しつつ未燃アンモニアとN<sub>2</sub>Oを同時に削減することは技術的に困難であることが予測されるため、最終的には触媒システムによる後処理を導入しこれらの排出物質の同時除去を図る方針とした。触媒出口の未燃アンモニア、N<sub>2</sub>OおよびNO<sub>x</sub>の目標濃度は表3-3に示す。エンジン出力および熱効率に関しては、ベースとなるディーゼルエンジンと同等の性能維持を目標とした。

#### 4. アンモニア燃焼数値解析

実証機の開発試験に先立ち、2017年より計算流体力学に基づく流動・燃焼シミュレーションを実施し、実機試験設計のための定量的指針を導出した。数値解析においては、実機開発ベースエンジンの諸元を採用し、燃焼室、給排気系統、燃料噴射系統の三次元モデルを構築して詳細解析を行った。数値解析の結果、以下の知見が得られた。

- ・空気過剰率 $\lambda$ の低減により燃焼室内高温領域が拡大し未燃アンモニア率が顕著に減少（図4-1）
- ・燃焼室壁面近傍の高温領域に対して、アンモニアを集中的に噴霧する層状混合気形成手法により未燃アンモニア率が大幅に低減（図4-2）

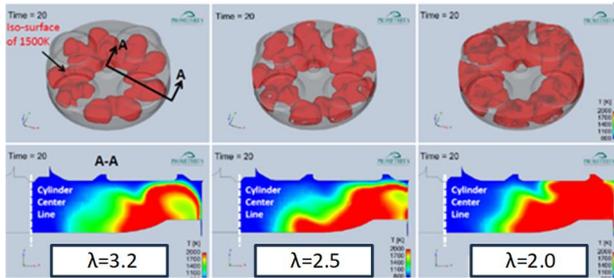


図4-1 空気過剰率 $\lambda$ の燃焼温度への影響

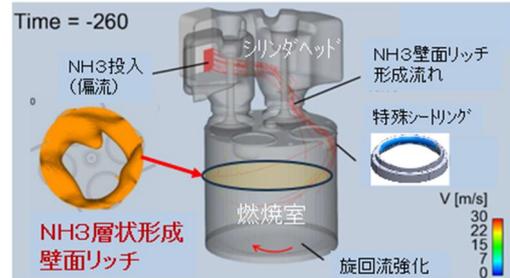


図4-2 アンモニア壁面リッチ形成

- ・燃料油の二段階噴射方式（プレ噴射および主噴射）を導入することにより、プレ噴射燃料が壁面到達後に形成される初期燃焼がアンモニアの着火源として機能し、未燃アンモニア低減に寄与（図4-3/4-4）

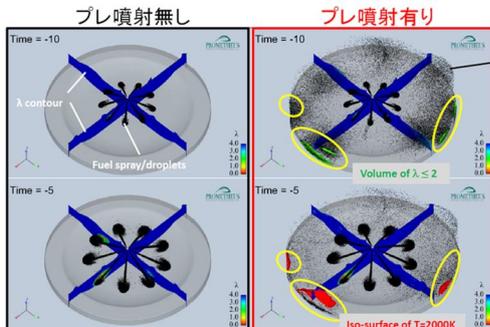


図4-3 プレ噴射の火炎への影響

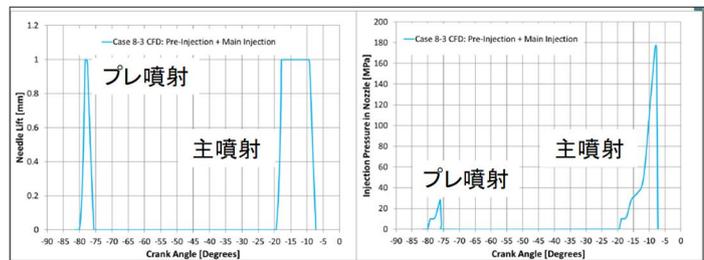


図4-4 燃料油噴射パターン線図

（左図：ニードルリフト、右図：噴射圧力）

これらの数値解析結果に基づき、層状混合気形成（アンモニア壁面リッチ状態の実現）を可能にするアンモニアガス弁装着特殊ブラケット、および偏流形成ノズルの構造設計を行った（図4-5）。本機構により、燃焼温度が相対的に高くなる燃焼室壁面領域にアンモニアを集中させることを可能とした。

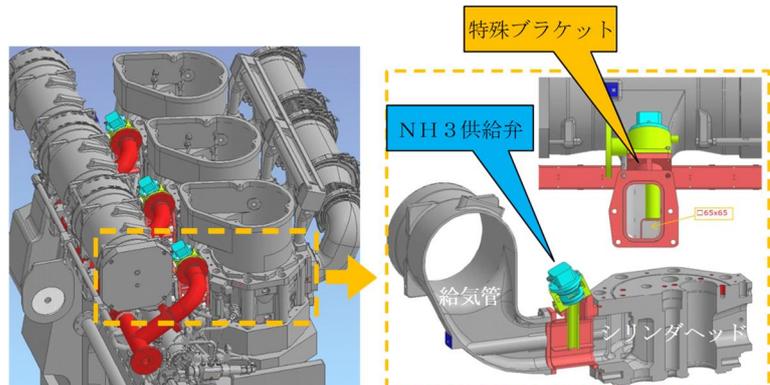


図4-5 特殊ブラケットおよび偏流形成ノズル

## 5. 実証試験

### 5. 1 開発パラメータ

数値解析結果に基づき、図5-1および表5-1に示すパラメータをマトリックス的に変化させ、実証試験で最適値の絞り込みを行った。空気過剰率 $\lambda$ は、排ガス過給機入口から過給機出口へのバイパス弁開度を精密に調節することで過給機回転数を制御し供給空気量を調整することにより変更した。アンモニア燃料の排気ガス中へのリークを防止するため、アンモニアの投入時期を最適化した。燃料油の二段噴射に関しては、プレ噴射と主噴射それぞれについて噴射量および噴射時期を個別に変数として調整し、アンモニア投入量に対する燃焼効率の最大化を実現するパラメータの組み合わせを探索した。

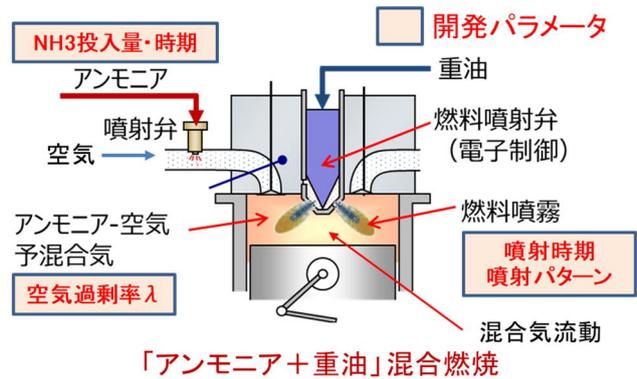


図5-1 アンモニア混焼の開発パラメータ

燃焼効率の最大化を実現するパラメータの組み合わせを探索した。

表5-1 開発パラメータとアンモニア混焼への影響度

パラメータ	内容	目的
空気過剰率 $\lambda$	リッチ燃焼	燃焼場をより高温化
給気温度	高温化	燃焼場をより高温化
アンモニア投入量・時期	最適時期	最適層状度の形成、アンモニアリーク量の削減
燃料油噴射時期	進角・遅角	最適な噴霧時期によりアンモニア燃焼率向上
燃料油二段噴射	プレ+主噴射	プレ噴射により早期燃焼、未燃アンモニアの低減

### 5. 2 各開発パラメータによる影響度

#### 5. 2. 1 空気過剰率 $\lambda$ の影響

排気バイパス弁の開度を調節し、空気過剰率の変化が未燃アンモニア率に及ぼす影響を検証した。図5-2に空気過剰率 $\lambda = 2.57$ を基準として $\lambda = 2.02$ まで低減させた際の、エンジン出口における排ガス中 $\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}_x$ 濃度の変化量を示す。試験条件としては、給気温度 $45^\circ\text{C}$ とし、燃料油およびアンモニア投入量・時期は一定、燃料油の二段噴射は実施していない。結果として、空気過剰率の低減に伴いシリンダ内の燃焼温度が上昇することにより、 $\text{N}_2\text{O}$ および $\text{NH}_3$ の排出濃度が減少する一方で、 $\text{NO}_x$ 排出量の増加が確認された。これらの結果から空気過剰率の精密な制御により $\text{N}_2\text{O}$ および $\text{NH}_3$ 排出を最小化させ、増加傾向を示す $\text{NO}_x$ 排出に関しては、適切な触媒システムの導入により規制値を満足するレベルまで低減させる必要性が確認された。

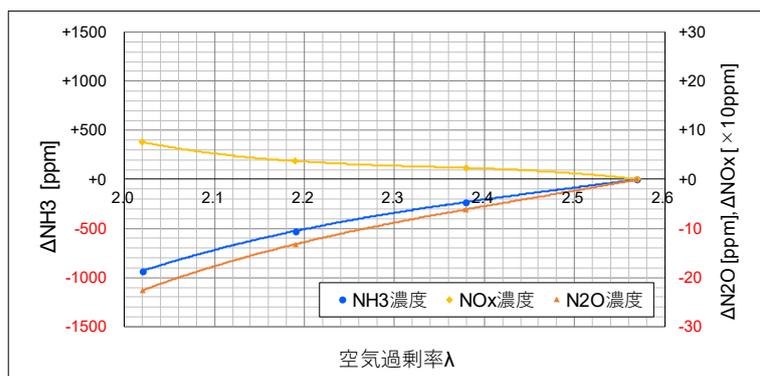


図5-2 空気過剰率の変化による排ガス中の各成分濃度変化量

## 5. 2. 2 燃料油噴射パターンの影響

燃料油の二段噴射がアンモニア燃焼における未燃アンモニア排出に与える影響について検証した。図5-3は燃料油の全噴霧量に対するプレ噴射割合を0%を基準として28%まで変化させた場合のエンジン出口における排ガス濃度に及ぼす影響を示している。試験条件として、給気温度45℃を設定し、アンモニア投入量・時期、および燃料油の主噴射およびプレ噴射時期を一定に保持した。試験結果から、二段階噴射方式の適用により、未燃アンモニアの顕著な減少が確認された。この現象は数値解析結果と整合しており、プレ噴射された燃料が壁面到達後に形成する初期燃焼が主噴射による燃焼より前にアンモニアの着火源として機能することで、未燃アンモニア低減に寄与したと推察される。一方で、NO<sub>x</sub>排出量については二段噴射適用により増加傾向が確認された。N<sub>2</sub>O排出特性に関しては、プレ噴射割合が低い領域では増加傾向を示したものの、噴霧割合が全噴射量の約25%を超える条件では単段噴射と比較して排出量の低減が認められた。なお、N<sub>2</sub>Oの低減量はエンジン負荷率、アンモニア混焼率、およびアンモニア・燃料油の噴射時期が複合的に作用するため、最適なプレ噴射割合は運転条件で異なるが、図5-3に示す傾向が基本特性として確認された。

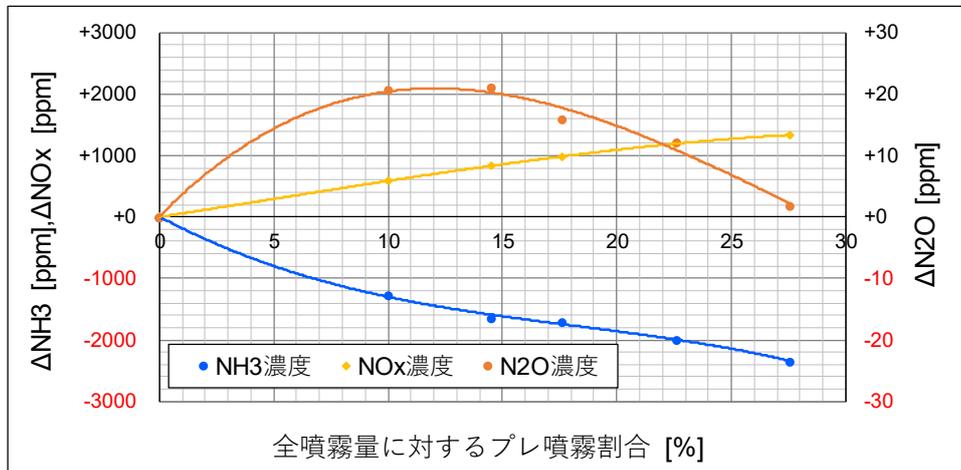


図5-3 燃料油の全噴霧量に対するプレ噴射割合による排ガス中の各成分濃度変化量

## 5. 3 触媒システムの性能

本研究では図5-4に示すような酸化触媒と還元触媒を2層構造で直列配置し、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、NO<sub>x</sub>を酸化・還元プロセスにより同時除去するシステムを採用した。実証試験を通じて、本触媒システムにおける排ガス温度と各排ガス成分除去率の相関関係を評価した(図5-5参照)。NH<sub>3</sub>濃度およびNO<sub>x</sub>濃度については、排ガス温度に依存せず99%以上の高い除去率が達成された。一方、

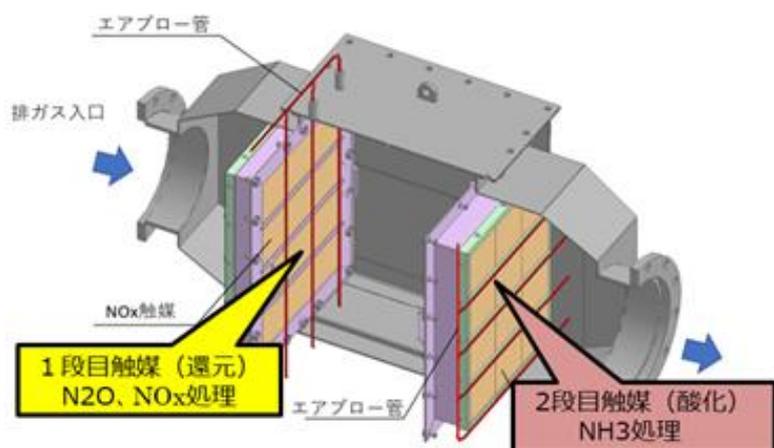


図5-4 触媒システム概略図

N<sub>2</sub>O濃度の除去率は排ガス温度に顕著に依存し、380℃以下では触媒活性がほぼ認められなかった。

排ガス温度が430℃を超えると除去率は80%以上に向上し、最大で約90%の除去が確認された。これらの結果から、排ガス温度を430℃以上に制御することにより、高い温室効果係数を有するN<sub>2</sub>O排出量を効果的に低減できることが明らかになった。

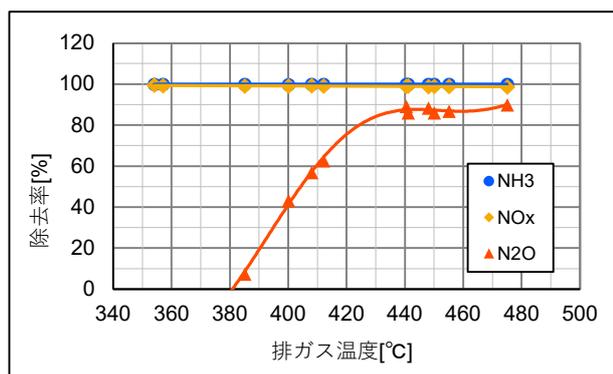


図5-5 排ガス温度—各排ガス成分除去率 相関図

#### 5.4 試験結果概要

表5-2に実証試験結果の概要を示す。アンモニア混焼率は目標としていた50%を達成した。アンモニア混焼率50%の条件下においては、エンジン最大負荷率はディーゼル定格出力の85%であり、これよりディーゼルをベースとしたLNGを主燃料とする二元燃料・デュアルフューエル（DF）エンジンと同等の負荷率で運転可能であることが実証された。排ガス成分に関しては、触媒システムの適用により目標値を上回る性能が得られた。さらに、軸端効率に関してはディーゼル運転時と比較して同等以上（+1.6% p t）の効率が達成された。

表5-2 実証試験結果

項目	目標	目標	結果		評価
	(エンジン出口)	(触媒後)	(エンジン出口)	(触媒後)	
アンモニア混焼率 %	50		50		○
最大負荷率%(ディーゼル比)	100		85		△ (DF 同等)
未燃アンモニア率 %	2	0.1	5	0.02	○ (触媒後)
排ガスNH <sub>3</sub> 濃度 ppm	1500	24	3800	4	○ (触媒後)
排ガスNO <sub>x</sub> 濃度 ppm	900	90	2400	25	○ (触媒後)
排ガスN <sub>2</sub> O濃度 ppm	80	10	22	5	○
軸端効率 %	ディーゼル時と同等		ディーゼル比+1.6		○

※1：混焼率は低位発熱量ベースで計算（A重油：42.705 [MJ/kg]、アンモニア18.6 [MJ/kg]）

#### 5.5 エンジン部品の検査

アンモニアは銅、銅合金、および各種ゴム材料に対して腐食性を有することが知られている。このため、純アンモニアガスと接触する構成部品についてはアンモニア適合材料への置換が必要となる。さらに、高温下におけるアンモニアガスは材料の窒化現象を引き起こす可能性がある。本研究では、ディーゼルモードにおいて約130時間、アンモニアモードにおいて約100時間、計約230時間の

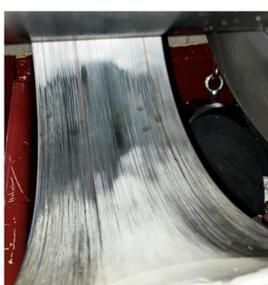


図5-6 主軸受メタル

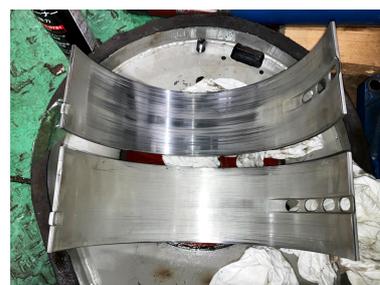


図5-7 クランクピンメタル

ディーゼルモードにおいて約130時間、アンモニアモードにおいて約100時間、計約230時間の

実証運転後に材料評価を実施した。評価対象機器として、シリンダヘッド、シリンダライナ、ピストン、ピストンリング、ピストンメタル、クランクピンメタル、主軸受メタル、給・排気弁、過給機、アンモニアガス弁、給気マニホールド、排気管、触媒装置を選定した。図5-6、5-7に示すとおり、主軸受メタルおよびクランクピンメタルの目視検査の結果、腐食損傷、異常摩耗は観察されなかつ

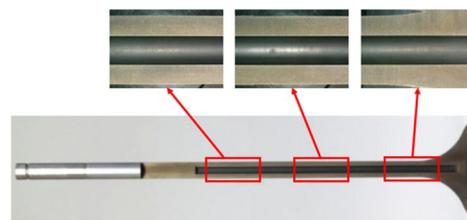


図5-8 中空式排気弁切断面

た。中空式排気弁については弁を切断し内部の確認を実施した（図5-8参照）。傘部および内部壁面に異常はなく、窒化の兆候も確認されなかった。これより採用部品アンモニア耐久の妥当性が得られた。ただし、本検証における運転時間は比較的短期間であるため、長期的な材料適合性の評価については、今後のフィールドテストにおいてさらなる調査を要する。

## 6. CO<sub>2</sub>削減効果

アンモニア混焼率50%におけるCO<sub>2</sub>削減効果について、単年度、および20年間にわたる定量的評価を実施した。評価対象は内航船フェリーを選定し、年間運転時間4000時間、エンジン常用出力10,200kW（エンジン負荷率85%）/基、エンジン台数2基/船の条件下で試算した。A重油の排出原単位は2.71t-CO<sub>2</sub>/kLを適用した。図6-1はN<sub>2</sub>OのGHG削減に対する阻害影響度を示している。本図より、アンモニア混焼率50%においてN<sub>2</sub>O排出濃度が5ppmの条件下ではGHG削減率は48%となる。表6-1にアンモニア混焼率50%時のCO<sub>2</sub>排出量および削減量を示す。アンモニア混焼率50%で20年間運用した場合、約44万トンのCO<sub>2</sub>を削減できる試算結果となった。

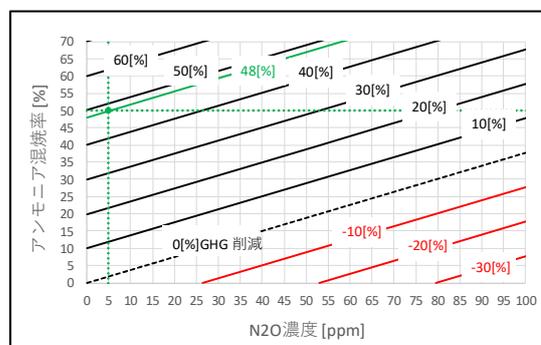


図6-1 N<sub>2</sub>OのGHG削減阻害影響度

アンモニア混焼率50%で20年間運用した場合、約44万トンのCO<sub>2</sub>を削減できる試算結果となった。

表6-1 アンモニア混焼率50%時のCO<sub>2</sub>削減効果

項目	従来ディーゼル機	アンモニア混焼機
A重油消費量 kL/h	4.21	2.07
アンモニア消費量 kg/h	0	4,139
CO <sub>2</sub> 排出量（単年）万t	4.56	2.25
CO <sub>2</sub> 削減量（単年）万t （従来機-アンモニア混焼機）	0 （ベース）	▲2.31
CO <sub>2</sub> 削減量（単年/N <sub>2</sub> O阻害影響度試算）万t （従来機-アンモニア混焼機）	0 （ベース）	▲2.22
CO <sub>2</sub> 排出量（20年間）万t	91.18	44.92
CO <sub>2</sub> 削減量（20年間）万t （従来機-アンモニア混焼機）	0 （ベース）	▲46.26
CO <sub>2</sub> 削減量（単年/N <sub>2</sub> O阻害影響度試算）万t （従来機-アンモニア混焼機）	0 （ベース）	▲44.41

## 7. 結論

本研究では、カーボンニュートラル実現に向けた代替燃料としてのアンモニア燃料の実用化を目指し、先行して実施した燃焼数値解析の知見を基盤として、アンモニア直接燃焼エンジンの実証試験を実施した。その結果、以下の成果を得ることができた。

(1) 実証試験において、空気過剰率、給気温度、アンモニア投入量・時期、燃料油噴射時期、燃料油二段噴射などのパラメータを最適化し、目標としていたアンモニア混焼率50%を達成した。また、エンジン最大負荷率ディーゼル比85%を実現し、これはデュアルフューエル（DF）エンジンと同等の運転性能を実現している。

(2) 触媒システムの適用により、 $\text{NH}_3$ 濃度と $\text{NO}_x$ 濃度は排ガス温度に依存せず99%以上の除去率を達成した。一方、 $\text{N}_2\text{O}$ 濃度の除去率は排ガス温度に依存し、430℃以上で80%以上の除去率を示した。これにより、触媒後の排ガス成分濃度はすべて目標値を上回る性能を達成した。

(3) 約230時間（うちアンモニア混焼モード100時間）の運転後の材料評価では、シリンダヘッド、シリンダライナ、ピストン、各種メタル、給排気弁の各部品において、腐食損傷、異常摩耗、窒化の兆候は確認されなかった。ただし、長期的な材料適合性評価については、今後のフィールドテストでさらなる検証が必要である。

(4) 実用面では、アンモニア混焼率50%で10MW x 2基搭載した内航船フェリーを20年間運用した場合、約44万トンの $\text{CO}_2$ 削減効果が見込まれることが試算された。

本研究の成果により、アンモニア混焼エンジンの適用可能性が実証され、カーボンニュートラル実現に向けた技術基盤が確立されたといえる。今後は、アンモニア混焼率のさらなる向上や、ディーゼルエンジンからアンモニア混焼エンジンへのレトロフィット実装など、実用化に向けた取り組みを進めていく。

## 8. 知的財産権取得状況

特許出願 9件

<国内特許：日本国>

- ・特許第 6702475 号、清水 明、ディーゼルエンジン（アンモニア直接燃焼）  
2020 年 5 月登録、2019 年 3 月出願
- ・特許第 7160226 号、清水 明、ディーゼルエンジン（アンモニア直接燃焼）  
2022 年 10 月登録、2022 年 1 月出願
- ・特許第 7331784 号、清水 明、ディーゼルエンジン（アンモニア直接燃焼）  
2023 年 8 月登録、2020 年 6 月出願

<国際特許>

PCT/JP2019/009315 国際特許、清水 明、ディーゼルエンジン（アンモニア直接燃焼）  
(2019 年 3 月出願、2021 年 5 月審査請求)

- ・登録 ZL201980093495.8 (2023 年 5 月登録、中華人民共和国)
- ・登録 10-2548535 (2022 年 12 月：大韓民国)
- ・登録 EP3936713 B1 (2024 年 9 月 EU)
- ・登録 602019063820.5 (2024 年 12 月ドイツ)
- ・登録 3936713 (2024 年 12 月フランス)
- ・登録 3936713 (2024 年 12 月イギリス)
- ・登録 3936713 (2024 年 12 月イタリア)

PCT/JP2022/001944 国際特許、清水 明、ディーゼルエンジン（アンモニア直接燃焼）  
(2022 年 1 月出願、2022 年 12 月審査請求)

- ・登録 10-2548535 (2023 年 6 月：大韓民国)
- ・登録 ZL202280006462.7 (2024 年 3 月：中華人民共和国)
- ・公開 EP4253748 (2023 年 10 月：EU)  
2024 年 9 月審査通過 2025 年 3 月登録予定

## 9. 研究成果発表実績

### 1) 論文発表

国内 3件、海外 1件

[1] 船用ディーゼル機関へのアンモニア燃焼の適用に関する基礎研究

筆者：仁木洋一、清水 明、他（海上技術安全研究所、J F Eエンジニアリング共著）  
日本燃焼学会誌、第 61 巻 198 号(2019 年) 313-319P

[2] Fundamental Study Application of Ammonia as a Fuel to Marine Diesel Engines

筆者：仁木洋一、清水 明、他（海上技術安全研究所、J F Eエンジニアリング共著）  
CO2 Free Ammonia as Energy carrier, Springer Nature 書籍（2022 年）549-564P

[3] 船用ディーゼルエンジンおよび蒸気タービンへのアンモニア直接燃焼技術の適用に関する検討

筆者：清水 明（J F Eエンジニアリング）

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）内閣府 アンモニア直接燃焼報告書（2022 年）

[4] アンモニア燃料適用デュアルフェーズエンジンの研究開発

筆者：清水 明（J F Eエンジニアリング）

日本燃焼学会誌、第 66 巻 216 号(2024 年) 100-106P

### 2) その他（研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等）

- ・アンモニア直接燃焼技術（船舶ディーゼルエンジンへの適用）

筆者：清水 明（J F Eエンジニアリング）

経団連「チャレンジ・ゼロ」HP発表（2021 年）

## 10. 参考文献

- ・船用ディーゼルエンジンへのアンモニア燃料利用に関する実験的検討

筆者：仁木洋一（海上技術安全研究所）

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）内閣府 アンモニア直接燃焼報告書（2022 年）

- ・IMO 海洋公害規制に対応した船用デュアルフェーズエンジン

筆者：清水 明、他（J F Eエンジニアリング）

日本燃焼学会誌、第 59 巻 190 号(2017 年) 19-29P

- ・4 ストローク機関におけるアンモニア燃焼

筆者：仁木洋一、他（海上技術安全研究所）

日本マリンエンジニアリング学会誌、vol155, Ni. 6,（2020 年）70-76P