



# 第24回 海上技術安全研究所講演会



## 船舶分野における代替燃料利用技術

令和6年12月6日

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 環境・動力系

動力システム研究グループ長 仁木 洋一

1. はじめに
2. 代替燃料について
3. 海技研が取り組む代替燃料利用の技術課題
4. 海技研の代替燃料関連の研究
  - ドロップイン燃料に関する取り組み
  - 水素燃料に関する取り組み
  - アンモニア燃料に関する取り組み
5. まとめ

- 内航海運は、船員の減少・高齢化、老齢船の増加といった状況の中、省力化や輸送の効率化に取り組んできている。
- 今後、CO<sub>2</sub>排出量の少ない船舶へのモーダルシフトや輸送量増加も見込まれる中で、さらなる効率化と環境対策（海洋環境保護・大気汚染防止・カーボンニュートラル）が求められている。

## 内航海運からのCO<sub>2</sub>排出削減目標

1) 2021年10月改訂、地球温暖化対策計画

2030年のCO<sub>2</sub>排出削減目標は、2013年度比で181万トン（約17%）削減<sup>1)</sup>

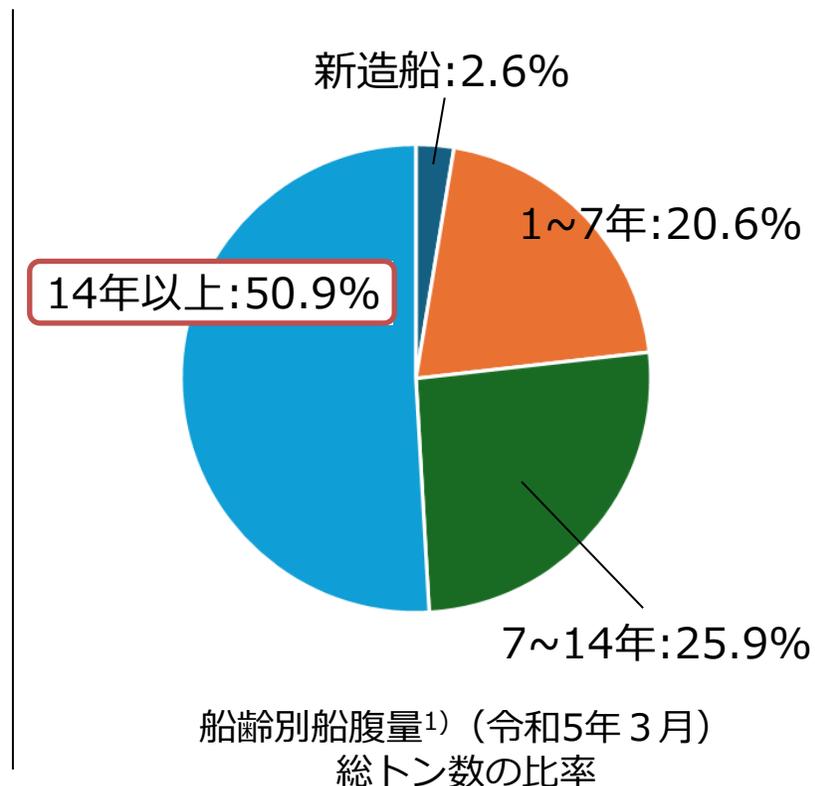
2050年の我が国のカーボンニュートラルに貢献する

## ● 内航船の構成など

1) 日本内航海運組合総連合会、内航海運安定基金 内航船の活動令和5年度版

船型別構成<sup>1)</sup>(令和5年3月)

	隻数	構成比 [%]	総トン数	構成比 [%]	
~19総トン	1,174	22.5	17,599	0.4	4st高速 4st低中速 2st低速
20~99総トン	292	5.6	21,105	0.5	
100~199総トン	637	12.2	108,001	2.3	
200~299総トン	381	7.3	99,766	2.1	
300~399総トン	220	4.2	76,164	1.6	
400~499総トン	1,086	20.8	532,664	11.5	
500~699総トン	212	4.1	128,842	2.8	
700~999総トン	528	10.1	430,588	9.3	
1000~1999総トン	203	3.9	295,399	6.4	
2000~2999総トン	87	1.7	220,877	4.7	
3000~4499総トン	207	4	769,660	16.5	
4500~6499総トン	63	1.2	329,490	7.1	
6500総トン~	123	2.4	1,621,561	34.9	



□ 内航船が使用しているエンジンは様々（高速から2st低速まで）

□ 船齢が14年以上の老齢船が過半数（総トン数：50.9%、隻数：68.8%）

## ● さらなる低・脱炭素化に向けて<sup>1)</sup>

1) 日本海事広報協会 日本の海運 SHIPPING NOW 2024-2025を参考に作成

### 低・脱炭素船の開発・普及

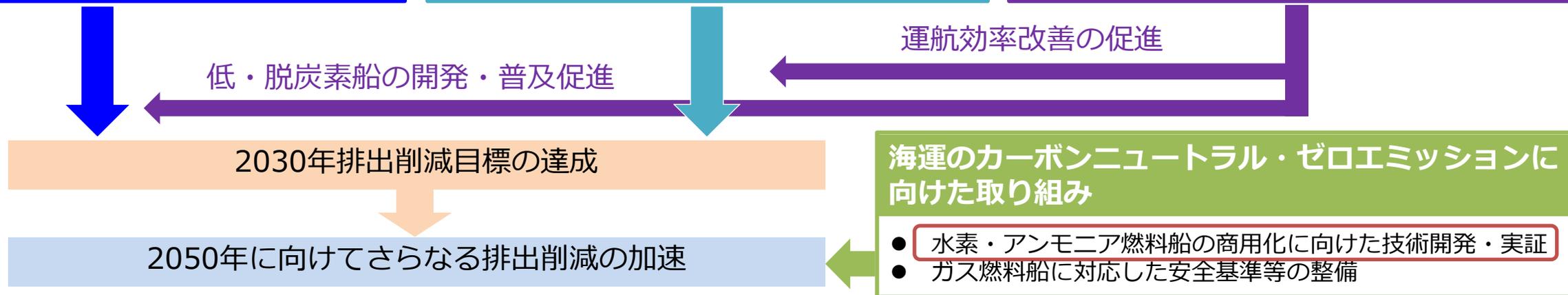
- 荷主等とも連携することで現在の省エネ船を超える省エネ性能を有する**連携型省エネ船の開発**
- 連携型省エネ船、LNG燃料船、燃料電池船等の**低・脱炭素化船の普及促進**
- 低・脱炭素化船の**導入環境整備**

### 運行効率の一層の改革

- ウェザールーティングの活用や荷主と連携した**運行改善の取り組みを展開・推進**
- 陸電の活用等による停泊中の排出削減を推進（カーボンニュートラルポート施策と連携）

### 省エネ・省CO<sub>2</sub>の「見える化」の推進

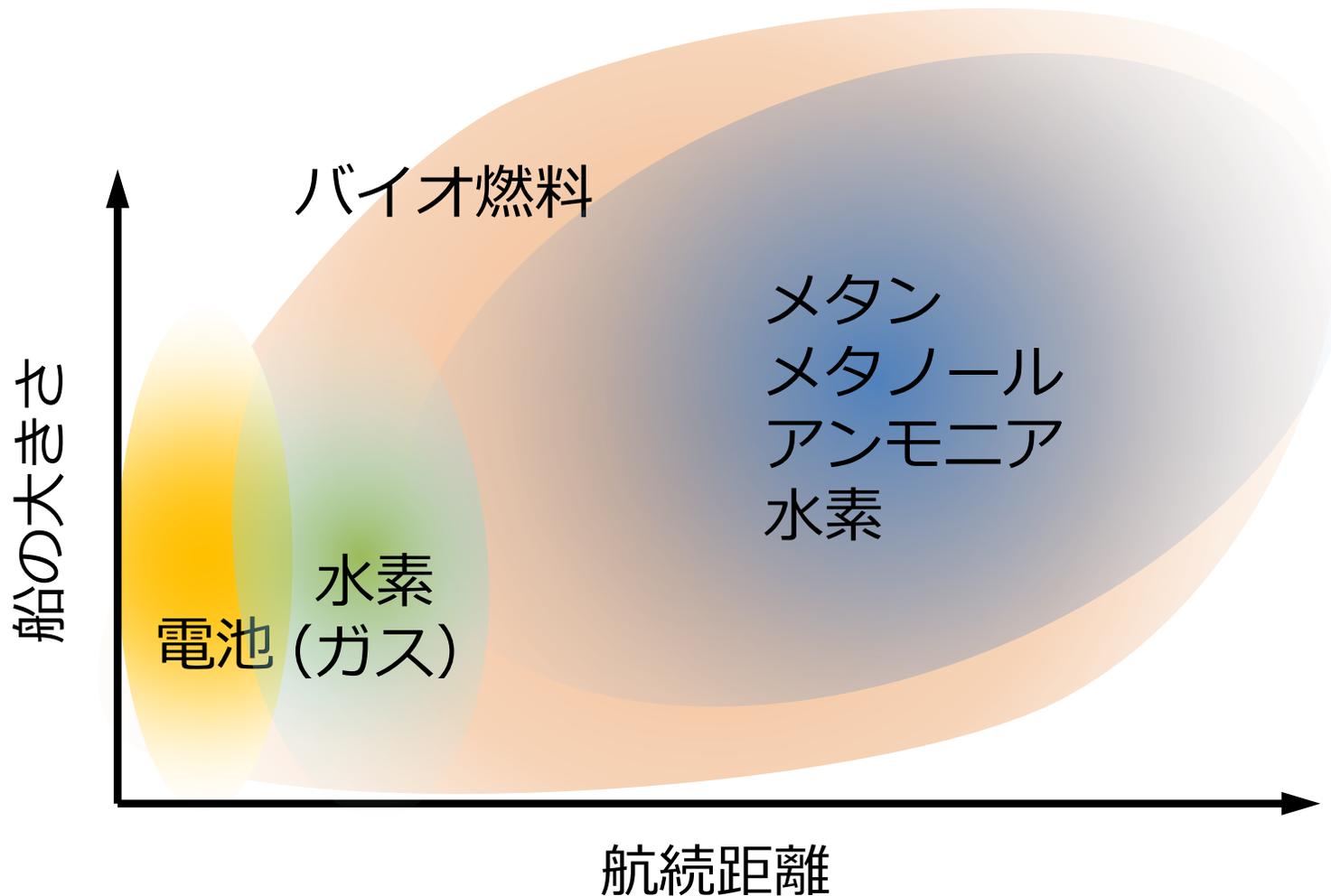
- 船舶の**燃費性能**や運行時のCO<sub>2</sub>排出量等を「見える化」することで、荷主、オペ・船主等が、省エネ・省CO<sub>2</sub>化の取り組みを導入
- モーダルシフトによる排出削減効果の「見える化」を推進



□ 様々なエンジン形式への対応、既存船に適用できる対策が必要

□ 将来的に水素・アンモニア燃料利用の可能性

## ● 代替燃料適用のイメージ



- 小型・短距離  
電池、水素燃料電池による  
電気推進
- 中型  
電気・エンジンハイブリッド
- 大型  
メタン、メタノール、  
アンモニア、水素
- バイオ燃料  
既存のシステムで使用可  
(ドロップイン燃料)

# 代替燃料について



\* 海技研で入手したもの

		A重油*	LSC重油*	バイオ (FAME)	メタン	メタノール	アンモニア	水素
化学式					CH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> OH	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>
液体密度 (温度)	kg/m <sup>3</sup> (°C)	866 (15)	922 (15)	865 (15)	426 (-164)	796 (15)	681 (-33)	71 (-253)
低位発熱量	MJ/kg	42.8	42.0	37.3	50.0	19.9	18.6	120.0
低位発熱量 (液の体積当たり)	GJ/m <sup>3</sup>	37.0	38.7	32.3	21.3	15.9	12.7	8.5
沸点 (大気圧下)	°C	-	-	-	-164	65	-33	-253
自己着火温度	°C	-	-	-	640	460	651	520
燃烧速度	cm/s	-	-	-	40	56	7	312
備考						有毒	有毒	

## □ 安全、安心に使用する技術

所内設備を用いた試験から得られた知見を利用した取り扱いガイドラインの策定、リスク解析、技術支援

## □ 正常に燃焼させる技術

実機エンジンや燃焼試験装置を使用した燃料の性質に合わせた燃焼方法や制御の開発、未燃分の排出低減方法の開発

## □ 大気汚染物質を生成させない技術

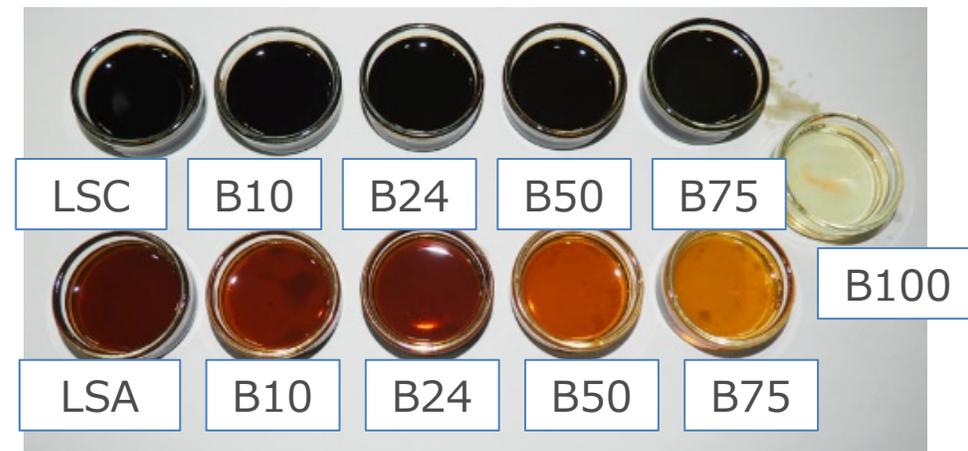
実機エンジンや燃焼試験装置を使用した排出低減方法の開発と共に、分析装置を利用した排出実態の調査

NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）、PM（粒子状物質）、N<sub>2</sub>O（亜酸化窒素）など

## ● バイオ燃料

既存のエンジンで既存の燃料と混合して使用することが想定される。

- ❑ 様々な原料や種類がある（次スライド）。
- ❑ 混合時の安定性が不明である。
- ❑ 長期間の保存によって、変質する恐れがある。
- ❑ ゴム材料への影響がある。
- ❑ 燃焼についての特性が異なる。



バイオ燃料とA・C重油の混合例

国土交通省「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン」<sup>1)</sup>の策定・改訂に協力した。

1) <https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001734910.pdf>



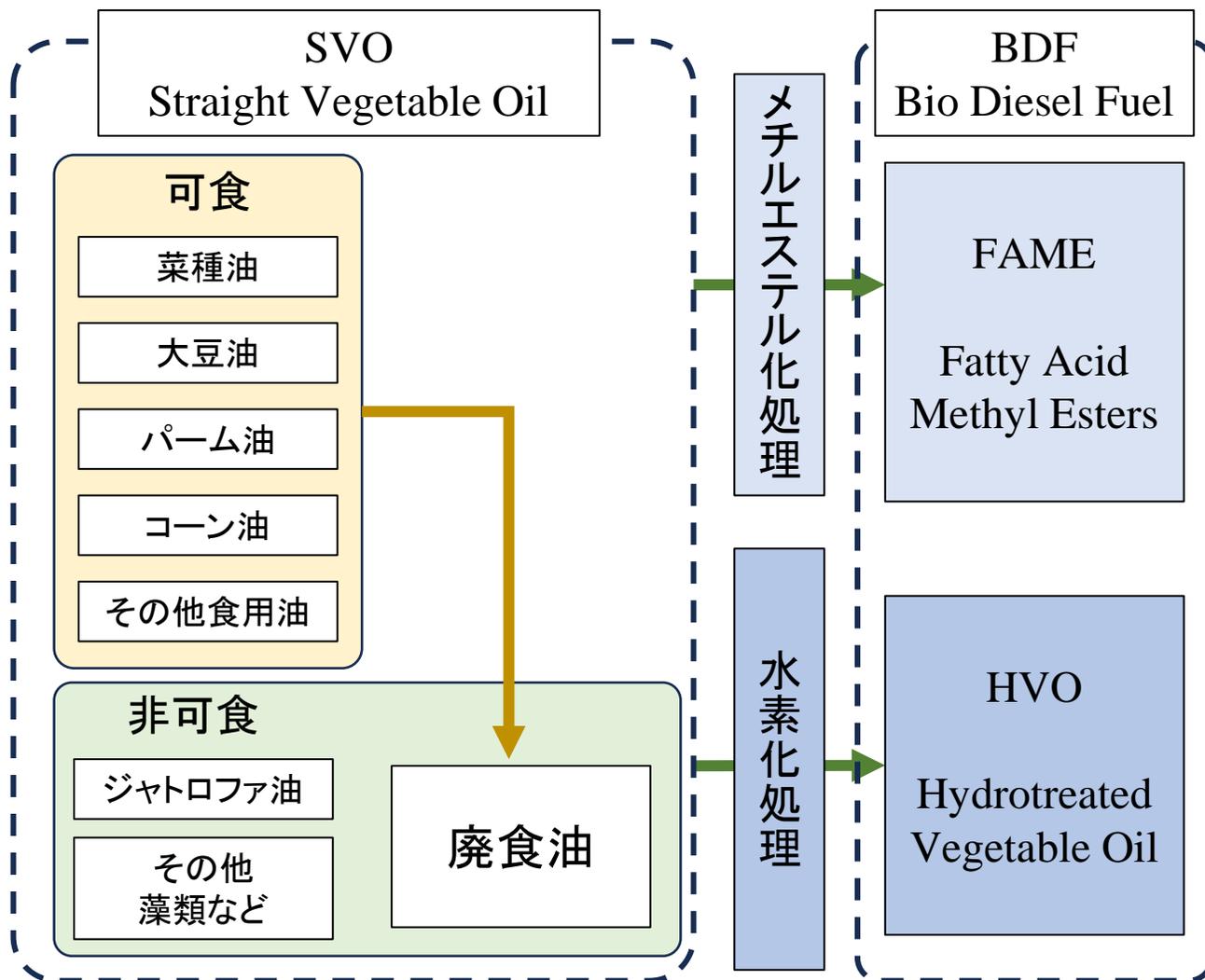
着火性計測用実験装置



ディーゼルエンジン  
(420rpm, 257kW)

- ✓ 使用したバイオ燃料によって、陸上試験・実船試験共に大きな問題は生じなかった。
- ✓ 様々な種類のバイオ燃料があるので、注意が必要であり、使用する燃料の特性を把握することが重要

# 重油+バイオ燃料の混合燃料



船用利用が想定されているバイオ燃料



SVO



FAME



HVO

バイオ燃料の外観例

- 混合安定性試験
- 動粘度及び密度の計測
- 酸化劣化試験
- 金属腐食試験
- ゴム材料の浸漬試験
- 定容燃焼試験
- 実機試験

## ● 使用できる燃料を増やしたい

エタノールやメタノールを、既存の燃料と混合して（ドロップイン燃料）利用することで、既存のエンジンでのGHG削減が可能である。

エタノール：バイオエタノール、ガソリン混合燃料として既に利用

メタノール：将来的にカーボンニュートラルが可能

□ 部品への影響や潤滑性

□ 着火性が悪い（セタン価：0）

□ 油と混合しない

メタノール燃料エンジン<sup>1)</sup>

メタノール内航燃料船  
2024年進水<sup>2)</sup>

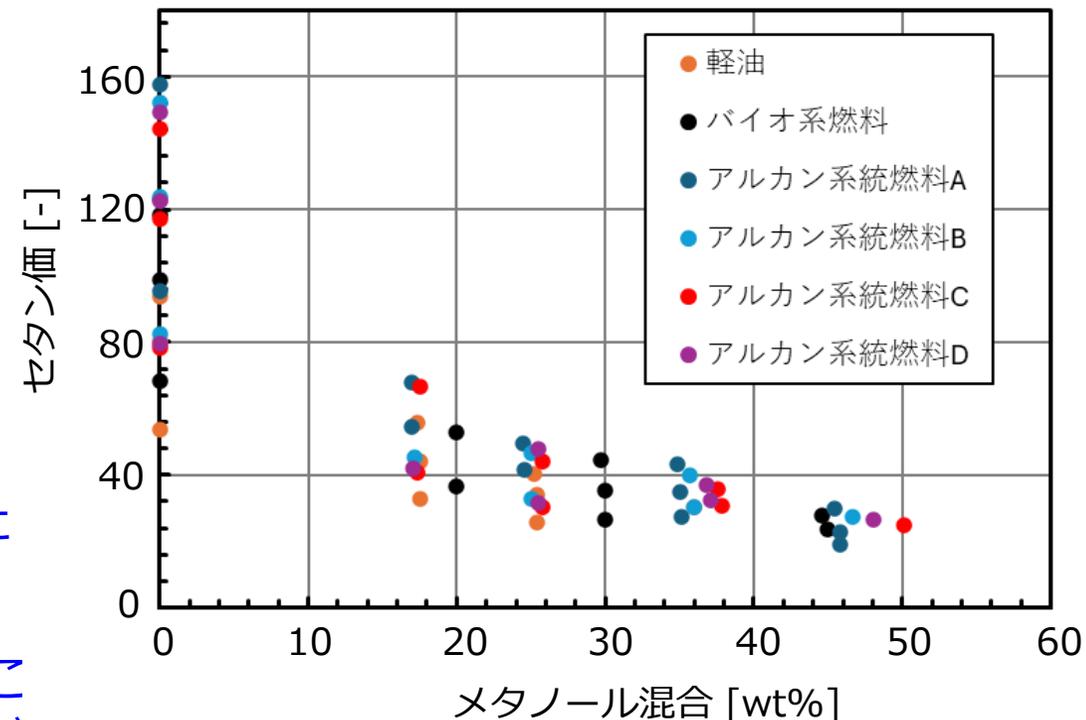
1) [https://www.hanshin-dw.co.jp/product/4stroke/methanol\\_engine/](https://www.hanshin-dw.co.jp/product/4stroke/methanol_engine/)

2) <https://www.mol.co.jp/info/article/2024/0704.html>

## ● どの程度混合できるのか？

- 添加剤を利用し混合状態を確認した。
- 燃焼試験装置を利用して、エタノール/メタノールと燃料中の成分（種々の炭化水素）を混合して、着火性（セタン価）の変化を調べた。

- 添加剤により混合が可能である。
- 種々の炭化水素に対して、セタン価:35を維持するための混合率を明らかにした。
- 燃料中の成分が着火性に与える影響を明らかにすることで、様々な燃料に対して、混合時の着火性の予測ができる技術を開発する。



## ● 水素燃料電池

水素燃料電池船実証試験艇  
2021年<sup>1)</sup>

1) <https://www.yanmar.com/jp/about/ymedia/article/fuel-cell.html>

水素燃料電池、バッテリー、  
バイオディーゼルハイブリッド旅客船  
2024年<sup>2)</sup>

2) <https://www.mol.co.jp/pr/2024/24053.html>

水素燃料電池船  
2025年<sup>3)</sup>

3) <https://www.iwatani.co.jp/jpn/hydrogenfuelcellship/>

## ● 水素エンジン

水素混焼エンジン搭載小型旅客船  
2021年<sup>4)</sup>

4) <http://news.tsuneishi-fc.com/2021/07/12/>

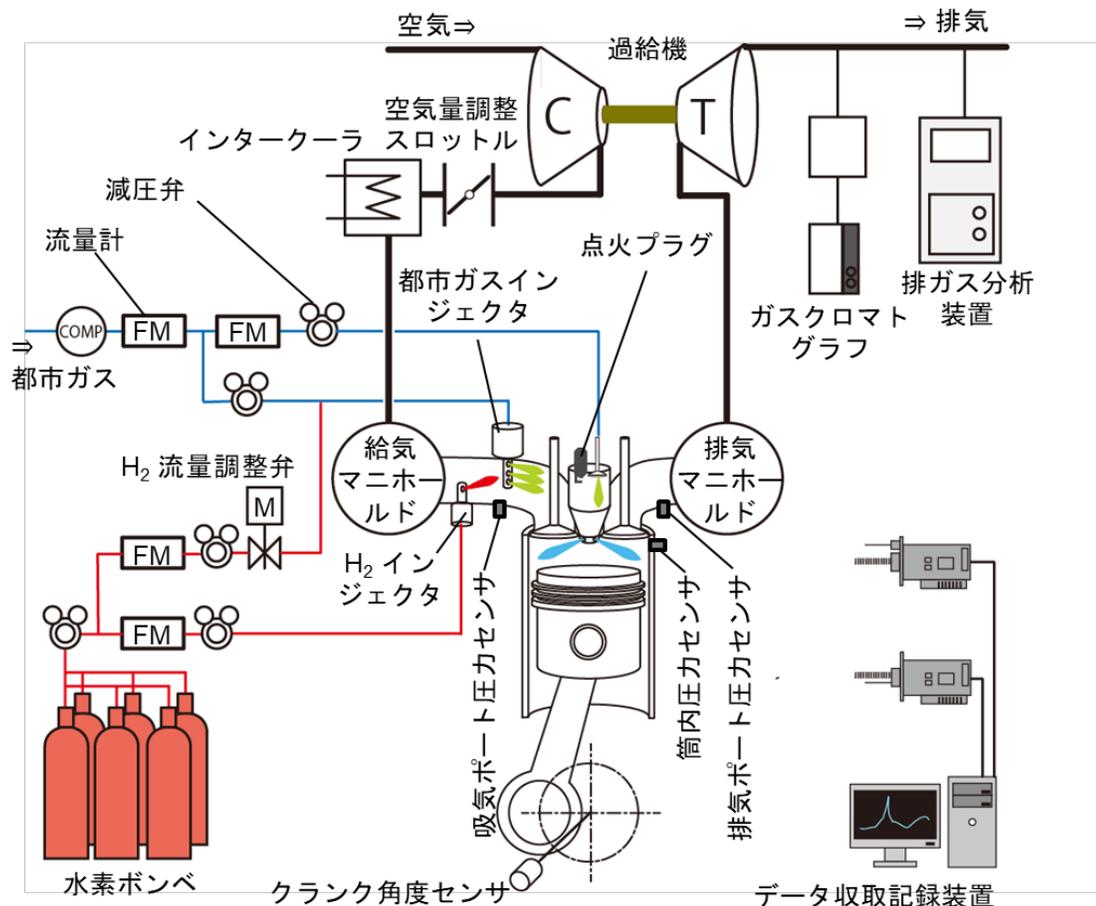
舶用水素4stエンジン・水素エンジン対応大  
型内航タンカー 2026年実証運航<sup>5)</sup>

5) <https://www.nippon-foundation.or.jp/what/projects/zeroemission2050>

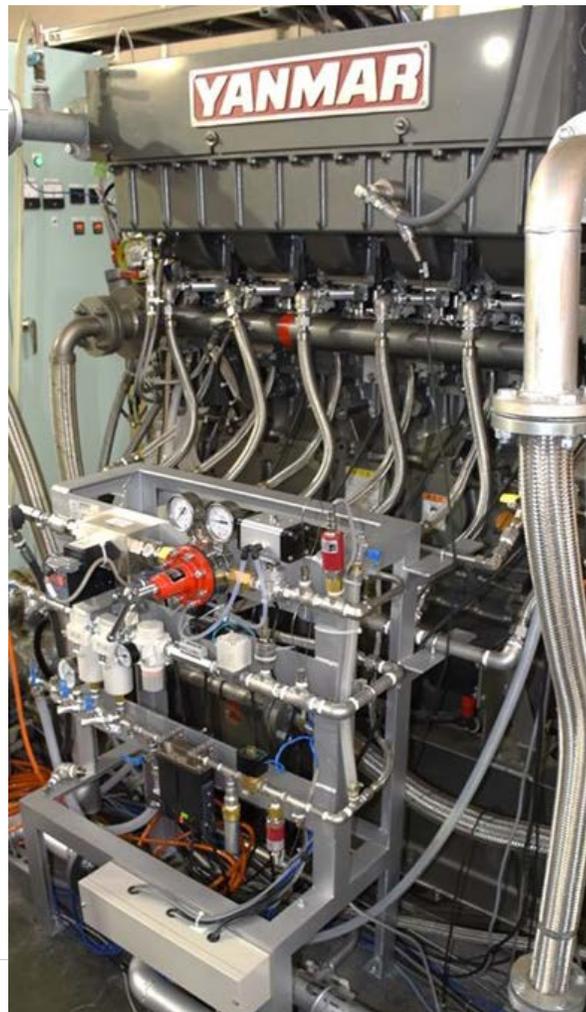
- ✓ 小型船舶での燃料電池を用いた水素利用の他エンジンでの燃焼利用もある。
- ✓ エンジンでは、水素混焼利用の他、専焼エンジンの開発も進んでいる。

□ 海技研では、水素専焼エンジンの開発に取り組んでいる。

## ● 水素をエンジンで使用するには？



水素供給システムと試験装置の概要



水素供給システム設置の様子

- ✓ 火花点火式のエンジンの場合、水素と空気を混合してエンジンに供給している。

### 異常燃焼

- ✓ 予期しないタイミングで燃焼する場合がある。
- ✓ 水素と空気が燃焼室内以外で燃える場合がある。

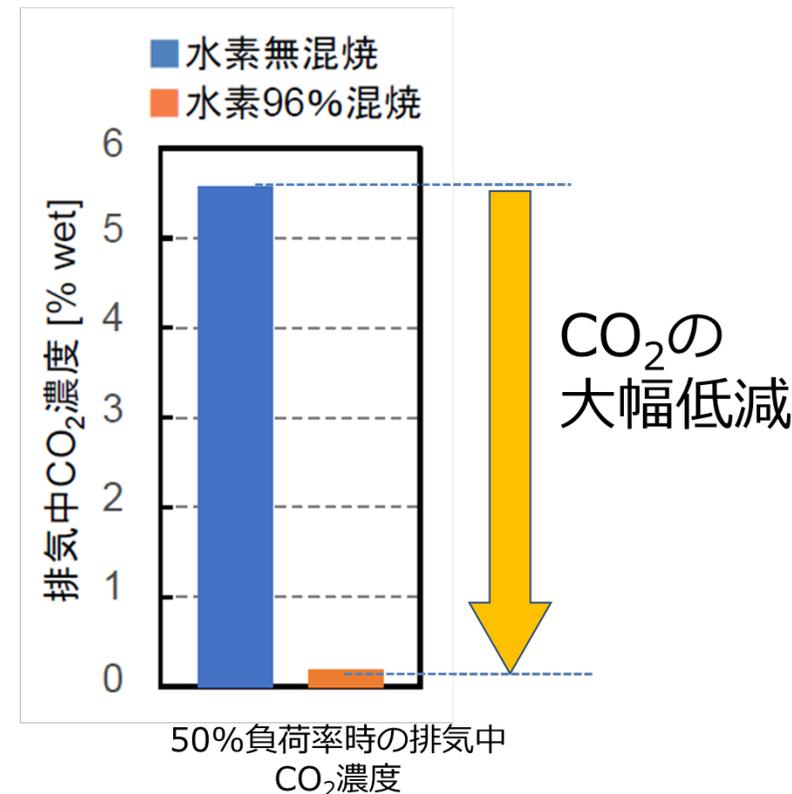
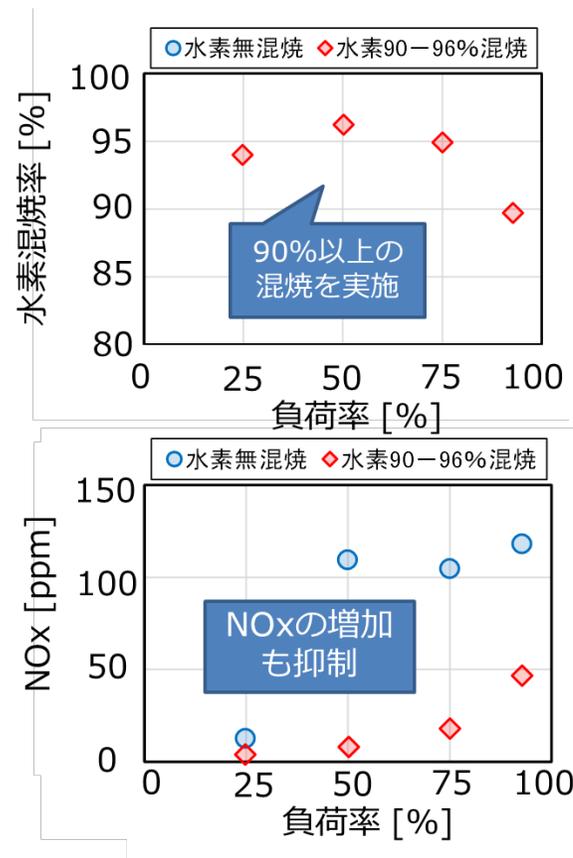
- 異常燃焼の発生する条件を明らかにする。
- 異常燃焼を抑制して、運転条件を広げる。

## ● 水素専焼エンジンの実現のために

- ✓ 都市ガスに水素を混焼利用する技術開発を実施し、所内のガスエンジンに水素供給装置を設置した。幅広い負荷率で水素熱量混焼率90%以上を実証した。

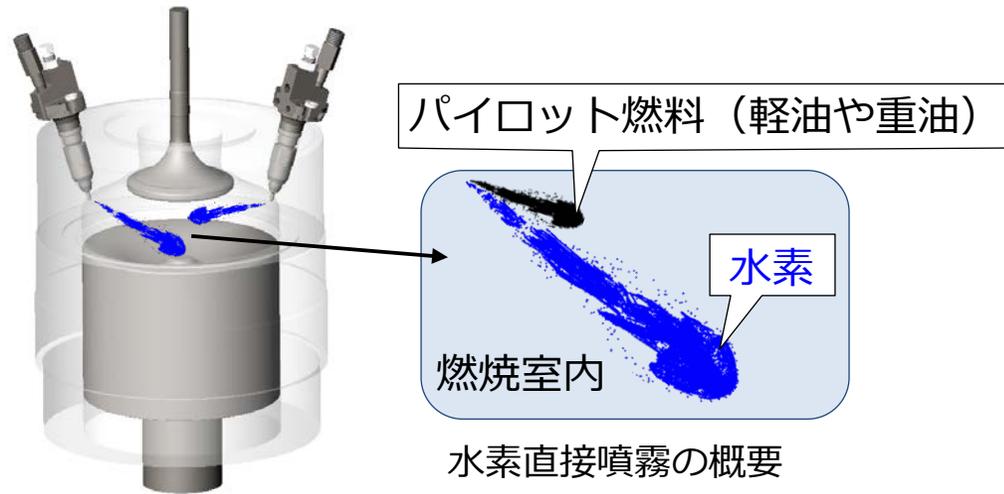
第23回講演会資料：[https://www.nmri.go.jp/event/seminar/pdf/r51205\\_6.pdf](https://www.nmri.go.jp/event/seminar/pdf/r51205_6.pdf)

- ✓ 水素専焼エンジンの安定運転技術の確立に向けて研究開発を推進し、舶用水素専焼エンジンの実現に向けて、ヤンマーパワーテクノロジー（株）に協力している※。



※日本財団ゼロエミッション船プロジェクト、ヤンマーパワーテクノロジーを代表とする、舶用水素4ストロークエンジン・水素エンジン対応大型内航タンカー開発コンソーシアムのメンバーとして協力

船用大型2stエンジンの場合、水素の異常な燃焼を防ぐために、水素は筒内に直接噴射される方式の採用が考えられている。

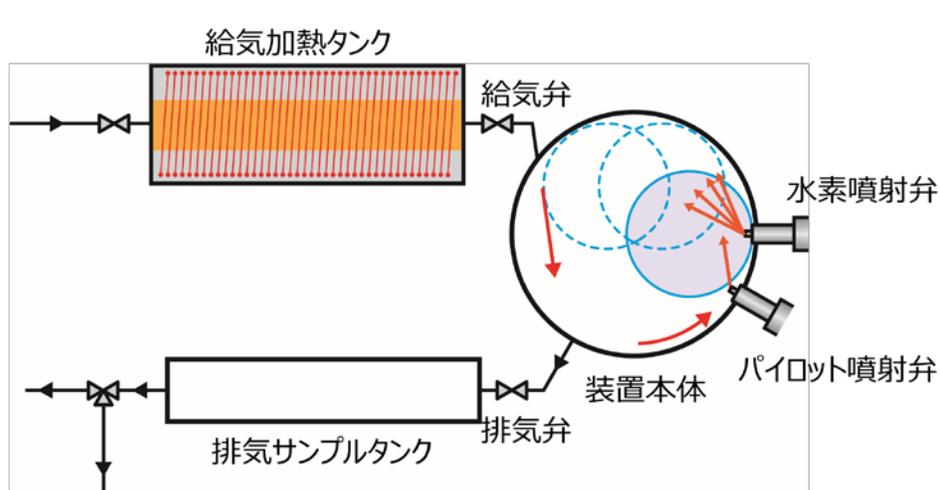


- ✓ 着火 (燃焼の始め) のために、少量のパイロット燃料を噴射する。
- ✓ 異常燃焼の回避によって、高出力・高効率化が可能になる。
- ✓ 水素噴射の調整で燃焼を制御できる。

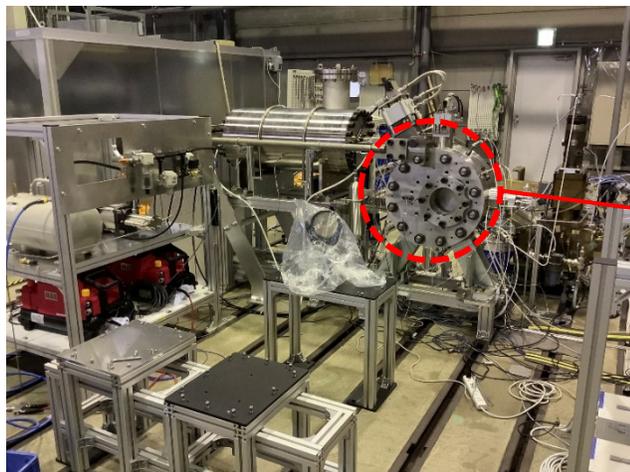
船用大型2stエンジンイメージ

- 水素噴流の燃焼を制御するために、各種条件が燃焼に与える影響を明らかにする必要がある (雰囲気の流れ・温度・圧力、ノズルの数・向き、噴射圧力…)。
- パイロット燃料の影響を明らかにする必要がある (燃料種類、噴射の向き・量…)。

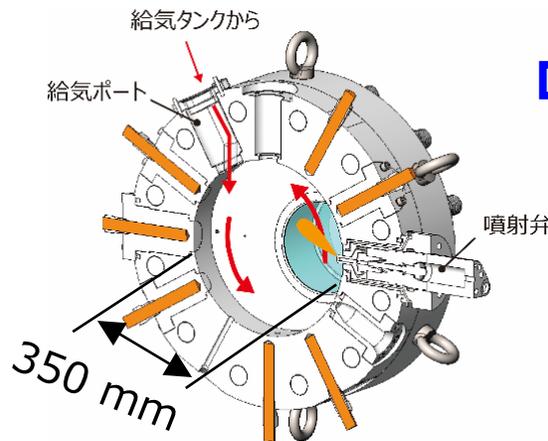
## ● 大型2stエンジンの内部の燃焼を観察・解析したい



排気分析器へ

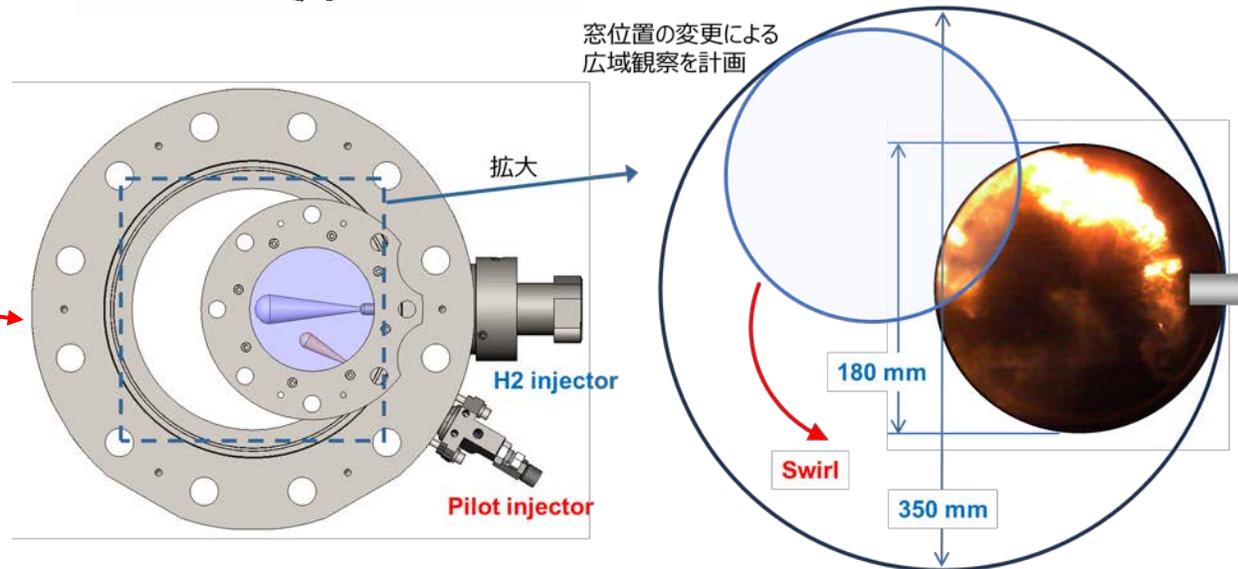


大型可視化燃焼容器試験システム外観



## □ 世界最大級の試験装置を開発し、水素噴流の燃焼試験を実施中

- エンジンの諸元決定のためのデータ
- 燃焼シミュレーションの検証用データ
- 新しい燃焼コンセプトの開発



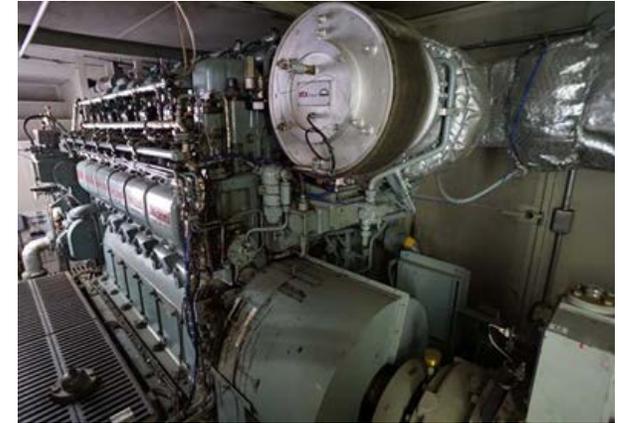
水素噴流の拡散燃焼試験の結果例

# アンモニア混焼エンジンからの大気汚染物質

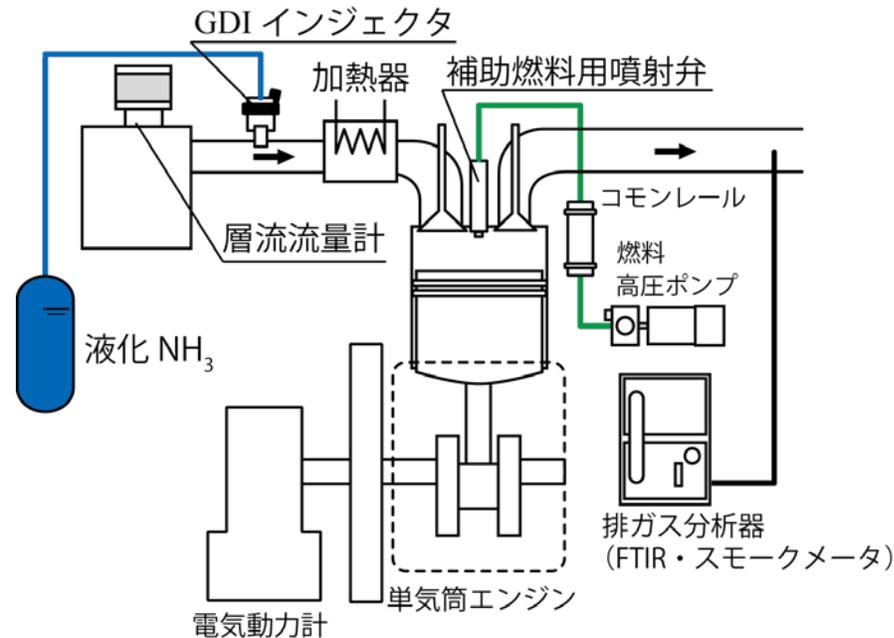
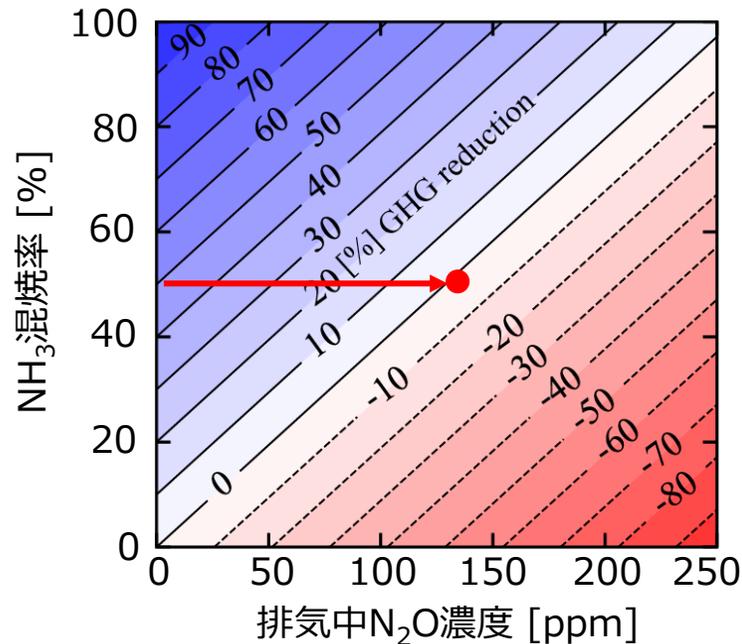


- アンモニアは燃えにくい。
- アンモニアを混焼すると、CO<sub>2</sub>は低減させることができるが、未燃アンモニアや温室効果ガスであるN<sub>2</sub>Oが排出される。
- N<sub>2</sub>Oの温室効果は、CO<sub>2</sub>の265倍\*であり、低濃度であってもGHG削減に大きく影響する。

\*Climate Change 2014 Synthesis Report, (2015), Intergovernmental Panel on Climate Change



ディーゼルエンジン  
(1000rpm, 750kW)



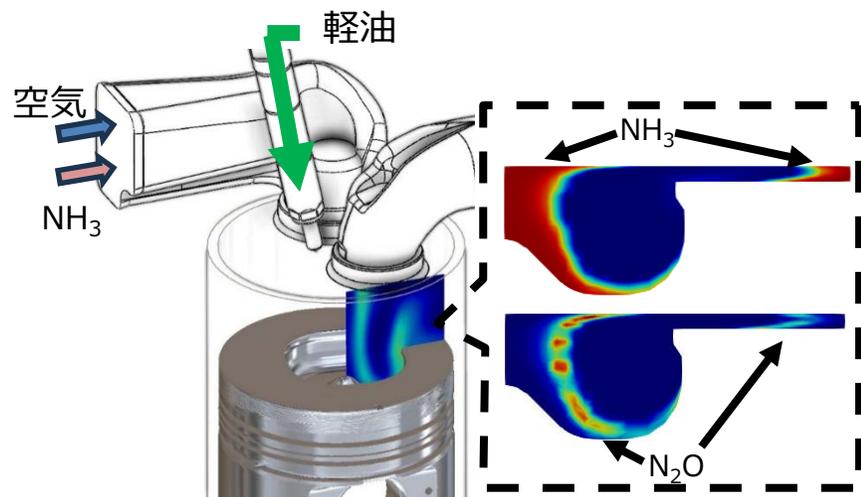
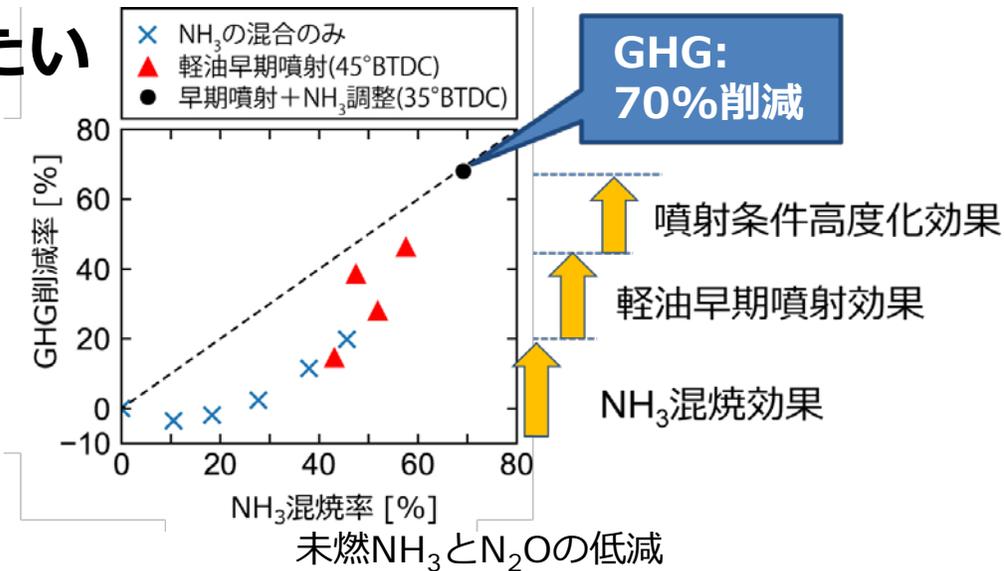
アンモニア・軽油混焼エンジン概要図



小型ディーゼルエンジン  
(1500rpm, 8kW)

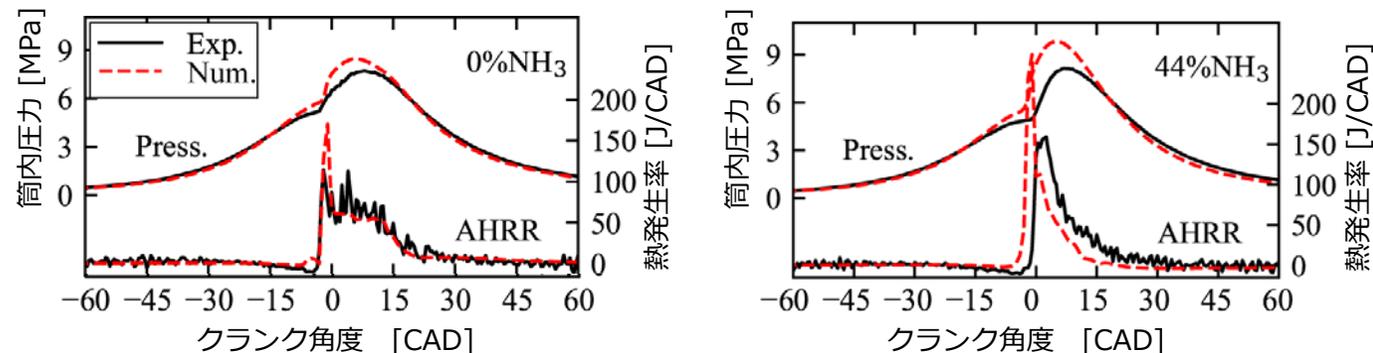
## ● アンモニア・軽油混焼時の大気汚染物質を低減したい

- ✓ 小型エンジンを利用して、実験的に未燃アンモニアや $N_2O$ の排出特性やその低減方法を明らかにした。
- ✓ 実験的に明らかになったアンモニアや $N_2O$ の低減手法を解析することで、低減の手法を他のエンジンにも応用できる。  
→アンモニア・軽油混焼エンジンの燃焼シミュレーション



アンモニア・軽油混焼の燃焼シミュレーション

## □ シミュレーションは、実験結果を再現できている。



アンモニア・軽油混焼数値計算例

世界初

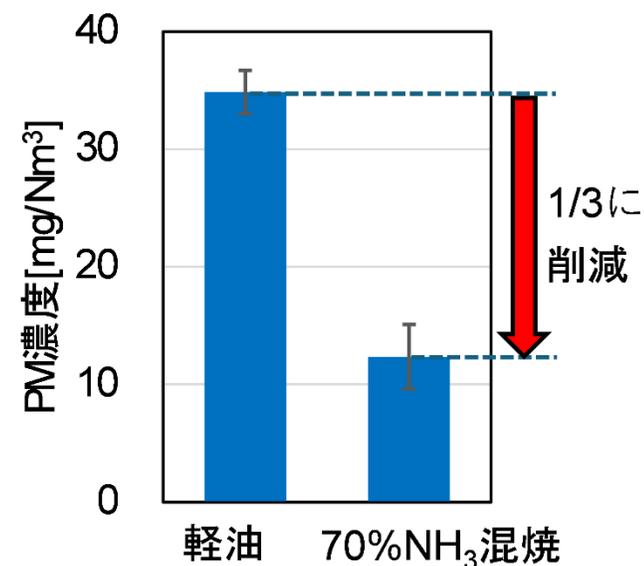
※令和6年9月：プレスリリース  
<https://www.nmri.go.jp/news/press/2024/press20240927.html>

## ● アンモニア・軽油混焼時の大気汚染物質を低減したい

- ✓ 小型エンジンを利用して、ISO8178に沿った手法で、アンモニア・軽油混焼時のPM排出を測定した※。
- ✓ 70%NH<sub>3</sub>混焼時は、軽油のみに比べて、約1/3に減少した。
- ✓ PM中の成分の詳細な分析を行い、生成条件を明らかにする。



アンモニア・軽油混焼時のPM捕集状況

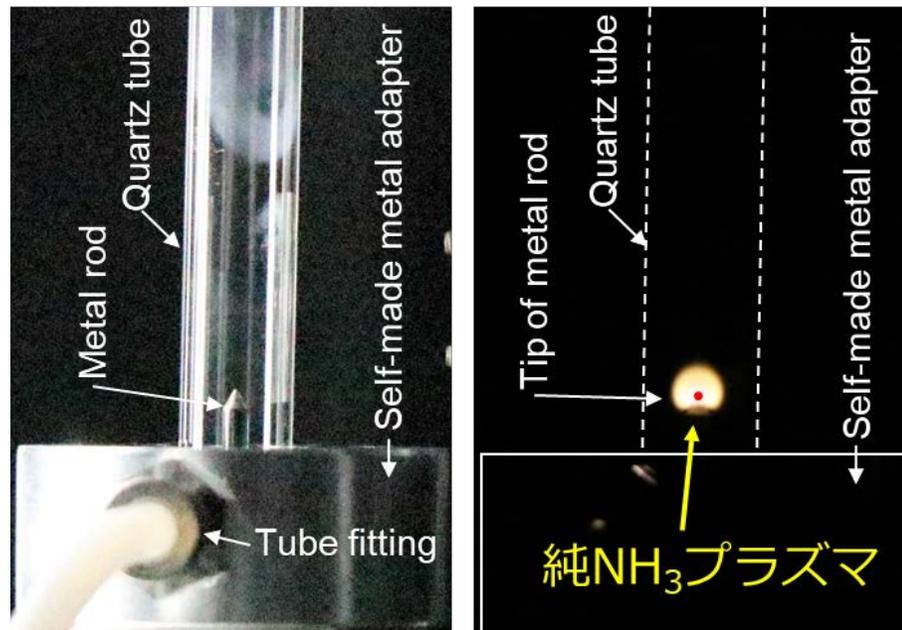


アンモニア・軽油混焼時のPM排出量

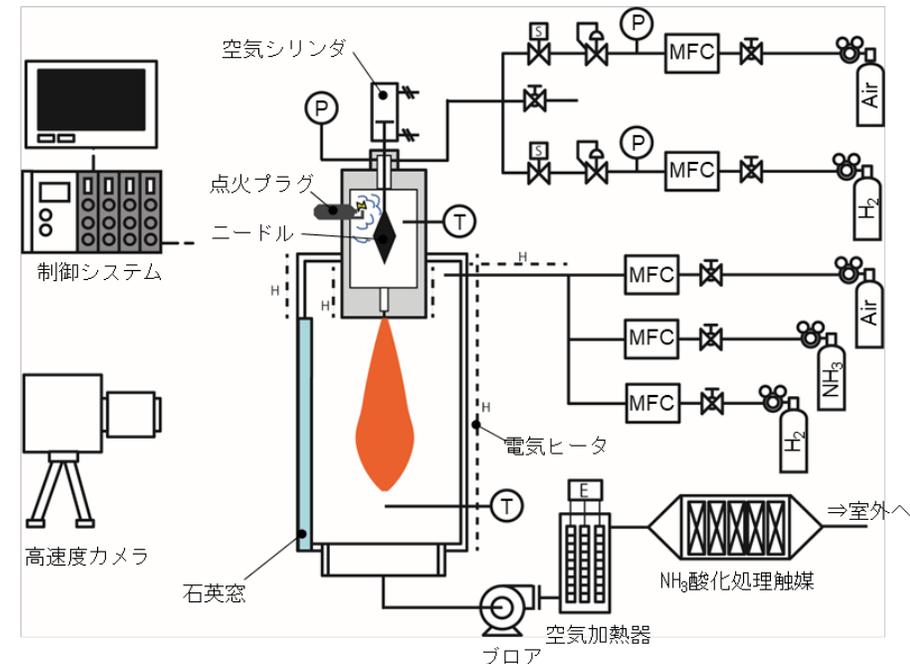
## ● アンモニアを単独で使用したい

プラズマを利用して、燃焼前にアンモニアの一部を水素に改質し、燃焼を補助することで、アンモニア燃料のみでエンジン内で燃焼する。

- ✓ 要素試験装置によりアンモニアガスをプラズマ化して水素に分解する技術を開発している。
- ✓ 燃焼試験装置によって、水素によるアンモニア燃焼の支援効果を調べている。



プラズマによるアンモニア改質



燃焼試験装置

## □ 様々なエンジン形式への対応、既存船に適用できる対策が必要

- ✓ 4st中速エンジンによる実証、大型燃焼容器による代替燃料の燃焼研究
- ✓ 各種バイオ燃料による陸上試験を継続
- ✓ エタノールやメタノールと燃料油の混合利用に関して、着火性に与える影響を調査

## □ 将来的に水素・アンモニア燃料利用の可能性

- ✓ ガスエンジンによる水素専焼エンジンの研究開発
- ✓ 小型エンジンを用いたアンモニア、 $N_2O$ の低減手法の開発、PM排出実態の把握
- ✓ アンモニア専焼（単体燃料利用）を目指してプラズマによるアンモニアからの水素生成・燃焼試験機による水素の燃焼支援効果の確認

燃料の多様化に対応できるよう研究開発（取り扱い・燃焼方法・大気汚染物質低減）を推進する。

ご清聴ありがとうございました



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**  
National Maritime Research Institute

