



第23回 海上技術安全研究所研究発表会



# GHG削減に向けた 代替燃料燃焼技術に関する研究の展望

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

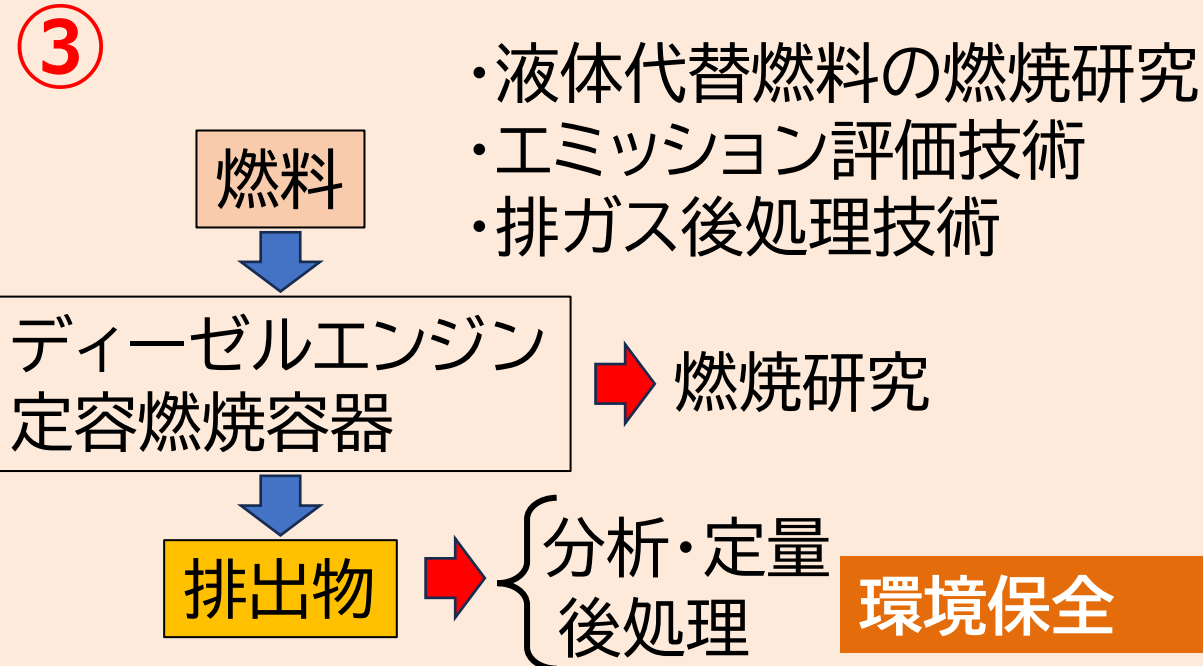
環境・動力系

仁木 洋一 高木 正英 川内 智詞 市川 泰久

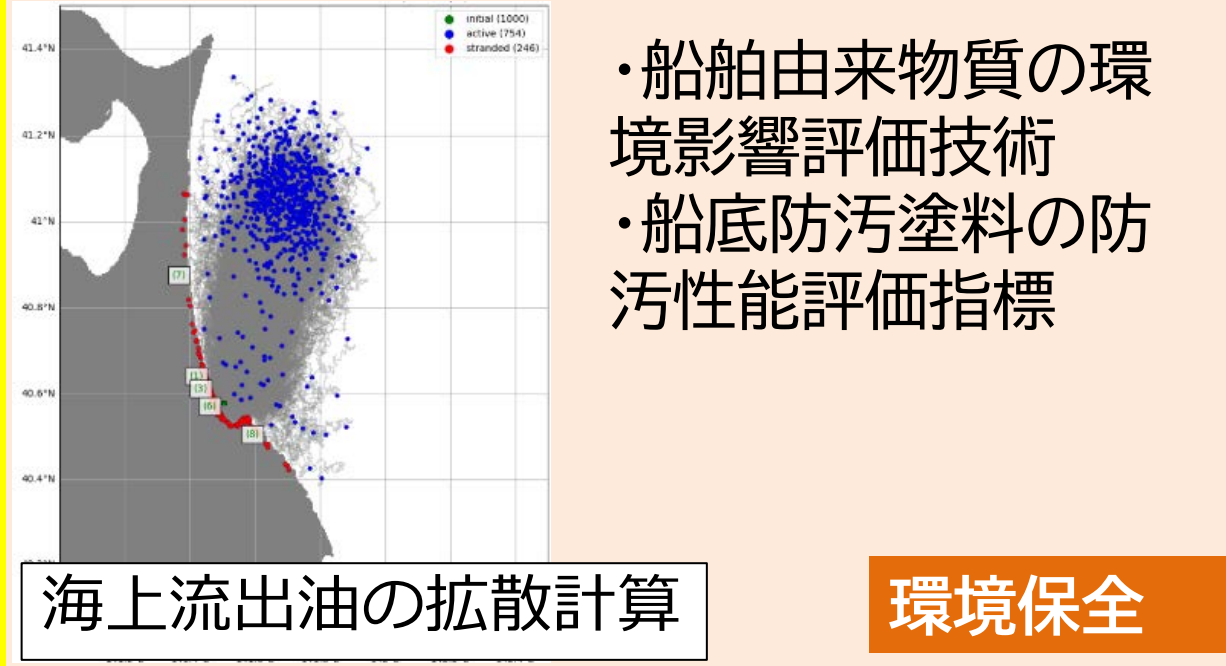
# 重点研究 6 のGHG削減と環境保全への取り組み



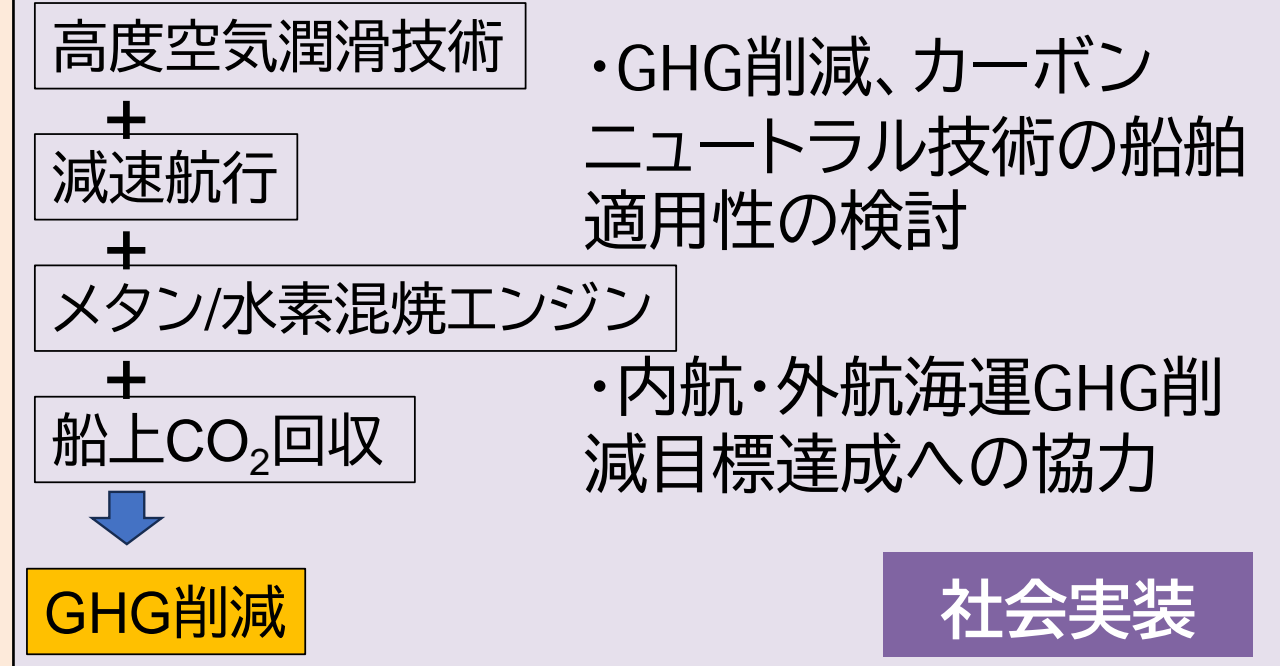
## 次世代燃料使用時における安全・環境評価技術



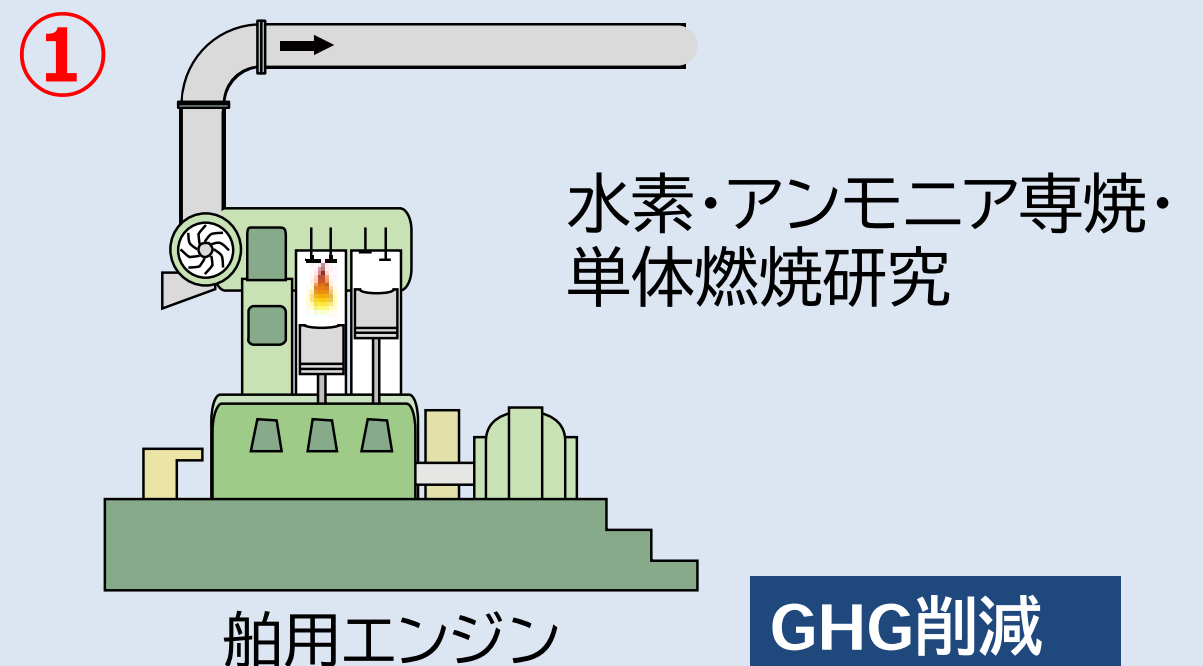
## 船舶運航における環境影響評価技術の高度化



## 内航・外航海運の省エネ化・GHG削減対策に資する普及・実用技術



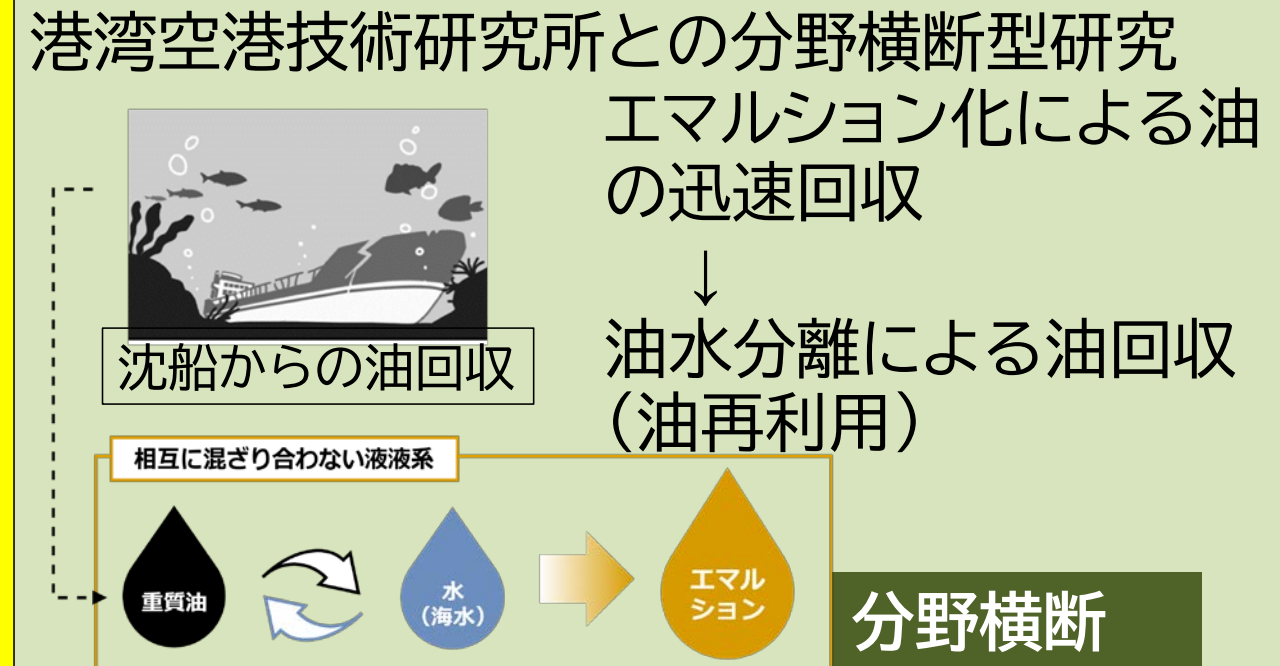
## 水素・アンモニア燃料エンジン等の専焼コンセプトの開発



## 次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化



## 重油のエマルジョン化による流動促進化及び回収技術



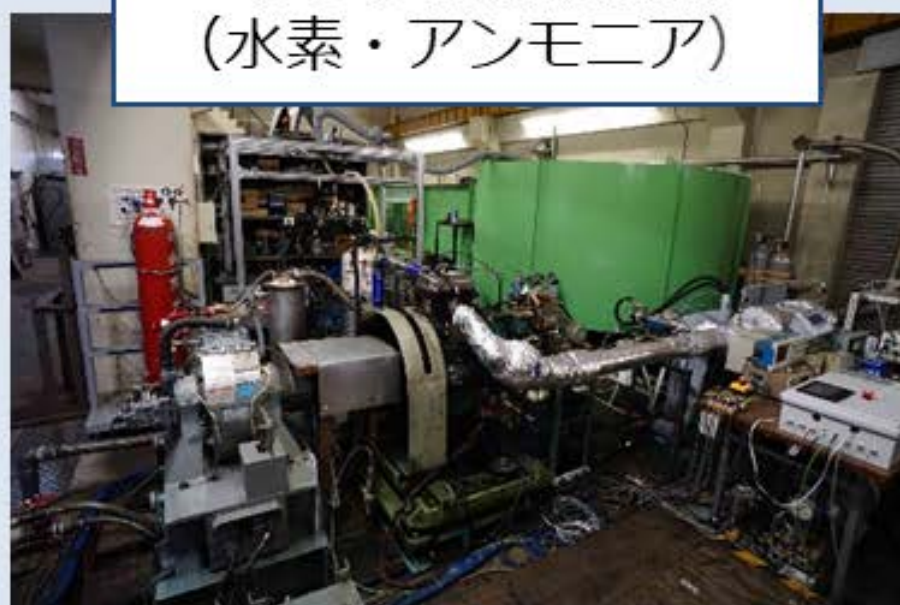
# 重点研究 6 のGHG削減と環境保全への取り組み



内航・外航海運のカーボンニュートラル推進に向けて、水素・アンモニア・バイオ燃料等の利用が望まれ、関連する技術や安全基準の策定等環境整備が求められている。

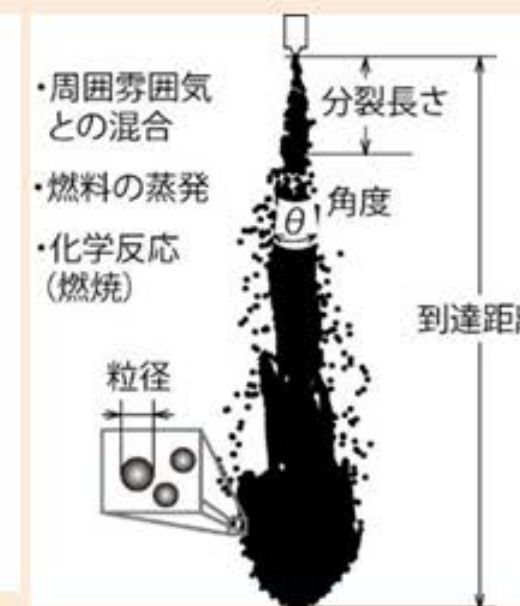
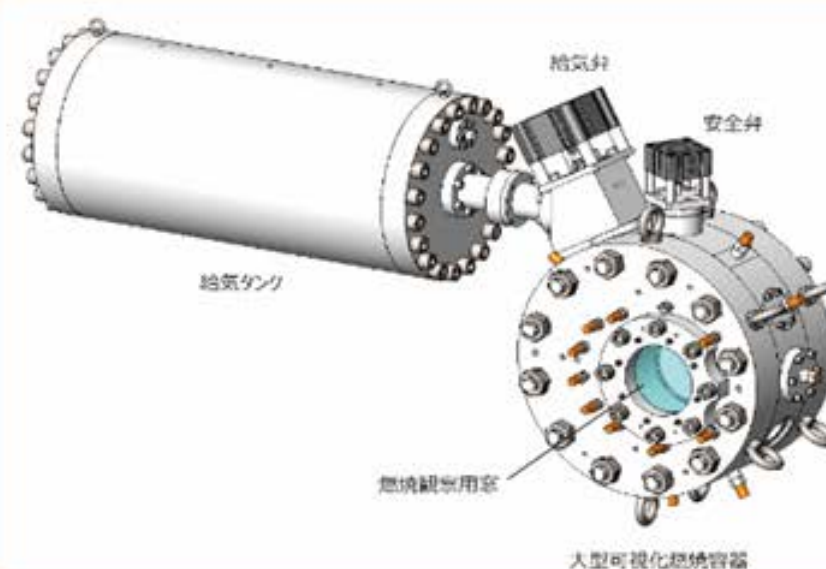
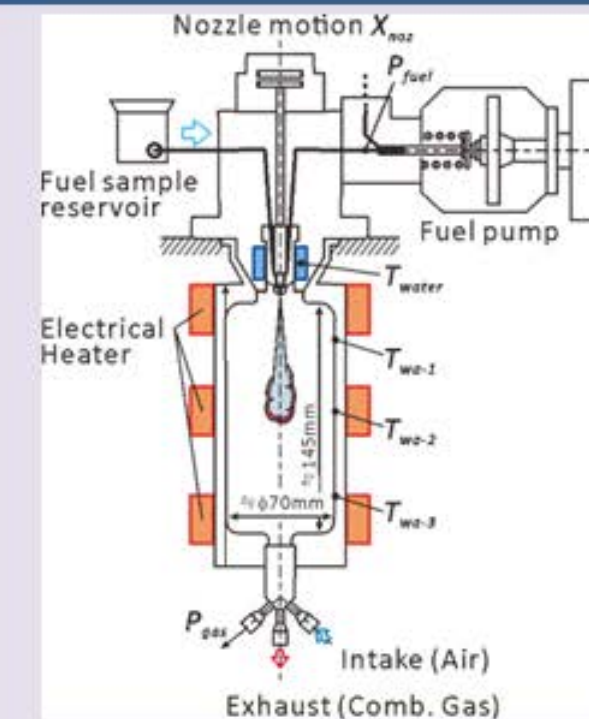


エンジン内燃焼技術  
(水素・アンモニア)



① 水素・アンモニア燃料エンジン等の  
専焼コンセプトの開発

③次世代燃料使用における  
安全・環境評価技術



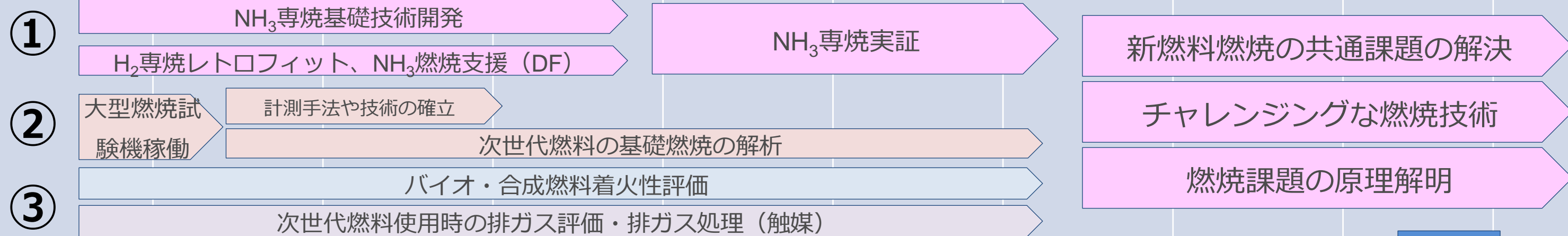
②次世代燃料のエンジン燃焼の解析技術の高度化

# 第2期中長期計画と社会の動向



2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 ... 2050

## 重点6

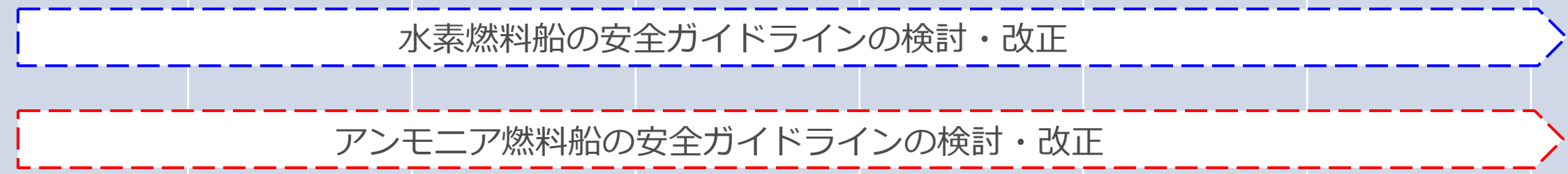


2040

## GHG削減 外航 内航

※1 <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/Revised-GHG-reduction-strategy-for-global-shipping-adopted-.aspx>  
 20~30%削減※1 GHG排出量 2008年比  
 70~80%削減※1 GHG排出量 2008年比  
 ※2 <https://www.env.go.jp/content/900440195.pdf>  
 181万トン※2  
 2013年度比約17%減

## 国際海事機関 (IMO) 関連の動向



## H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>エンジン

★4stアンモニア 80%混焼 (GI)    ★2st主機アンモニア混焼 (GI)    ★4st : 水素専焼 (GI)    ★2st : 水素専焼 (GI)    より高度な技術を利用した高性能 (出力・燃費・環境) エンジン

## 多様なエネルギー源を用いた新たな動力システムの研究開発

多様なエネルギーを選択できる環境整備の促進を目指して、従来の石油燃料ばかりではなく、水素・アンモニア、バイオ燃料等を利用する技術開発を進めてきた。

- ディーゼルエンジンによるアンモニアと軽油（重油）の混焼
- ガスエンジンによる水素・都市ガス（メタン）混焼
- 中速ディーゼルエンジンを用いたバイオ燃料の燃焼試験

## 船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究

環境規制の動向と、行政・業界要望を踏まえながら、燃料・排ガスの計測・分析技術の高度化や、排ガス後処理装置の技術開発を実施してきた。

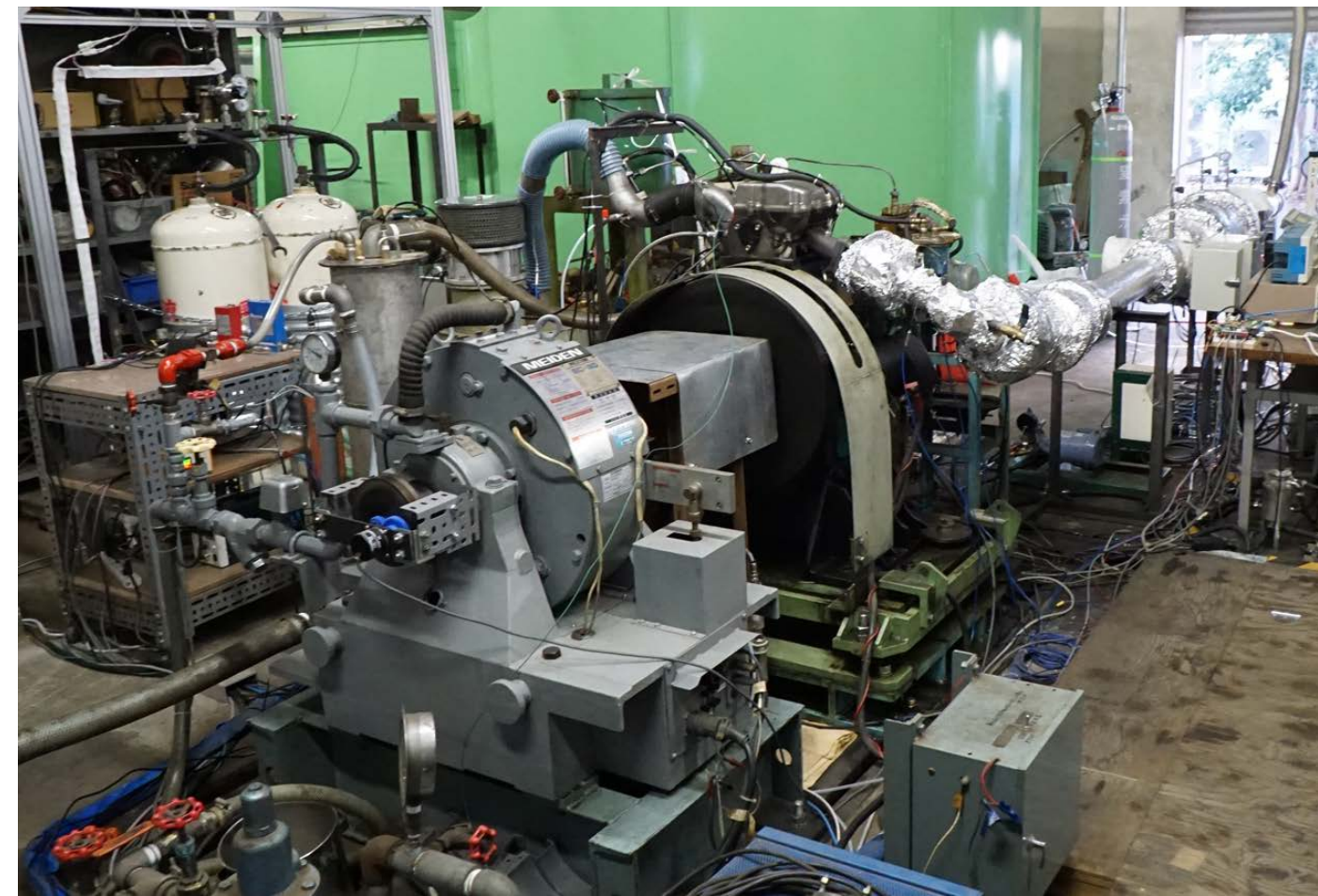
- 低硫黄燃料油の性状や燃焼・排ガスに与える影響の調査
- 次世代燃料油の燃焼性評価、燃焼生成物の調査
- 排ガス後処理システム（メタン酸化触媒）の性能調査

## アンモニア (NH<sub>3</sub>) 混焼関連の研究成果

- 国内メーカーに先駆けて、所内のディーゼル機関を利用して、NH<sub>3</sub>燃料利用に関する試験を実施し、NH<sub>3</sub>燃料利用の課題やN<sub>2</sub>Oなどの環境負荷物質の排出の特徴を明らかにした。



NH<sub>3</sub>と混焼を実施した船用中速ディーゼル機関  
(750kW、1000min<sup>-1</sup>)

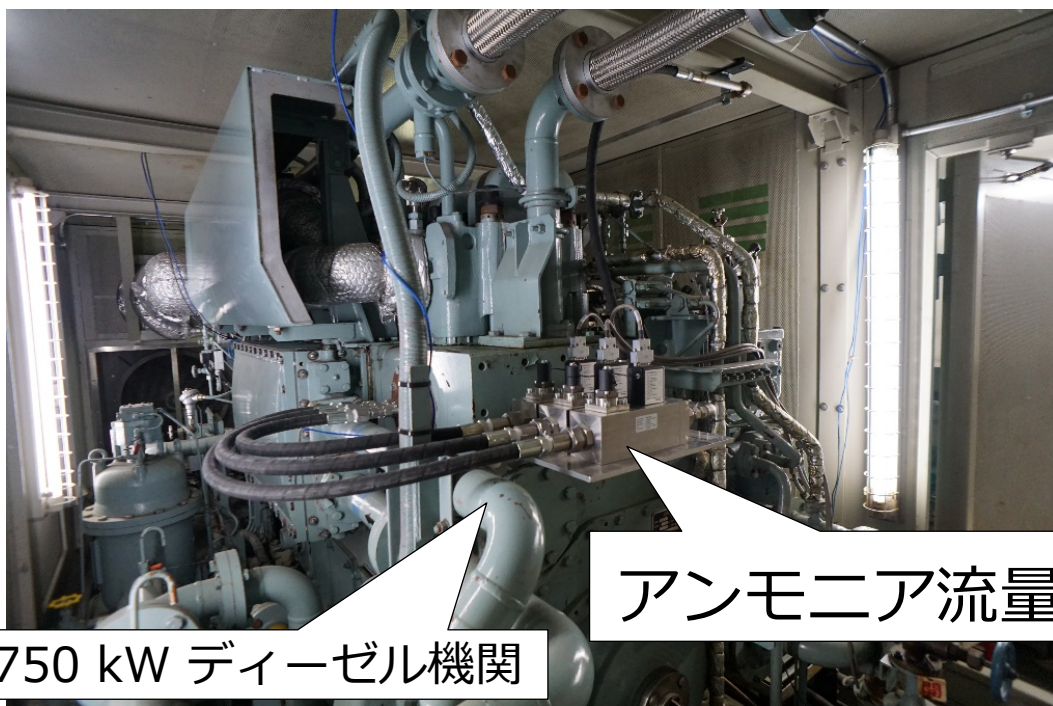


NH<sub>3</sub>燃焼試験用小型単気筒エンジン  
(約8kW、1500min<sup>-1</sup>)

# ① 水素・アンモニア燃料エンジン等の専焼コンセプトの開発



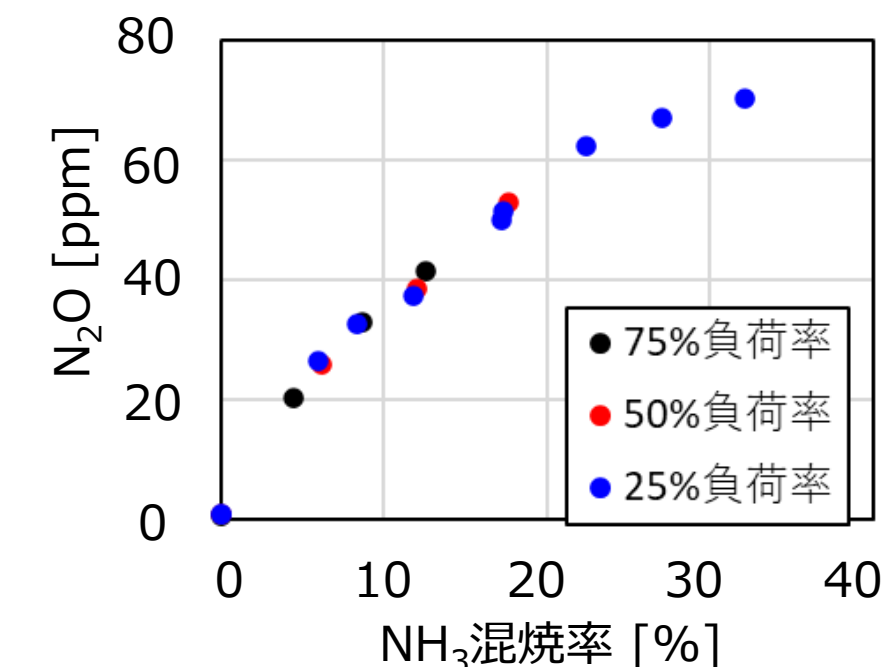
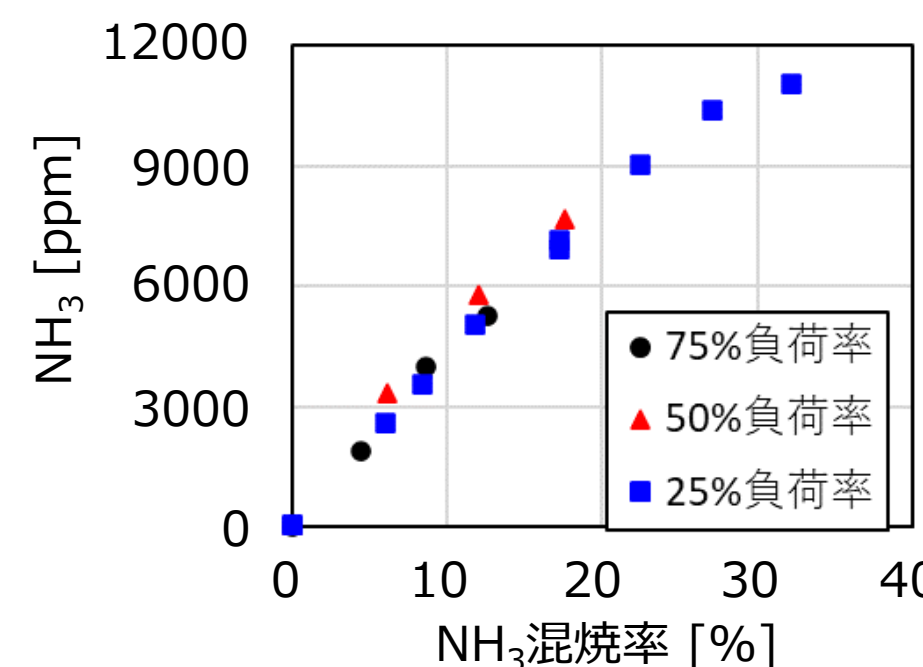
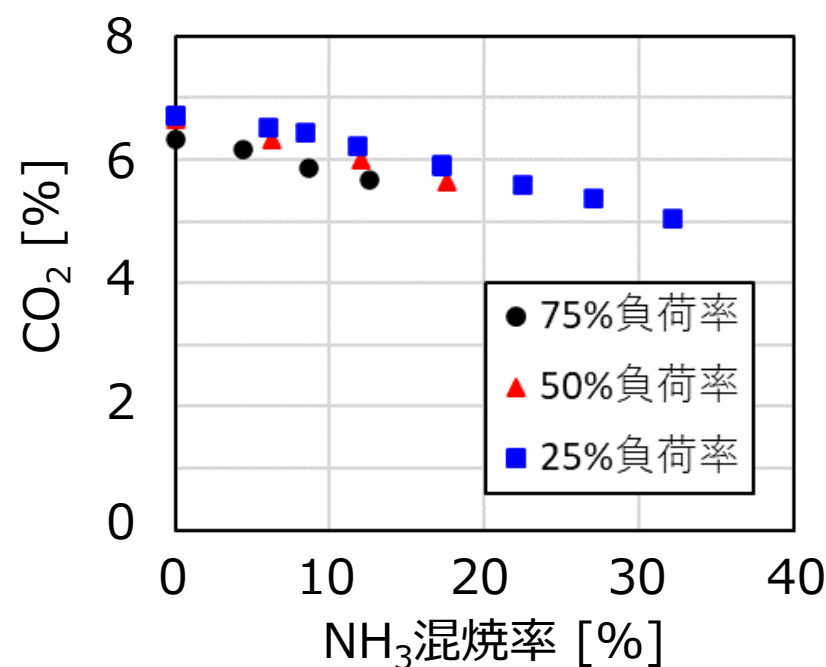
## NH<sub>3</sub>混焼関連の研究結果



アンモニア流量計

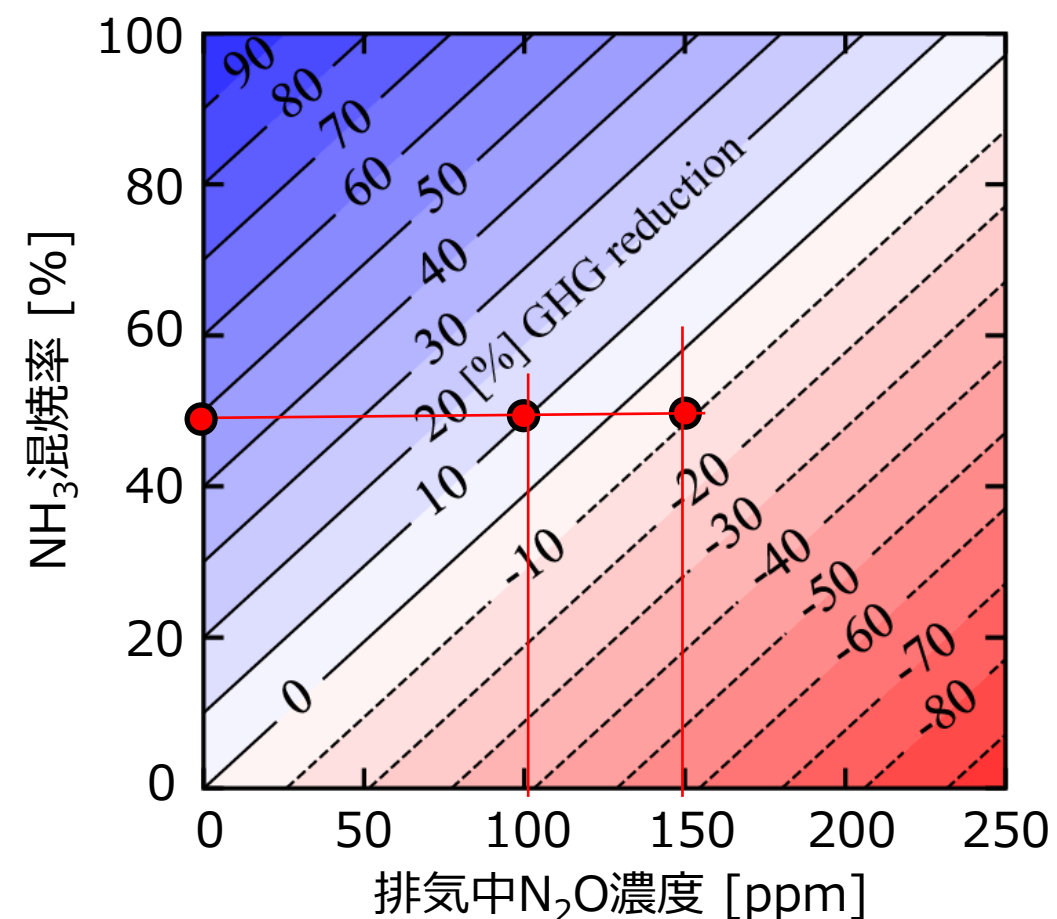
750 kW ディーゼル機関

船用中速ディーゼル機関に設置したNH<sub>3</sub>導入部分



船用中速ディーゼル機関でのNH<sub>3</sub>混焼結果 (排ガス成分)

- NH<sub>3</sub>は燃えにくい。
- NH<sub>3</sub>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NH<sub>3</sub>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。

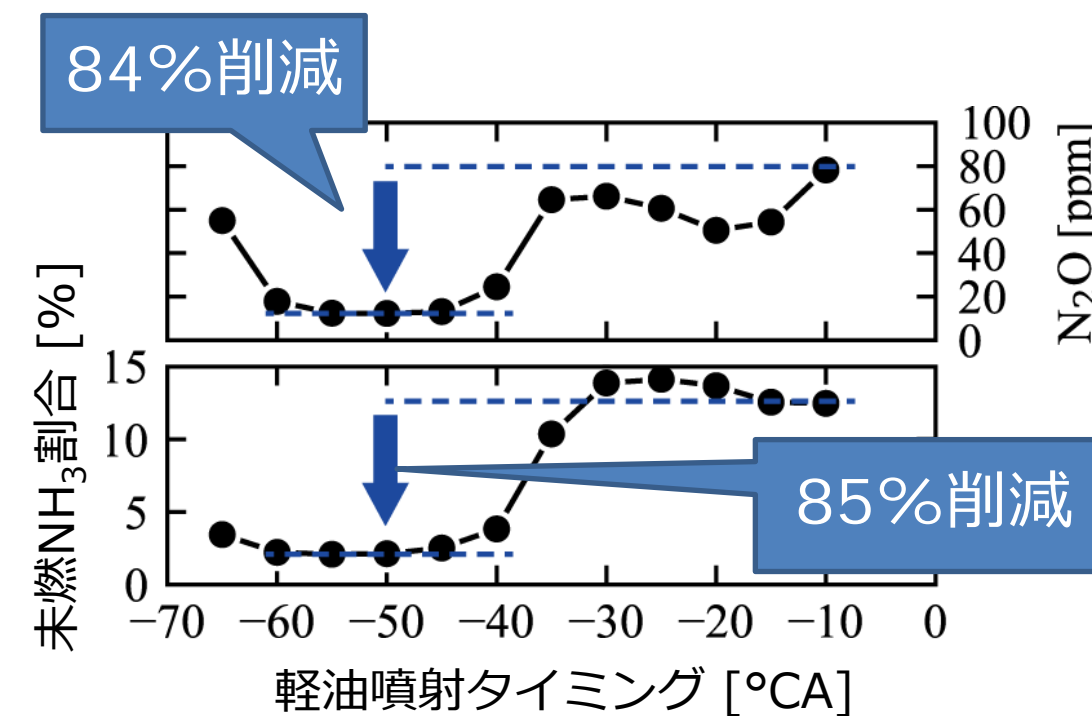


※Climate Change 2014 Synthesis Report, (2015), Intergovernmental Panel on Climate Change.

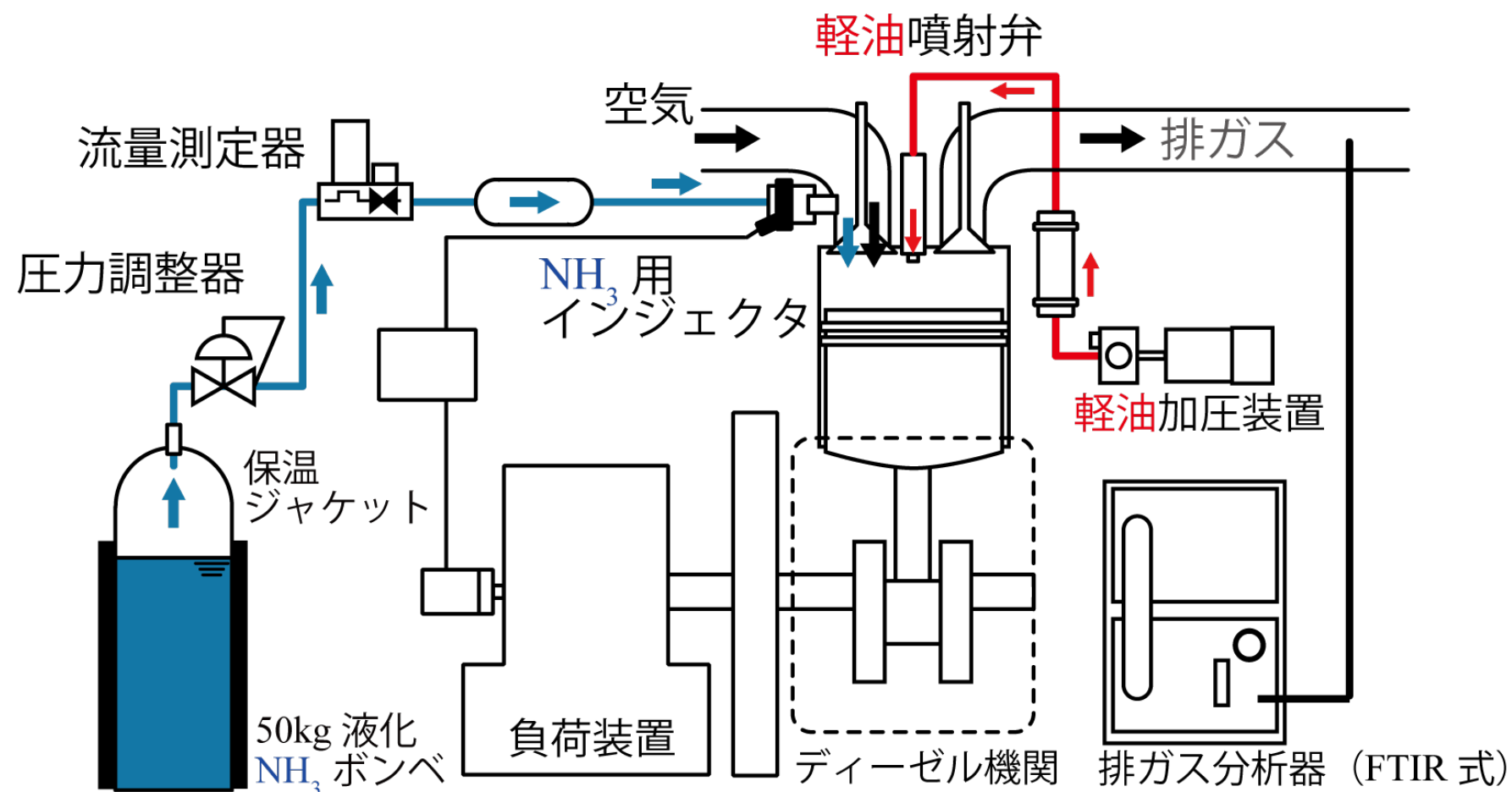
元図: Y. Niki, J. Eng. Gas Turbines Power. Sep 2021, 143(9): 091014  
<https://doi.org/10.1115/1.4051002>

## NH<sub>3</sub>混焼関連の研究成果

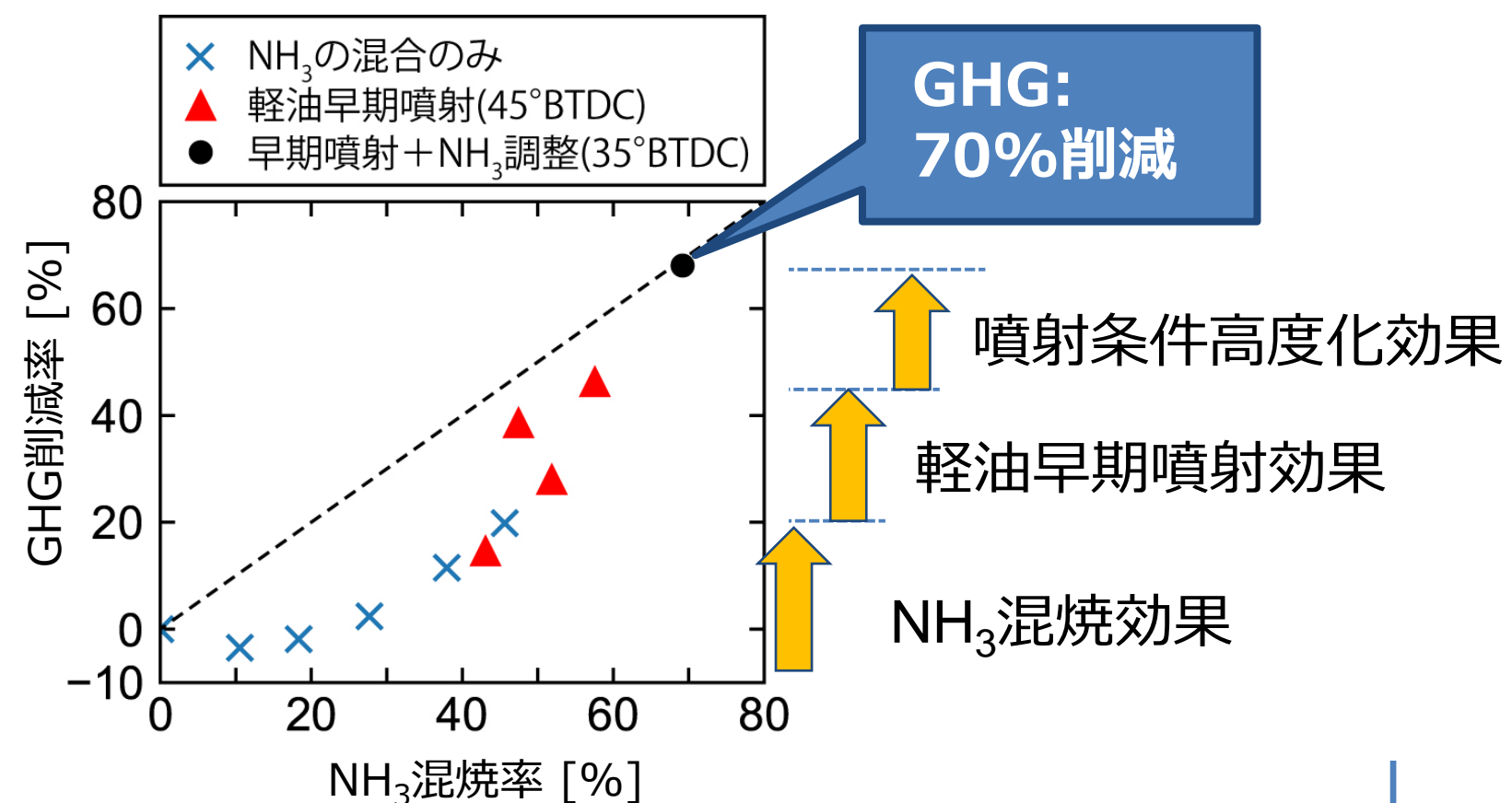
- 小型エンジンを利用して、未燃NH<sub>3</sub>やN<sub>2</sub>Oの排出低減方法や排出機構を明らかにした。
- 軽油の噴射タイミングの変更や運転条件の調整によって、GHG削減効果を高めることができた。



軽油噴射タイミングの変更による効果



小型単気筒ディーゼル機関による燃焼コンセプトの研究



軽油の早期噴射の高度化による未燃NH<sub>3</sub>とN<sub>2</sub>Oの低減

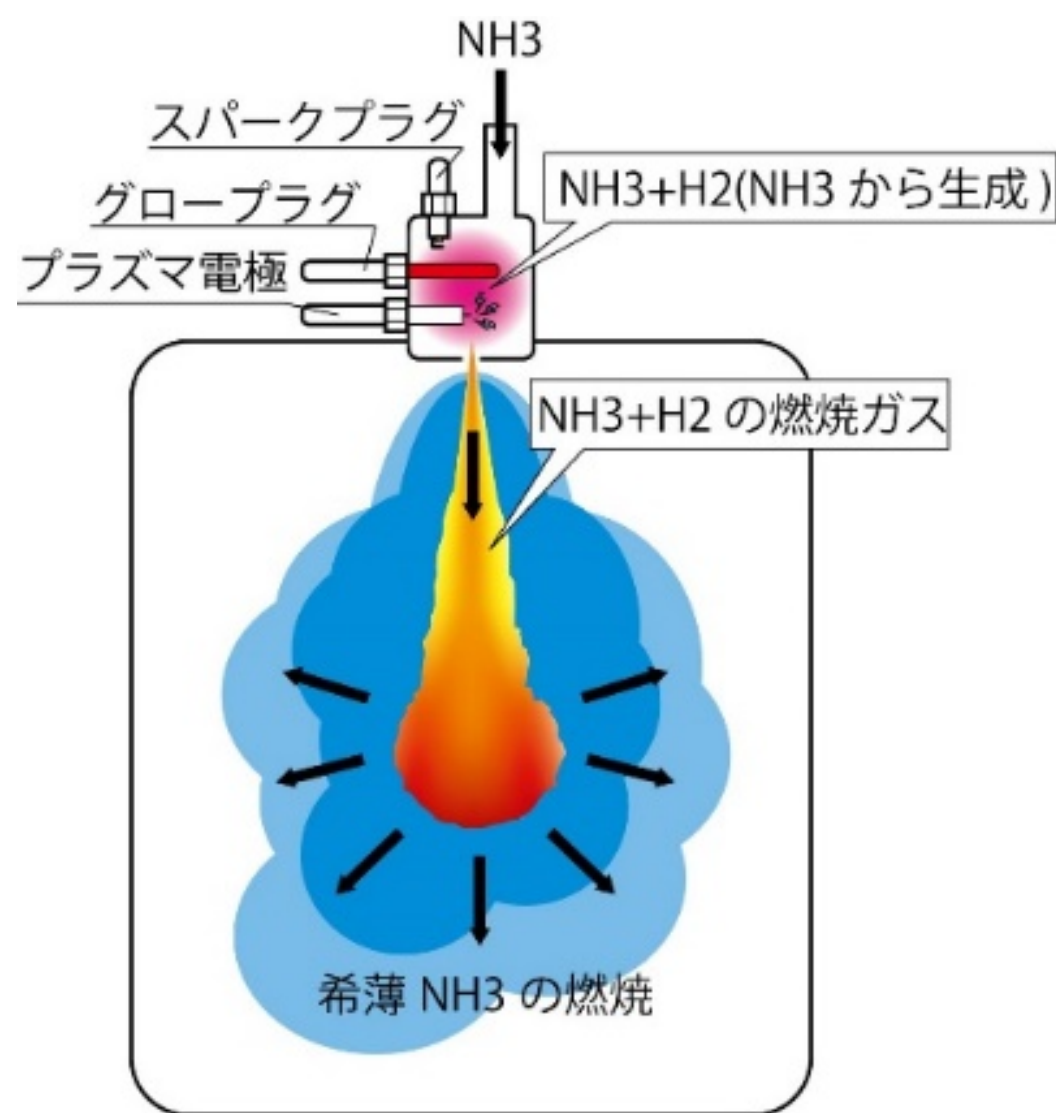


## 第2期 NH<sub>3</sub>混焼関連の研究 今後の展望

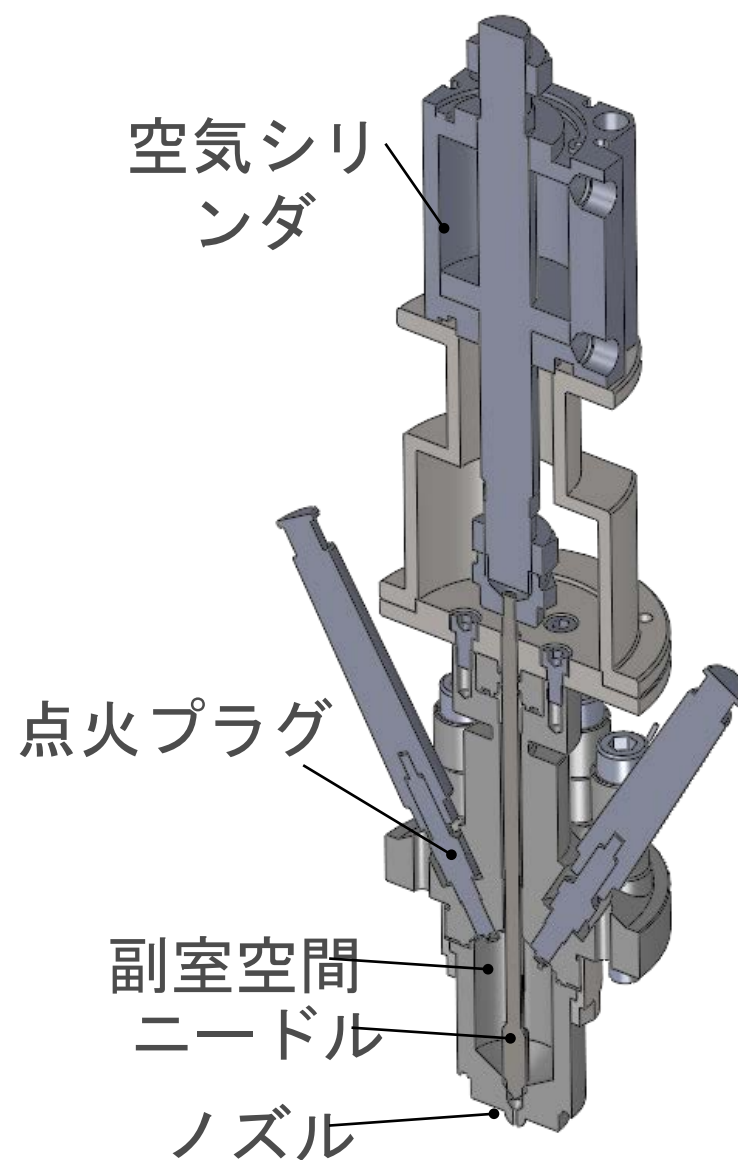
- 今後は、さらに高度な制御や運転条件の調整による未燃NH<sub>3</sub>やN<sub>2</sub>Oの排出低減の他、様々な条件において、環境負荷物質（NO<sub>x</sub>, CO, 粒子状物質など）の削減技術の開発が望まれる。
  - 多くのパラメータを効果的に制御する高度な燃焼技術が要求される。
  - NH<sub>3</sub>燃焼の詳細な知見が必要
    - ・NH<sub>3</sub>と軽油（重油、バイオ燃料）の燃料の相互作用（着火・燃焼、排ガス）など、
    - ・エンジン内の流れや温度の作用など
- GHG排出ゼロに向けた研究開発が望まれる。
  - 従来のデュアルフューエル方式では、NH<sub>3</sub>を炭化水素燃料を利用して燃やしている。
  - NH<sub>3</sub>燃料のみでの燃焼方法の開発が望まれる。
    - ・NH<sub>3</sub>燃料利用に関する研究（基礎的な研究から開始）

## 第2期 NH<sub>3</sub>燃料利用に関連する研究 今後の展望

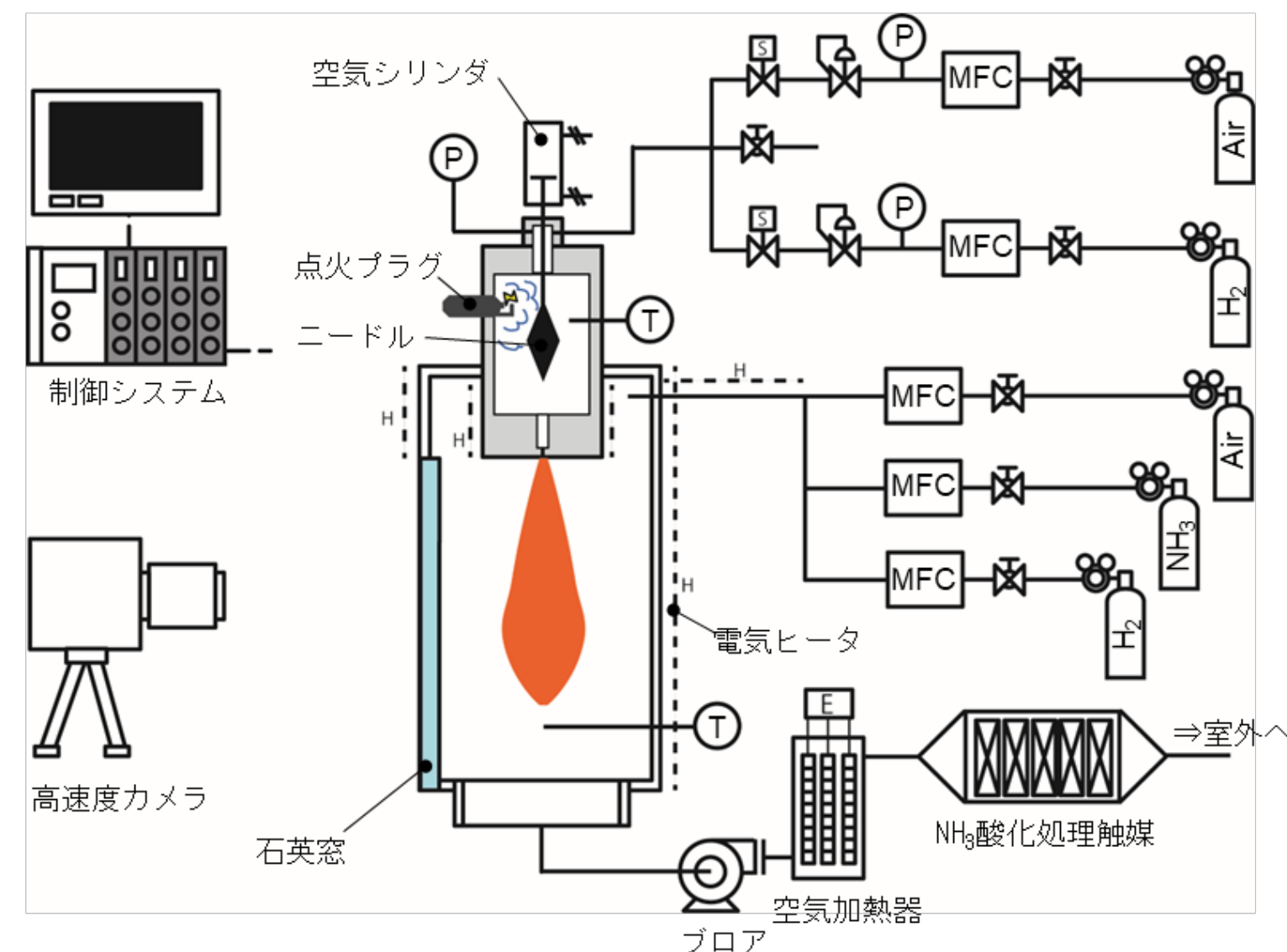
- NH<sub>3</sub>燃料は、着火しづらく燃焼速度が遅い。
- プラズマや熱分解を利用してアンモニア燃料のみで燃焼するための方法を、要素試験装置、高温高压燃焼容器を用いて開発する。第2期中長期計画に実機関への適用を目指す。



NH<sub>3</sub>燃焼のコンセプト



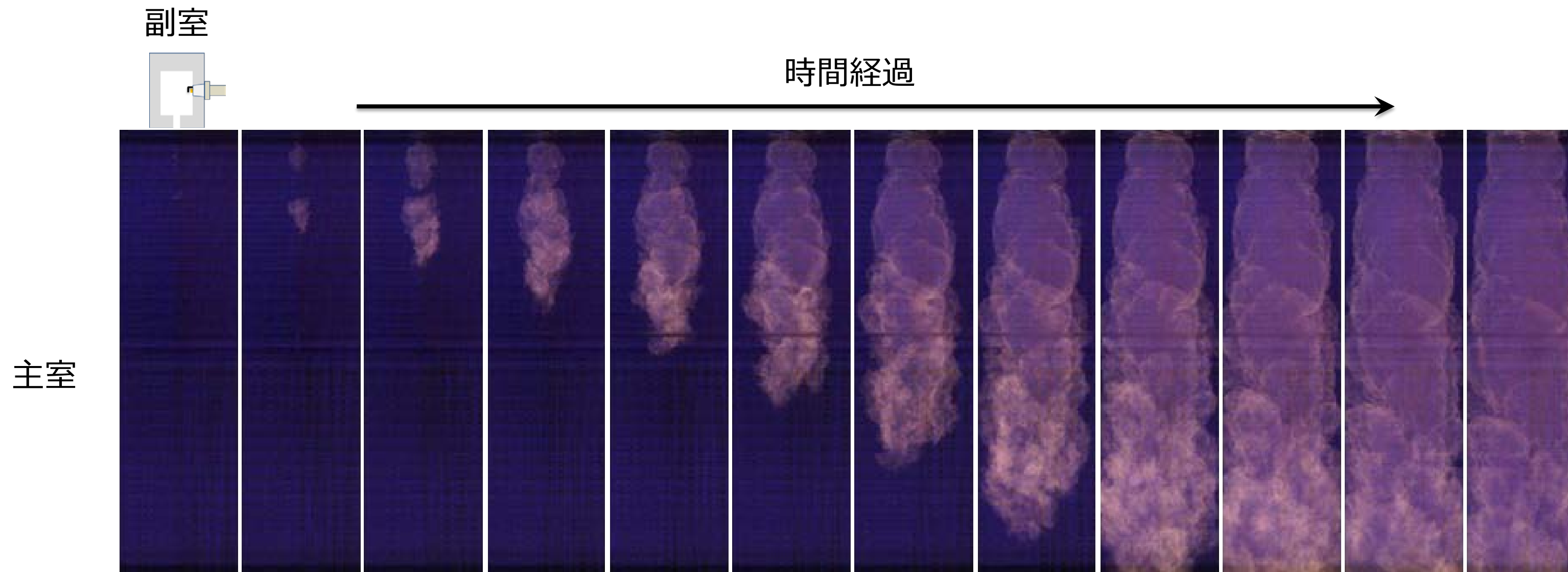
副室を模擬した燃焼試験装置



NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>混合ガスの燃焼試験

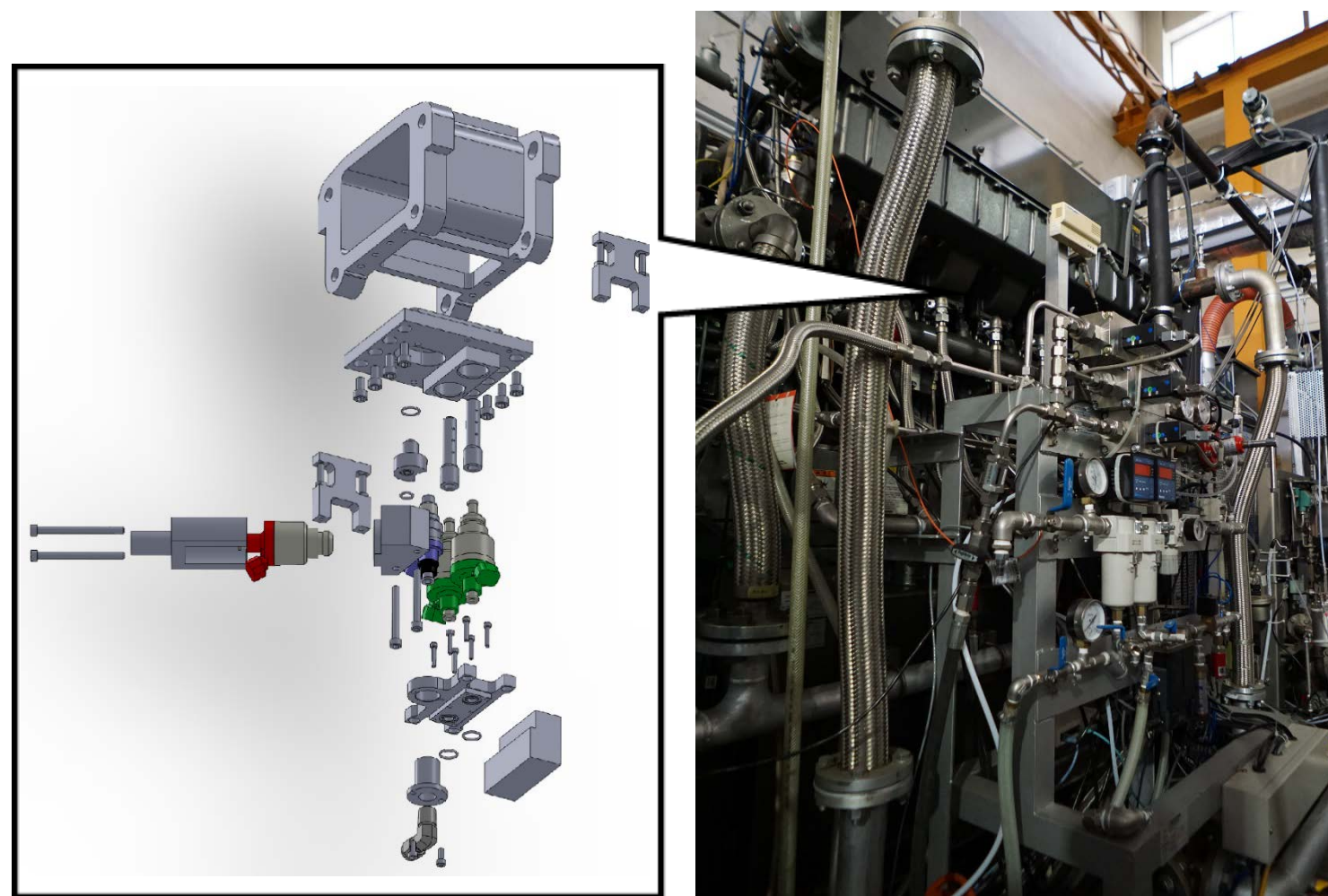
## 第2期 NH<sub>3</sub>燃料利用に関連する研究 今後の展望

- NH<sub>3</sub>燃料は、着火しづらく燃焼速度が遅い。
- プラズマや熱分解を利用してアンモニア燃料のみで燃焼するための方法を、要素試験装置、高温高圧燃焼容器を用いて開発する。第2期中長期計画中に実機関への適用を目指す。

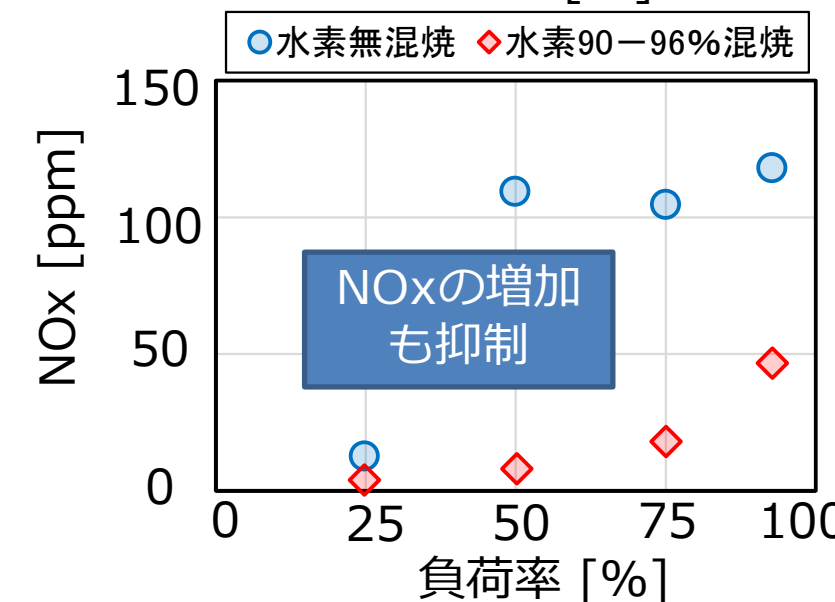
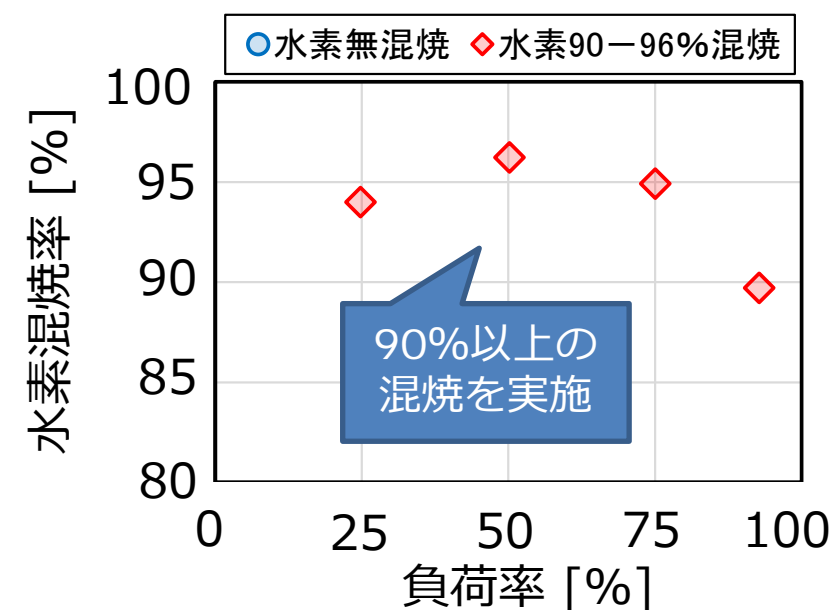


## 水素 (H<sub>2</sub>) 混焼関連の研究成果

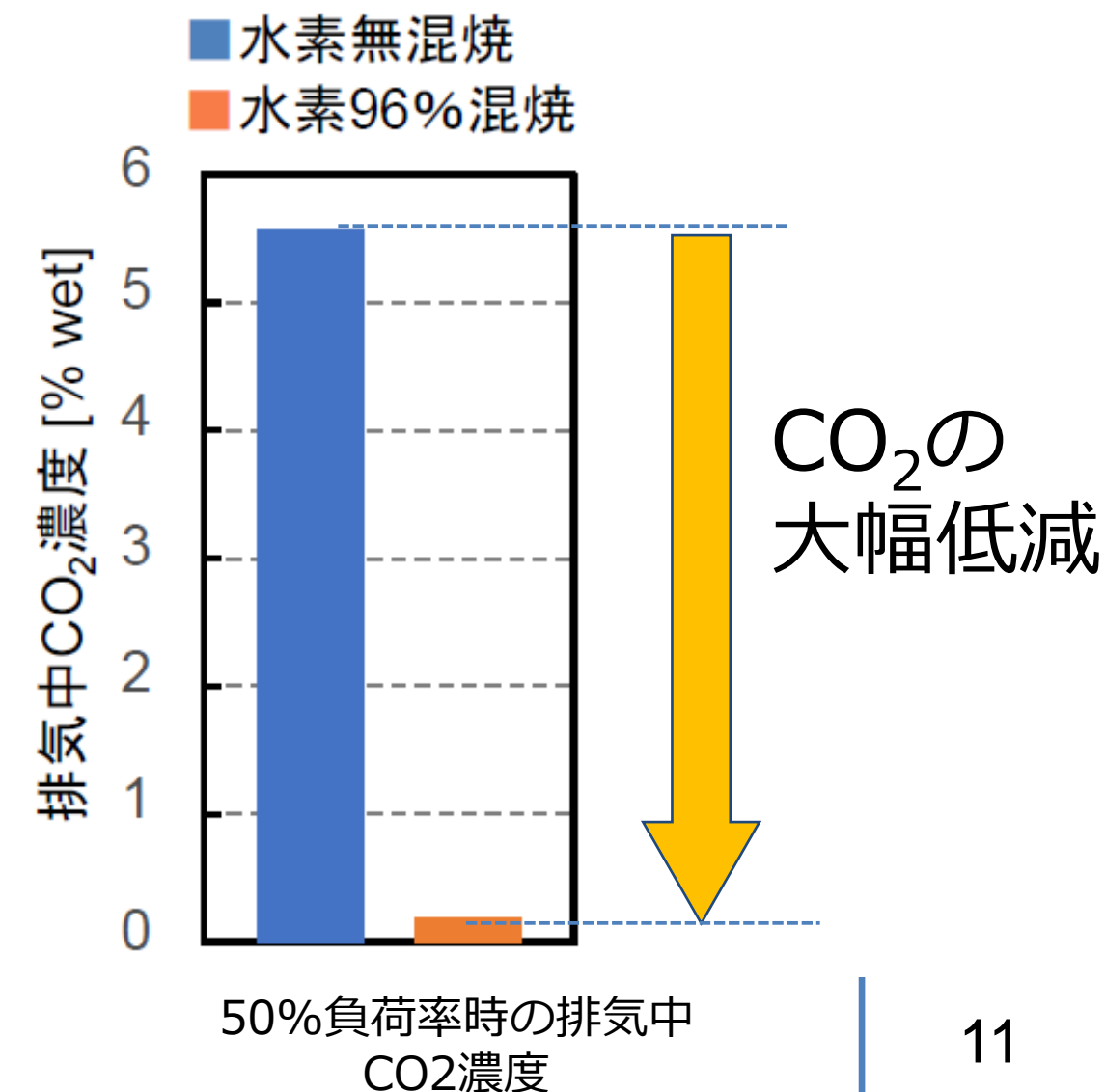
- 水素は燃えやすく、その燃焼の抑制が必要。
- 副室式リーンバーンガスエンジンに水素混焼設備を設置し、都市ガスと水素を混焼する研究を実施し、発熱量割合で、水素の混合率90% (93%負荷率) および96% (50%負荷率) での運転を行った。



発電出力400kW ガスエンジンと水素供給制御装置



水素・都市ガス混焼時の結果

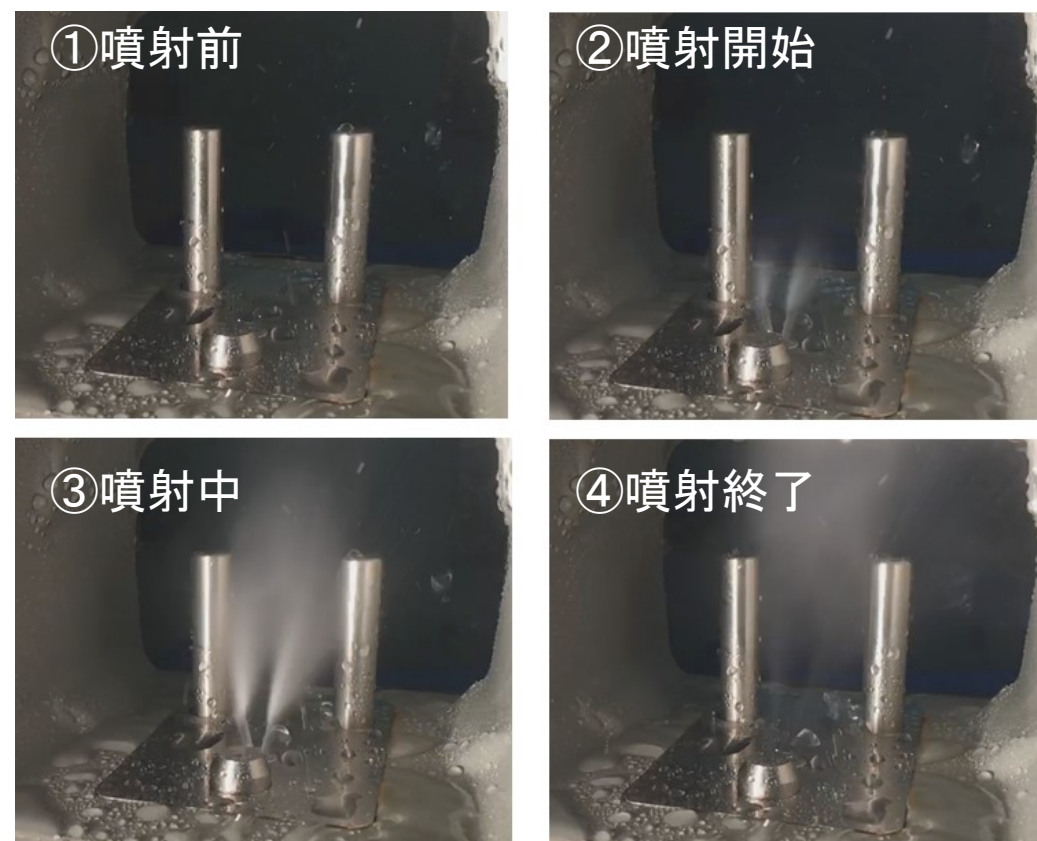


## 第2期 H<sub>2</sub>混焼関連の研究 今後の展望

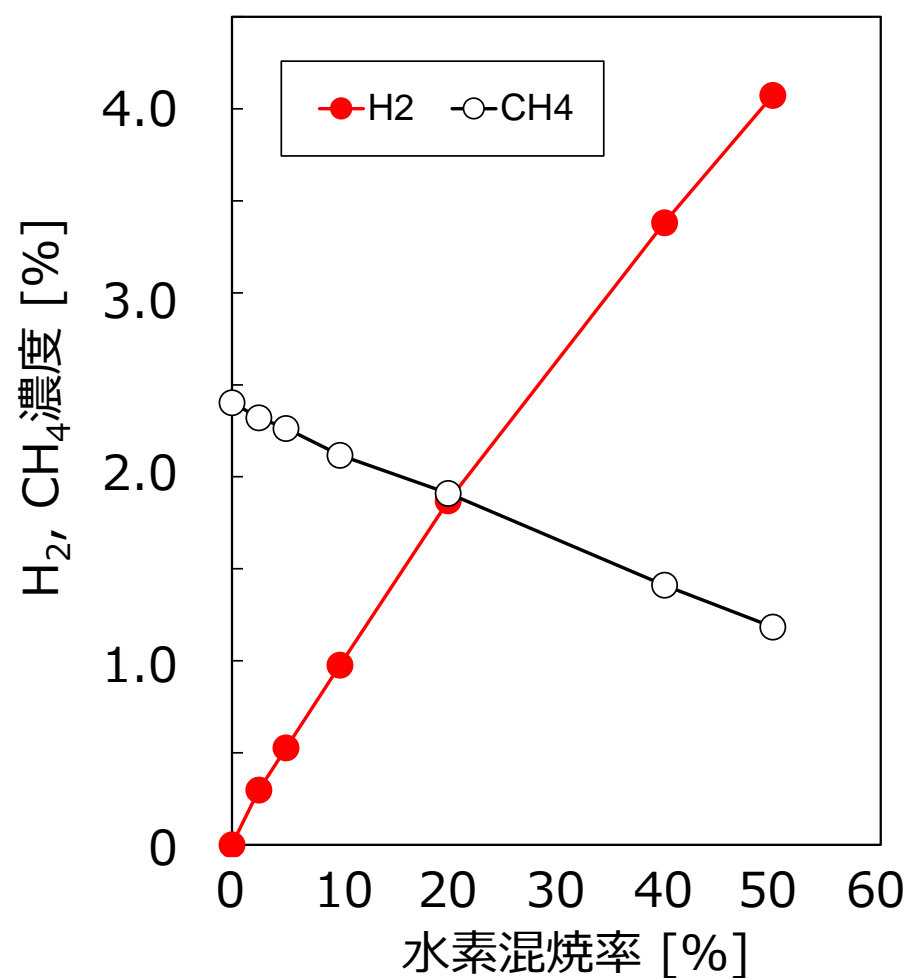
- 水素燃焼を安全に制御する技術等をメーカーと協力して開発し、水素専焼をめざす。  
→ポスターセッションPS-10にて発表中

### 水素燃料使用時の問題点

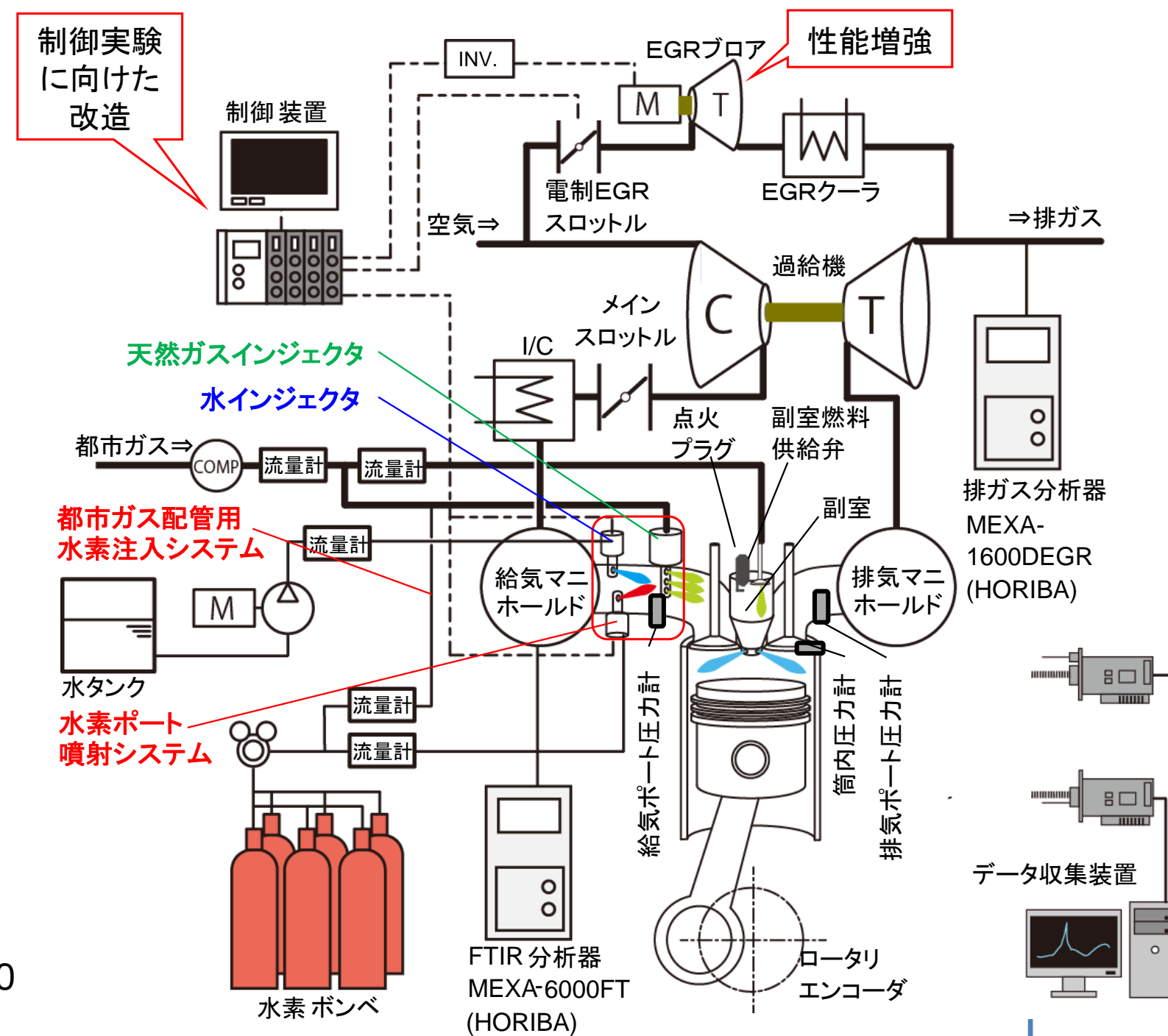
- ✓ 早期着火
- ✓ 煙道燃焼
- ✓ 逆火
- ✓ ブローバイガス



給気水噴射システムの作動の様子



ブローバイガス中の水素とメタンの濃度

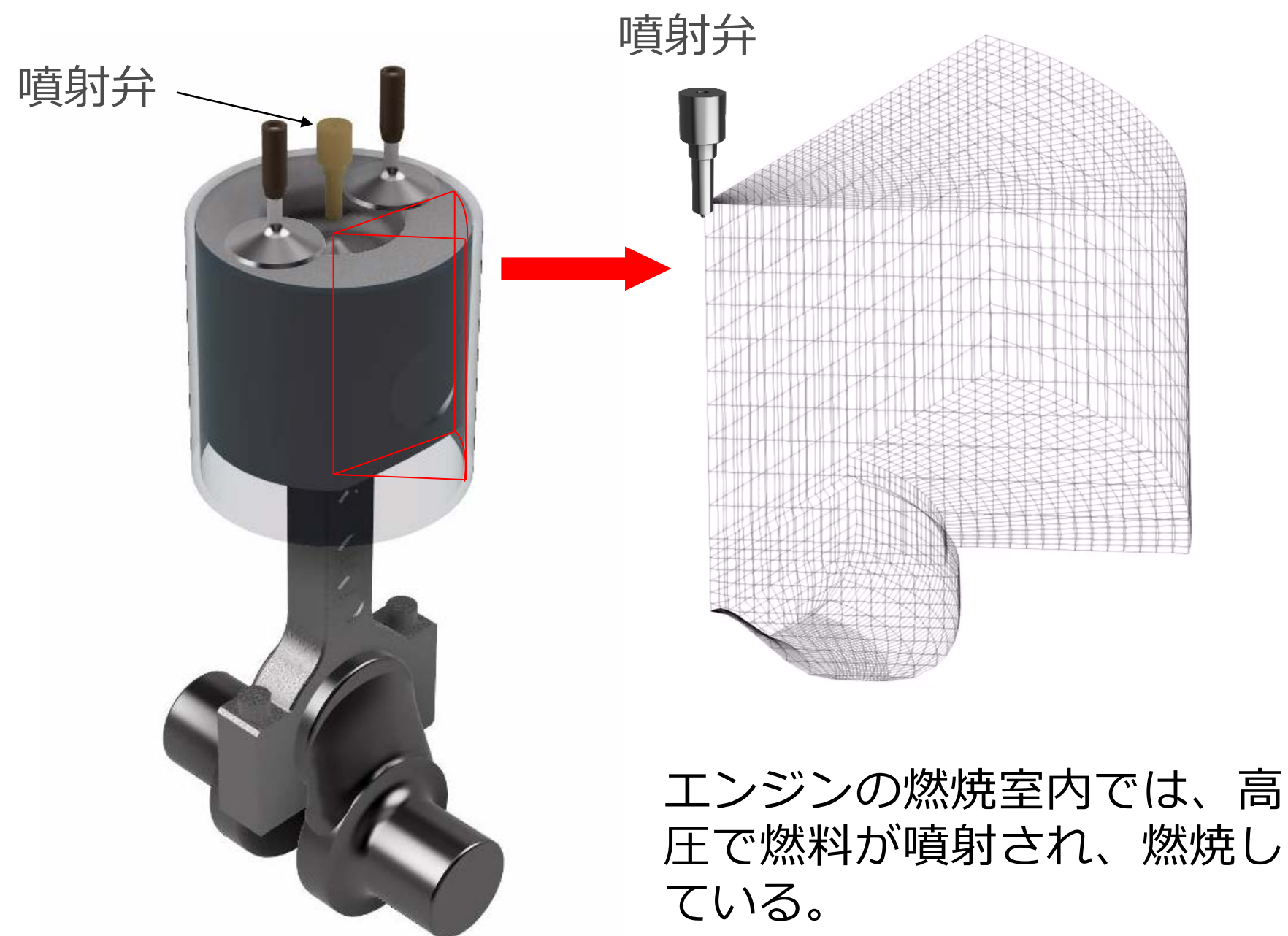


発電出力400kW ガスエンジンに構築中の水素試験設備

## ② 次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化

### エンジン内の燃焼について

- ディーゼルエンジン内の燃料の燃焼は、その複雑さを増している。



ディーゼルエンジンの模式図

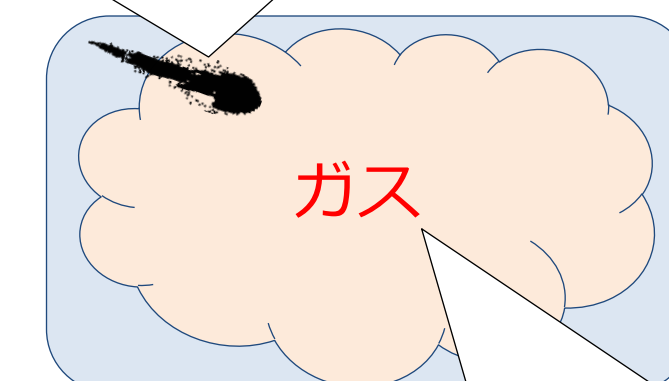
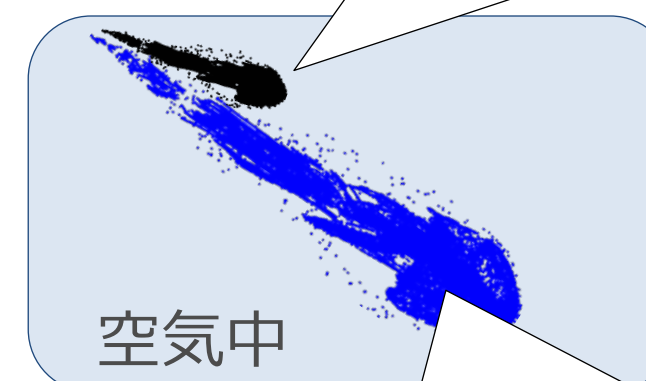
#### □従来



#### □近年

軽油や重油、バイオ、合成燃料

軽油や重油、バイオ、合成燃料



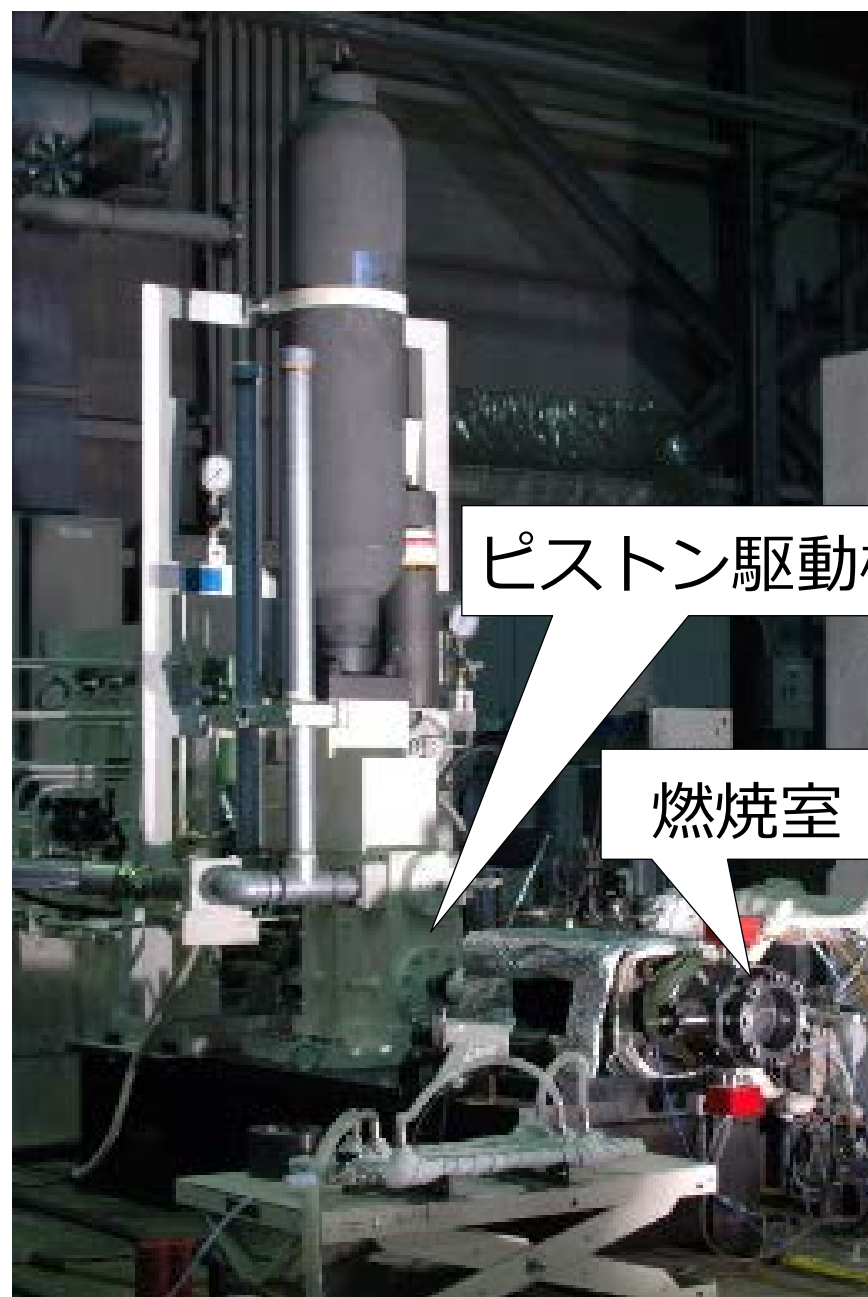
水素、アンモニア、メタノール

メタン、アンモニア、水素

- 高性能なエンジンの開発には、基礎的な現象の解析が必須。

## エンジン燃焼解析技術に関連する研究成果

- 急速圧縮膨張装置を使用して燃料噴霧の燃焼を観察することにより、噴霧形成過程の解析や着火・燃焼過程を明らかにしてきた。



急速圧縮膨張装置

メタン-空気中に噴霧

噴射弁



$\phi_{CH_4}$   
0.83

濃



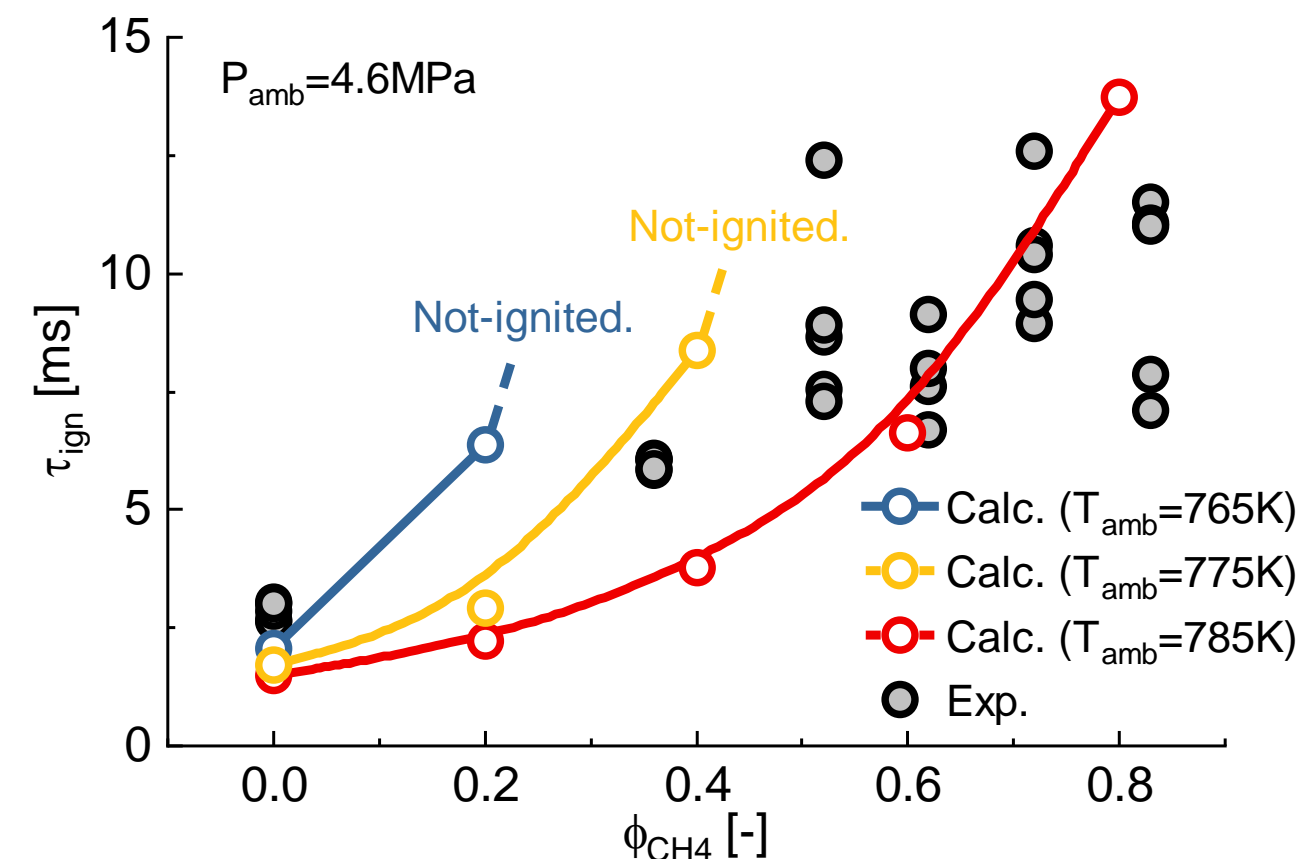
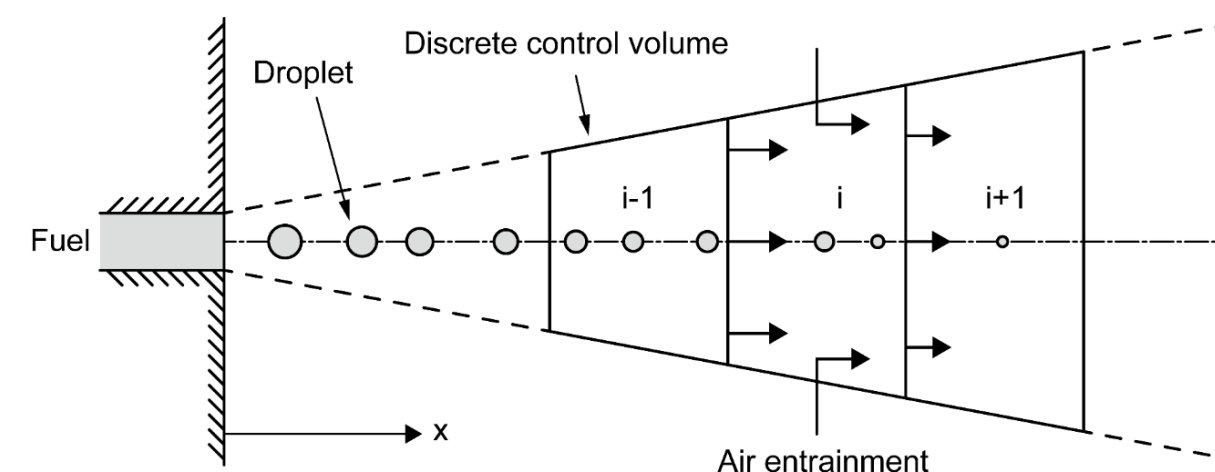
0.36

薄



0.0  
(空気)

メタン雰囲気中の噴霧の着火・燃焼(撮影例)  
デュアルフューエルエンジン



燃料噴霧の解析モデルとその解析結果  
メタン空気中の着火予測

川内ら、自動車技術会論文集、Vol.51, No.5, P.767

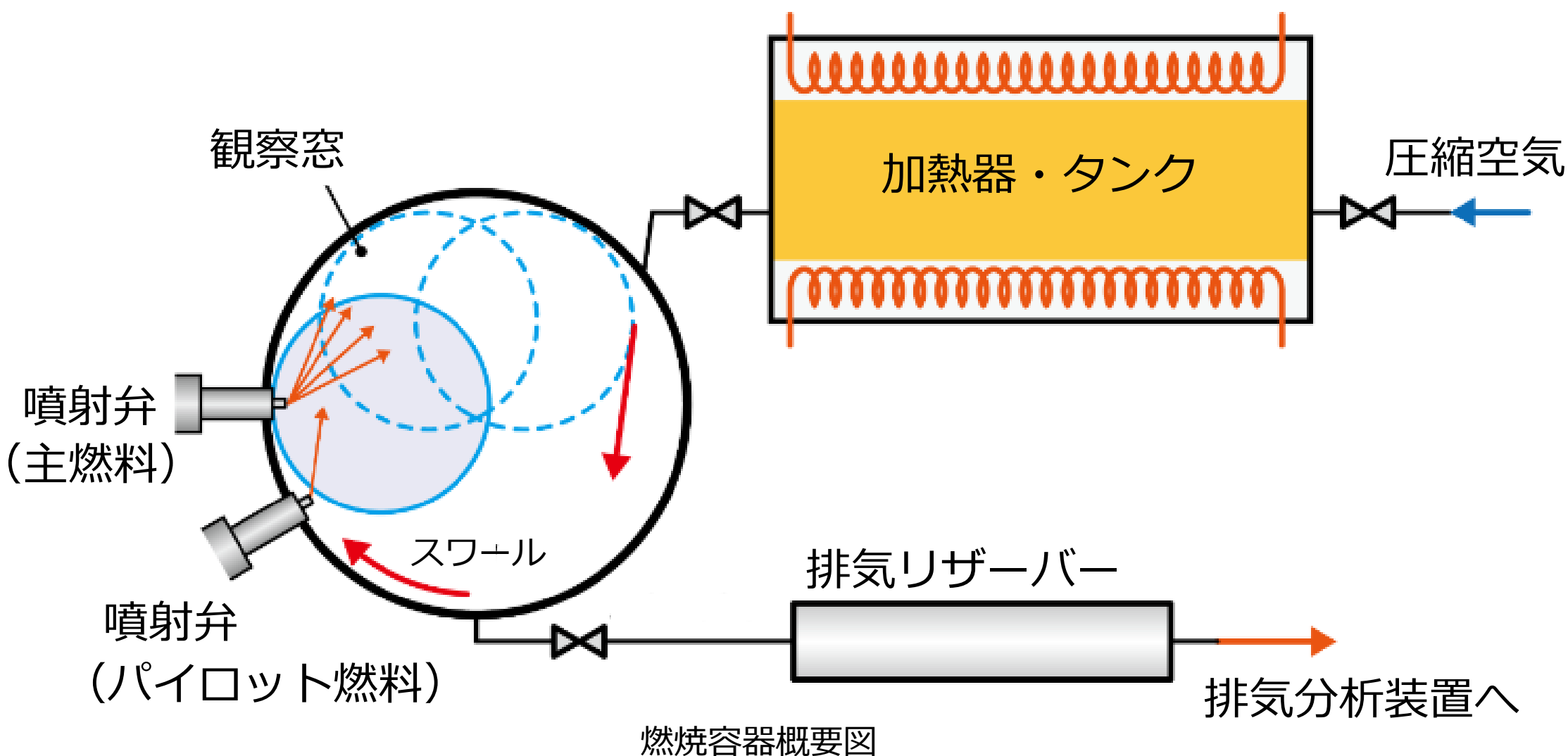
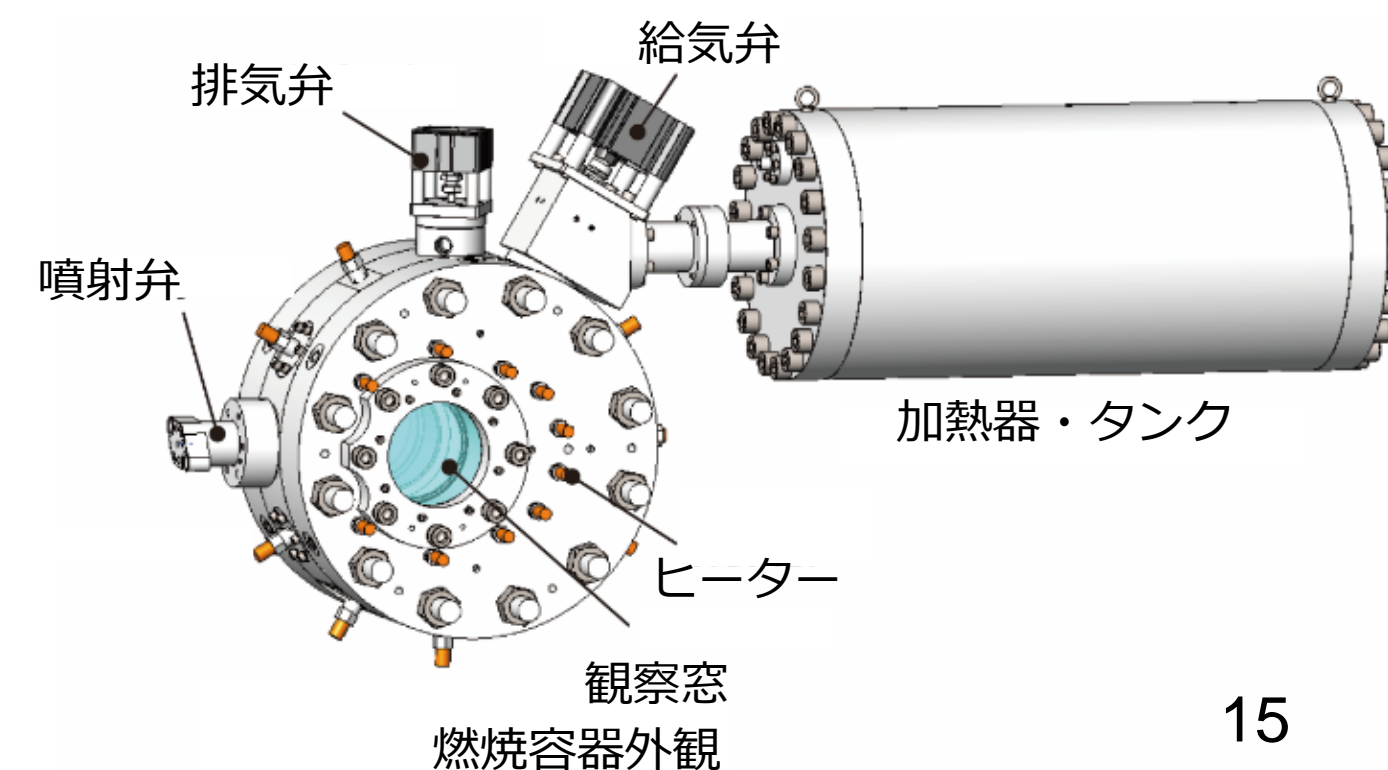
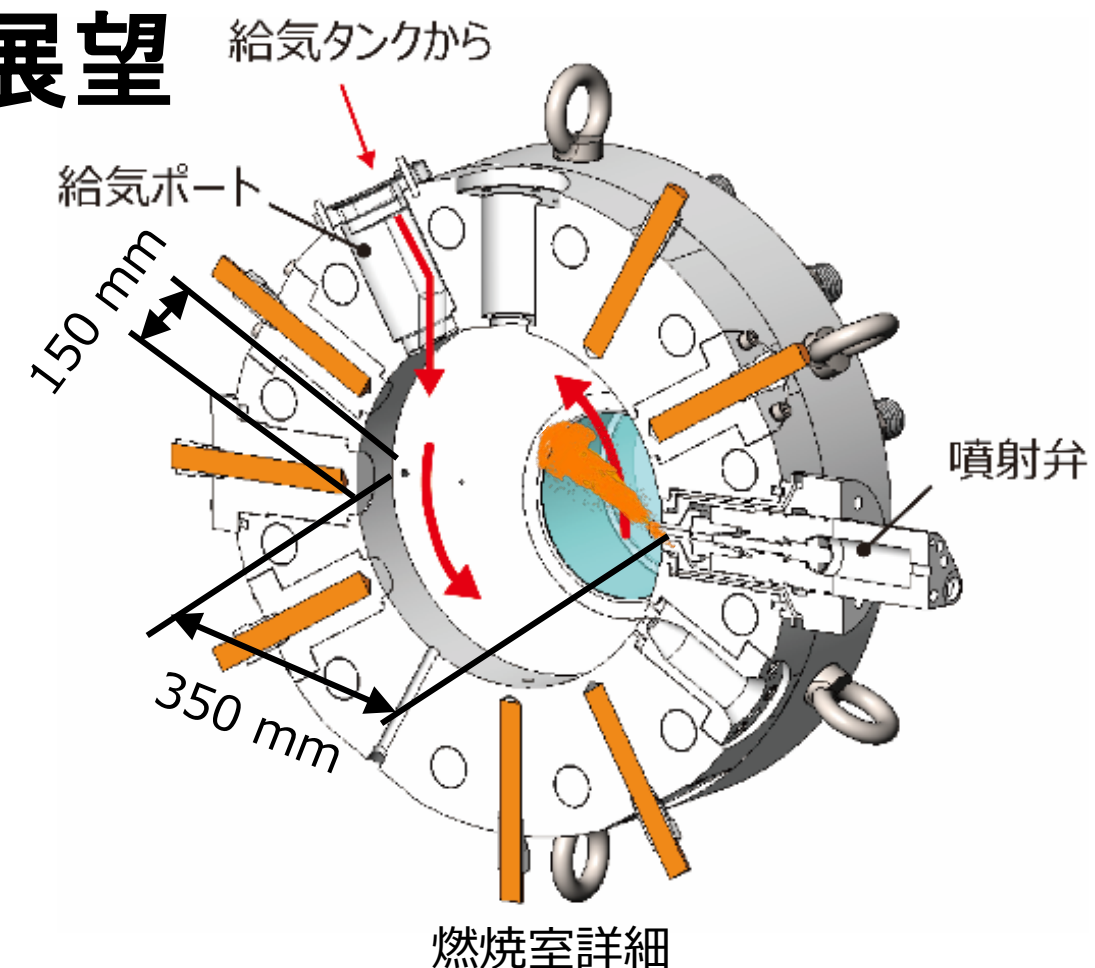
## ② 次世代燃料のエンジン燃焼解析技術の高度化



### 第2期 エンジン燃焼解析技術に関連する研究

- 燃焼シミュレーションのための検証データの取得
  - エンジンパラメータ適正化のための研究
  - 補助燃料評価のための研究
  - 新燃焼コンセプトの開発のための研究
- ポスターセッションPS-12にて発表中

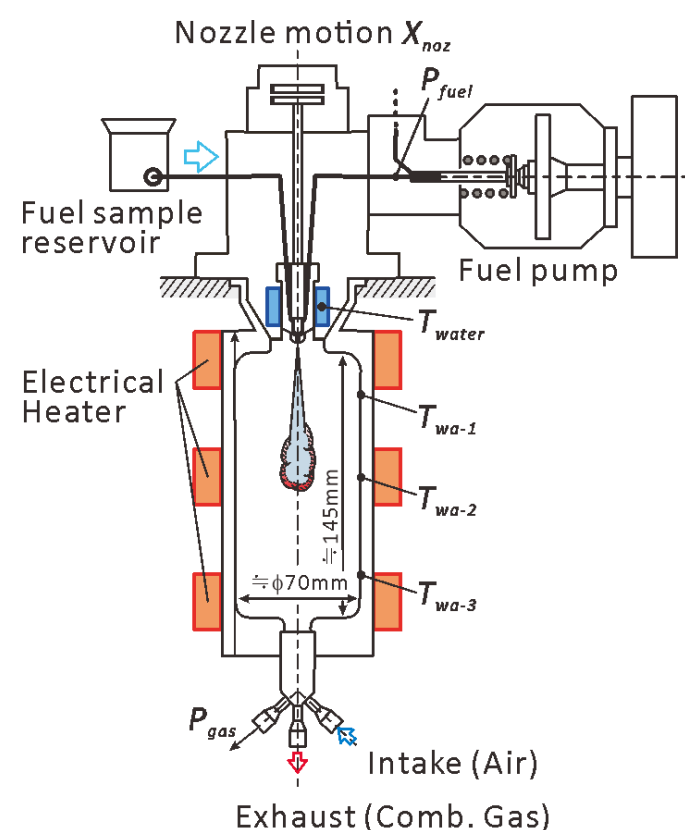
### 今後の展望



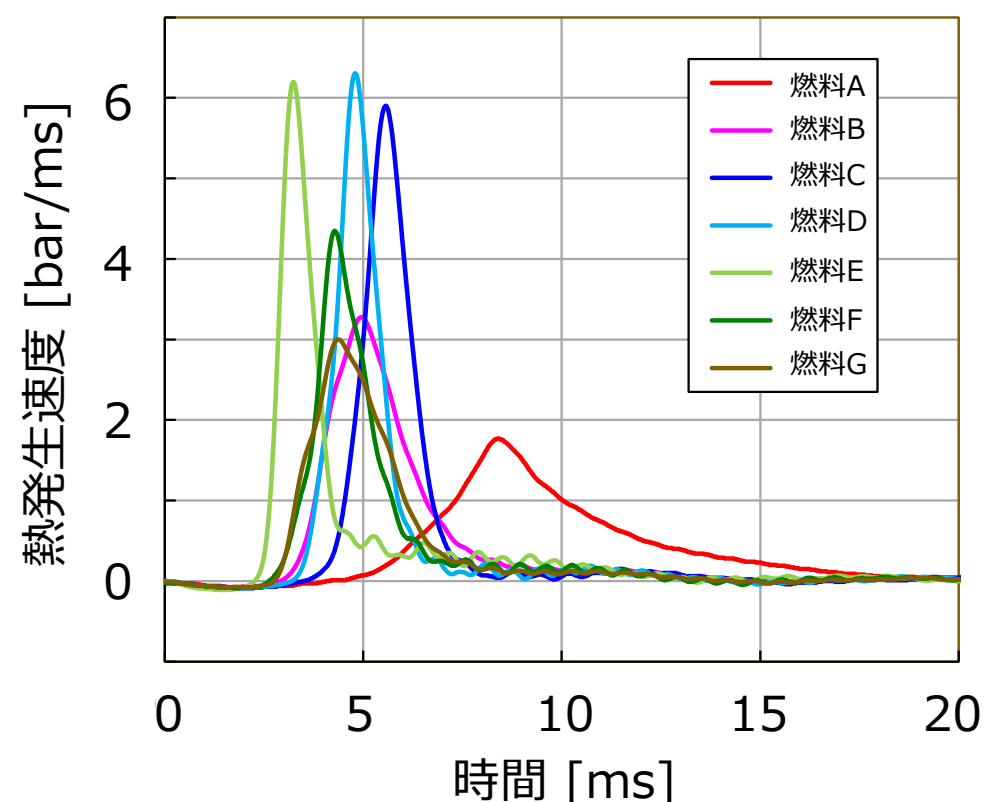


## 燃料の着火性評価に関する研究成果

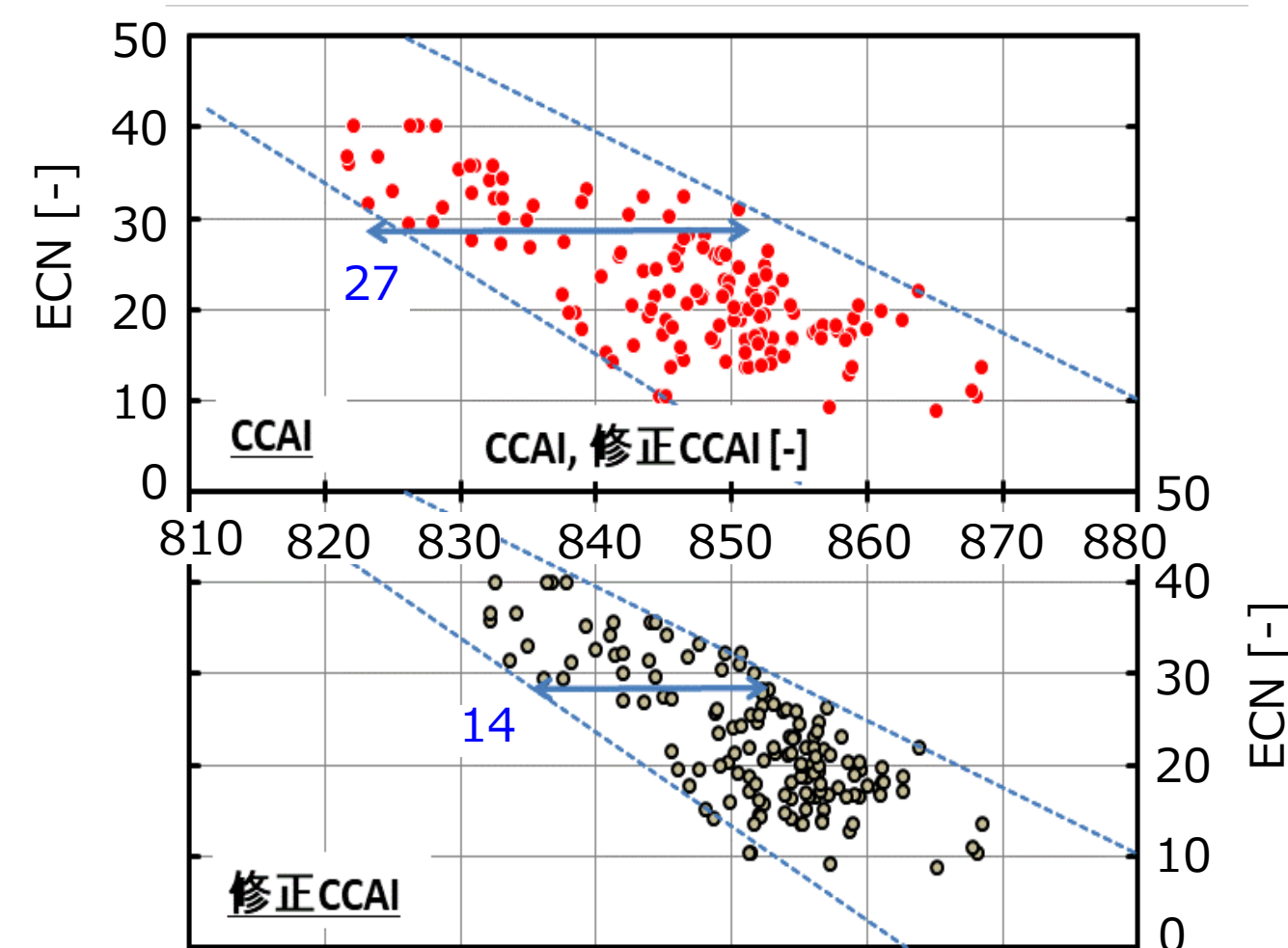
- 着火性計測用実験装置を使用して、様々な燃料の着火性を明らかにした。
- 同一の着火性指標 (CCAI) であっても、実測された着火性 (ECN) は様々な値となる。燃料をモデル化、分子構造ごとの含有量を推定する方法を確立した上で、よりECNとCCAIの線形性が向上するように修正CCAIを提案した。



着火性計測用実験装置 (FCA) の外観と内部構造



重油と各種バイオ燃料の燃焼測定例



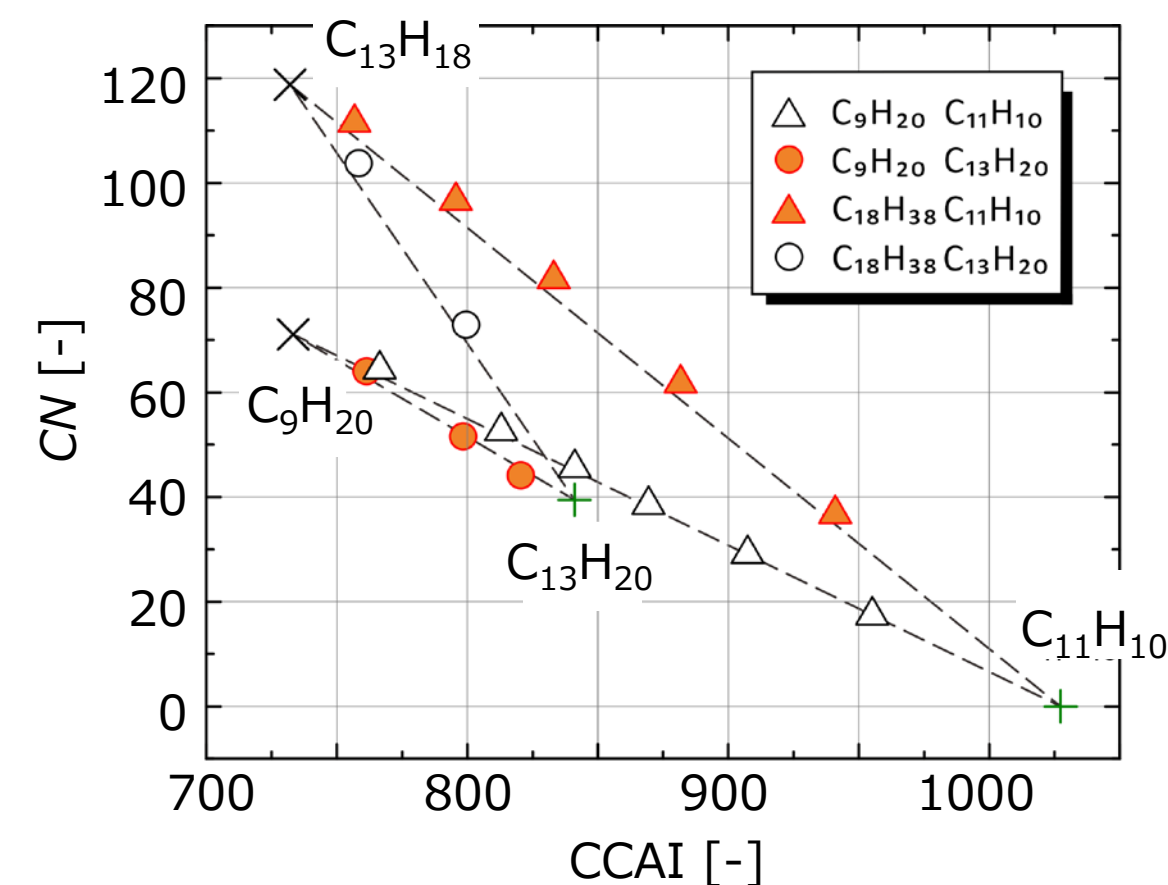
船用燃料油の着火性指標 (CCAI) の修正値と実測された着火性 (ECN)

## 第2期 燃料の着火性評価に関する研究 今後の展望

- ドロップイン燃料※の混合率、着火性指標（CCAI）と着火性との関係の公知化
- ドロップイン燃料の安全利用のためのガイドライン提案  
→ポスターセッションPS-11にて発表中

※ドロップイン燃料：GHG削減対応のために既存の石油系燃料と混合して使用する液体代替燃料

- ドロップイン燃料を混合して利用する場合、その着火性の変化は不明確である。
- 実験により分子構造や分子の種類が着火性に及ぼす影響を明らかにする。想定されていないドロップイン燃料が出現しても着火性を推定できる。



炭化水素の混合比変化によるCCAIと実測した着火性の比較

- **NH<sub>3</sub>混焼関連**
  - NH<sub>3</sub>燃焼の詳細な知見を得るために、NH<sub>3</sub>と軽油の相互作用、燃焼室内の空気流動の影響などを調査
  - 水素による燃焼支援（共同研究）
  - NH<sub>3</sub>混焼から単体燃焼に向けた燃焼コンセプトの開発
- **H<sub>2</sub>専焼関連**
  - 水素燃焼を安全に制御する技術等をメーカーと協力して行い、水素専焼をめざす。
- **エンジン燃焼解析技術**
  - 燃焼シミュレーションのための検証データの取得
  - エンジンパラメータ適正化のための研究
  - 補助燃料評価のための研究
  - 新燃焼コンセプトの開発のための研究
- **燃料の着火性評価に関する研究**
  - ドロップイン燃料の混合率、着火性指標（CCAI）と着火性との関係の公知化
  - ドロップイン燃料の安全利用のためのガイドライン提案

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

