

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.A3-6

グリーンイノベーション基金事業
／燃料アンモニアサプライチェーンの構築
／アンモニアの発電利用における高混焼化・専焼化
／ガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の開発・実証
／アンモニア専焼ガスタービンの研究開発

委託先：株式会社IHI
国立大学法人東北大学
国立研究開発法人産業技術総合研究所

発表者：内田正宏
株式会社IHI 技術基盤センター

連絡先：
株式会社IHI
<https://www.ihico.jp/>

事業概要

1. 期間

開始 : 2021年12月

終了（予定） : 2025年10月

2. 最終目標

- ✓ 2MWガスタービンにおける液体アンモニア専焼の実現
- ✓ 液体アンモニア専焼におけるGHG削減率90%以上の達成

3. 成果・進捗概要

燃焼器開発

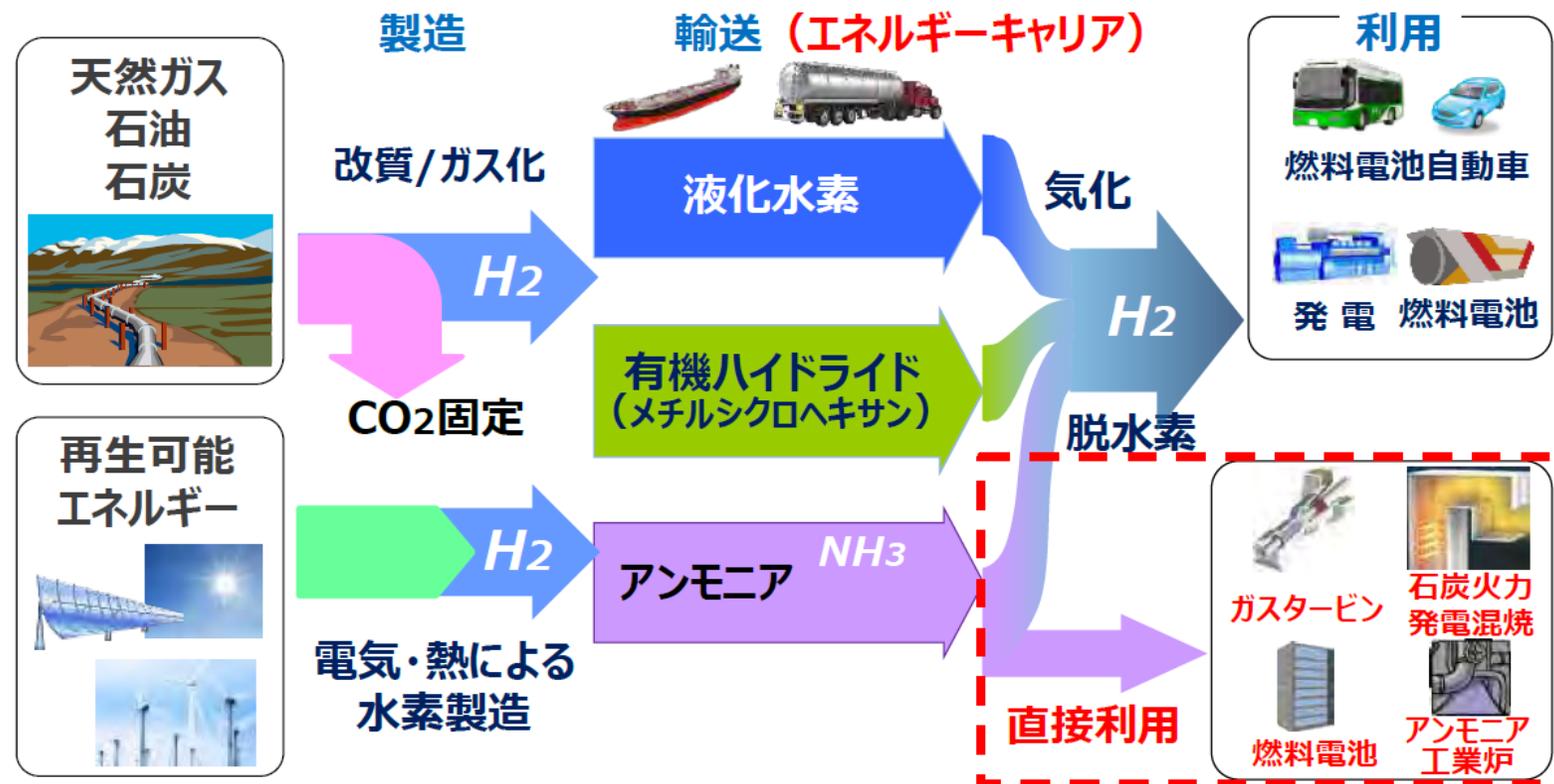
- ✓ 液体アンモニア燃焼に対するリッチ・リーン2段燃焼の適用により2MW級ガスタービンにおける液体アンモニア専焼を実現した。
- ✓ 燃焼器設計の改良により、未燃アンモニア及び亜酸化窒素（ N_2O ）排出量の抑制に成功した。

システム開発

- ✓ 実機ガスタービン環境におけるアンモニアの影響を確認するため長期耐久性試験を開始した。
- ✓ 2025年6月20日までに累積1500時間以上の運転を達成した。
- ✓ 部材の抜き取りを行い材料の分析を進めている。
- ✓ 引き続き2025年10月まで運転を実施する。

1. 事業の位置付け・必要性：エネルギーキャリアとしてのアンモニアの特徴

- 燃料としての**直接利用が可能**（脱水素が不要）であり，利用時にCO₂を発生しない。
- **体積水素密度が他の水素キャリアに比べて最大**（105kg/m³ @20°C, 8.46気圧）であり，輸送，インフラ整備をより小規模に形成できる（参考 液化水素：70kg/m³ @-253°C）。
- **液化が容易**（-33°C@1気圧/20°C@8.46気圧）
- 肥料および化学品原料用途等でのマーケットが現存し，**製造・輸送等のインフラが整備済み**。コスト構造も明確。（アンモニア燃料市場は未開拓）



1. 事業の位置付け・必要性：アンモニアの基本特性と燃焼技術の課題

燃焼性

- 燃焼速度，火炎温度が低い
- 着火遅れ時間が長い

エミッション

- 窒素分によるNOx (Fuel-NOx) の発生
- 温室効果の高いN₂Oの生成

取り扱い

- ハンドリング，供給方法，安全対策
- 材料の窒化



都市ガスのみ



都市ガス+アンモニア

火炎が都市ガスよりも長くなる

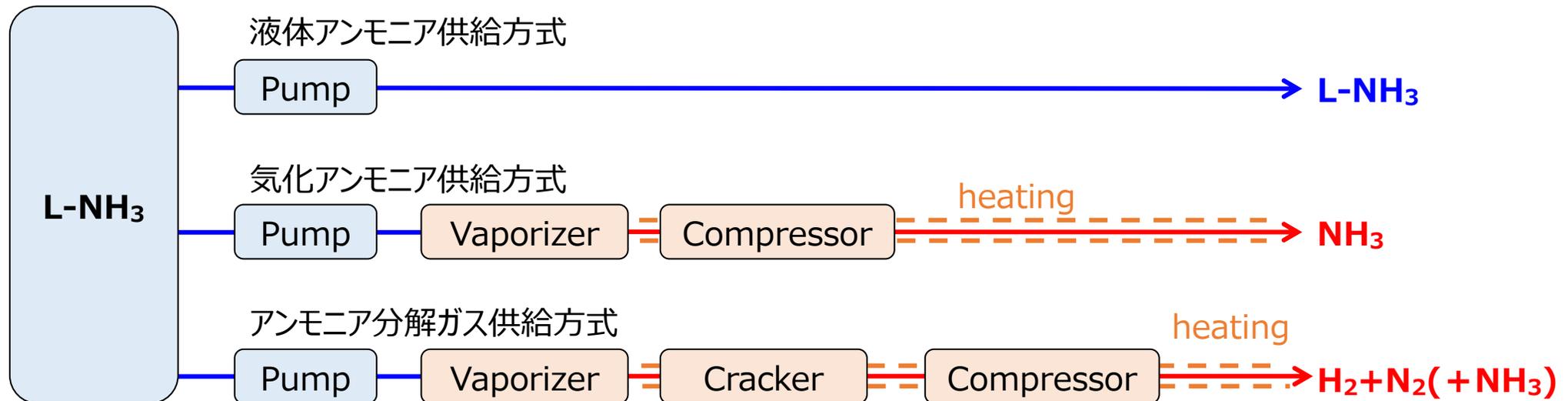
火炎の比較 (ガスタービン燃焼器)

特性	アンモニア	水素	メタン	プロパン
沸点 (大気圧)	-33.4	-253	-161	-42.1
低位発熱量(MJ/kg)	18.6	120	50.0	46.4
可燃範囲 (当量比)	0.6 ~ 1.4	0.1 ~ 7.1	0.5 ~ 1.7	0.5 ~ 2.5
断熱火炎温度 (°C)	1800	2110	1950	2000
最大燃焼速度 (m/s)	0.07	2.91	0.37	0.43

1. 事業の位置付け・必要性：液体アンモニアガスタービンのメリット

液体	気化	分解ガス
<ul style="list-style-type: none">✓ 設備が簡素✓ 負荷変動追従性が高い✓ 高圧供給が容易✓ 蒸発潜熱による損失	<ul style="list-style-type: none">✓ ガス燃焼の燃焼器に適する✓ ガスの圧縮動力が大きい✓ アンモニア気化器（熱源）が必要✓ 高圧では配管加熱が必要✓ 負荷変動追従性に劣る	<ul style="list-style-type: none">✓ 水素による安定燃焼✓ 水素燃焼技術の適用✓ 発熱量増加（改質）✓ 分解装置（高温熱源）が必要✓ 発熱量が減少（ATR）✓ 負荷変動追従性に劣る

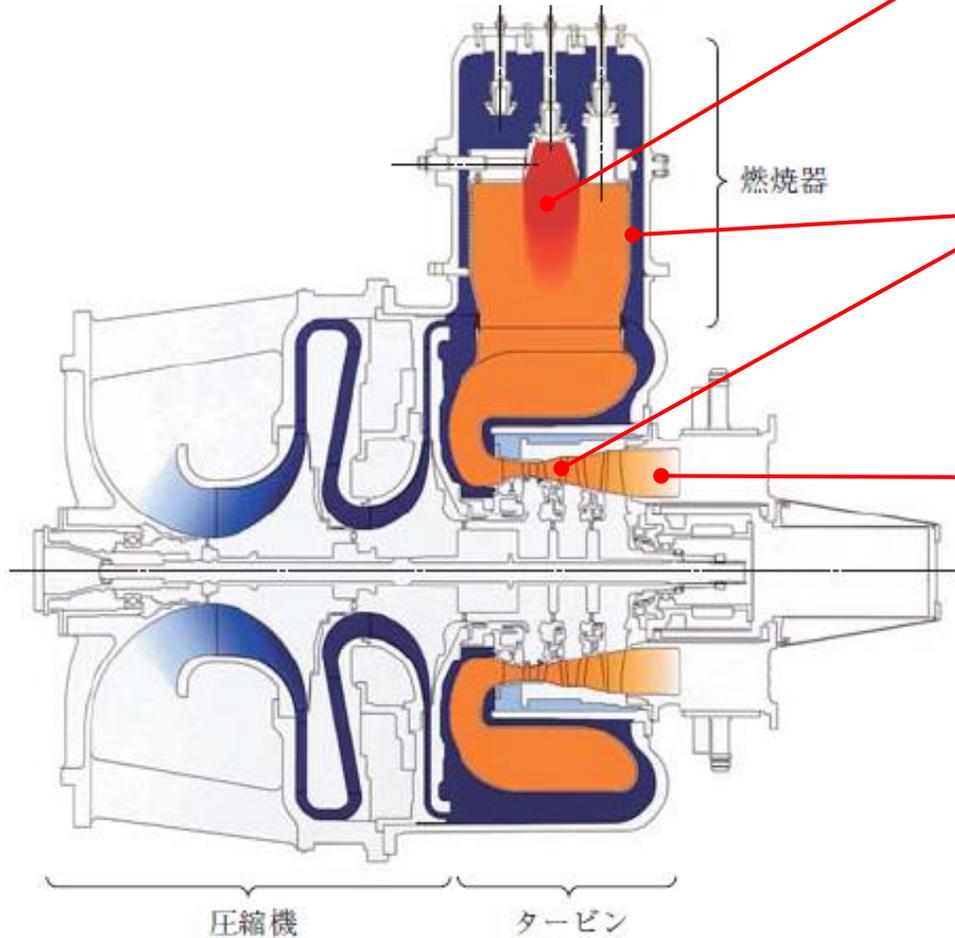
燃焼はより困難になるが、メリットを考慮して液体アンモニア専焼ガスタービンの開発を実施



1. 事業の位置付け・必要性：液体アンモニア焚きガスタービンの技術課題

赤字：気体・液体アンモニア共通の課題

青字：特に液体アンモニアで顕著な課題



液体アンモニアの安定燃焼

- 液体を直接供給することにより、出力制御性は向上するが、**蒸発潜熱により火炎温度が低下、燃焼が気体アンモニアよりさらに不安定に**

材料の耐久性（燃焼器・スクロール・タービン）

- アンモニア存在下での**材料耐久性**
- 都市ガス燃焼時⇔アンモニア燃焼時の温度変化**

エミッション

- 未燃NH₃（環境汚染，悪臭）**
- N₂O（温室効果ガス）**
- NOx（環境汚染，アンモニア燃料由来のFuel-NOx）**

液体アンモニアによるガスタービンの始動

- 液体の直接供給では火花点火は難しい
また、起動時に大量の未燃NH₃が排出されるリスクがある

2. 研究開発マネジメントについて：研究開発項目と目標（1）

研究開発項目	担当、実施内容、目標
<p>研究開発項目① 「アンモニア燃焼技術の研究開発」</p> <ol style="list-style-type: none"> 液体アンモニア噴霧形成/燃焼挙動の解明と低NO_x 燃焼手法の確立 (東北大学) アンモニア専焼用燃焼器の最適モデルの研究開発 (産業技術総合研究所) アンモニア専焼燃焼器の開発および発電実証試験による性能検証 (IHI) 	<p>(東北大)</p> <ul style="list-style-type: none"> 液体アンモニア噴霧特性の解明 液体アンモニア噴霧専焼の達成、低NO_x化燃焼手法の解明 <p>(産業技術総合研究所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 二流体噴射弁のアンモニア噴霧特性の解明、燃焼器設計の最適化 金属及びセラミックスの耐食性評価 <p>(IHI)</p> <ul style="list-style-type: none"> 液体アンモニア専焼燃焼器設計の確立 <p>目標：GHG削減率90%以上の達成 (早期の社会実装を目標にN₂O排出量低減を最優先課題に設定)</p>
<ol style="list-style-type: none"> 液体アンモニア噴霧の着火手法の検討および開発 (東北大学) 小型燃焼器による液体アンモニア噴霧着火手法の検討および開発 (産業技術総合研究所) 2MW 級ガスタービンにおける液体アンモニア着火手法の研究開発 (IHI) 	<p>(東北大)</p> <ul style="list-style-type: none"> 直接加熱方式によるアンモニア熱分解装置の開発 液体アンモニア直接熱分解装置の開発 <p>(産業技術総合研究所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 触媒開発と耐久性の確認 小型燃焼器スケールの熱分解装置の開発 <p>(IHI)</p> <ul style="list-style-type: none"> 2MW級ガスタービンスケールの装置の検討 要素試験装置による熱分解性能の確認 <p>目標：要素試験装置における高熱分解率の達成 (ガスタービンの着火・始動を安定化可能な熱分解率を設定)</p>

2. 研究開発マネジメントについて：研究開発項目と目標（2）

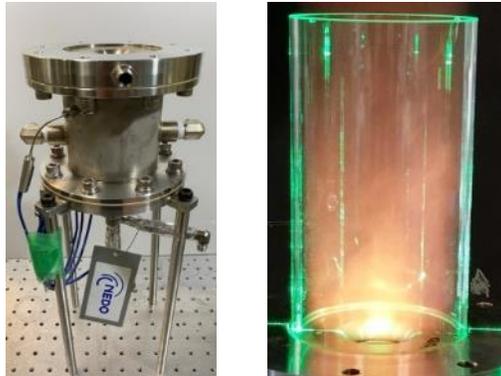
研究開発項目	担当、実施内容、目標
<p>研究開発項目② 「アンモニアガスタービンの長期耐久性の検証」 1. アンモニアガスタービンの長期耐久性に関する調査および確認試験 (IHI)</p>	<p>(IHI)</p> <ul style="list-style-type: none">• 耐久性試験用システムの詳細設計および設備製作• 材料試験による部材評価• 長時間運転による性能評価• ガスタービン環境における材料への影響評価• 設備運用の安全対策の検討と効果検証 <p>目標：長時間運転の達成 (長期運転の影響が評価可能な運転時間を設定)</p>
<p>研究開発項目③ 「大型ガスタービンにおけるアンモニア利用の検討」 1. 大型ガスタービンへのアンモニア燃焼技術適用のフィージビリティスタディー (IHI)</p>	<p>(IHI)</p> <ul style="list-style-type: none">• モデルプラントの仕様及び設備の検討• 液体アンモニア燃焼大型ガスタービンの作動条件の検討• 液体アンモニア大型ガスタービンの経済性の検討• 大型ガスタービンにおける燃焼器課題の検討と対策立案

2. 研究開発マネジメントについて：研究開発体制

東北大：ラボスケール試験

コンセプト検討および基礎的な燃焼試験の把握

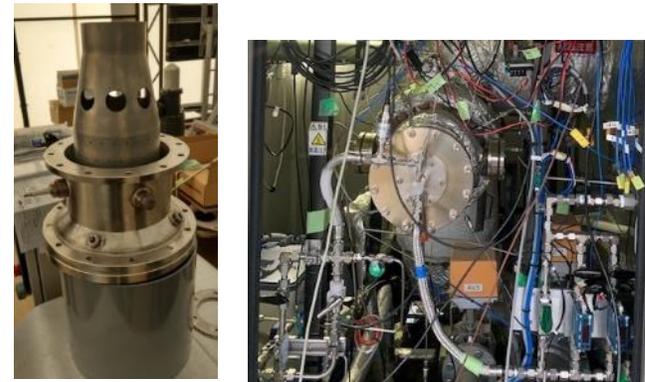
- 液体アンモニア噴霧形成/燃焼挙動の解明と低NO_x燃焼手法の確立
- 液体アンモニア噴霧の着火手法の検討および開発



産総研：テストリグによる燃焼試験

ガスタービン構成小型燃焼器の製作と性能確認

- アンモニア専焼用燃焼器の最適モデルの研究開発
- 小型燃焼器による液体アンモニア噴霧着火手法の検討および開発



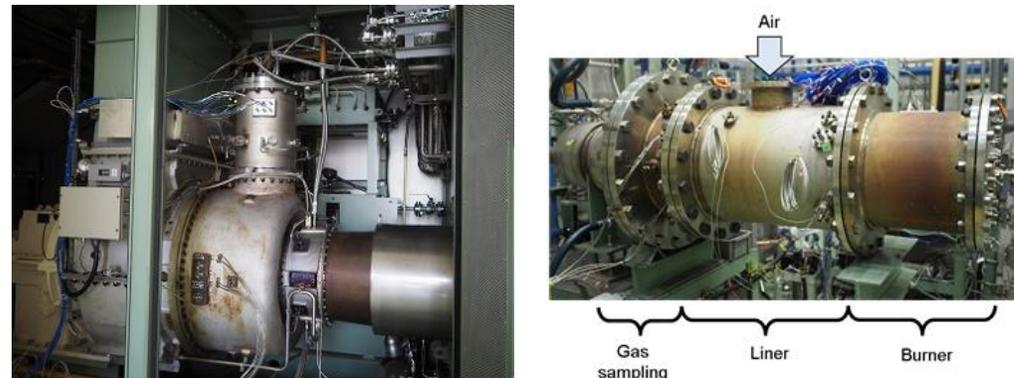
ガスタービン燃焼器構成に変更
(バーナにライナを追加)

・2MW級ガスタービン用に
スケールアップ

IHI：2MW級ガスタービンによる性能確認

実スケールのリグ・エンジン試験による性能確認

- アンモニア専焼燃焼器の開発および発電実証試験による性能検証
- 2MW級ガスタービンにおける液体アンモニア着火手法の研究開発

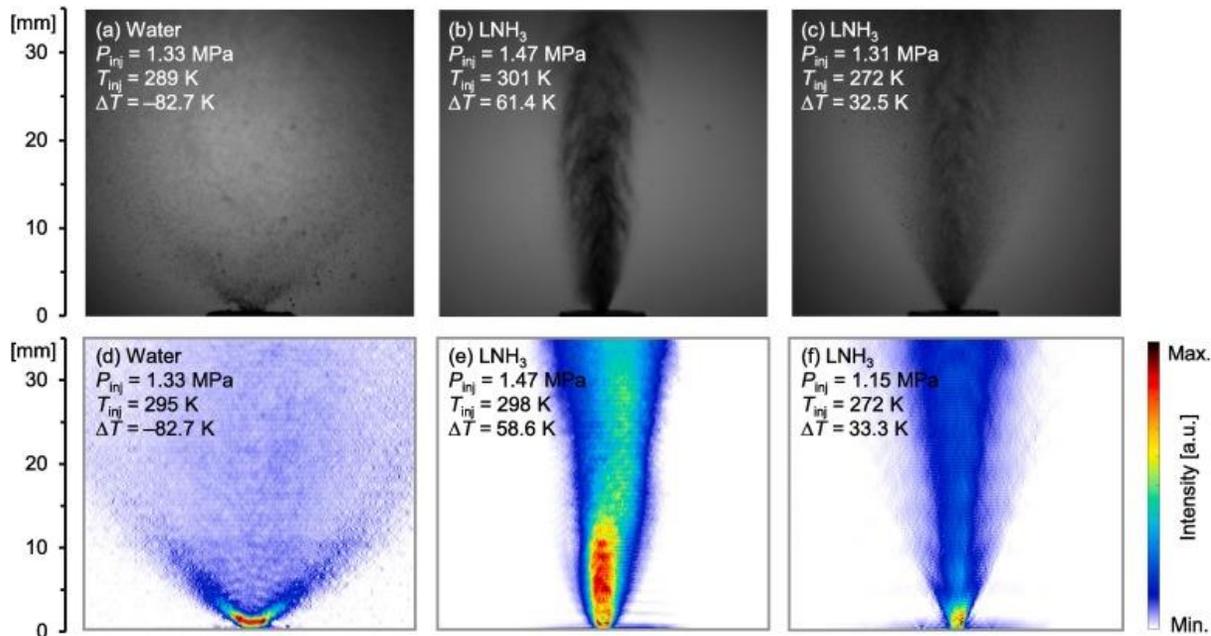


3. 研究開発成果について

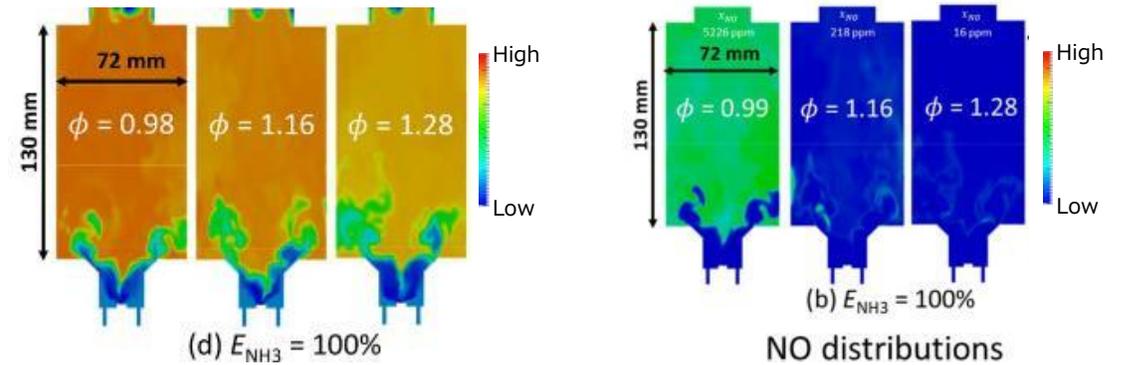
①-1 液体アンモニア噴霧形成/燃焼挙動の解明と低NO_x 燃焼手法の確立 (担当: 東北大学)

実施内容および成果

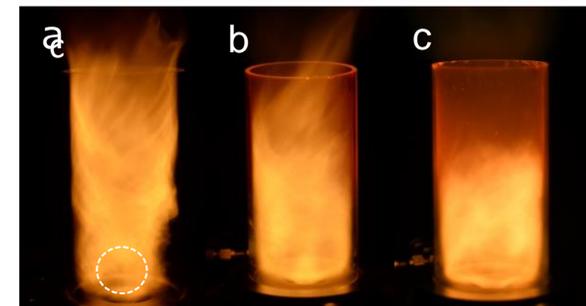
- 液体アンモニア噴霧特性の解明
- フラッシュ沸騰モデルを含む液体アンモニア数値計算モデルの構築
- ラボスケール燃焼器による液体アンモニア燃焼器へのリッチ・リーン2段燃焼の適用性の確認
- ラボスケール燃焼器によるエミッション低減方法の検討および検証
- 低NO_x燃焼を実現する液体アンモニア噴射弁の開発



アンモニア噴霧挙動および水噴霧との比較 (※1)



液体アンモニアの燃焼CFD結果 (※2)



液体アンモニア噴射弁の違いによる燃焼挙動の変化

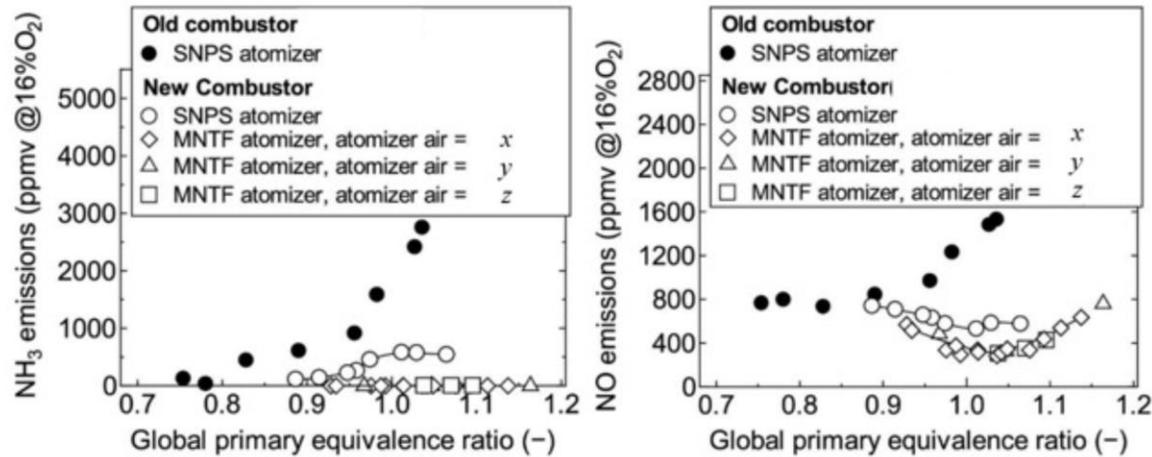
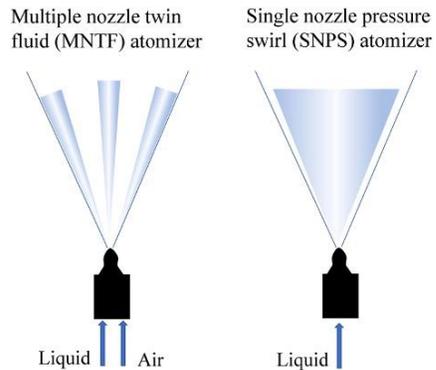
※1 : Reprinted from H. Yamashita et al., Fuel 371 (2024) 131833, with permission from Elsevier.
 ※2 : Modified from K.D.K.A. Somaratne et al., Applications in Energy and Combust. Sci., vol.16 (2023).

3. 研究開発成果について

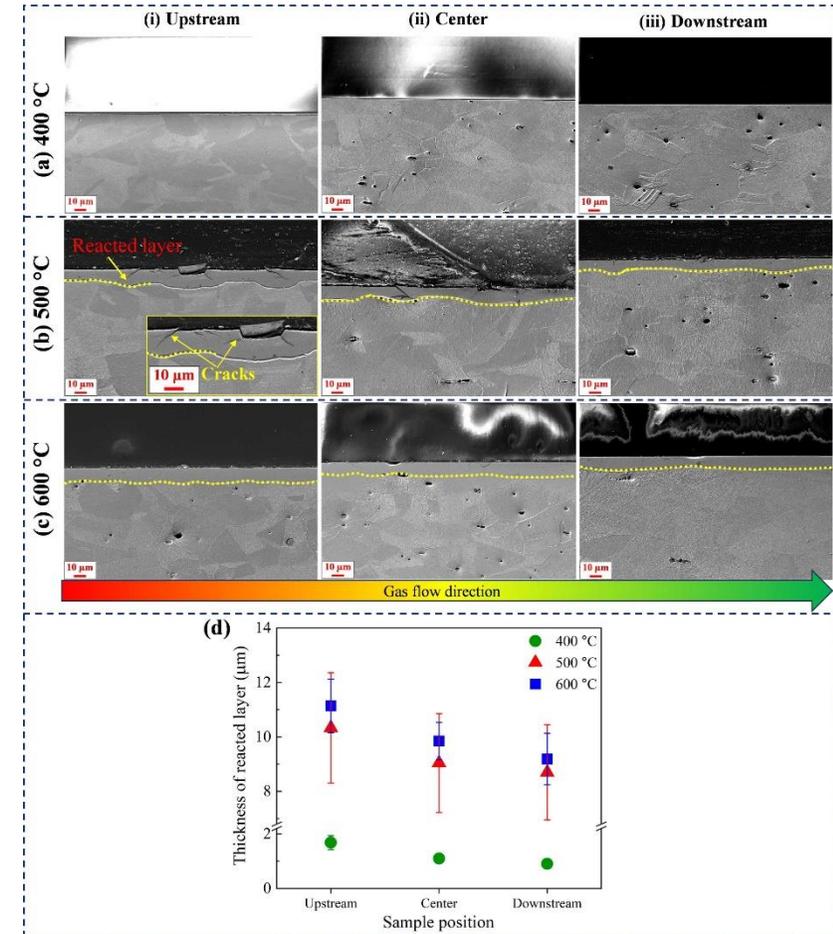
①-2 アンモニア専焼用燃焼器の最適モデルの研究開発 (担当: 産業技術総合研究所)

実施内容および成果

- 液体アンモニア噴射弁の開発および性能評価
- 燃焼シミュレーションによる燃焼器内部流動の解明、改良設計の検討
- 小型燃焼器要素 (噴射弁・スワラ・ライナ) の設計パラメータの燃焼挙動への影響の解明
- 燃焼器を構成する金属基材およびコーティングの窒化挙動の解明



新開発噴射弁のイメージおよびエミッションへの影響 (※1)



ニッケル基合金の窒化挙動 (※2)

※1 : Modified from E.C. Okafor et al., Proc. Combust. Inst., vol.40 (2024).

※2 : Reprinted from T. Ghara et al., Corrosion Science, vol.240 (2024), with permission from Elsevier.

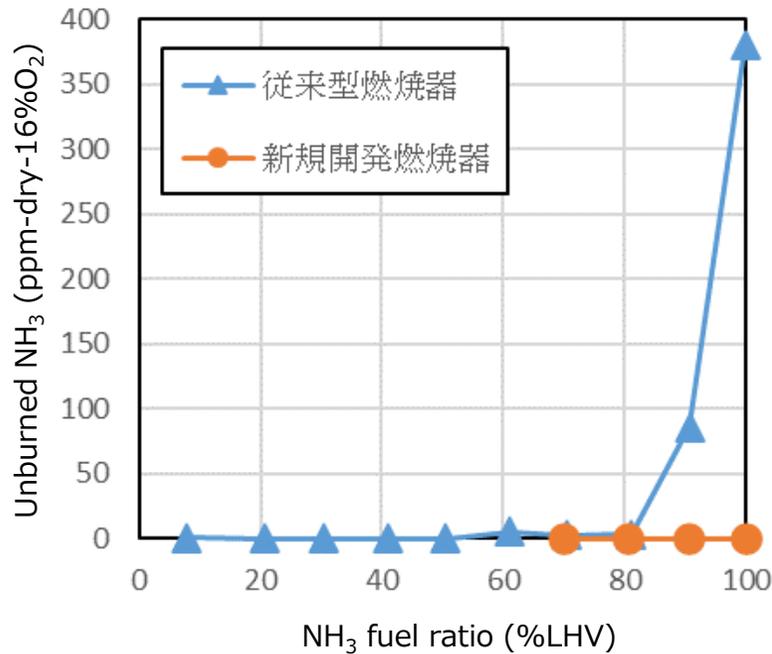
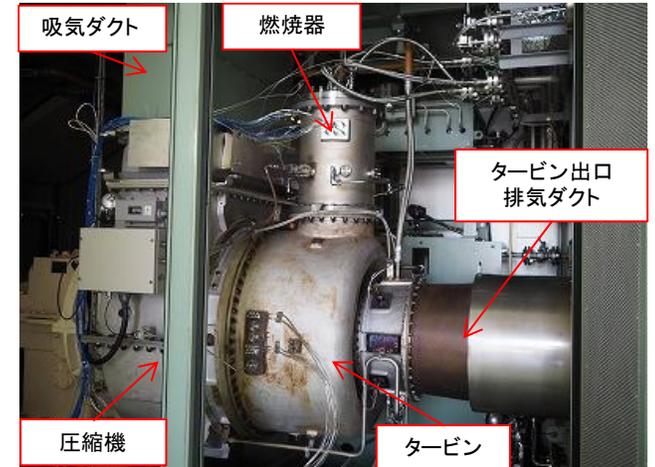
3. 研究開発成果について

①-3 アンモニア専焼燃焼器の開発および発電実証試験による性能検証 (担当: IHI)

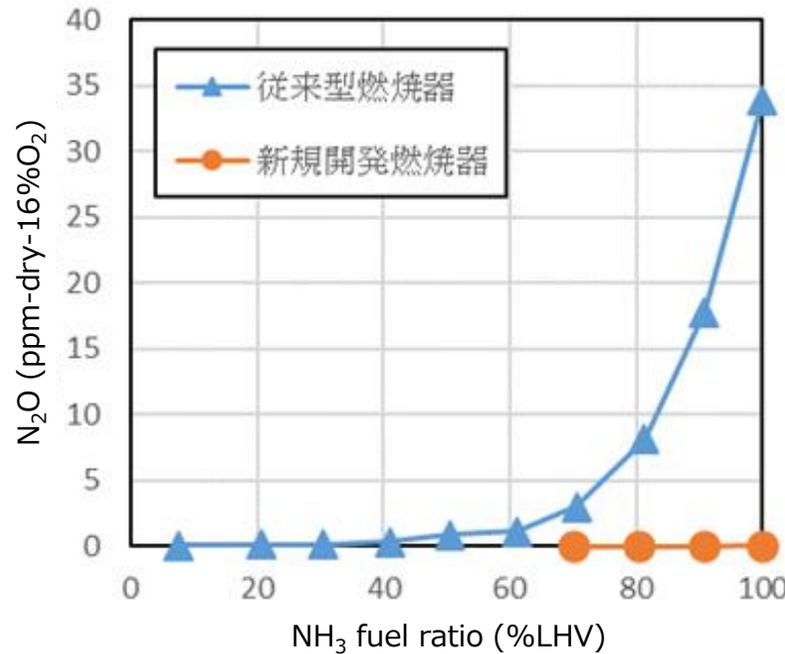
実施内容および成果

- 2MW級ガスタービン用の燃焼器改良による液体アンモニア専焼の達成
- 燃焼器設計の最適化により未燃アンモニア・亜酸化窒素を抑制
- 燃焼器耐久性を確保する冷却設計の改良
- 液体アンモニア噴射弁の開発
- 低NOx燃焼を実現する燃焼器設計の検討
- 材料窒化試験による燃焼器材料の選定

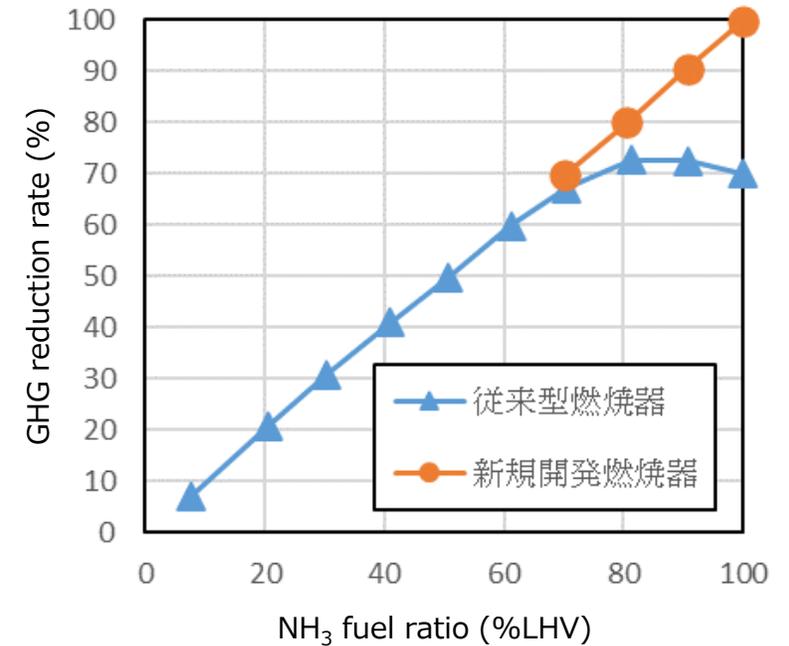
試験用
2MW級
ガスタービン



未燃アンモニア



亜酸化窒素



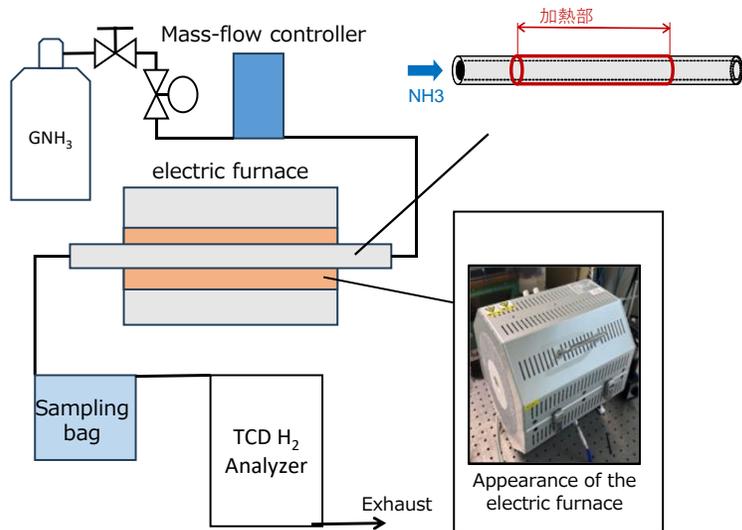
開発した燃焼器のエミッション

3. 研究開発成果について

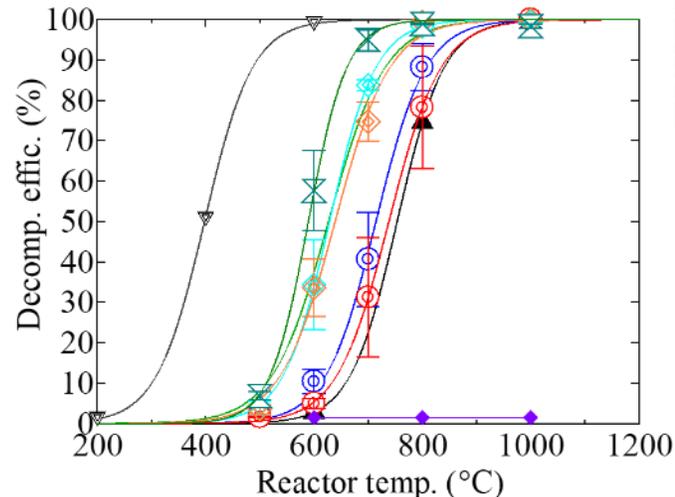
①-4 液体アンモニア噴霧の着火手法の検討および開発 (担当: 東北大学)

実施内容および成果

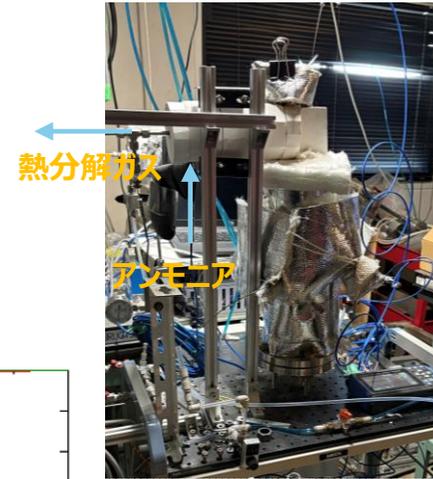
- チューブ型熱分解装置におけるチューブ材料が熱分解挙動に与える影響の解明、チューブ材料の窒化特性の解明
- 気体および液体アンモニア直接供給型の熱分解装置の開発
- 加熱温度および熱分解促進体 (触媒等) による熱分解挙動の解明



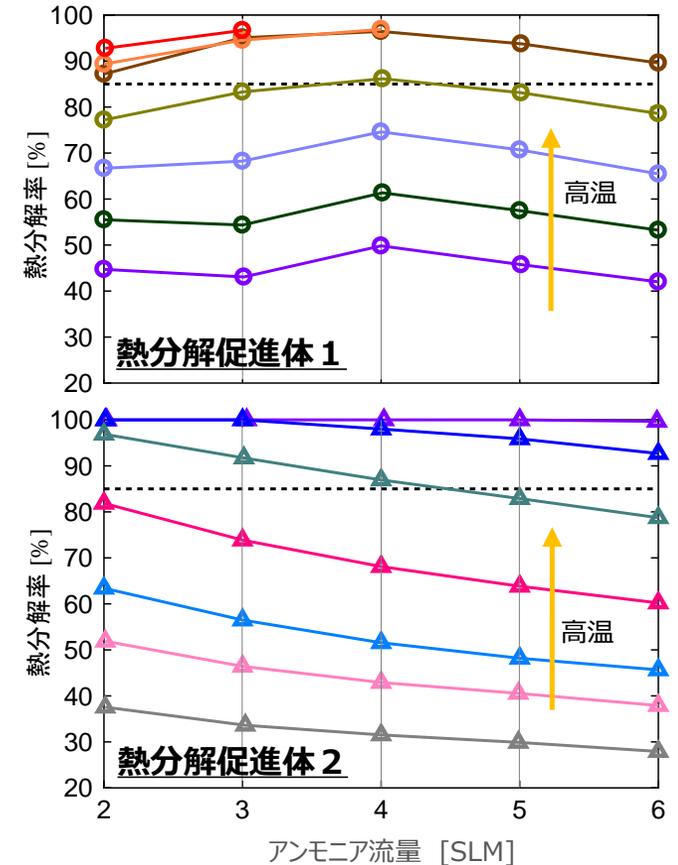
チューブ型熱分解試験装置 (※1)



チューブ材料による熱分解挙動の違い (※1)



熱分解装置 (外観)



熱分解装置の性能

※1 : Modified from H. Ito et al., ASPACC2025 (2025).

3. 研究開発成果について

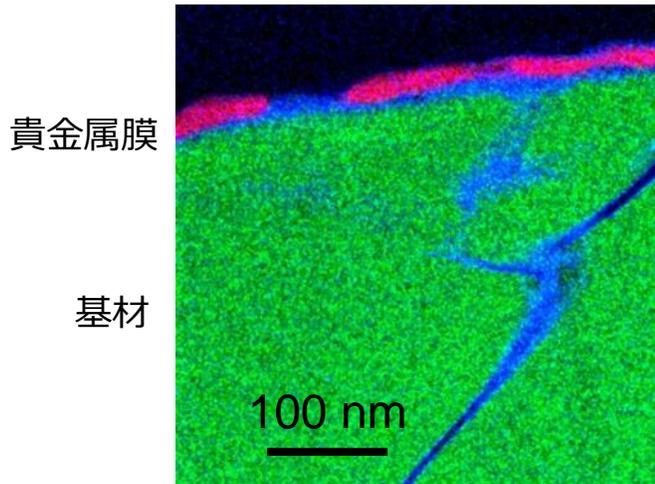
①-5 小型燃焼器における液体アンモニア噴霧着火手法の検討および開発 (担当：産業技術総合研究所)

実施内容および成果

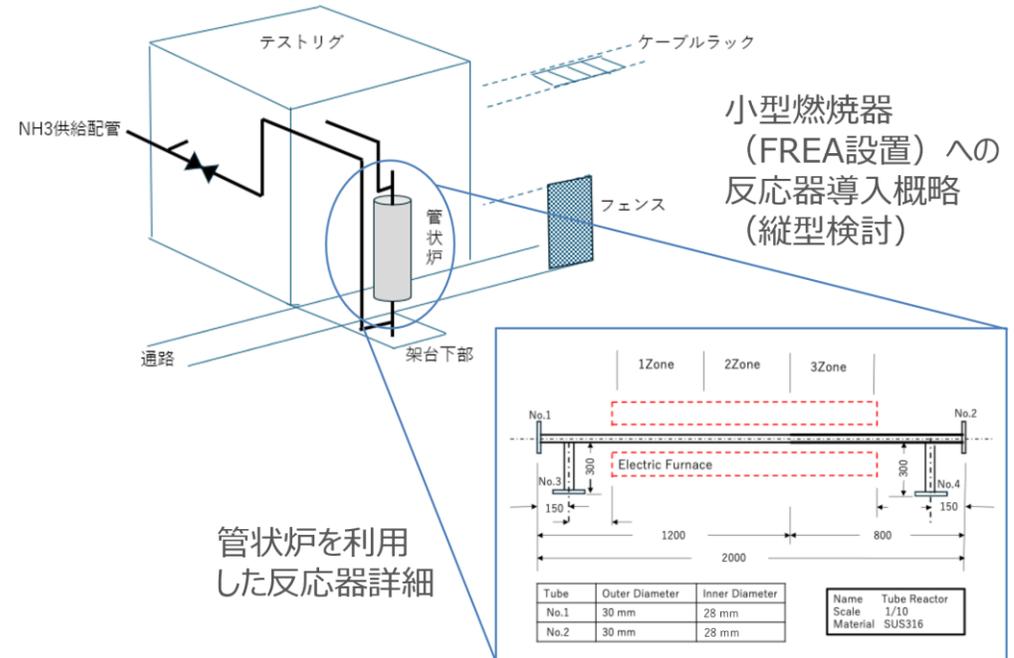
- 触媒候補材の探索および触媒担持方法の検討
- 開発触媒の性能評価およびサイクル試験による劣化挙動の確認
- 詳細観察による触媒劣化時の構造の解明
- 小型燃焼器着火用の熱分解システムの開発



ハニカム触媒



繰り返し試験後の断面EDS mapping像
(注：触媒担持方法は左図とは異なる)



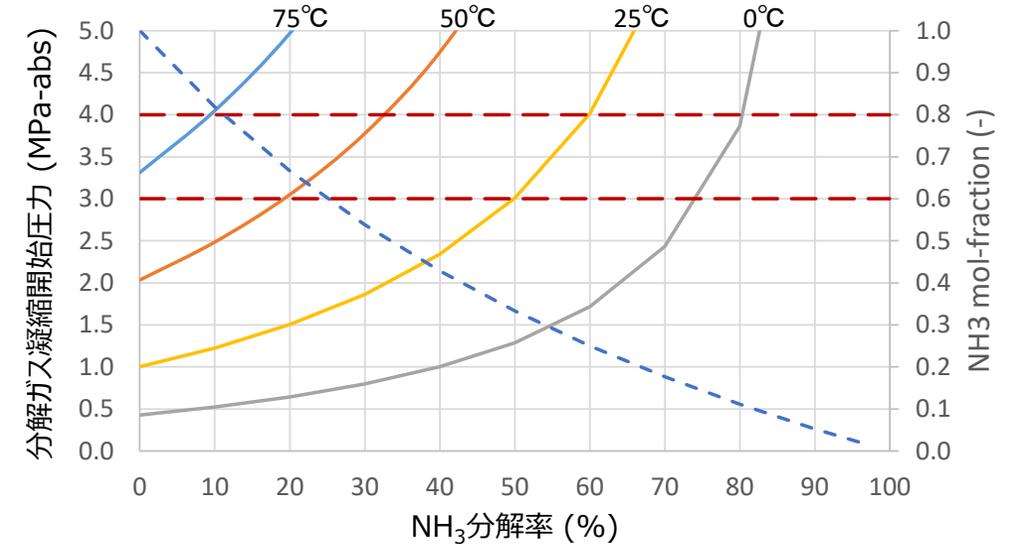
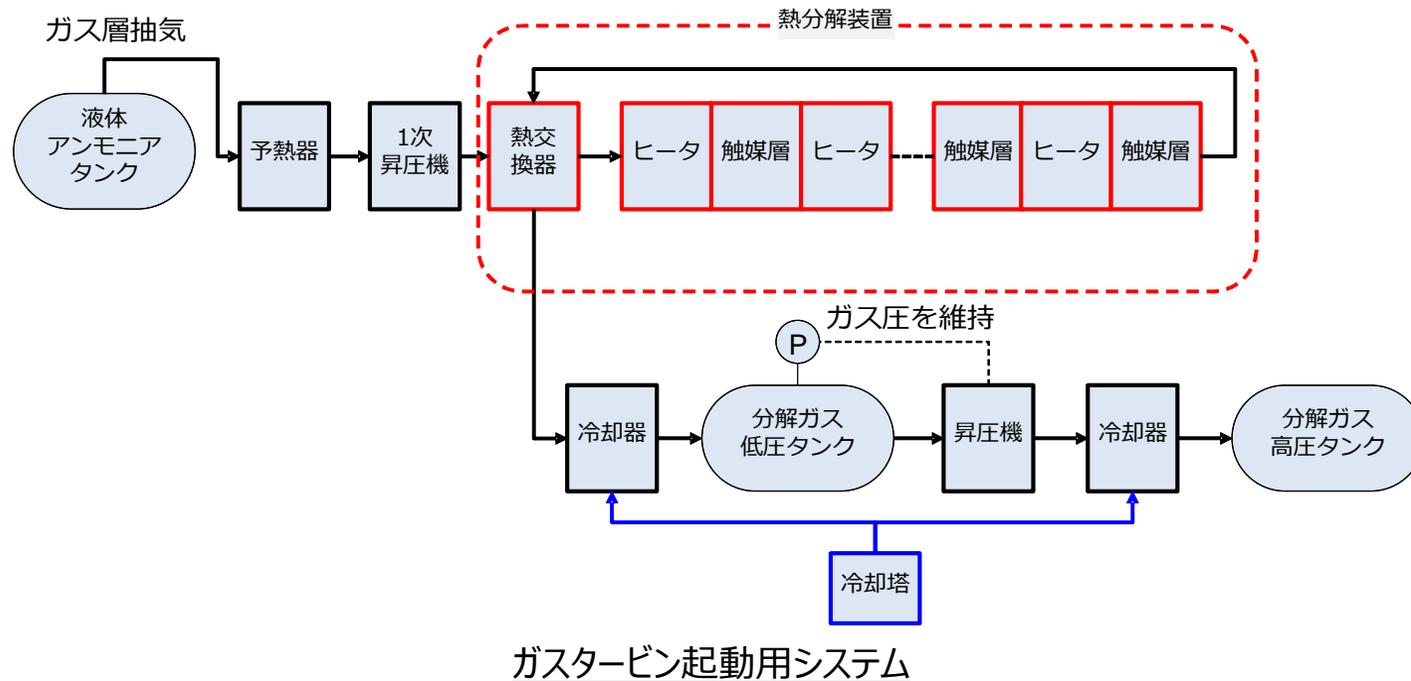
小型燃焼器用熱分解システムの概要

3. 研究開発成果について

①-6 2MW 級ガスタービンにおける液体アンモニア着火手法の研究開発 (担当: IHI)

実施内容および成果

- アンモニア熱分解装置構成の調査・検討
- ガスタービン始動時流量に必要なスケールの検討
- アンモニア熱分解装置構成のFS
- アンモニア熱分解性能の検証
- 熱分解ガスによる着火および保炎性能の検証 (大気圧試験)



熱分解率と貯蔵ガス液化温度の関係

3. 研究開発成果について

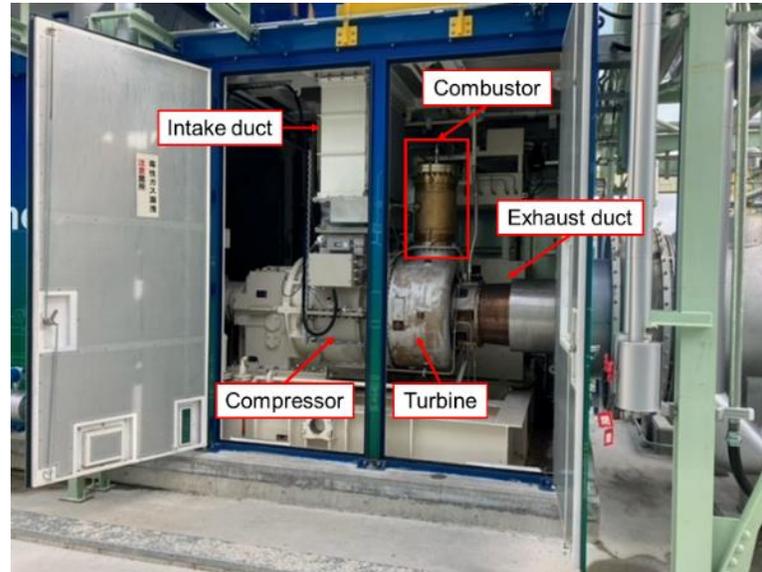
②-1アンモニアガスタービンの長期耐久性に関する調査および確認試験（担当：IHI）

実施内容および成果

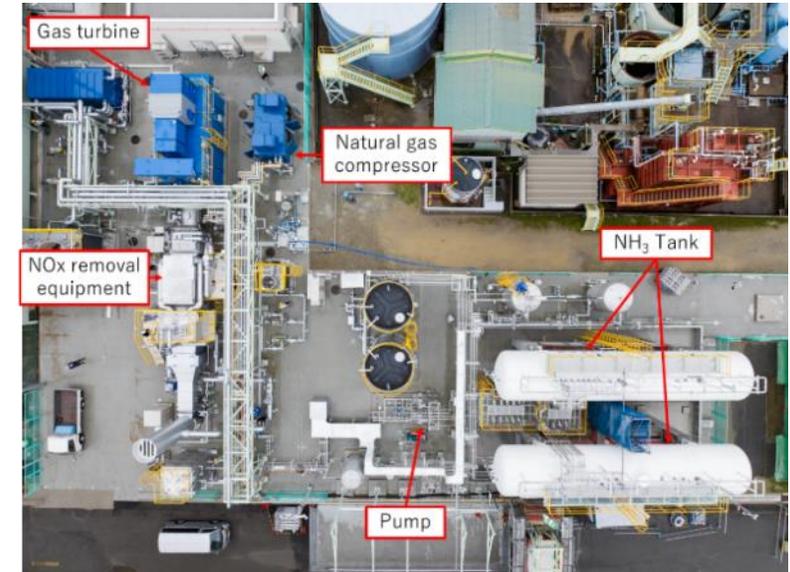
- ガスタービン実機条件（高温・高圧）におけるアンモニアの影響を確認するために長期試験を実施
- 新規システムを設置し、2024年7月から液体アンモニア専焼による運転を開始
- 2025年6月20日までの累積運転時間：1500時間
- 2025年5月にガスタービンの開放点検を実施、燃焼器およびタービン部材を抜き取り、窒化等の状況を確認中
- 2025年10月まで運転を継続して実施予定
- 2025年3月からクリーンアンモニアの使用を開始



ガスタービンパッケージ



液体アンモニア専焼2MW級ガスタービン



設置エリア全体

試験設備

3. 研究開発成果について

世界初、液体アンモニア100%燃焼によるガスタービンで、CO₂フリー発電を達成

～燃焼時に発生する温室効果ガスを99%以上削減～



IHIはこのたび、2,000kW級ガスタービンで液体アンモニアのみを燃料とするCO₂フリー発電を実現し、燃焼時に発生する温室効果ガスを99%以上削減することに成功しました。



本研究開発に用いたIHI製2,000kW級ガスタービン「IM270」

アンモニア(NH₃)は、炭素(C)を含まないことから、燃焼時にCO₂を排出しない燃料として、既存発電設備で利用することが可能です。IHIで取り組んでいる、ガスタービンの燃焼器内に液体アンモニアを直接噴霧する燃焼方式は、貯蔵タンクからガスタービンまでの供給システムの簡素化や制御性向上など、社会実装に向けた利点を有します。

プレスリリース (2022年6月16日)

研究発表：61件 (うち、招待講演15件)
論文投稿：8件
受賞実績：9件

2025年大阪・関西万博への脱炭素価値の提供に向けてCO₂フリーのアンモニア発電を開始

[English page >](#)



IHIは、CO₂フリー発電技術となり得るアンモニア燃料ガスタービンの開発を推進しています。IHI相生事業所内で実施中のガスタービン耐久試験において、クリーンなアンモニアの使用により生じる脱炭素価値を2025年大阪・関西万博に提供することにより、万博のカーボンニュートラルに貢献します。

IHIは、2022年に国立大学法人東北大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所とともに、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「グリーンイノベーション基金事業/燃料アンモニアサプライチェーンの構築プロジェクト」において、液体アンモニアを100%使用したガスタービン設備でCO₂フリー発電の開発・実証を成功させました。

2024年7月より同技術の社会実装を想定した耐久試験を相生事業所内で実施しており、計画どおりの発電出力で温室効果の高い亜酸化窒素 (N₂O) や窒素酸化物 (NOx) の排出抑制を確認しております。この試験中に発電される電力は相生事業所にて使用しています。

IHIは、クリーンなアンモニアを燃料とすることで得られた脱炭素価値を提供することで、2025年大阪・関西万博のカーボンニュートラルに貢献していきます。



相生事業所で長期耐久試験中のIHI製2,000kW級ガスタービン「IM270」

プレスリリース
(2025年4月11日)

4. 今後の見通しについて

開発予定

- 更なるNOx排出量の削減に向けて燃焼器開発を継続して実施する。
- ガスタービン起動用装置の成立性を確認するため、熱分解装置の性能評価を実施する
- 長期耐久性試験については、2025年10月まで継続して運転を実施する。
ガスタービンへのアンモニアの影響の評価する。
同時に、ガスタービンのオペレーションや安全対策に関する知見の蓄積を行う。

事業化

- 2025年11月から実証事業を開始予定。
- 2026年の事業化を目指して開発を行う。