

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.A3-4

燃料アンモニア利用・生産技術開発/工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発

発表者名：萩原 義之

団体名

大陽日酸株式会社

AGC株式会社

国立研究法人 産業技術総合研究所

国立大学法人 東北大学

発表日：2025年7月17日

連絡先：[大陽日酸株式会社](#)

事業概要

1. 期間

開始 : 2021年12月
終了（予定） : 2026年3月

2. 最終目標

アンモニア燃焼及びアンモニア-天然ガス混焼における、火炎輻射伝熱強化条件、及び低NO_x化の機構を解明し、50kWモデル燃焼炉において、実験と検証を行い、火炎輻射伝熱強化手法および低NO_x化手法の適用効果の見極めを完了する。

200kWモデル燃焼炉においては、アンモニア-酸素燃焼時の、火炎輻射伝熱強化手法及び低NO_x化手法の検証を行い、1MW級のアンモニア-酸素燃焼バーナの設計を確立する。また、アンモニア-酸素バーナをガラス溶解炉に導入する際の、設備設計を行い、燃料アンモニアのコストから実機導入の可能性の検討を完了する。これらの検討を踏まえて、ガラス溶解炉における実証評価試験を実施し、燃料アンモニア利用時の燃焼特性、安全性、経済性、設備の耐久性、製品品質への影響等を評価し、それを反映し環境基準(NO_x排出濃度360ppm以下：酸素濃度15%換算値)を満たす事の出来るバーナや工業炉の最適化を完了する。

1.3MWモデル燃焼炉においては、アンモニア-天然ガス燃焼バーナにおいて、酸素富化、高温空気燃焼時の火炎輻射伝熱強化及び低NO_x化手法の検証を行い、数MW級のアンモニア-天然ガス燃焼バーナの設計を確立する。

3. 成果・進捗概要

東北大学と産総研で、Rich-Lean二段燃焼によるNO_x生成抑制の有効性を実験的に確認し、NO_x排出濃度が環境基準360ppm以下となることを確認した

これらの結果に基づき、大陽日酸では200kW級及び1MW級のアンモニア-酸素バーナを試作し、モデル炉で加熱効率55%以上とNO_x濃度360ppm以下の性能を達成

AGCのガラス溶解炉にて技術検証を行い、伝熱効率が都市ガス-酸素バーナと同等であり、NO_x排出濃度を管理値以下で制御できる事を実証した。

1. 事業の位置付け・必要性

事業の目的・概要

本事業では、2050年カーボンニュートラルの達成に向け、排出削減対策が困難な熱利用分野の脱炭素化を進めるため、燃焼時に二酸化炭素を発生しないアンモニアを工業炉の燃料として活用する技術の開発に取り組みます。具体的には、輻射伝熱による熱伝達が主体となる工業炉への適用を目的とし、アンモニア-酸素バーナの開発を行うとともに、輻射伝熱の強化とNOx低減技術の技術検証のためにガラス溶融炉で実証試験を実施します。これらの成果を踏まえ、200kW級ならびに1MW級アンモニア-酸素バーナ及び周辺技術の設計技術を確立し、大型工業炉への適用可能性を検討します。

実施体制

大陽日酸株式会社
AGC株式会社
国立研究開発法人産業技術総合研究所
国立大学法人東北大学

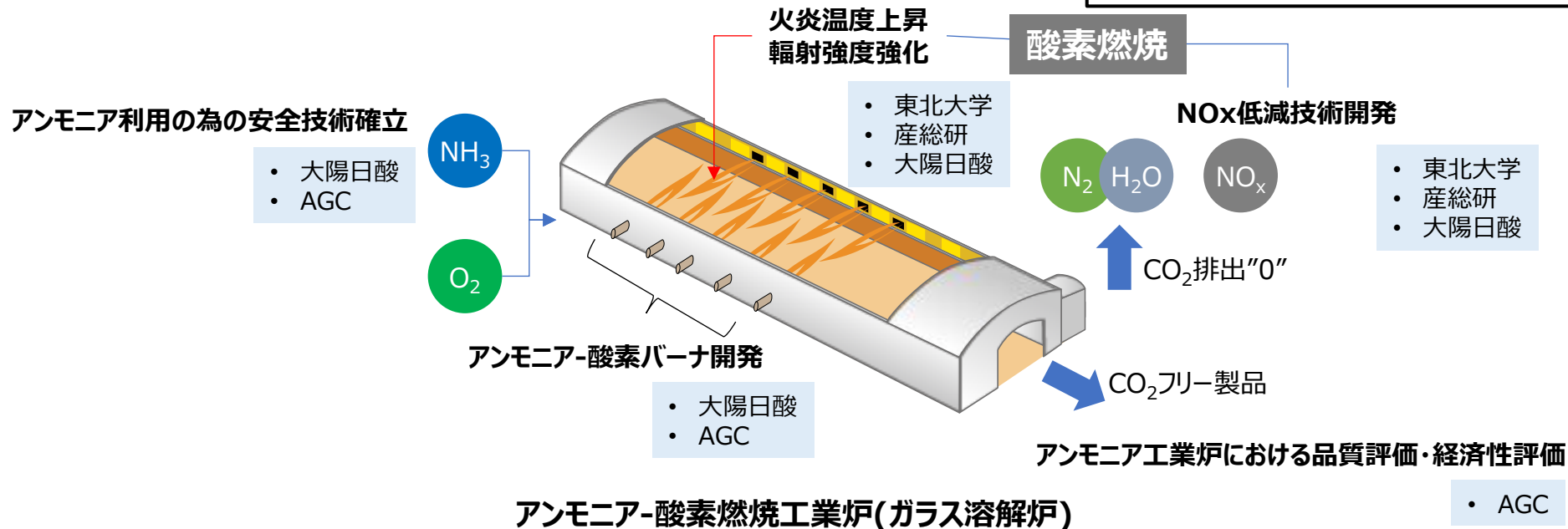
事業期間

2021年度～2025年度（5年間）

アンモニアの燃料利用における課題

- ・ 火炎温度の低下
- ・ 火炎輻射強度の低下
- ・ 燃料起因のNOx排出増加

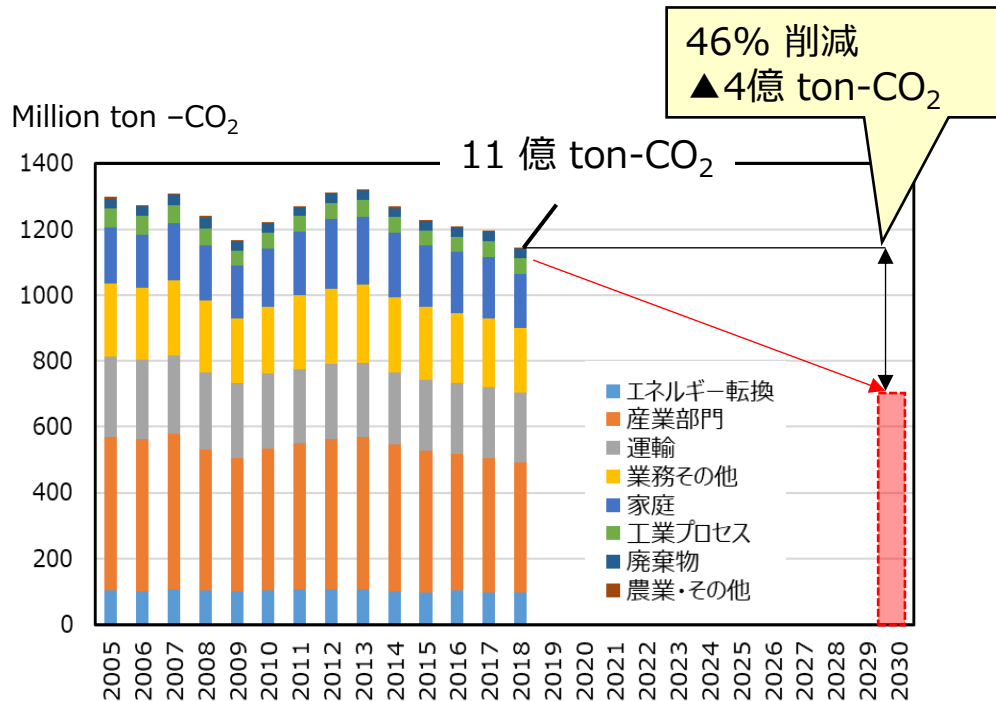
事業イメージ



1. 事業の位置付け・必要性 –国内CO₂削減目標–

国内のCO₂削減目標

- ✓ ~2030 : 46% 削減 (2013年比)
- ✓ ~2050 : カーボンニュートラル達成



国内のCO₂排出量

● 産業分野のCO₂削減における課題

- 日本の産業は化石燃料に大きく依存している
- 省エネルギーによる燃料削減は限界に達している

更なるCO₂削減の為に、化石燃料からの脱却が必要

工業炉分野におけるCO₂ 排出量 : 2億 ton-CO₂ (@2019)

高炉 : 1.8億 ton-CO₂ (加熱炉 : 7 百万 ton-CO₂)

セメント : 16 百万 ton-CO₂

非鉄 : 4 百万 ton-CO₂

ガラス : 2.6 百万 ton-CO₂

アルミ : 1.4 百万 ton-CO₂



11百万t-CO₂を対象
燃料起因 : 80%と仮定
1.7%/年で排出量減少と想定
酸素燃焼による燃焼削減効果削減含み

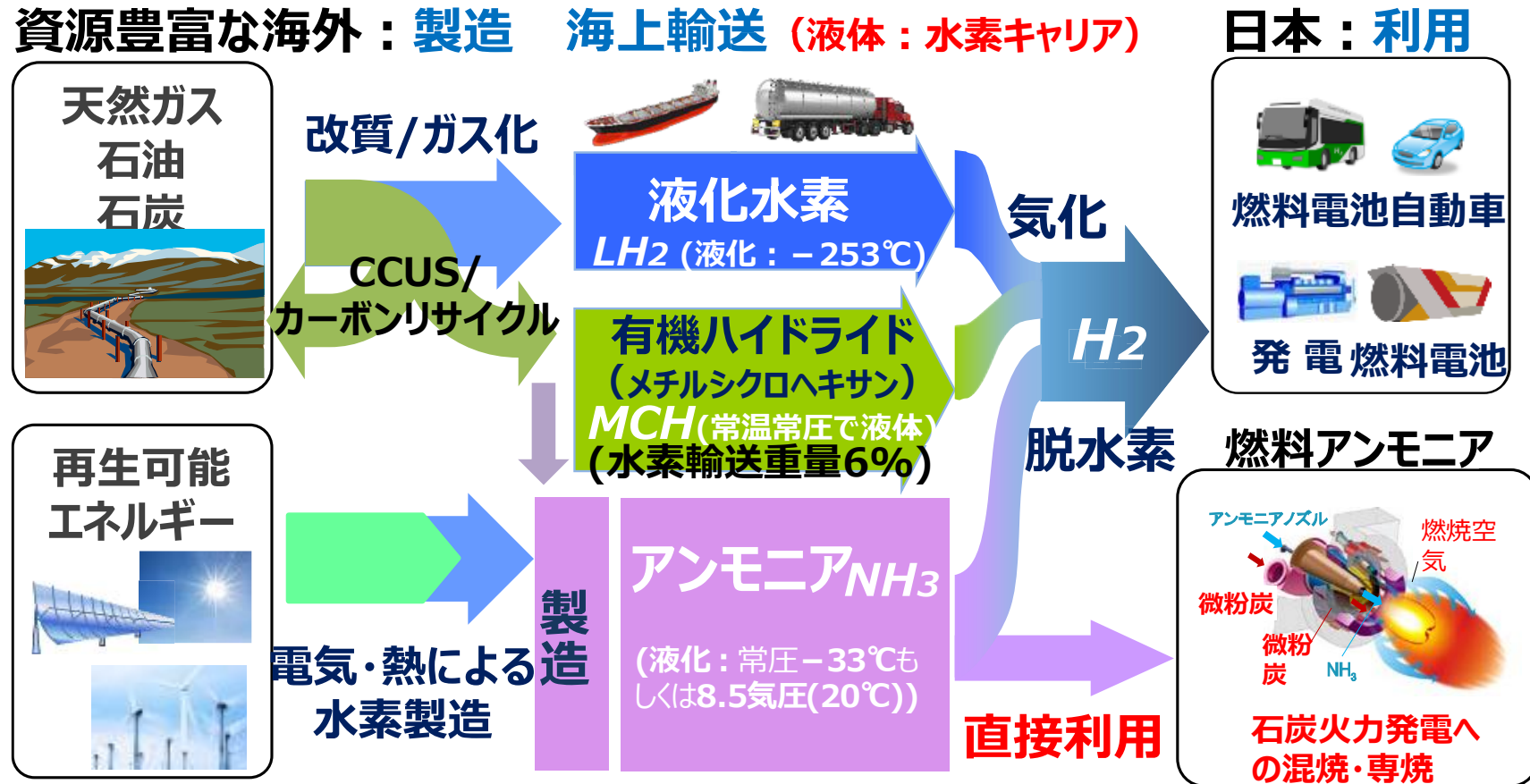
2030年に46% 削減を達成する為には3.8 百万 ton-CO₂削減が必要

アンモニア潜在需要 : 26 億 m³ (1.9 百万 ton)

酸素潜在需要 : 21億m³

1. 事業の位置付け・必要性 ―燃料アンモニア―

アンモニアは貯蔵性・輸送性に優れた水素エネルギーキャリアであり、その直接利用において高いポテンシャルを有している

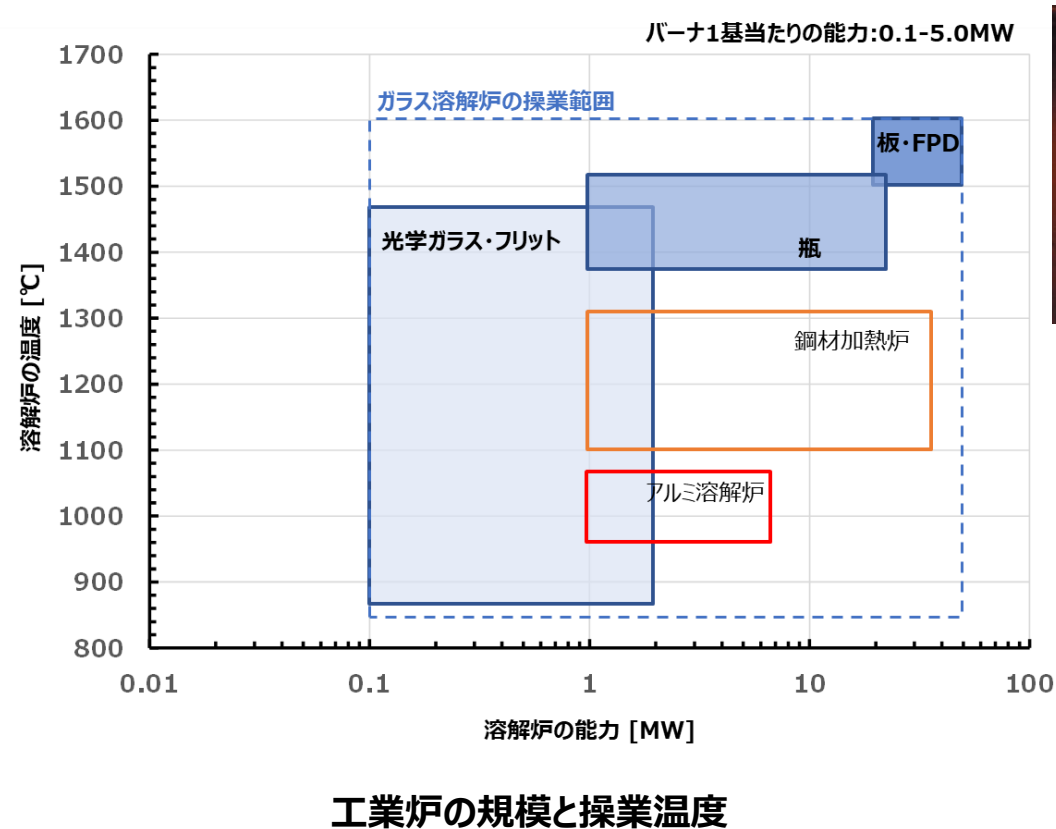


出典：総合エネルギー調査会 第35回基本政策分科会資料より抜粋

燃料アンモニアの利用技術が確立できていない工業炉における、アンモニアの燃焼技術を開発し、産業分野における脱炭素化に貢献する。

2. 研究開発マネジメントについて –工業炉向け燃料アンモニア燃烧技術開発–

様々な工業炉へ展開可能な技術開発を行う為に、ガラス溶融プロセスにおける燃料アンモニア燃烧技術の技術検証を行う



<ガラス溶解プロセス>
溶解炉の能力：(0.1MWから数十MW)
操業温度：(800℃から1600℃)
バーナ設置数：1基から10数基
操業時間：24時間連続
炉の耐久年数：10年以上
品質：製品が透明である為溶け残り等に対する要求が高い

- ・ ガラス溶融プロセスでは燃烧技術に対する要求が高い
- ・ 既に酸素燃烧の導入実績がある

ガラス溶解炉で培われた燃烧技術を他の工業炉へ展開

燃料アンモニア燃烧技術の課題

- ・ 火炎温度が低い
- ・ 輻射伝熱性能が低い
- ・ 燃料起因のNOx生成
- ・ 燃烧排ガス中の水蒸気分圧が製品に与える影響評価

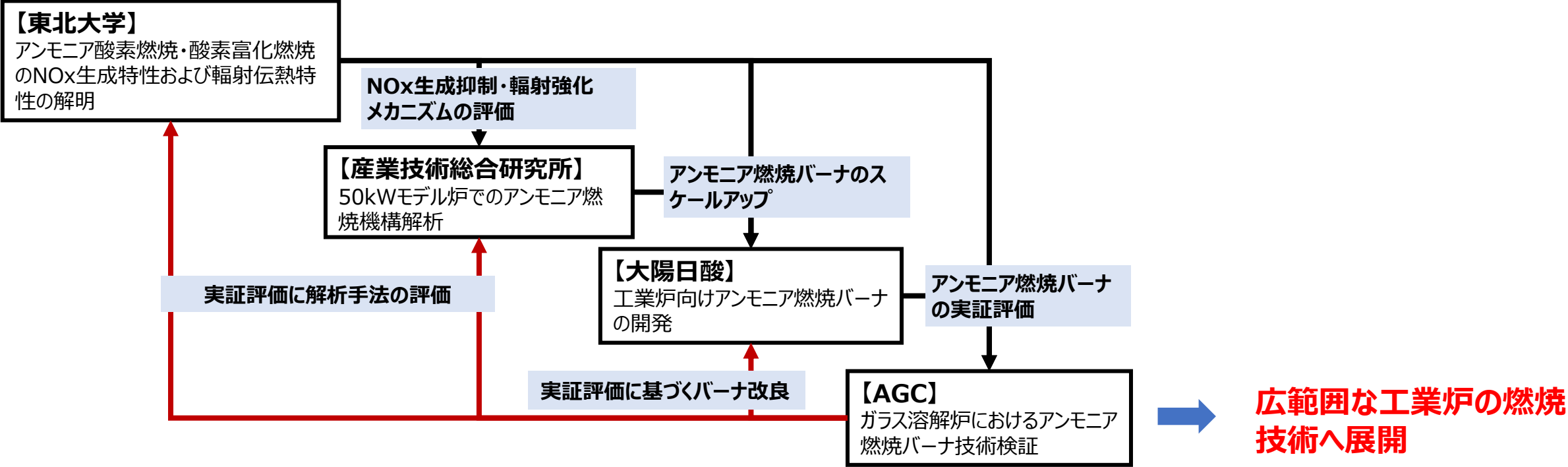
アンモニア-酸素燃烧技術の開発に取組み酸素燃烧による
燃料原単位削減効果と火炎強化・輻射伝熱強化、低
NOx化技術の確立

2. 研究開発マネジメントについて –実施項目と目標値–

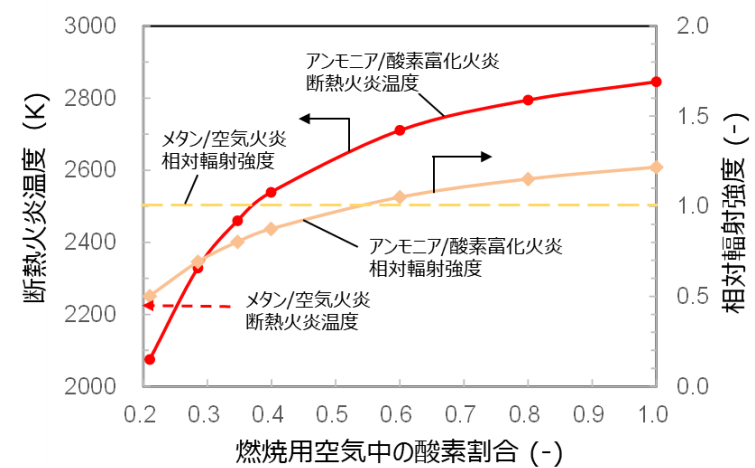
実施項目	中間目標(2023年度)	最終目標(2025年度)
実施項目1:工業炉におけるアンモニア燃焼の低NOx化機構・輻射伝熱強化機構の解明		
1-1:アンモニア酸素燃焼、酸素富化燃焼のNOx生成特性および輻射伝熱特性の解明 (国立大学法人 東北大学)	- アンモニア酸素燃焼、酸素富化燃焼におけるNOx生成抑制メカニズムの解明 - アンモニア酸素燃焼、酸素富化燃焼における気体輻射特性評価法の構築 NOx排出濃度は、板ガラス溶解炉基準値の360ppm以下、N₂Oは3ppm以下(酸素濃度15%換算)を達成	- アンモニア実炉バーナの低NOx燃焼および輻射数値シミュレーション技術構築 - アンモニア燃焼炉内の低NOx化および輻射伝熱数値シミュレーション技術構築
1-2:50kWモデル炉でのアンモニア燃焼機構解析 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所)	50kW級アンモニア燃焼バーナのNOx生成状態を解明 50kW級アンモニア燃焼バーナにおける空気予熱の影響を把握	50kW級アンモニア燃焼低NOxバーナが、排出NOxの規制値以下達成可能なことを実証 50kW級アンモニア燃焼低NOxバーナの火炎が、炉内温度1500～1600℃到達可能な輻射強度を有することを把握
実施項目2:工業炉向けアンモニア燃焼バーナの開発		
2-1:200kW級アンモニア-酸素バーナ開発 (太陽日酸株式会社)	200kW級のアンモニア-酸素バーナの設計手法確立 - アンモニア-酸素燃焼時の輻射強化、NOx抑制手法の検証 200kWモデル炉における伝熱効率55%以上達成	1MW級のアンモニア-酸素バーナの設計手法確立
2-2:1MW級アンモニア混焼-酸素富化バーナ開発 (太陽日酸株式会社)	1MW級のアンモニア-高温空気酸素富化バーナの設計 - アンモニア-高温空気酸素富化燃焼時の低NOx技術の検討	1MW級のアンモニア-高温空気酸素富化バーナの開発完了 - アンモニア-高温空気酸素富化燃焼時の輻射強化/NOx抑制手法確立
実施項目3:ガラス溶解炉におけるアンモニア燃焼バーナ技術検証		
3-1:アンモニア燃焼の影響評価 (AGC株式会社)	- ガラス溶解炉を構成する各種部材の耐久性の評価 - ガラスメルト及びガラスの品質への影響評価手法の確立	他の燃焼方式による影響との比較からアンモニア燃焼の優位性を見極める
3-2:200kW級アンモニア-酸素バーナ実証評価 (AGC株式会社)	大型ガラス溶解炉での200kW級アンモニア-酸素バーナ実証試験の検討	- 大型ガラス溶解炉へのアンモニア燃焼バーナの最適配置の検討 - 大型ガラス溶解炉でのアンモニア-酸素燃焼バーナ導入の技術検証
3-3:1MW級アンモニア混焼-酸素富化バーナ実証評価 (AGC株式会社)	大型ガラス溶解炉でのアンモニア-高温空気酸素富化燃焼の可能性検討	大型ガラス溶解炉でのアンモニア-高温空気酸素富化燃焼の実証試験の検討

2. 研究開発マネジメントについて –実施体制–

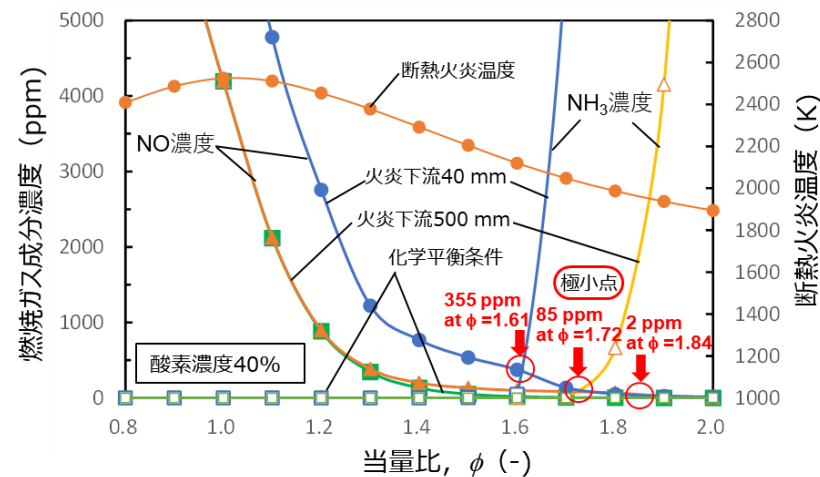
- 1. 工業炉におけるアンモニア燃焼の低NOx化機構・輻射伝熱強化機構の解明（東北大学・産業技術総合研究所）
 - ・ アンモニア酸素燃焼、酸素富化燃焼のNOx生成特性及び輻射伝熱特性の解明（東北大学）
 - ・ 50kWモデル炉でのアンモニア燃焼機構解明（産業技術総合研究所）
- 2. 工業炉向けアンモニア燃焼バーナの開発（大陽日酸）
 - ・ 200kW級アンモニア-酸素バーナ開発
 - ・ 1MW級アンモニア混焼-酸素富化バーナ開発
- 3. ガラス溶解炉におけるアンモニア燃焼バーナ技術検証（AGC）
 - ・ アンモニア燃焼の影響評価
 - ・ 200kW級アンモニア-酸素バーナ実証評価
 - ・ 1MW級アンモニア混焼-酸素富化バーナ実証評価



酸素燃焼/酸素富化燃焼、空気予熱による輻射伝熱強化。水蒸気濃度上昇による輻射伝熱強化
Rich-Lean 2段燃焼コンセプトの活用による低NOx化



メタン/空気火炎を基準としたアンモニア専焼火炎の断熱火炎温度と燃焼ガス総輻射強度に及ぼす酸素富化燃焼の効果推算結果



アンモニア-酸素富化燃焼の当量比依存性（断熱火炎温度、燃焼生成ガス成分）（計算条件：1次元層流火炎、詳細反応機構使用、酸素濃度40%）

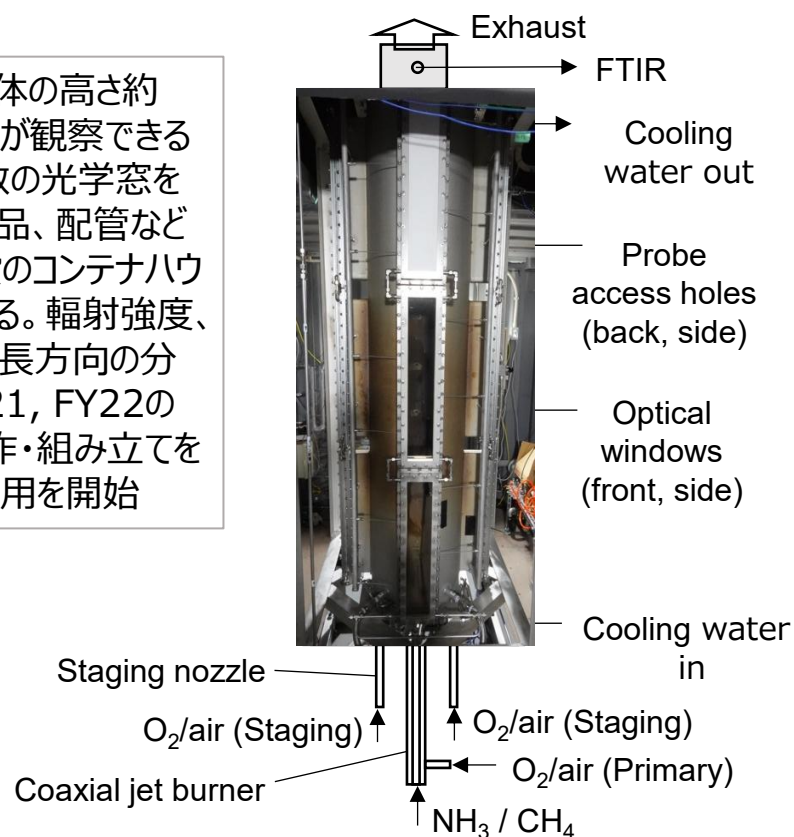
- アンモニア火炎からの気体輻射伝熱特性評価
- Rich-Lean 2段燃焼による低NOx化は酸素燃焼/酸素富化燃焼でも有効
- NOx生成抑制メカニズム及び気体輻射特性評価法を、実炉バーナおよび炉内計算条件に展開する数値シミュレーション技術を開発
- 酸素燃焼/酸素富化燃焼実炉バーナ、炉内実証試験の条件設定や試験結果評価に反映

2. 研究開発マネジメントについて —工業炉におけるアンモニア燃焼の低NO_x化機構・輻射伝熱強化機構の解明(産総研)—

50kW工業炉用バーナを用い、火炎観察が可能な水冷式モデル炉で東北大学のラボ規模バーナのスケールアップ^①燃焼を行い燃焼特性を把握

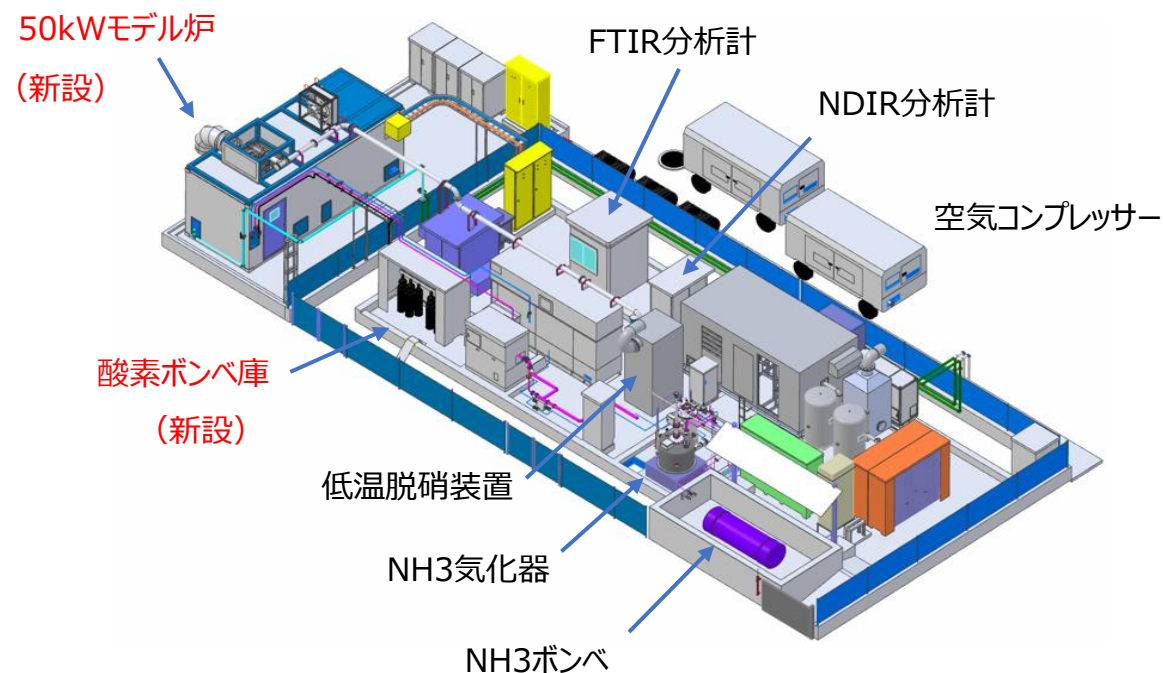
燃焼方法およびバーナ構造によって異なる燃焼状態を踏まえ、バーナ火炎の形状の把握、炉内のNO_x生成状況の計測を行うとともに、火炎の輻射強度分布についても測定する。

50kWモデル炉：炉体の高さ約2m。バーナ火炎全体が観察できるよう水冷の炉壁に複数の光学窓を有する。バーナの試作品、配管などを組み合わせて、新設のコンテナハウスにモデル炉を構築する。輻射強度、温度などについて火炎長方向の分布を測定する。※FY21, FY22の複数年度に渡って試作・組み立てを行い、FY22年度に運用を開始



- 酸素燃焼/酸素富化燃焼による輻射強化
- ステージング燃焼によるNO_x抑制の効果把握

50kWモデル炉試験の設備構成



燃焼方法及びバーナ構造の最適化を図り、十分な輻射強度を得ながら、NO_xの排出濃度を環境規制値以下にする

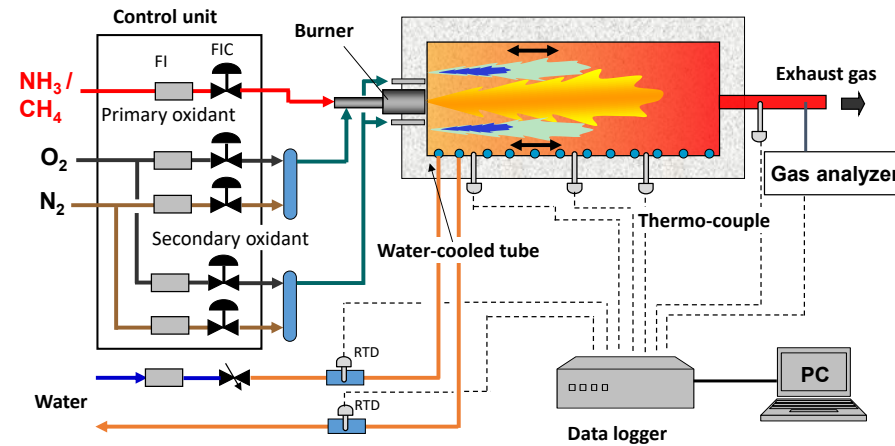
2. 研究開発マネジメントについて –工業炉向けアンモニア燃焼バーナの開発(大陽日酸)–

200kWモデルを用いたアンモニア-酸素バーナの開発

1.3MWモデルを用いたアンモニア/天然ガス-高温空気酸素富化バーナの開発



200kW 燃焼試験モデル炉



200kW 燃焼試験モデル炉におけるバーナの燃焼特性評価模式図



1.3MW 燃焼試験モデル炉

- 200kWモデル炉には炉底部に水冷抜熱体を設置し、工業炉における被加熱物の状況を模擬しアンモニア-酸素燃焼時の火炎輻射能力を評価
- 200kWモデル炉の排ガス出口でFT-IRによる排ガス分析を行いNO_x/N₂O排出特性を評価
- 1.3MWモデル炉で高温の酸素富化空気を酸化剤として用い、アンモニア-天然ガス-高温空気酸素富化バーナの火炎の輻射能力、NO_x排出特性を見極め

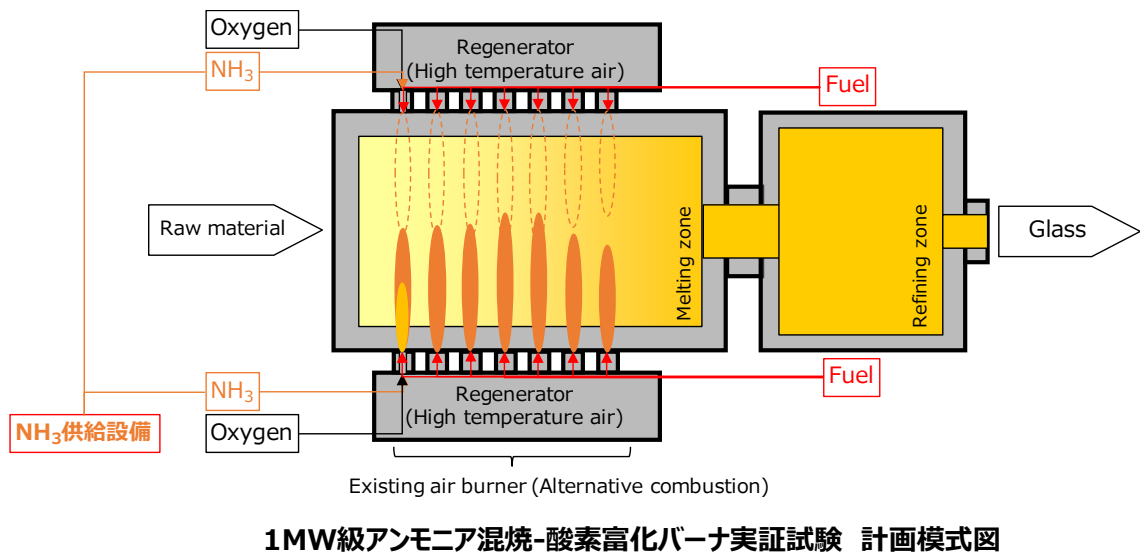
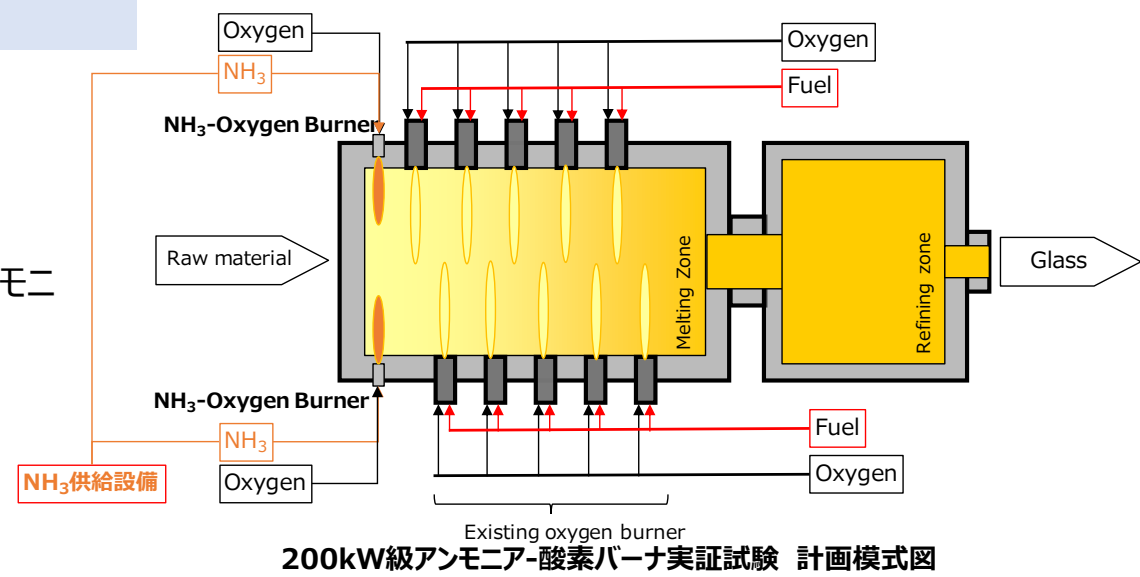
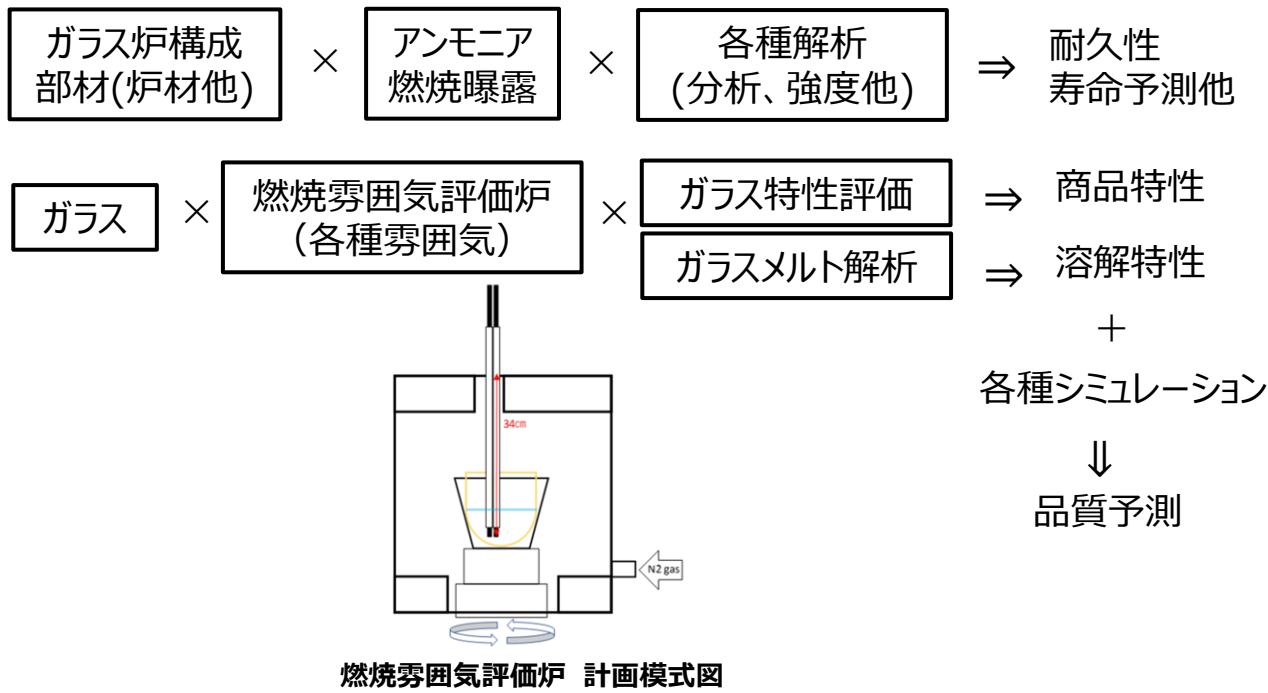
得られたデータに基づき、工業炉への導入に向けた、アンモニア-酸素バーナ/アンモニア混焼-酸素富化バーナの設計条件の最適化を行うとともに、AGCの実証試験データをフィードバックしてバーナ開発に活用する。

2. 研究開発マネジメントについて

ーガラス溶解炉におけるアンモニア燃焼バーナ技術検証(AGC)ー

- アンモニア燃焼によるガラス溶解炉構成部材、ガラスメルト及びガラスへの影響評価
- 大型ガラス溶解炉での実証試験による技術検証

- アンモニア燃焼によるガラス溶解炉構成部材への影響評価（耐久性、寿命他）
- アンモニア燃焼雰囲気によるガラスメルトへの影響、それに伴うガラス品質への影響評価
- 他の燃焼方式との比較
- 200kW/1.3MWモデル炉での実験結果、及び燃焼解析モデル構築結果に基づき、アンモニア-酸素バーナのガラス溶解炉への配置方法等の検討
- 将来の事業性に関する評価

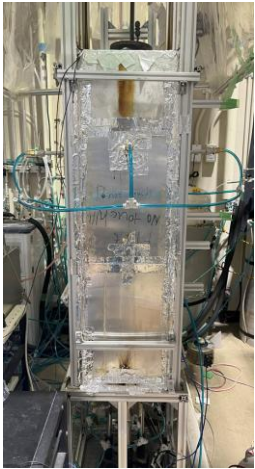
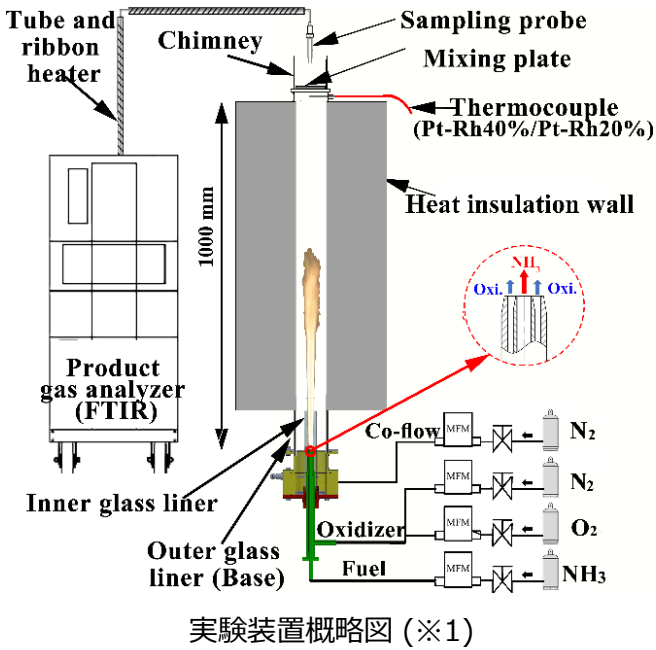


3 . 研究開発成果について – 全体計画 –

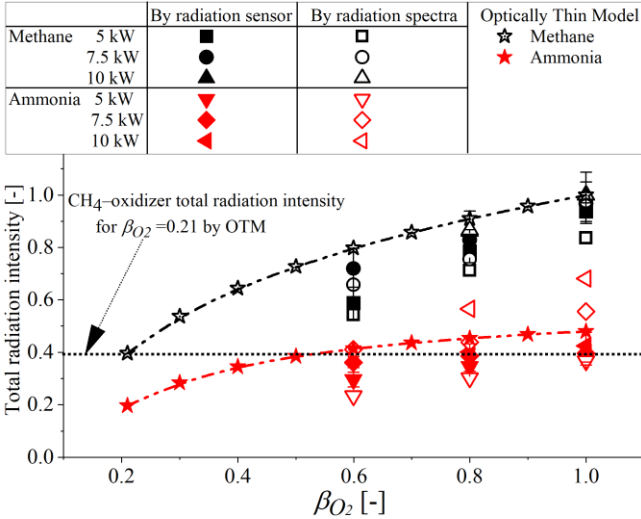
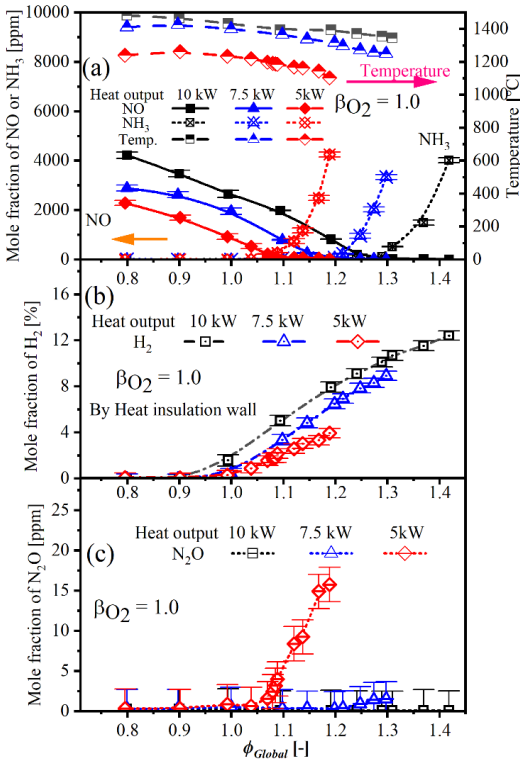
実施項目	'21年度	'22年度	'23年度	'24年度	'25年度
項目1：工業炉におけるアンモニア燃焼の低NOx化機構・輻射伝熱強化機構の解明					
1-1:アンモニア酸素燃焼・酸素富化燃焼のNOx生成特性及び輻射伝熱特性の解明					
・酸素燃焼・酸素富化燃焼のNOx生成抑制メカニズム解明と気体輻射特性評価法の構築	計画				
	実績				
・実炉バーナおよび炉内における低NOx燃焼と輻射伝熱強化の数値シミュレーション技術の構築					
1-2:50kWモデル炉でのアンモニア燃焼機構解析					
・試験設備整備と50kWバーナの特性把握					
・NOx低減・輻射強化の両立					
項目2：工業炉向けアンモニア燃焼バーナの開発					
2-1：200kW級アンモニア-酸素バーナの開発					
				完了	
2-2：1MW級アンモニア混焼-酸素富化バーナの開発					
項目3：ガラス溶解炉におけるアンモニア燃焼バーナ技術検証					
3-1：アンモニア燃焼の影響評価					
3-2：200kW級アンモニア-酸素バーナ実証評価					
				完了	
3-3：1 MW級アンモニア混焼-酸素富化バーナ実証評価					

3. 研究開発成果について – 東北大学：工業炉におけるアンモニア燃焼の低NOx化機構・輻射伝熱強化機構の解明 –

「熱出力」, 「総当量比 ϕ_{Global} 」, 「一次酸化剤の酸素濃度 β_{O_2} 」が燃焼生成ガス組成および全ふく射強度に及ぼす影響を明らかにする。



実験装置写真



酸素燃焼におけるアンモニア噴流拡散火炎およびメタン噴流拡散火炎の全ふく射強度比較 (全ふく射強度計測、ふく射スペクトル積分、OTMモデル計算) (※2)

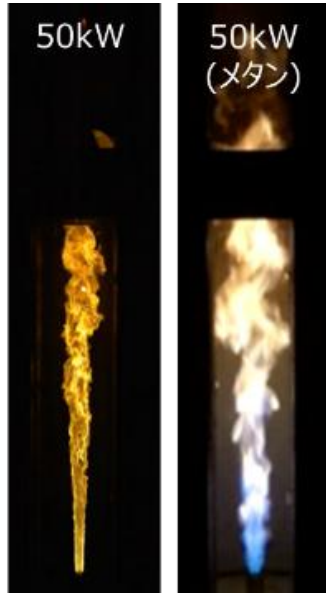
※1: Xia et al., Proc. Combust. Inst. (2024)
※2: Xia et al., Fuel (2025)

酸素燃焼アンモニア噴流拡散火炎における燃焼生成ガス中の化学種濃度に及ぼす熱出力と総当量比の影響(※1)

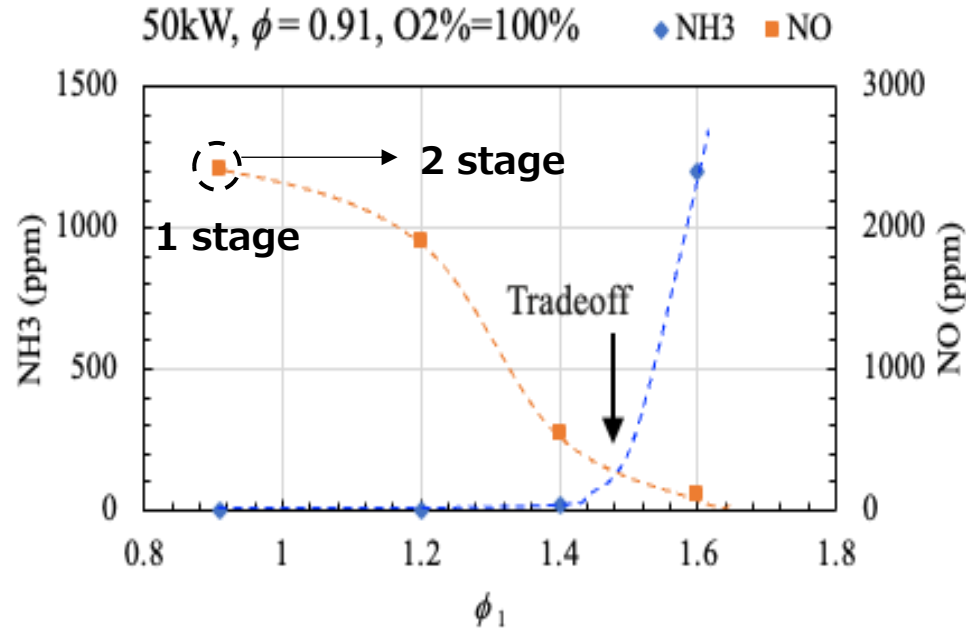
- 酸素燃焼アンモニア噴流拡散火炎においてもNO濃度、未燃NH₃濃度が同時に最小となる最適総当量比が過濃側で存在する
 - Rich-Lean 2段燃焼による低NOx燃焼が可能である
- 酸素燃焼アンモニア火炎の全ふく射強度は酸素燃焼メタン火炎の概ね1/2程度であることを実験計測と数値解析で確認
 - 酸素燃焼によりアンモニア火炎のふく射強化が可能であり、数値的に全ふく射強度を予測できる

3. 研究開発成果について

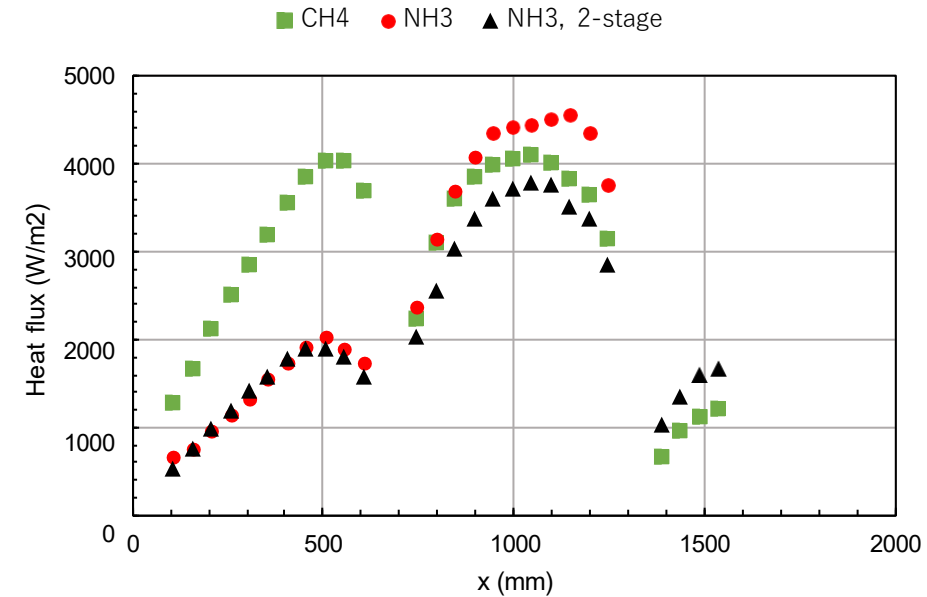
－産業技術総合研究所：工業炉におけるアンモニア燃焼の低NO_x化機構・輻射伝熱強化機構の解明－



50kWバーナ火炎



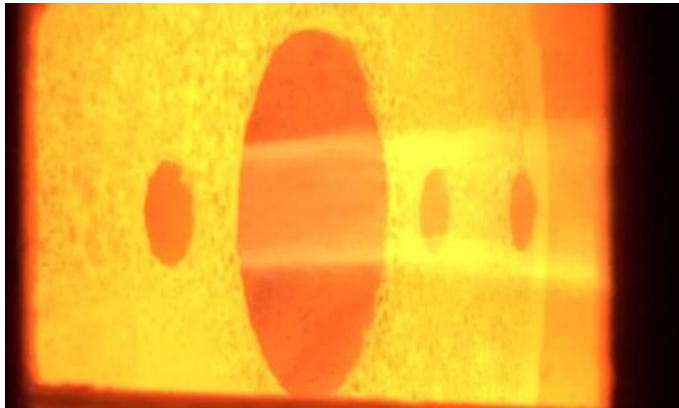
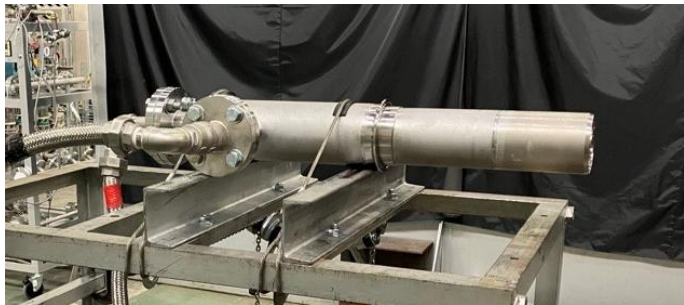
NH₃/NO排出特性



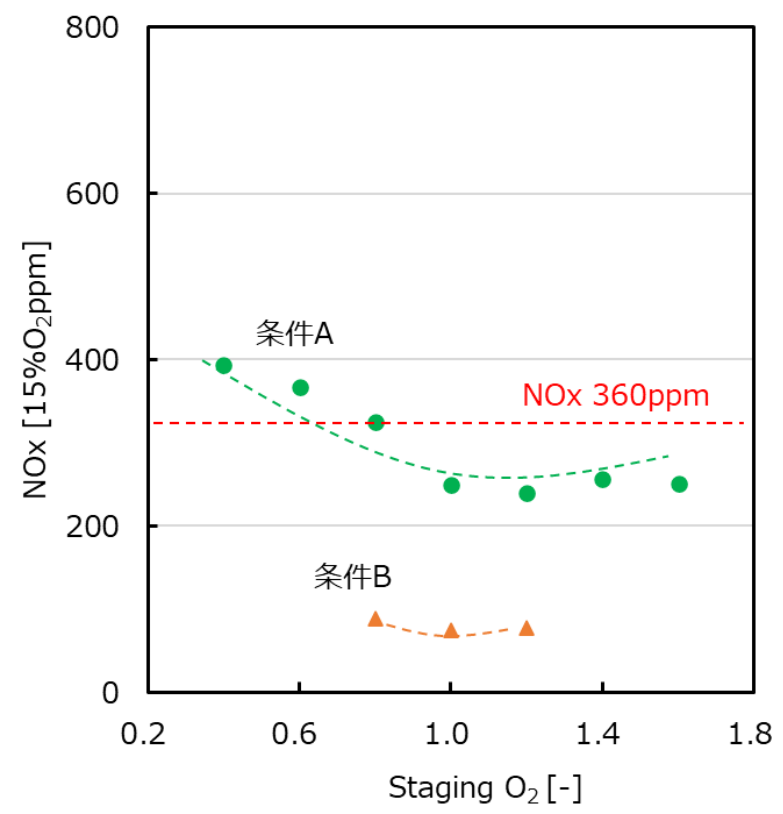
熱流束分布

- 未燃NH₃とNO濃度が最小となる酸素比（当量比）とステージング率が存在し、2 stage燃焼によりNO濃度が低下
- CH₄火炎に比べて、NH₃火炎は、上流側での輻射強度が弱く、下流側での輻射強度が強い。
 - 火炎の長さ、発光スペクトルの差
- 1 stage燃焼に比べて、2 stage燃焼では中段からの輻射強度が弱い。
 - 2 stage燃焼により反応領域が広く分布

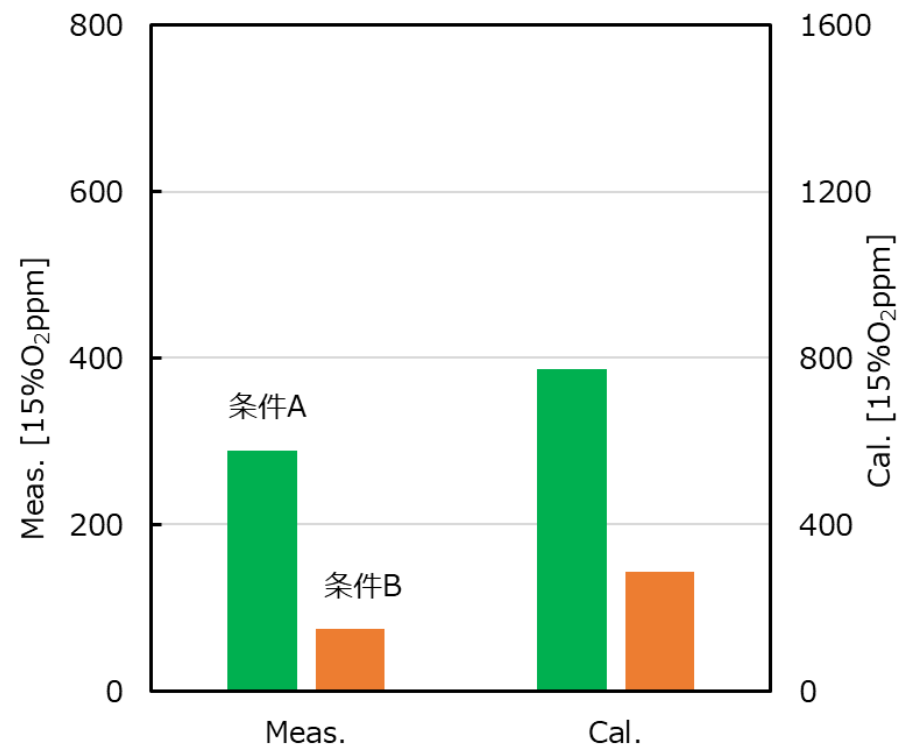
3. 研究開発成果について –大陽日酸：工業炉向けアンモニア燃焼バーナの開発–



アンモニア-酸素バーナ



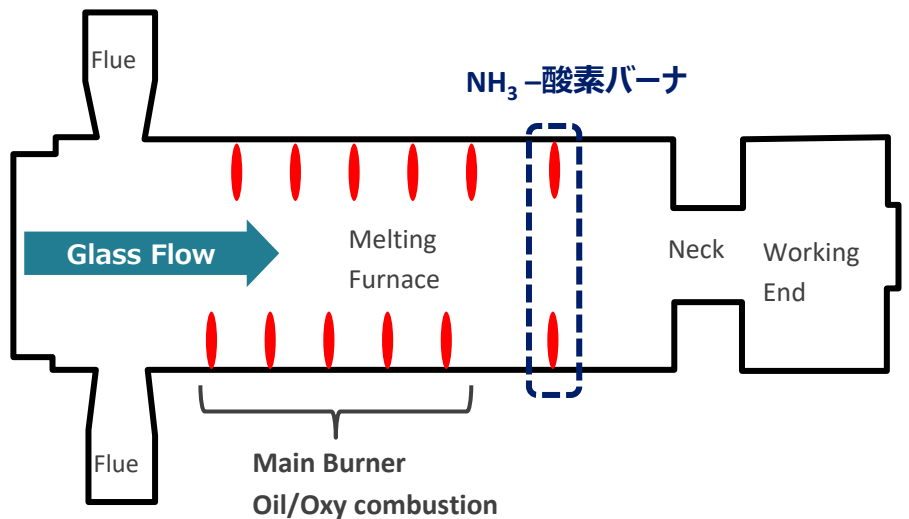
排ガス中のNOx濃度



CFDによる排ガス中のNOx濃度比較

- Rich-Lean2段燃焼構造のバーナを採用しステージング条件を最適化することで、安定したアンモニア火炎が形成され、伝熱効率はCH₄と同等で55%以上、NOxは環境基準値360ppm以下を達成した。
- 試験炉を対象とした数値流体解析（CFD）により計算された排ガスNOxから、各燃焼条件の相対的な傾向が一致するモデルを構築した。
→実炉導入に向けたアンモニア燃焼バーナの基本技術確立した

3. 研究開発成果について – AGC : ガラス熔解炉におけるアンモニア燃焼バーナ技術検証 –



Oxy-fuel burners commonly used (several pairs)

+

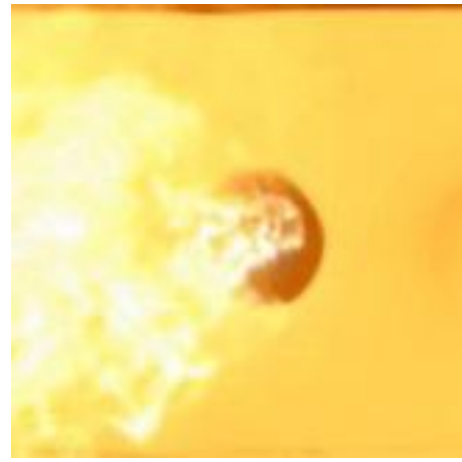
Ammonia oxygen burner (200kW, one pair)

技術検証項目

- 排ガス中のNOx濃度
- ガラス熔解炉の耐火物に与える影響
- ガラス品質に与える影響
- 安全性



Fig. ガラス熔解炉での実証試験状況 (左) 及び試験に使用したアンモニア貯槽 (右).



100% Natural gas - oxyfuel



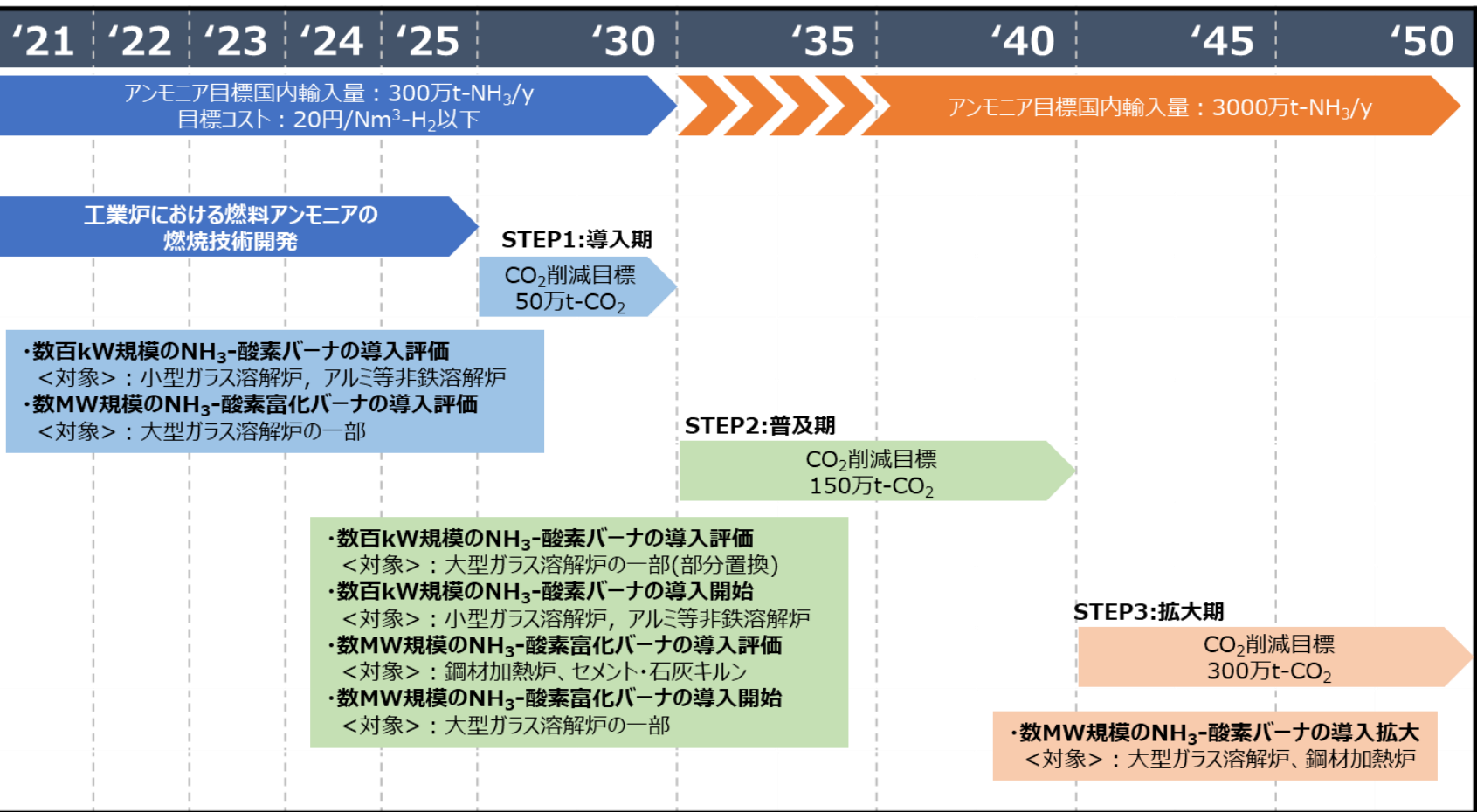
100% Ammonia - oxyfuel

Fig. ガラス熔解炉内のバーナ燃焼状況

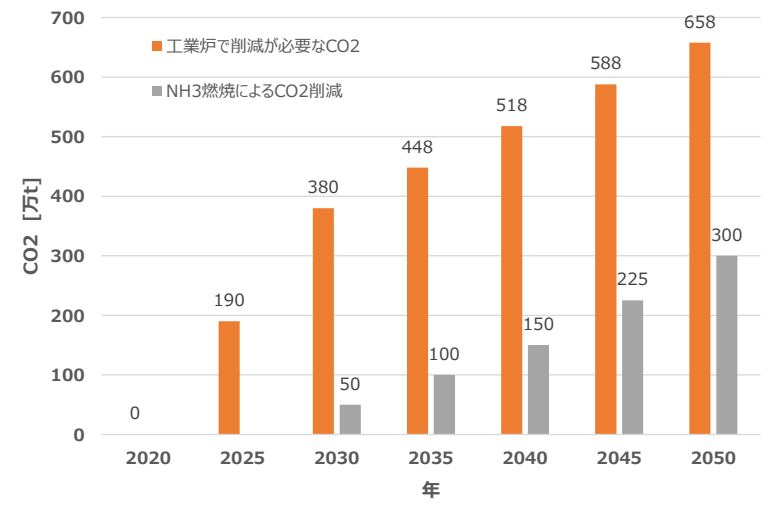
2023年6月に、AGCの建材用ガラス熔解炉で世界で初めて実証試験に成功

- ガラス熔解炉のNOx管理値以下で運転が可能
- ガラス熔解炉・ガラス品質への影響なし
- アンモニアをバーナ燃料として安全に使用できる事を確認

4 . 今後の工業炉における燃焼アンモニア燃焼技術の展望



工業炉における燃料アンモニア燃焼技術の導入イメージ



燃料アンモニア燃焼技術によるCO2排出削減への貢献試算

- 対象: 11百万t-CO₂ (加熱炉, 7百万t-CO₂ / ガラス, 2.6百万t-CO₂ / アルミ, 1.4百万t-CO₂)
- 1.7%/年で排出量減少と仮定

早期の社会実装を目指し、工業炉におけるカーボンニュートラルに貢献