

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No. B3-9

水素社会構築技術開発事業/地域水素利活用技術開発/ 熱エネルギー消費が主体の工場の脱炭素化に向けた 燃焼式工業炉での水素利活用の実証

発表者名	田中 孝二
団体名	株式会社神戸製鋼所
発表日	2025年7月17日(木)

連絡先：
株式会社神戸製鋼所
(tanaka.koji-1@kobelco.com)

事業概要

1. 期間

開始 : 2023年8月
終了(予定) : 2026年3月

2. 最終目標

A) 工業炉への水素供給システムの実証

液体水素タンク及び液体水素気化器から成る水素供給システムを用いて工業炉の燃料要求量に応じて2時間以上水素を安定供給

B) ボイラでの水素利用実証

定格燃焼量940kWの都市ガス燃料の既設小型貫流ボイラでの水素混焼(水素混焼濃度20vol%以上)で2h以上の運転

C) 加熱炉での水素利用実証

2,000kW級の直接式加熱炉(新設加熱炉及び既設改造炉)での水素混焼～専焼で、実生産を想定した昇温速度、炉内温度保持の実証、鋼材加熱特性の都市ガス専焼との比較と課題整理

3. 成果・進捗概要

A) 工業炉への水素供給システムの実証(24年度に報告)

ボイラでの水素混焼運転実証においてボイラの燃料要求に応じて、2時間以上の水素安定供給を達成した。

B) ボイラでの水素利用実証(24年度に報告)

定格負荷(1,500kg/h)において、燃焼調整の有無にかかわらず30vol%まで水素混焼が可能であることを確認した。

C-1) 加熱炉での水素利用実証(新設加熱炉での水素利活用実証)

新設加熱炉の建設工事は完了した。鋼材加熱試験に向け、燃焼調整を進めている。

C-2) 加熱炉での水素利用実証(既設炉を改造した加熱炉での水素利活用実証)

既設炉改造は6月末に工事完了しており、比較対象である都市ガス専焼での試験まで完了。

1. 事業の位置付け・必要性

出典: 2021年度～2022年度成果報告書 水素社会構築技術開発事業/地域水素利活用技術開発/熱によるエネルギー消費が主体の工場の脱炭素化に向けた水素利活用モデルに関する調査, 株式会社コベルコE&M/株式会社神戸製鋼所

背景 ～熱エネルギーの位置づけ～

- 国内に供給される一次エネルギーの83%が化石燃料由来となっている。
- そのうち41%は熱エネルギーとして消費され、熱エネルギー消費の42%を産業部門が占める。
- カーボンニュートラル社会の実現に向け、産業分野では熱エネルギーの燃料である化石燃料を水素などの脱炭素燃料に転換する必要がある。

日本のエネルギー需要の姿(2021年)

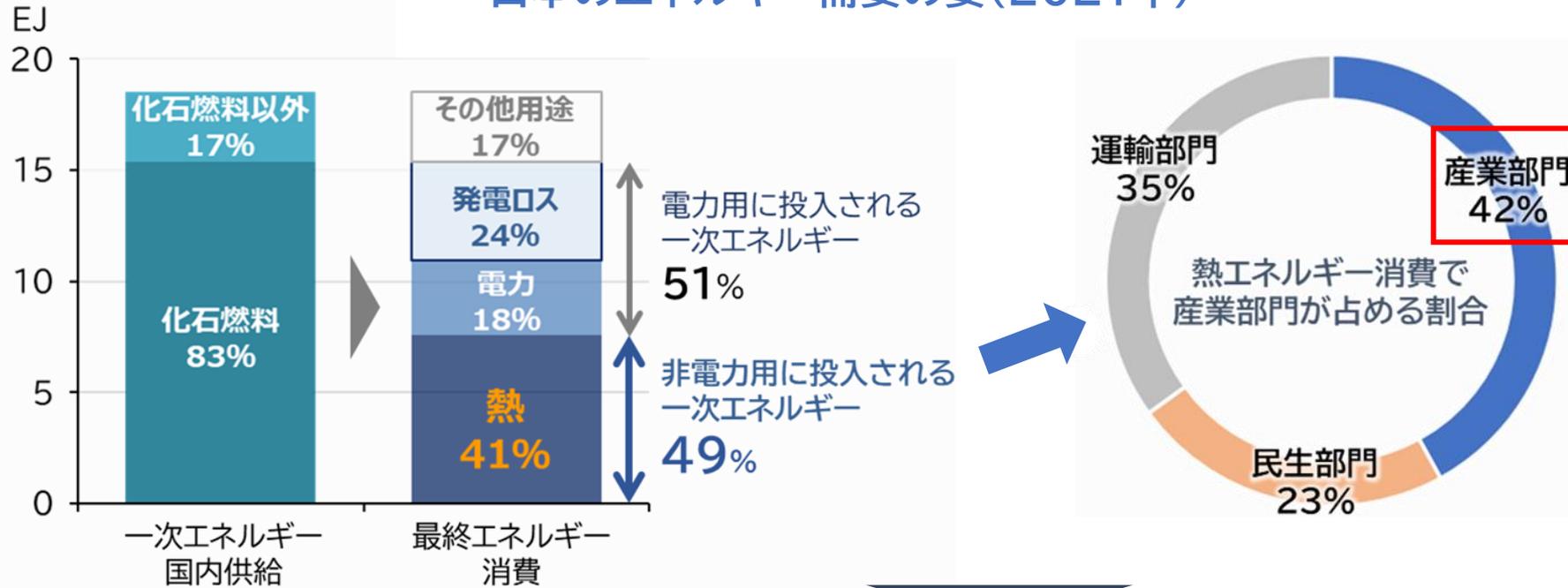


図: 工業炉のイメージ



- 熱エネルギー消費が主体の工場である神戸製鋼所高砂製作所を対象とした調査(NEDO委託事業※)を実施した。

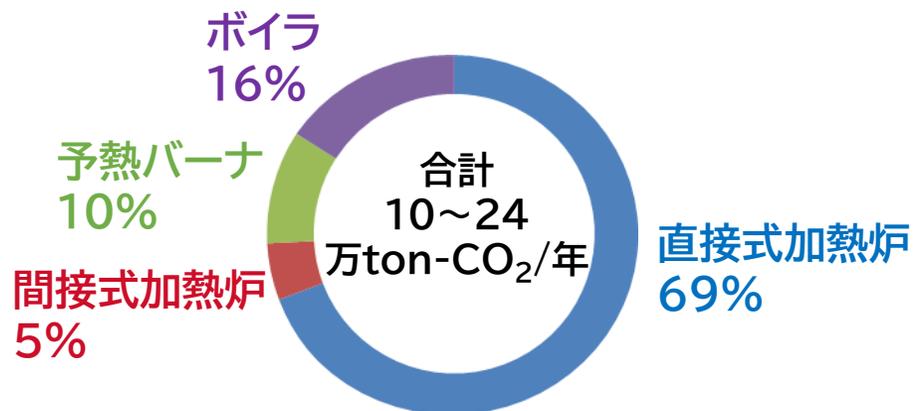
※水素社会構築技術開発事業/地域水素利活用技術開発/熱によるエネルギー消費が主体の工場の脱炭素化に向けた水素利活用モデルに関する調査 3
(契約番号: 21501829-0/21501830-0)

1. 事業の位置付け・必要性

背景 ～調査事業により明らかになったこと～

出典：2021年度～2022年度成果報告書 水素社会構築技術開発事業/地域水素利活用技術開発/熱によるエネルギー消費が主体の工場の脱炭素化に向けた水素利活用モデルに関する調査, 株式会社コベルコE&M/株式会社神戸製鋼所

高砂製作所の工業炉のCO₂排出量内訳



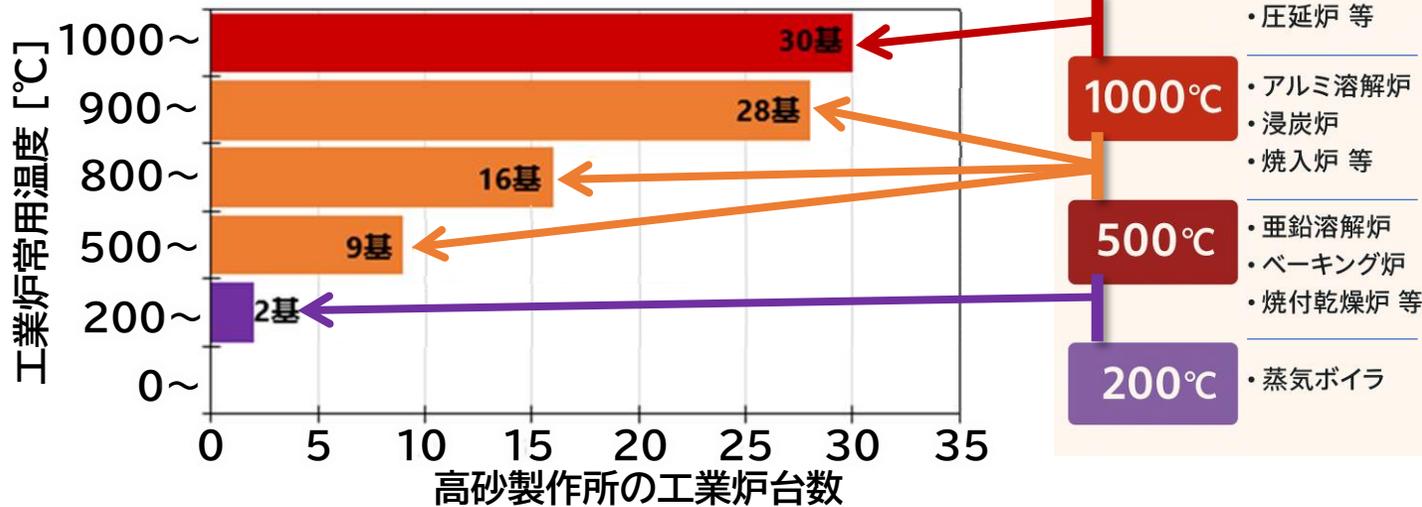
・CO₂排出量の内訳は、直接式加熱炉が69%と最も多く、次にボイラが16%と多い。

明らかになったこと

・**直接式加熱炉, ボイラの脱炭素化が重要。**

高砂製作所の工業炉の常用温度

- ・常用温度900℃以上の炉 : 全体の68%
- ・常用温度800～900℃の炉 : 全体の19%
- ・常用温度800℃未満の炉 : 全体の13%



・直接式加熱炉は高温/高出力となっており、電化での対応が難しい。▶ **脱炭素燃料への転換が必要。** ← 明らかになったこと

・脱炭素燃料はアンモニアや合成メタンも選択肢となるが、水素は“バーナ開発が先行していること”, “様々な用途に使用できること”, “国内再エネから製造し、直接利用できること”等を踏まえると、現時点においては、**水素による燃転に取り組むことが有望**と考えられる。

明らかになったこと

1. 事業の位置付け・必要性

目的 ～熱エネルギー消費が主体の工場の脱炭素化プラン～

- 熱利用に必要な水素を確保するには、調達可能量および調達コストの課題はあるが、水素需要開拓の観点で、早期に水素利用に着手することが重要。
- 工業炉では、**水素混焼から水素利用を開始し、水素専焼へ移行して段階的に水素利用量を増やす**。水素利用量の増加に応じて、水素供給設備を段階的に拡大する燃料転換プラン(以下に示す)が有効と考えられる。

本事業の目的

段階的な燃料転換プランの実現に向けて、生産規模の燃焼式工業炉での**水素混焼および専焼**による運転を水素供給システムの運用も含めて実証する。

熱エネルギー消費が主体の工場の脱炭素化プラン

		水素価格	2025年	2030年	2050年
製造・貯蔵・調達	再エネ+水電解 		1～数ユニット	ユニット数増加 ユニット大規模化	ユニット数増加 ユニット大規模化
	外部調達 		水素需要拡大に応じて、規模の拡大		
利活用	工業炉  ボイラ 		既設ボイラ 既設バーナ 水素混焼 (～20vol%)	水素混焼ボイラ 混焼用バーナに交換 水素混焼増加 (～50vol%)	水素専焼ボイラ 水素用バーナに交換 水素専焼 (100vol%)
費用効果	設備投資額, 運転コスト		最低限の設備投資で 小規模利用開始	設備を追加導入・改造、水素利用量拡大	
	温室効果ガス削減量		水素利活用拡大に応じて、温室効果ガス削減量が増加		

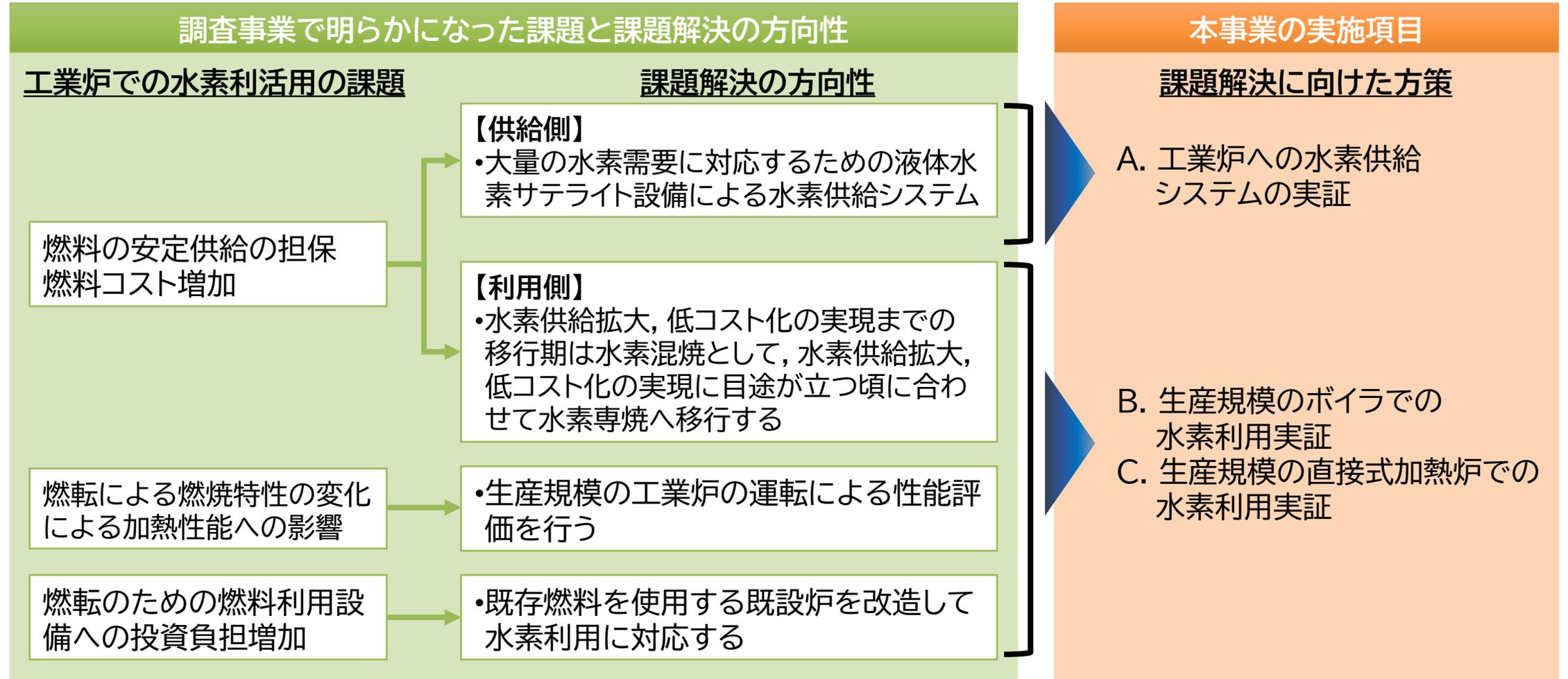
1. 事業の位置付け・必要性

本事業の意義

- 水素供給から利用までのサプライチェーン構築には、水素発電等の大規模需要と燃料電池自動車等の小規模需要に加えて、**中規模な水素需要先の開拓も必要**であると考えられ、中規模需要先の一つが**産業における水素の熱利用**となるが、**生産規模での水素の熱利用の事例は少ない**。
- 
- 神戸製鋼所は、鉄鋼やアルミ等の素材メーカーとして多くの熱エネルギー設備を有する**燃料利用側の視点**に加えて、LNGや水素などを取り扱う機器のメーカーとして**燃料供給側の視点**も有しており、**水素供給側と利用側の双方の視点**を考慮して、段階的に水素供給・利用量を増やしカーボンニュートラルに向かうための最適なプランを検討することが可能である。
- 
- 本事業を行うことにより、**水素供給～利用の一連のサプライチェーン構築**の進展に寄与することを目指す。

2. 研究開発マネジメントについて -目標と実施内容-

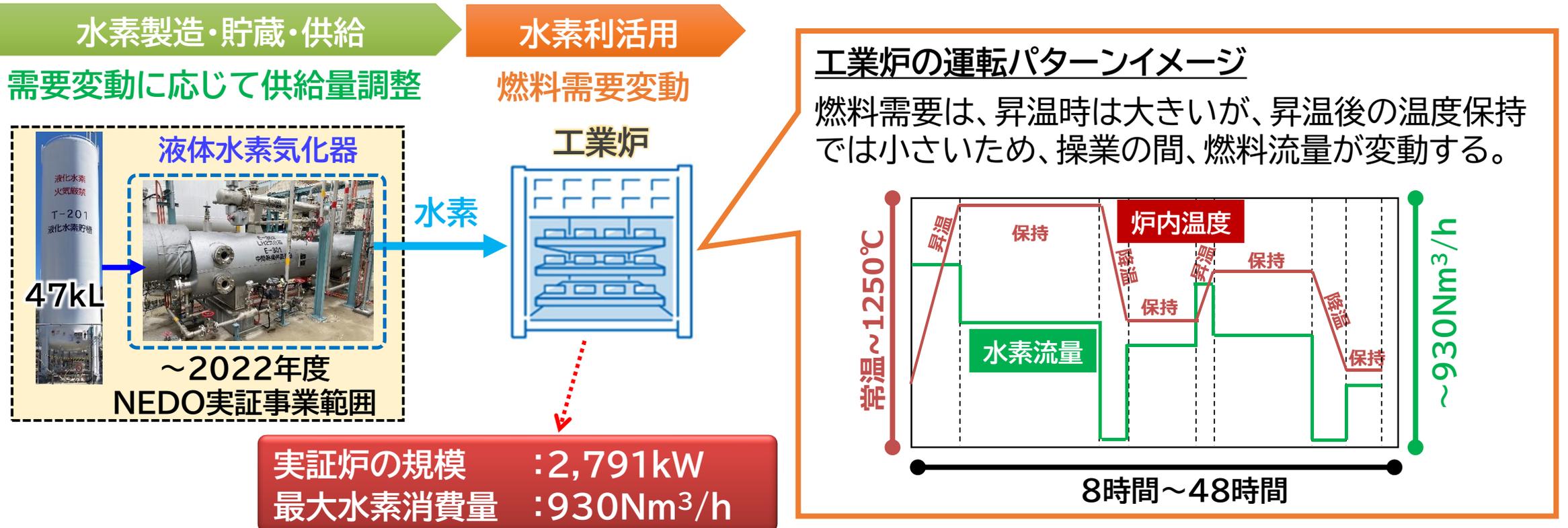
本事業の実施項目



2. 研究開発マネジメントについて -目標と実施内容-

A. 水素供給システムの実証

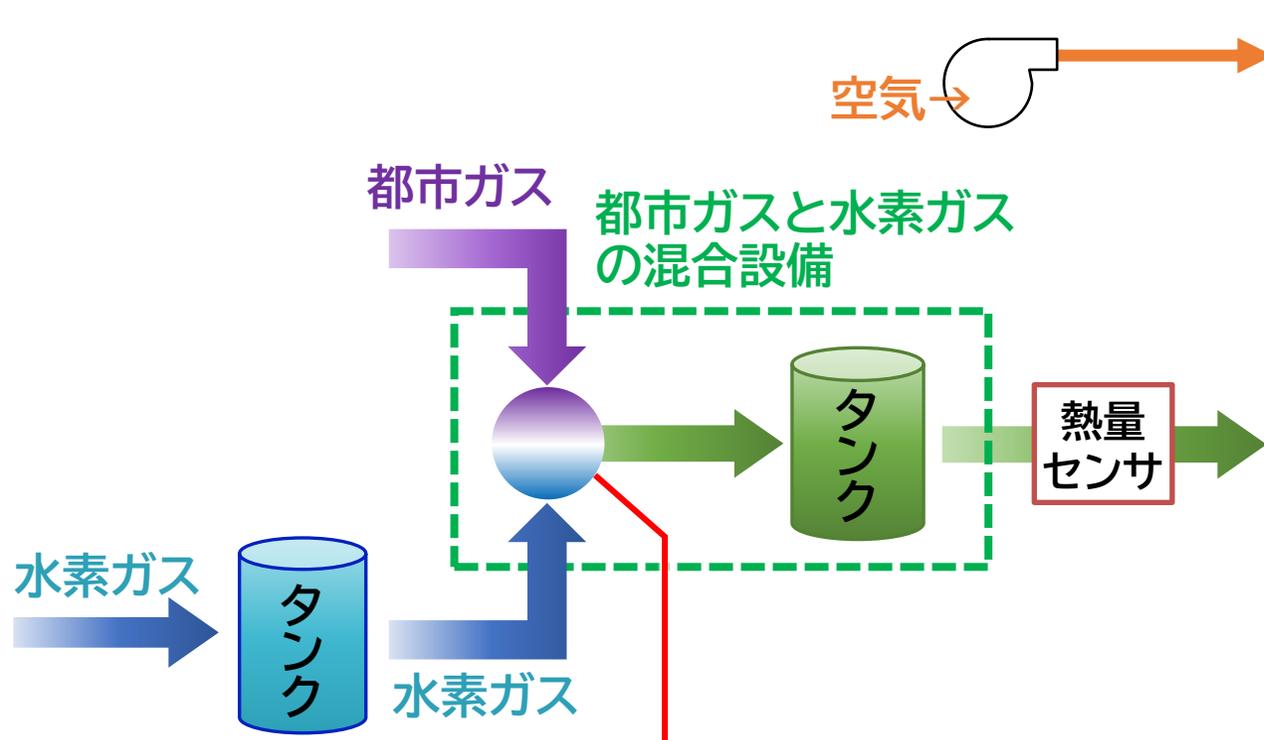
- 大量の水素需要への対応のために、液体水素タンクおよび液体水素気化器から成る水素ガス供給システムを用いて、**工業炉の燃料需要に合わせて液体水素由来の水素ガスを、2時間以上水素を安定供給**することを目標とする。
- 水素供給能力はボイラおよび加熱炉の最大燃料要求量に対応可能な規模とし、安定供給時間目標(2時間以上)は、液体水素気化器の安定状態確認時間(1時間)をもとに設定した。



2. 研究開発マネジメントについて -目標と実施内容-

B. ボイラでの水素利活用実証

- 都市ガス専焼で換算蒸発量1,500kg/h(940kW)の小型貫流ボイラでの20vol%以上の水素混焼運転を行う。
- 供給燃料の熱量に応じた蒸発量(1,280kg/h)以上で2時間以上、運転継続することを目標とする。
- 蒸気発生量および燃焼排ガス組成を評価し、水素混焼運転の指針作成および課題抽出と課題への対策を検討する。
- 使用するボイラ規模はボイラ適用区分の小型ボイラに分類され、メーカーラインナップが多い規模とし、運転継続時間は水素供給設備の目標時間に合わせて設定した。



既設ボイラの燃料供給ラインに
水素混合ガス供給ラインを設置



図:既設ボイラ
(都市ガス専焼で運用中)

小型貫流ボイラ (既存設備)

- 蒸気発生量 : 1.5ton/h
- バーナ : 拡散燃焼方式
- 設置場所 : 弊社 高砂製作所

2. 研究開発マネジメントについて -目標と実施内容-

C-1. 新設加熱炉での水素利活用実証

- 直接式加熱炉にて、都市ガスへの水素混合濃度を段階的に高めて水素濃度20vol%以上での水素混焼と水素専焼による鋼材の加熱試験を行う。
- 約2.5トンの鋼材を装入し、常温から1時間昇温(昇温速度は900°C/h以上を想定)後、炉内温度900°C以上で、1時間保持を目標とする。
- 水素混焼/専焼での鋼材の加熱特性が、都市ガス専焼と比較して異なる場合には、その差を生み出す因子を明確にする。
- 使用する加熱炉の規模は産業界で多く使用されている規模(燃焼容量2MW相当)とし、保持時間目標は炉内の定常状態が確認できる時間に設定した(定常後は燃料供給が継続可能であれば、更に長い保持時間にも対応可能)。

従来燃料から水素への燃料転換により、火炎形状、火炎温度、輻射伝熱、対流伝熱などが変化する。バーナーでの安定燃焼に加えて、上述の因子が加熱炉性能(対象物の加熱特性)に及ぼす影響の評価が必要。

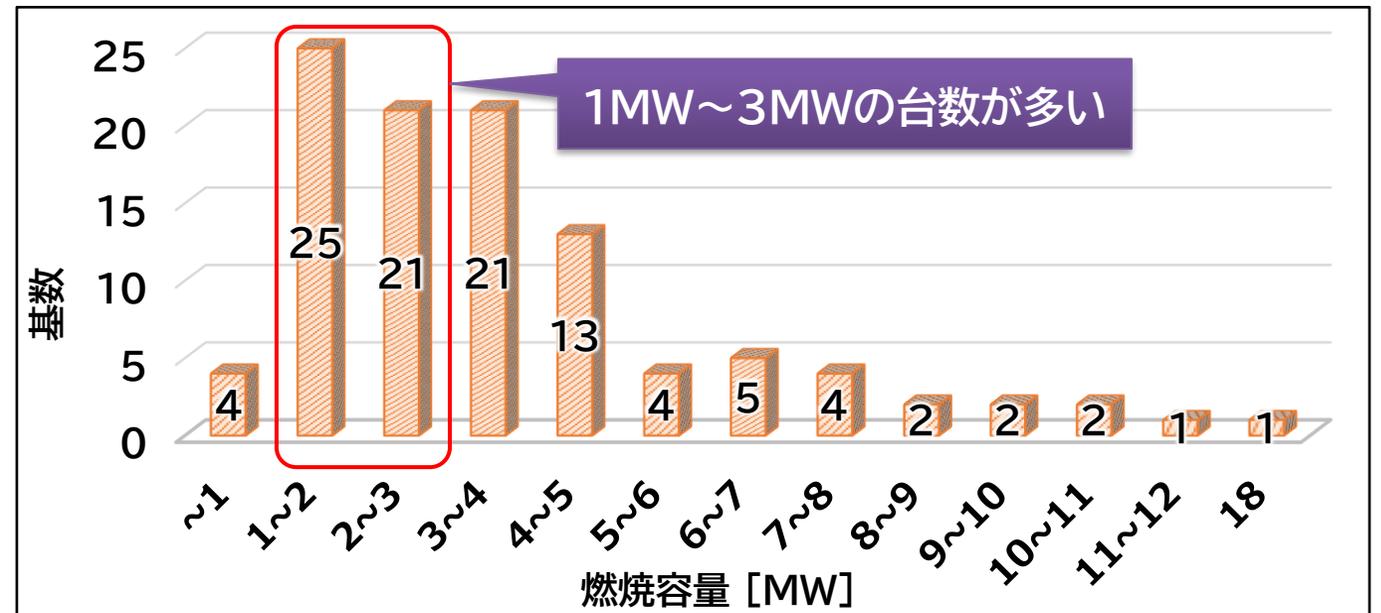
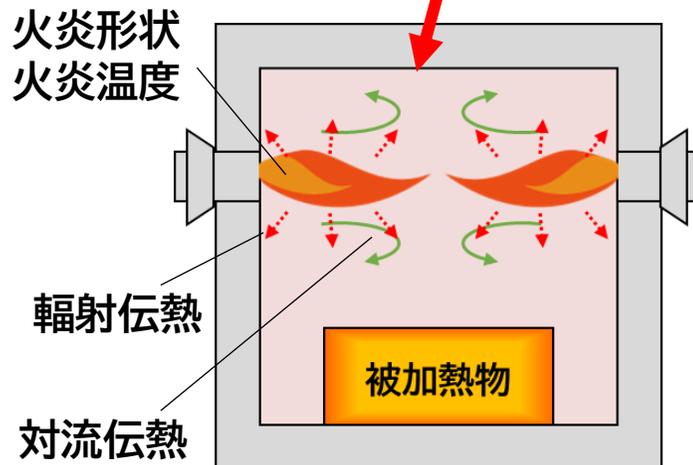


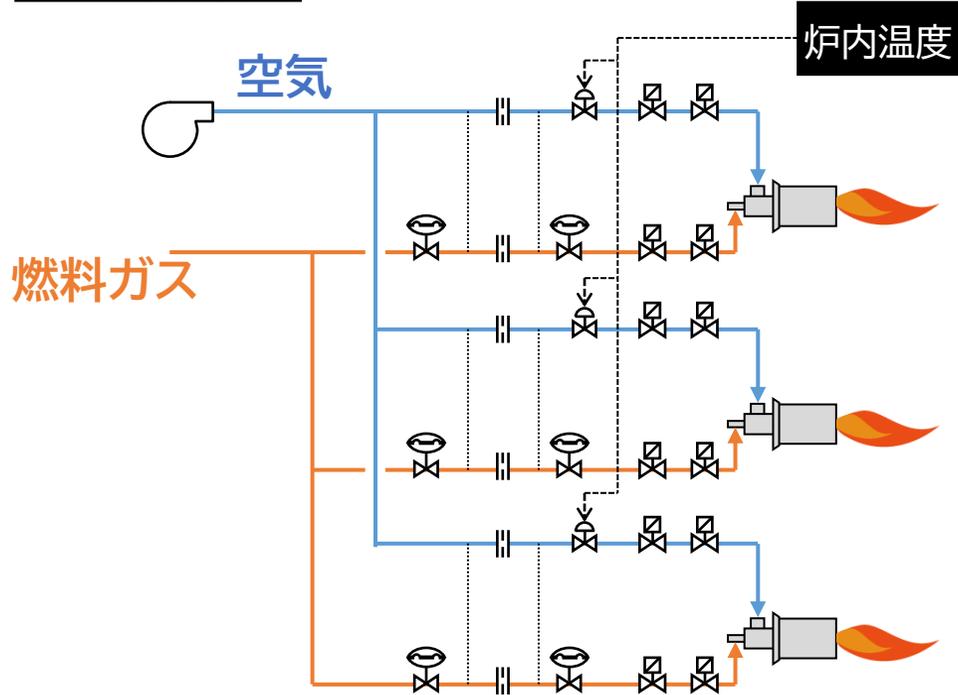
図: 燃焼容量別の加熱炉台数 (弊社 高砂製作所)

2. 研究開発マネジメントについて -目標と実施内容-

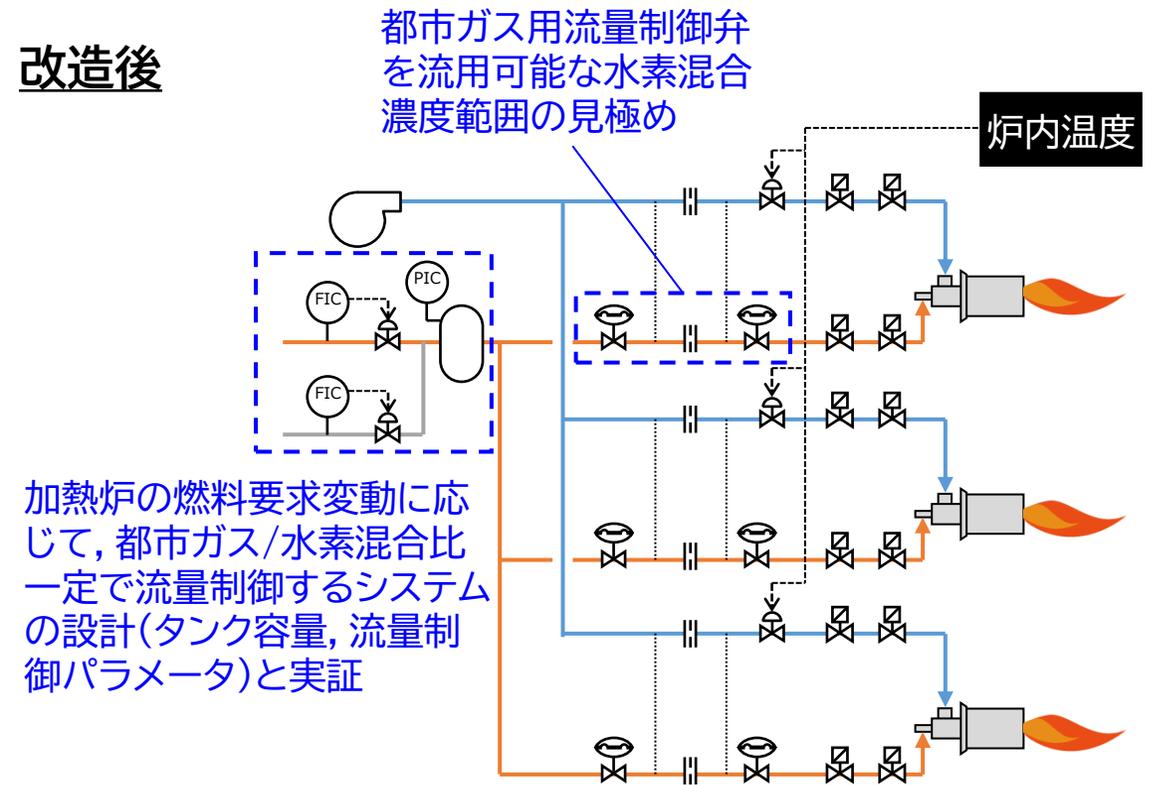
C-2. 既設炉を改造した加熱炉での水素利活用実証

- 既設都市ガス加熱炉の燃料供給システムを水素混合できるように改造する。
- 都市ガスへの水素混合濃度を段階的に高めて水素濃度20vol%以上での水素混焼と水素専焼による鋼材の加熱試験を行う。
- 既設都市ガス加熱炉で水素利用するための改造において、構成部材の流用可能範囲, 改造範囲, 改造コストを明らかにする。

改造前(現状)

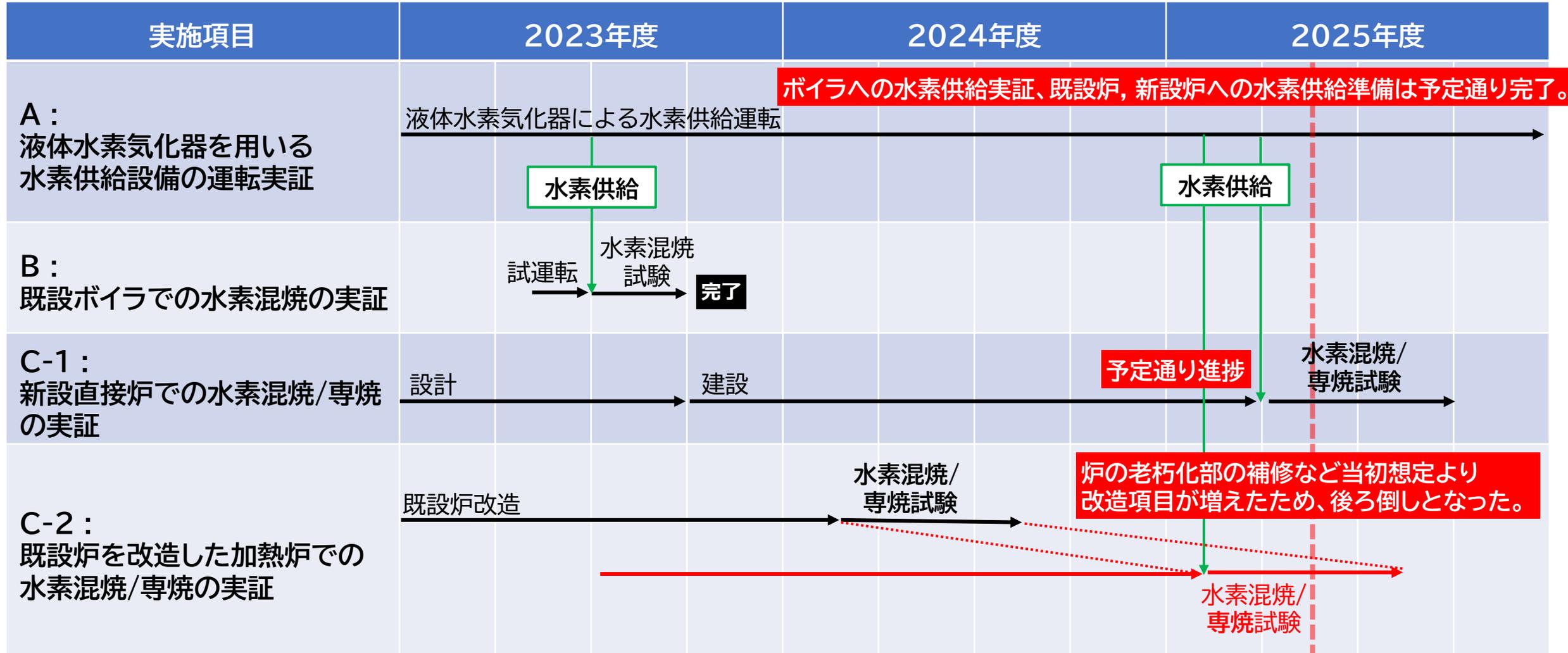


改造後



2. 研究開発マネジメントについて -スケジュール-

スケジュール



2. 研究開発マネジメントについて -実証設備概要-

実証設備の概要

- 液体水素による水素ガス供給システムを活用し、水素供給～利活用を合わせて実証試験を行う。

水素製造・貯蔵・供給

A) 水素供給設備



～2022年度 NEDO実証事業範囲

水素ガス

都市ガス

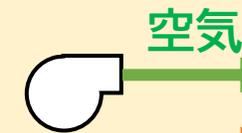
水素ガス

都市ガス

水素ガス

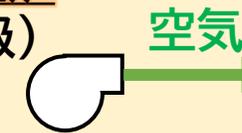
水素利活用 (燃焼式工業炉)

B) 既設ボイラ (940kW)



既設設備
(改造含む)

C-2) 既設改造炉 (2,791kW級)



C-1) 新設炉 (2,791kW級)



新設設備

2. 研究開発マネジメントについて -実証設備概要-

実証設備の概要

- ・ボイラ向け燃料供給配管および加熱炉向け燃料供給配管は設置完了。

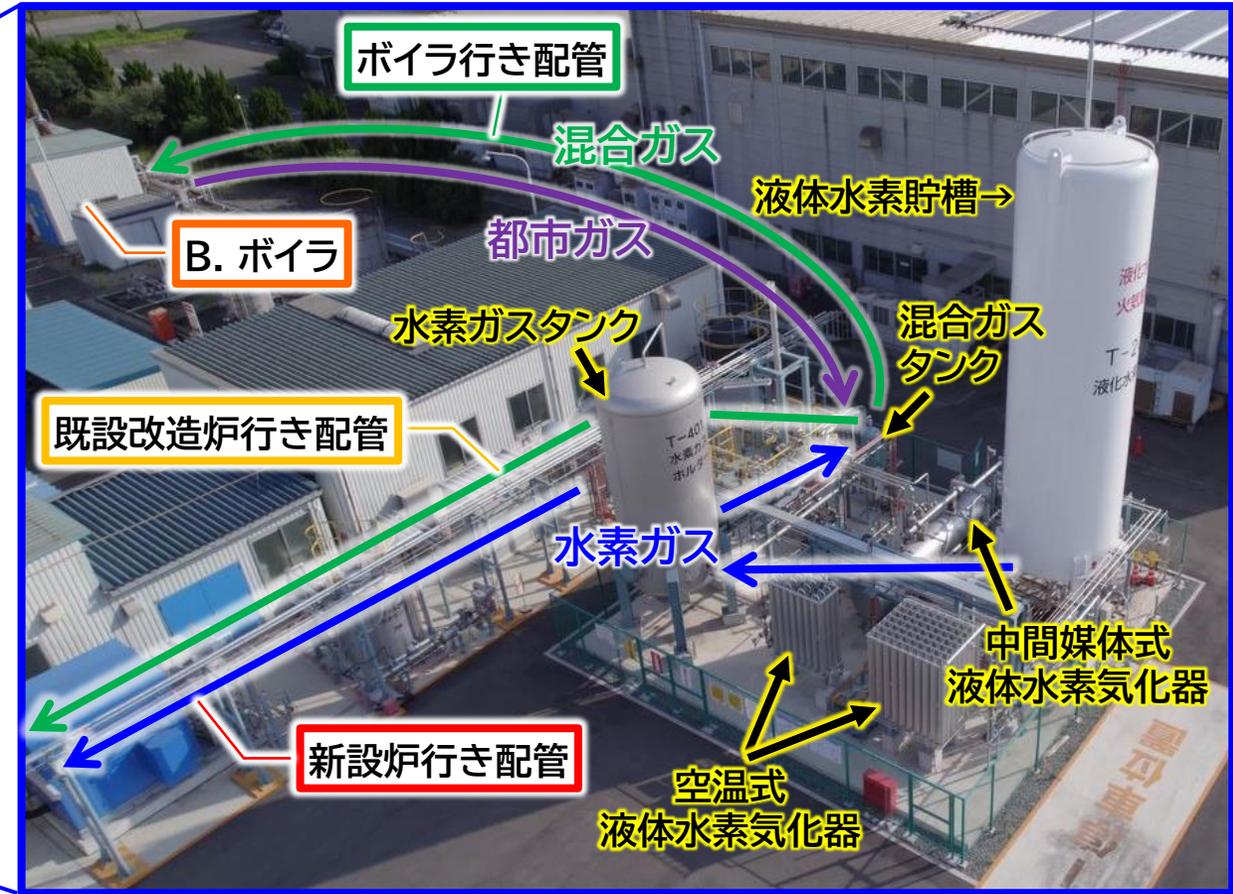
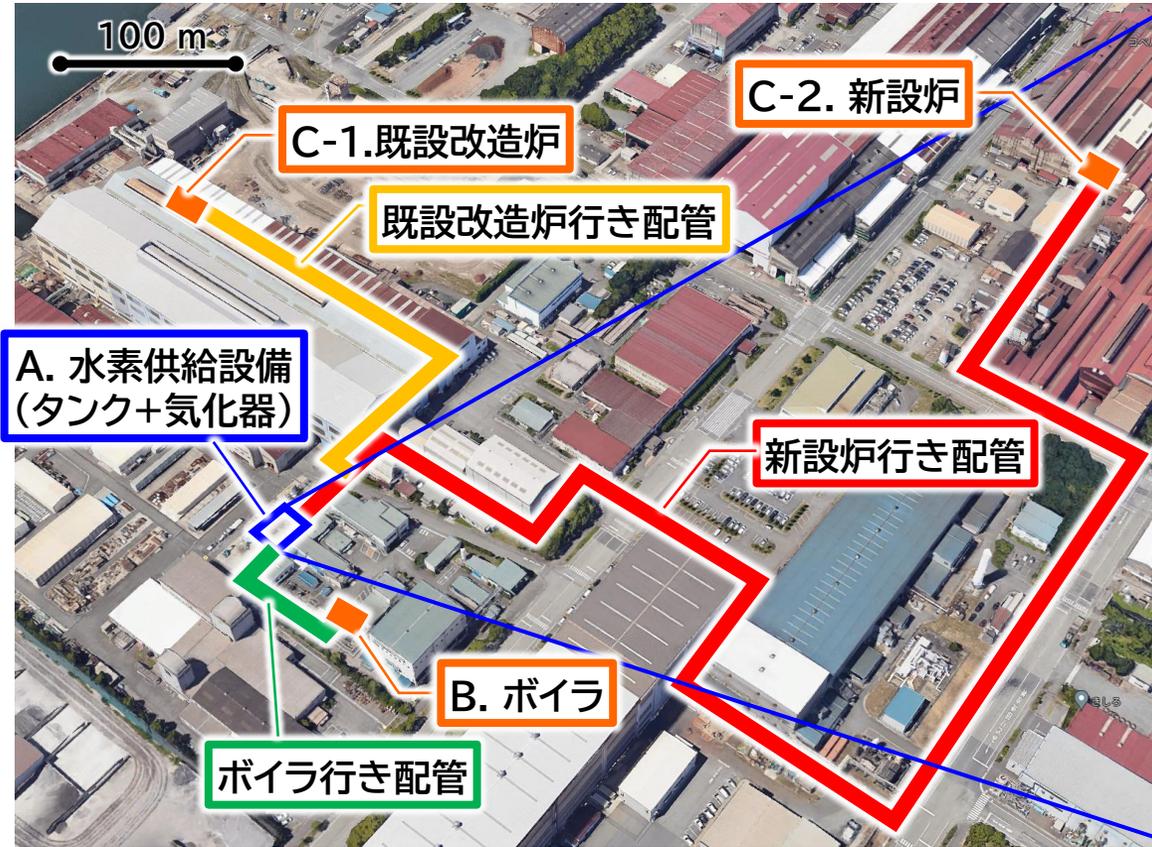


図:ボイラ向け燃料供給配管および加熱炉向け燃料供給配管の概要図

図:液体水素からの水素と都市ガスの混合設備, 混合燃料をボイラに供給する設備

3. 研究開発成果について

C-1. 新設加熱炉での水素利活用実証

- ・新設加熱炉の**建設工事は完了**した。**現在、鋼材加熱試験に向け、燃焼調整中。**
- ・新設加熱炉の主なスペックは以下の通り。

新設加熱炉のスペック	
燃焼容量	2,791kW (698kW×4本)
処理温度	最大1,245℃ (温度公差: 保持温度±10℃)



図: 新設した加熱炉



図: 初回の燃焼テストの様子 (都市ガス専焼条件)

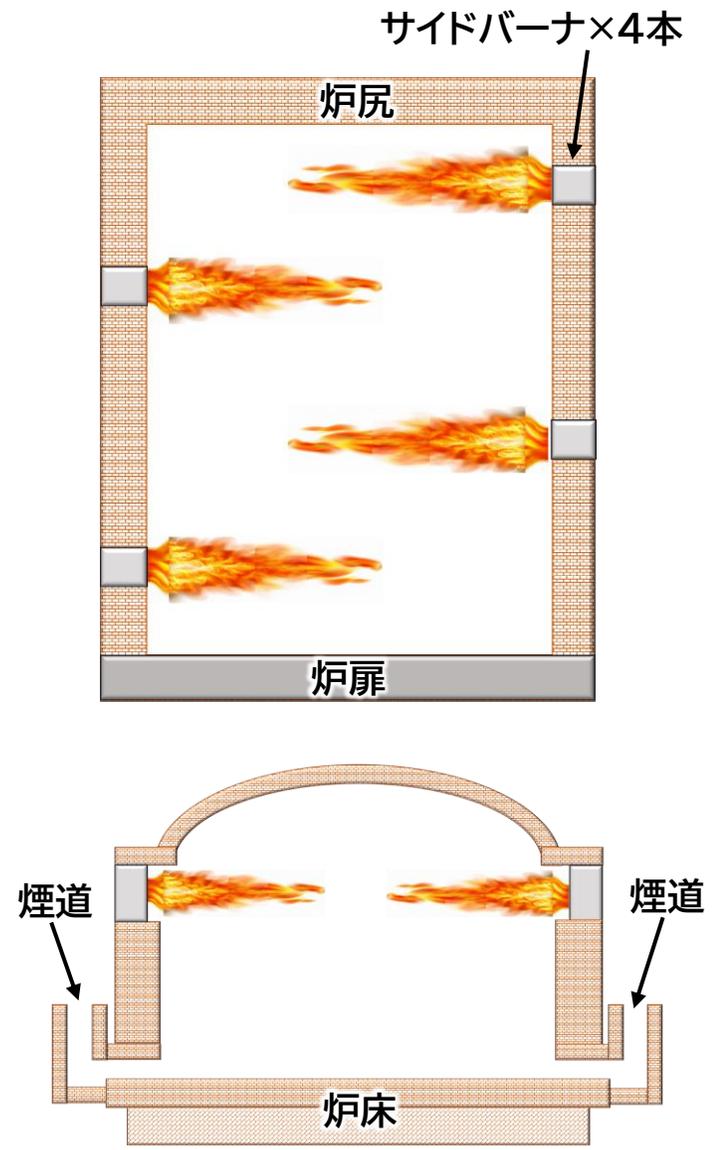


図: 炉内のバーナ配置

3. 研究開発成果について

C-2. 既設炉を改造した加熱炉での水素利活用実証

・既設炉の改造工事は6月末に完了しており、改造内容を以下に示す。青字が水素向けに必須の改造項目。

- ①燃料供給系統 : 水素混合可能な配管およびバルブスタンドの改造, 新設
- ②流量制御 : 都市ガス/水素混合比一定での流量制御(従来: ON-OFFサイクル制御)及び3ゾーン制御への変更
- ③窒素パージ : 水素リッチの燃料の場合、消火時に窒素パージが必須のため、窒素パージラインの新設
- ④バーナタイプ : 燃烧安定性の観点から、予混合方式から拡散燃烧方式へ変更
- ⑤バーナノズル : 水素混焼比率40vol%以下)一般的な13A用バーナノズル, 水素混焼比率50vol%以上)水素用バーナノズル
- ⑥リプレイス : 燃烧空気ブロア、炉圧ダンパ、バーナ周りの耐火物、炉に常設の熱電対

・対象炉: 台車式加熱炉 (定格燃烧容量: 2,791kW, 349kW×8本)

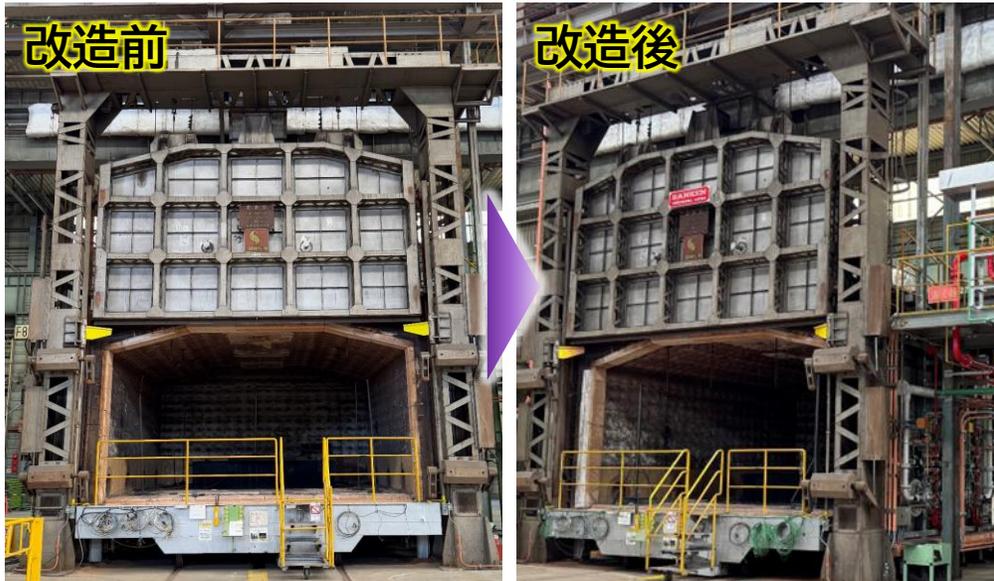


図: 改造前後の加熱炉の全景

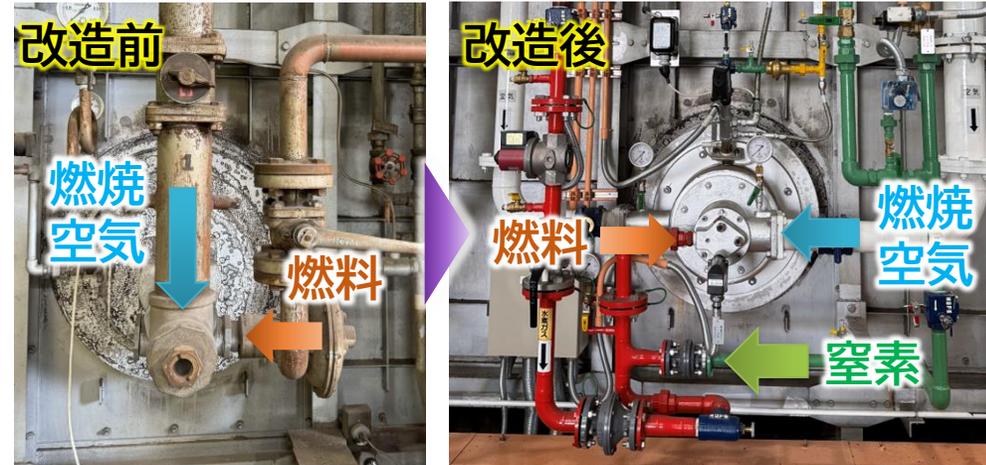


図: 改造前後のバーナ周りの燃料配管

水素/都市ガスの混合ガスの場合は、ガス供給設備側で熱量調整した混合ガスを供給

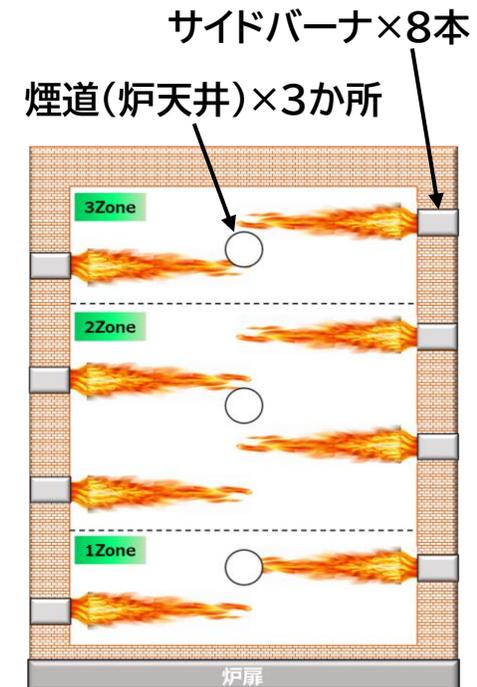


図: 炉内のバーナ配置

3. 研究開発成果について

C-2. 既設炉を改造した加熱炉での水素利活用実証

- ・水素燃焼試験の比較対象である都市ガス専焼での試験まで完了。右図に改造前後での炉内雰囲気温度の変化を示す。
- ・水素燃料でのバーナ燃焼調整が完了。左図に室温での水素100%火炎の様子を示す。

図: 改造前の炉内雰囲気温度 (都市ガス専焼)

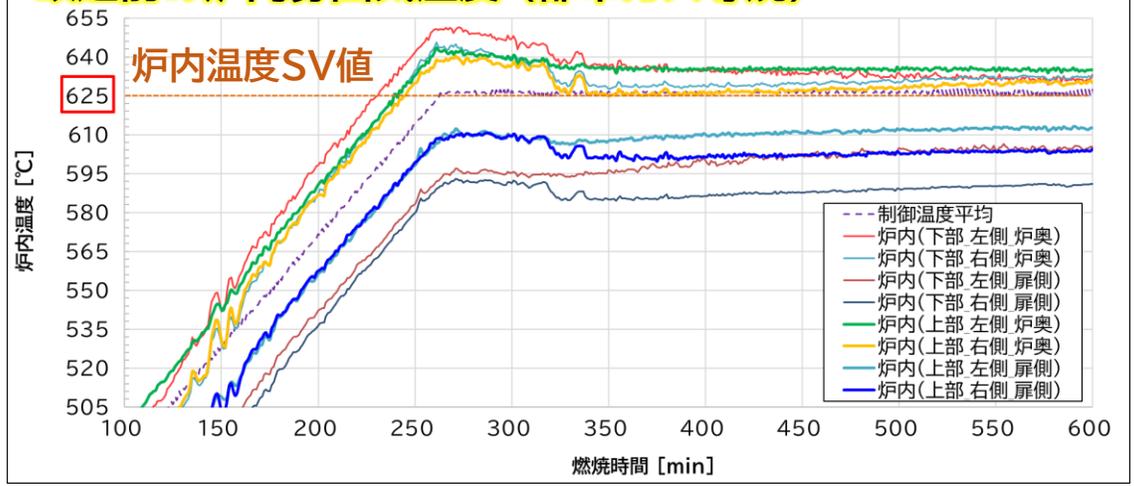


図: 改造後の炉内雰囲気温度 (都市ガス専焼)

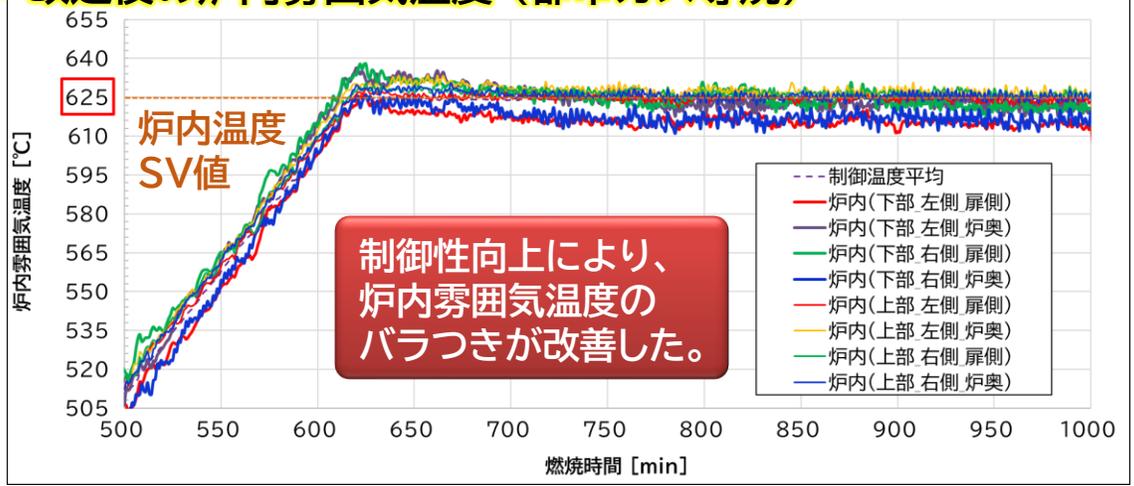


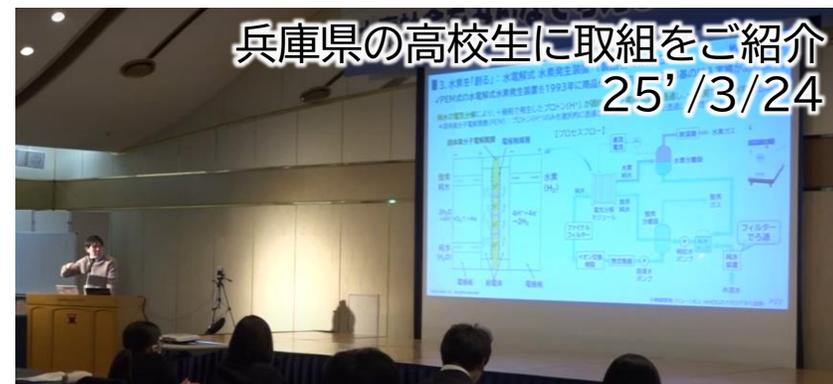
図: 室温条件(炉扉開放)での水素100%火炎の様子

3. 研究開発成果について

特許や論文, 学会発表, 広報等の取組(24年度終了時点)

- 講演 19件
 - ・ 化学工学会 第55回秋季大会
 - ・ おかやま水素関連技術コンソーシアム
 - ・ 水素社会をみんなで考えるワークショップ
 - ・ H2 & FC EXPO, 他
- 展示会 22件
 - ・ Hydrogen Technology EXPO Europe
 - ・ 国際フロンティア産業メッセ
 - ・ 人とクルマのテクノロジー展
 - ・ H2 & FC EXPO, 他
- 見学受入 延べ190回 (延べ人数 約2,000名)
 - ・ 企業 97回 (製造業, 金融・保険業, 情報・通信業など)
 - ・ 官公庁/公益団体 37回
 - ・ 業界団体 25回
 - ・ 社内 31回

出典:ひょうごチャンネル | 水素社会をみんなで考えるワークショップ~高校生が水素社会を深掘りしてみた~



4. 今後の見通しについて

実用化・事業化のイメージ

□ 都市ガス燃料の既存ボイラでの水素混焼

- ・水素サプライチェーン構築前の移行期においては、既存のボイラ設備の大規模な改造や更新を伴わない**水素混焼は初期投資を抑えつつ、即効的なCO₂削減を実現できる有効なソリューション**として活用可能。
- ・貫流ボイラは国内の産業用ボイラの大部分を占め、その稼働台数は約80,000台と推計されており、本研究開発成果の適用先として高いポテンシャルを有する。今後は自社工場に加え、関連業界への横展開を通じて、水素利活用の裾野拡大と市場形成を加速する。

実用化・事業化に対する今後の課題

- ・今回使用したボイラでの成果は、他のボイラメーカー製品や他機種への適用性が現時点では限定的である可能性がある。そのため、ボイラメーカーとも情報共有しながら、本事業の成果の汎用化と横展開を図る。

□ 直接式加熱炉での水素混焼～専焼

- ・対外発表や実証結果の共有を通じて、本研究開発により得られた水素供給システムを含む直接式加熱炉での**水素混焼・専焼の利活用モデルに関する汎用的な知見を工業炉メーカーおよびユーザーに積極展開し**、**燃焼式工業炉での燃料転換の促進と水平展開を図ることで、業界全体の脱炭素化に貢献することを目指す。**

実用化・事業化に対する今後の課題

- ・工業炉自体の長期安定性、安全性の確認が必要。
- ・製造工程の一部で水素燃料によって直接加熱された部材についてのユーザー側での承認の要否や承認プロセスの確認が必要。