

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026
プログラムNo.602-2-08

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

水素社会構築技術開発事業/地域水素利活用技術開発/

発表：2026年7月22日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 田中 孝二

*団体名 (株)神戸製鋼所

問い合わせ先 (株)神戸製鋼所 E-mail:tanaka.koji-1@kobelco.com TEL: 080-9921-7001

事業概要

1. 期間

2023年8月～ 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

2MW級の直接式加熱炉での水素混焼～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の整理

A)工業炉への水素供給システムの実証(24年度に報告)

工業炉(ボイラ, 加熱炉)での水素利用実証において工業炉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)

水素混焼・専焼条件と都市ガス専焼条件が同等の加熱特性(炉内雰囲気温度分布, 鋼材の昇温挙動等)であることを確認。また、加熱後の鋼材の酸化皮膜厚さは、都市ガス燃焼に比べ、水素燃焼では、やや増加することを確認。

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)

既設炉での水素の燃料利用において、水素混焼比率毎の改造可否を明確化するとともに、改造により、水素専焼化が可能であることを確認した。



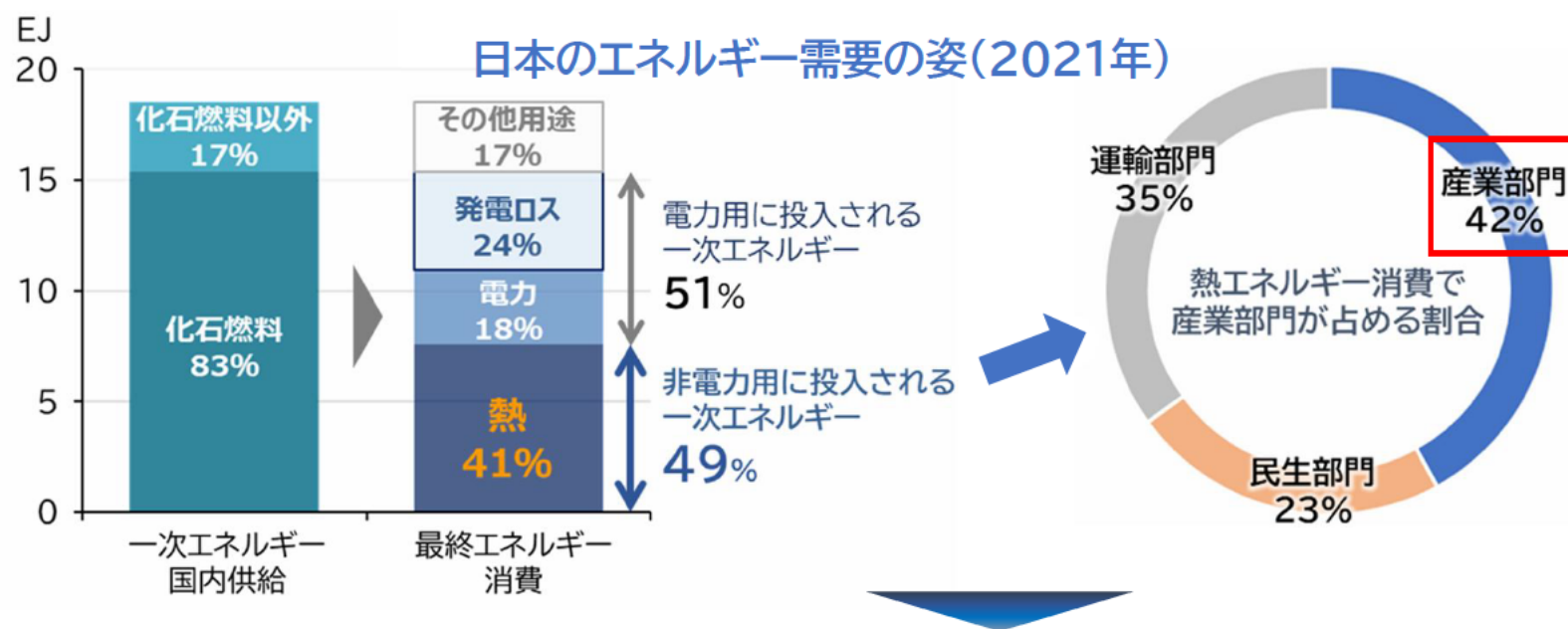
あしたにいいこと、
KOBELCOと。

1. 事業の位置付け・必要性



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%が化石燃料由来であり、その内41%は熱として消費されている。
- ・熱エネルギー消費の42%を産業部門が占めており、カーボンニュートラル社会の実現に向け、産業部門での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。



図：工業炉のイメージ

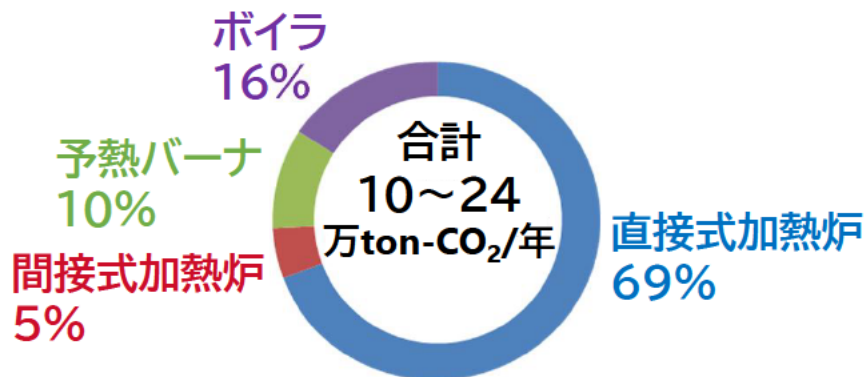


熱エネルギー消費が主体の工場である神戸製鋼所 高砂製作所を対象とした調査(NEDO委託事業※)を実施。

※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
(契約番号:21501829-0/21501830-0)

背景：事前の調査事業(2021年度～2022年度)で明らかにしたこと

高砂製作所の工業炉のCO₂排出量内訳



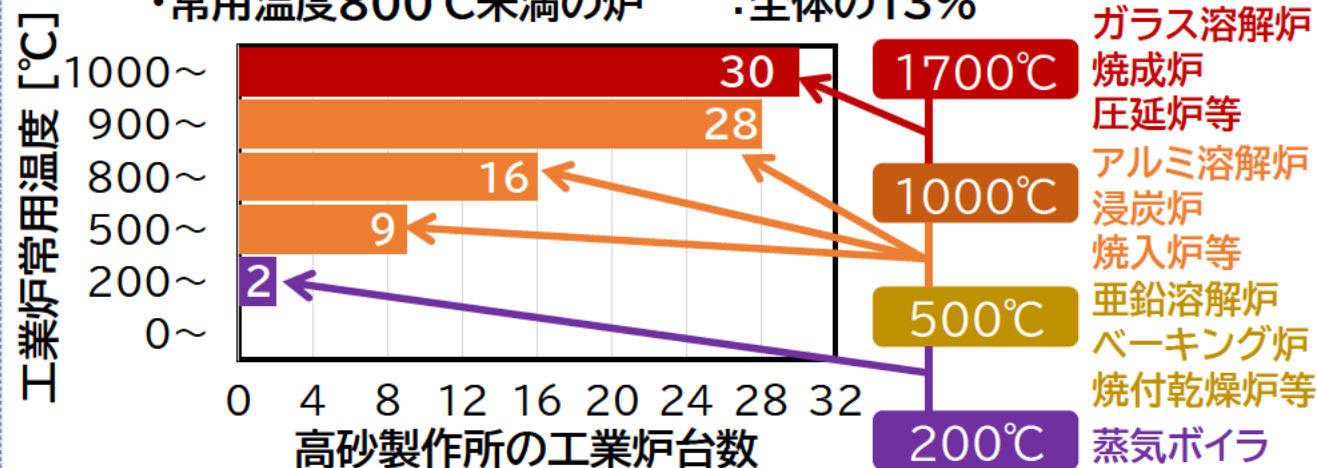
- CO₂排出量の内訳は、直接式加熱炉が69%と最も多く、次にボイラが16%と多い。

明らかにしたこと

- 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。← 明らかにしたこと

- 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。

← 明らかにしたこと

本事業の目的

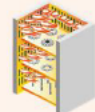
調査事業で明らかにしたこと

・熱利用に必要な水素を確保するには、調達可能量、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。そこで、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、水素関連設備を段階的に拡大する燃料転換プラン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/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 調達 貯蔵	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	
	外部調達(液体水素) 	水素需要拡大に応じて、規模の拡大		
利用	加熱炉  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	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	
効果	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		

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。

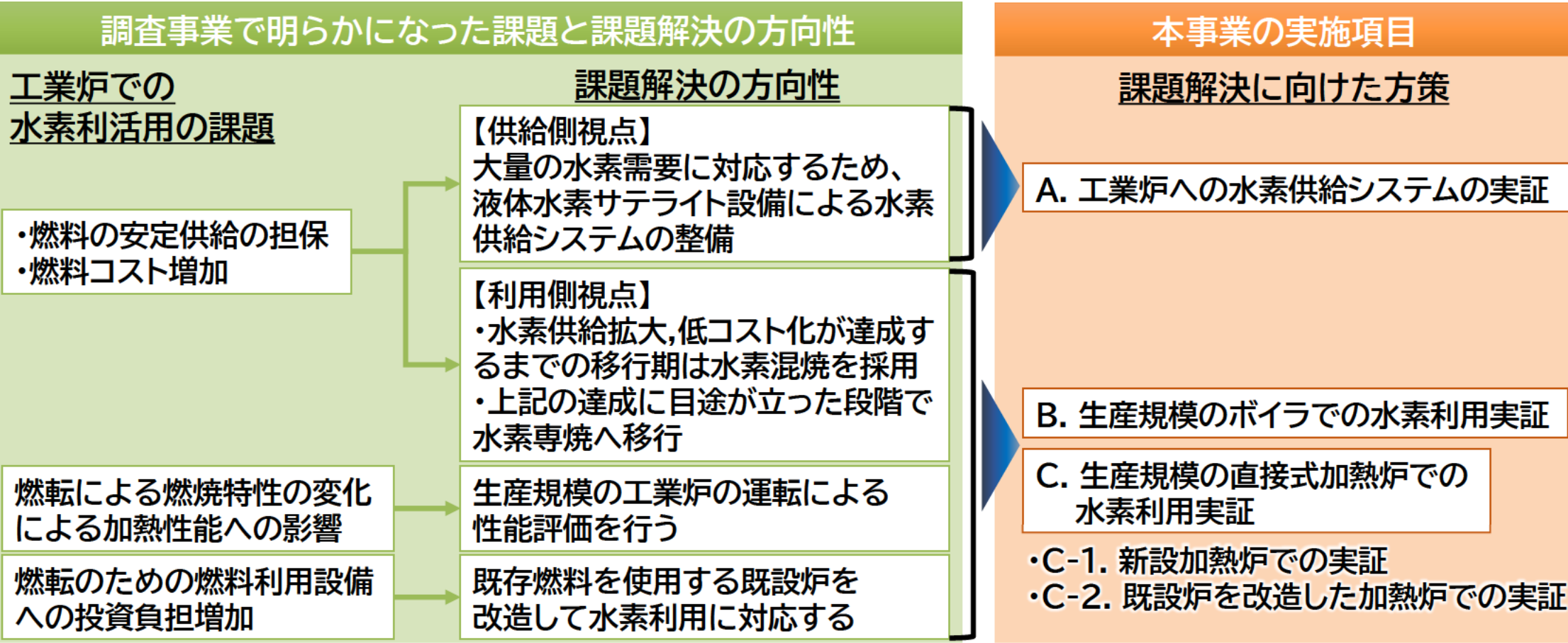


あしたにいいこと、
KOBELCOと。

2.研究開発マネジメント



本事業の実施項目

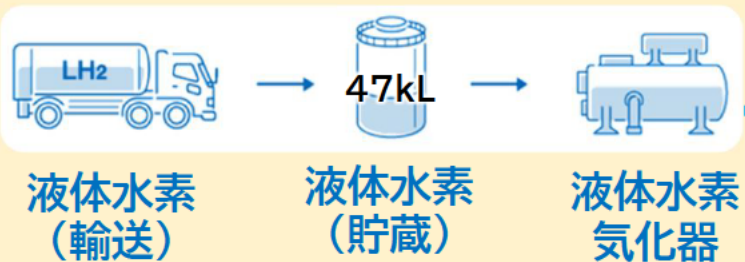


実証試験の概要

・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

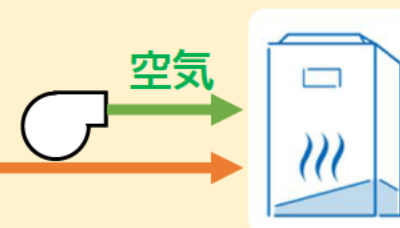
水素ガス

都市ガス

水素ガス

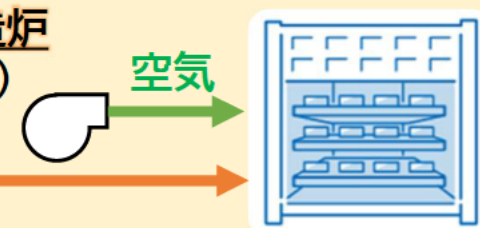
水素利活用（燃焼式工業炉）

B) 既設ボイラ (940kW)

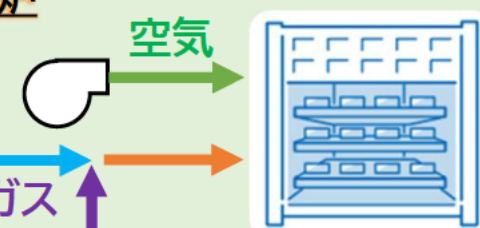


既設設備
(改造含む)

C-2) 既設改造炉 (2,791kW)



C-1) 新設加熱炉 (2,791kW)



新設設備

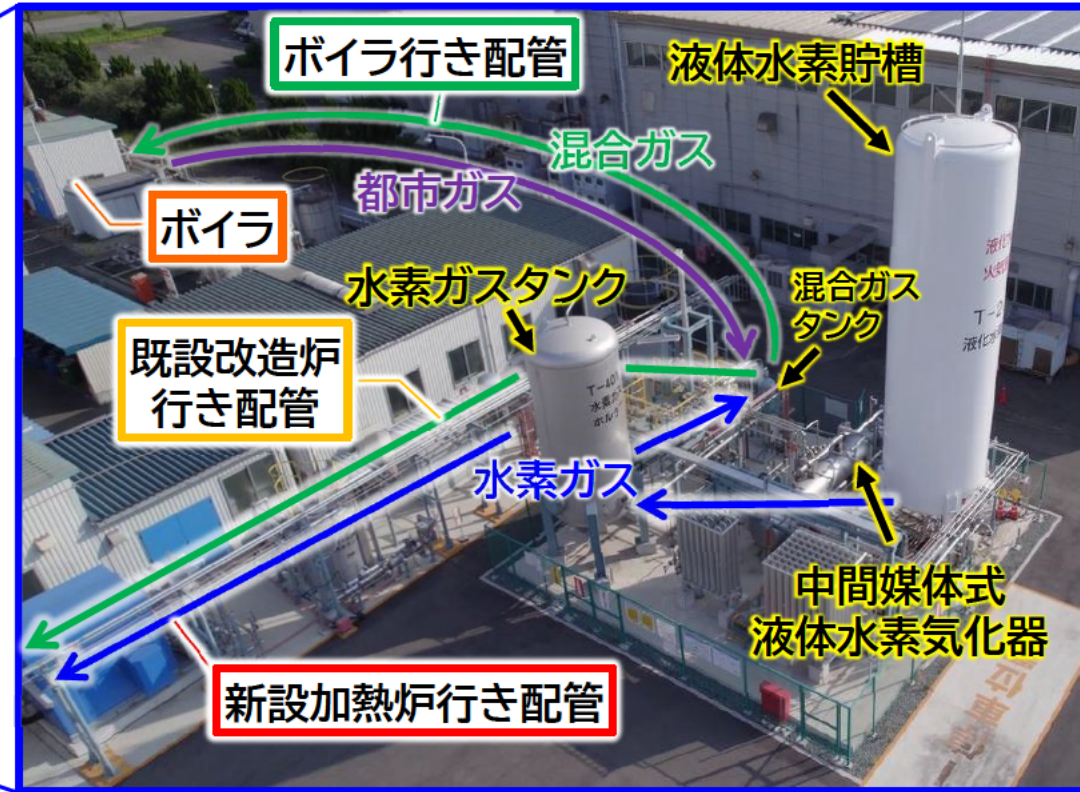
都市ガス

実証設備の燃料供給配管

・弊社 高砂製作所に設置された各機器の場所およびボイラ，加熱炉向けの燃料供給配管は下図の通り。



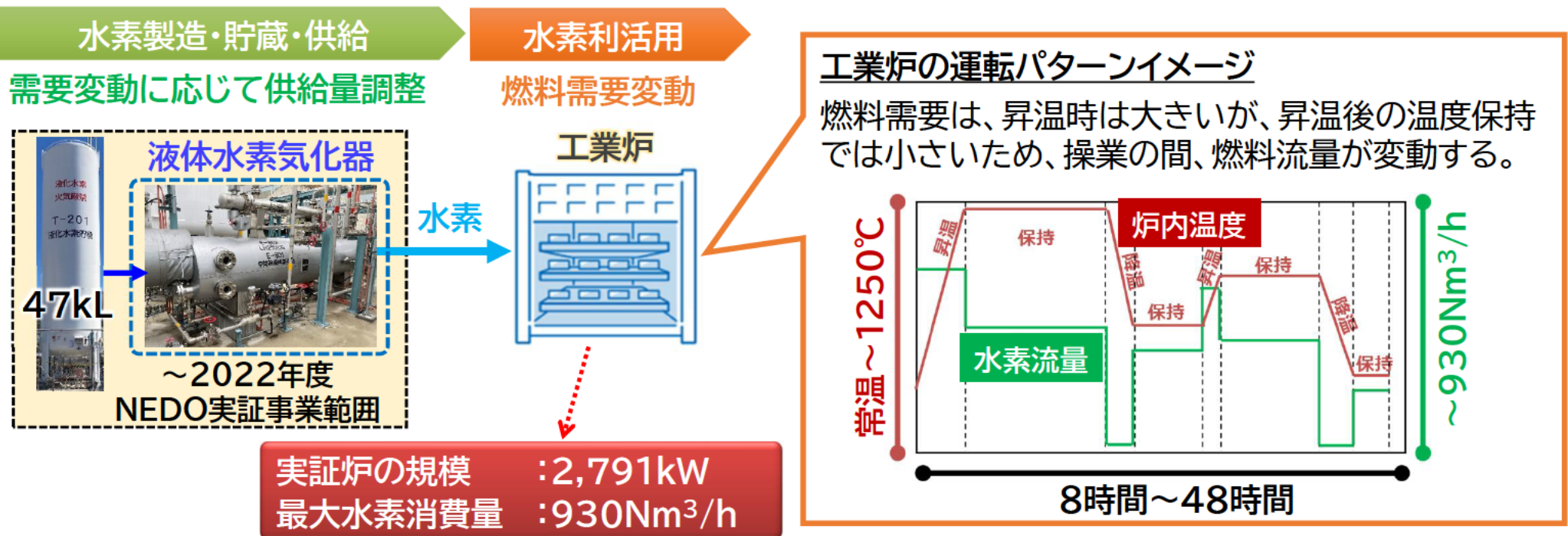
図：ボイラ，加熱炉向け燃料供給配管



図：液体水素からの水素と都市ガスの混合設備，燃料ガスをボイラ，加熱炉に供給する設備

実施項目: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。**



実施項目: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, 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。

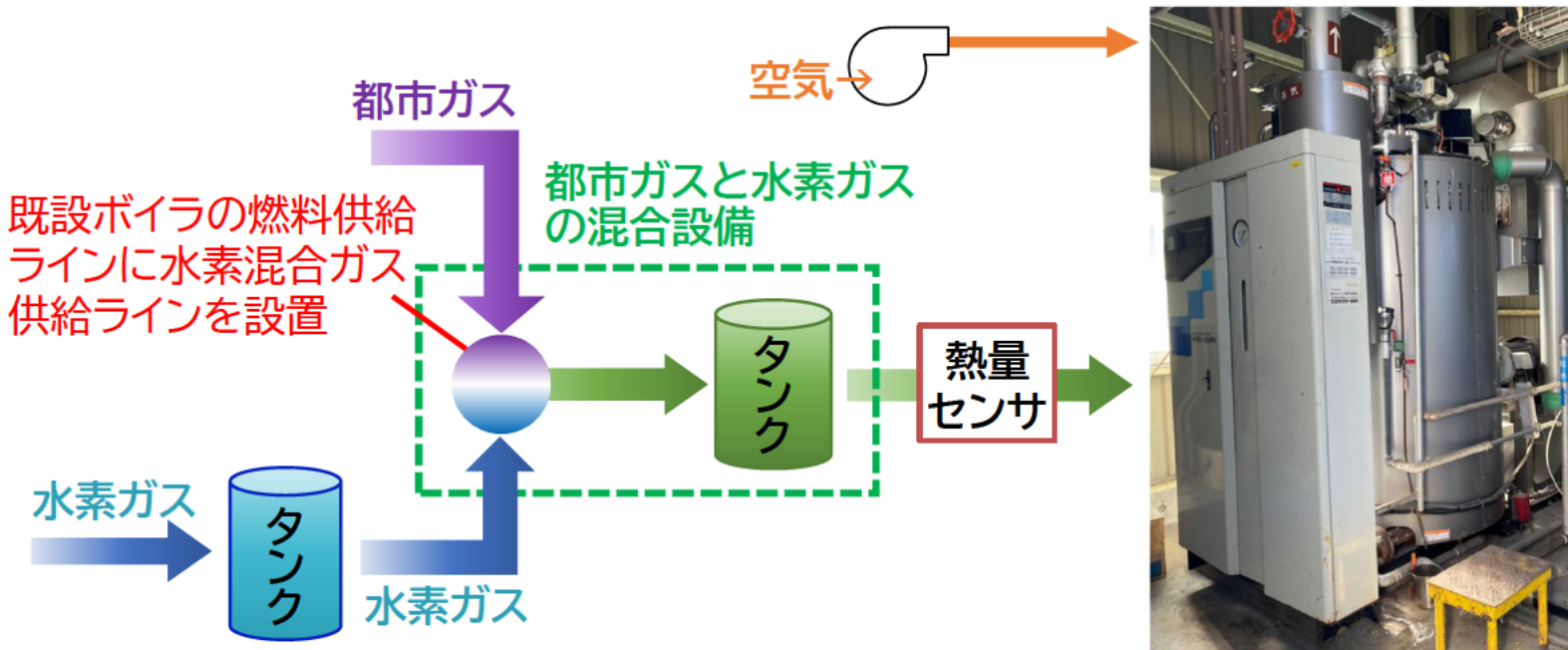


図:既設ボイラ
(都市ガス専焼で運用中)

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

実施項目:C-1. 新設加熱炉での水素利活用実証

- ・直接式加熱炉を新たに設置し、水素混焼(水素濃度50vol%以上)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℃/h以上を想定)後、炉内温度900℃以上で、2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3MW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)。

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。

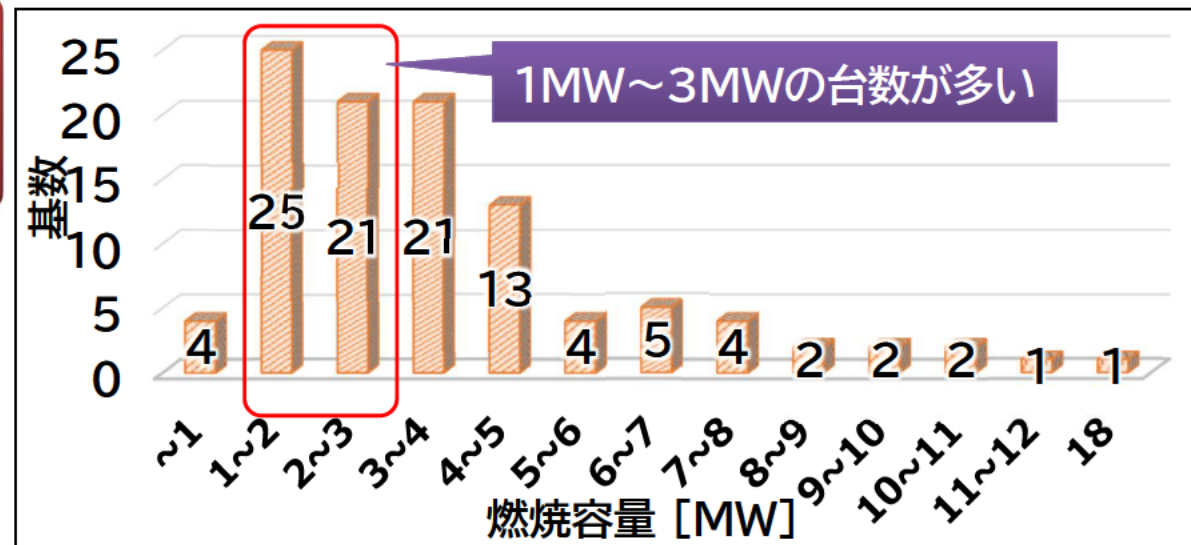
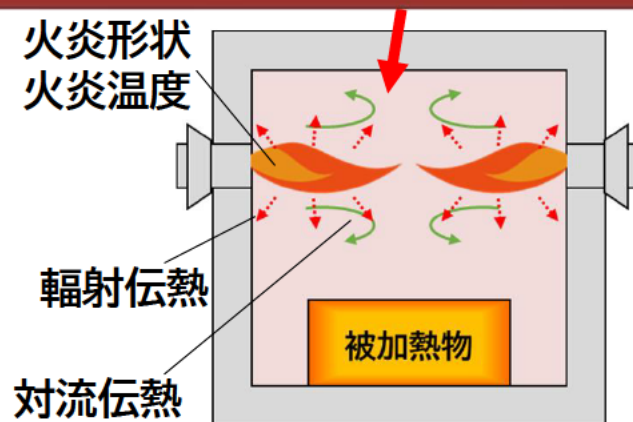
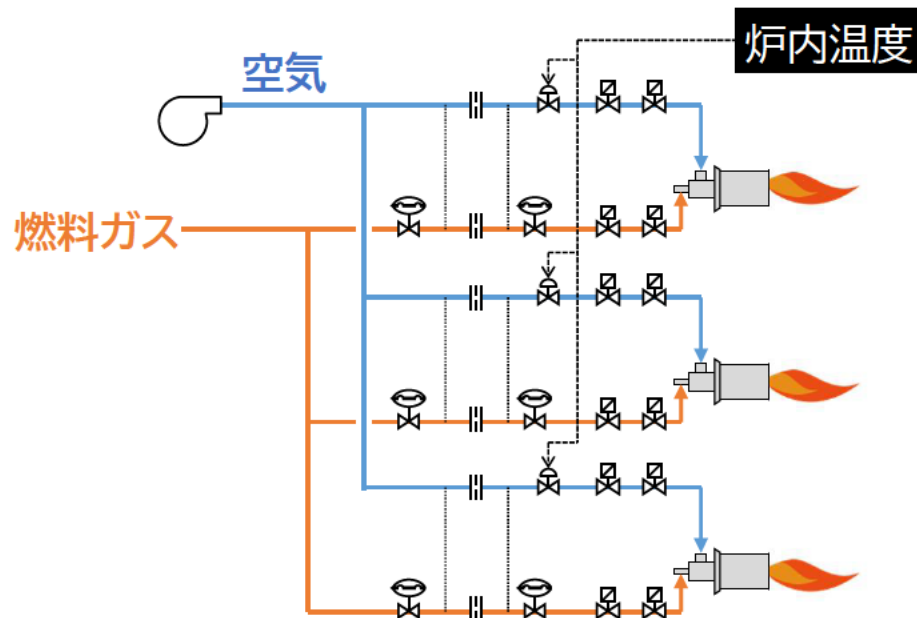


図: 燃焼容量別の加熱炉台数 (弊社 高砂製作所)

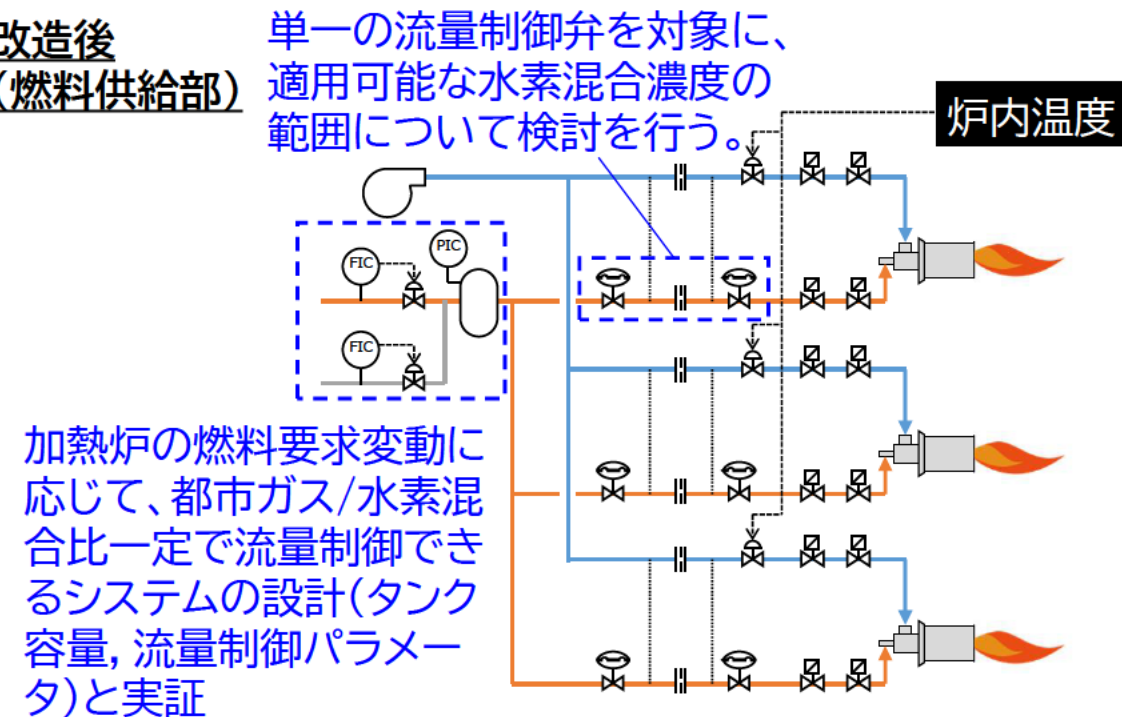
実施項目:C-2. 既設炉を改造した加熱炉での水素利活用実証

- ・既設の直接式加熱炉を改造し、水素濃度20vol%以上での水素混焼と水素専焼による鋼材加熱試験を行う。
- ・実生産相当の加熱条件, 被加熱物にて、鋼材加熱を行い、雰囲気温度, 鋼材上表面温度, 排ガス成分を測定する。
- ・既設都市ガス加熱炉を水素利用できるように改造する。また、燃料供給系統を水素混合できるように改造する。
- ・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。

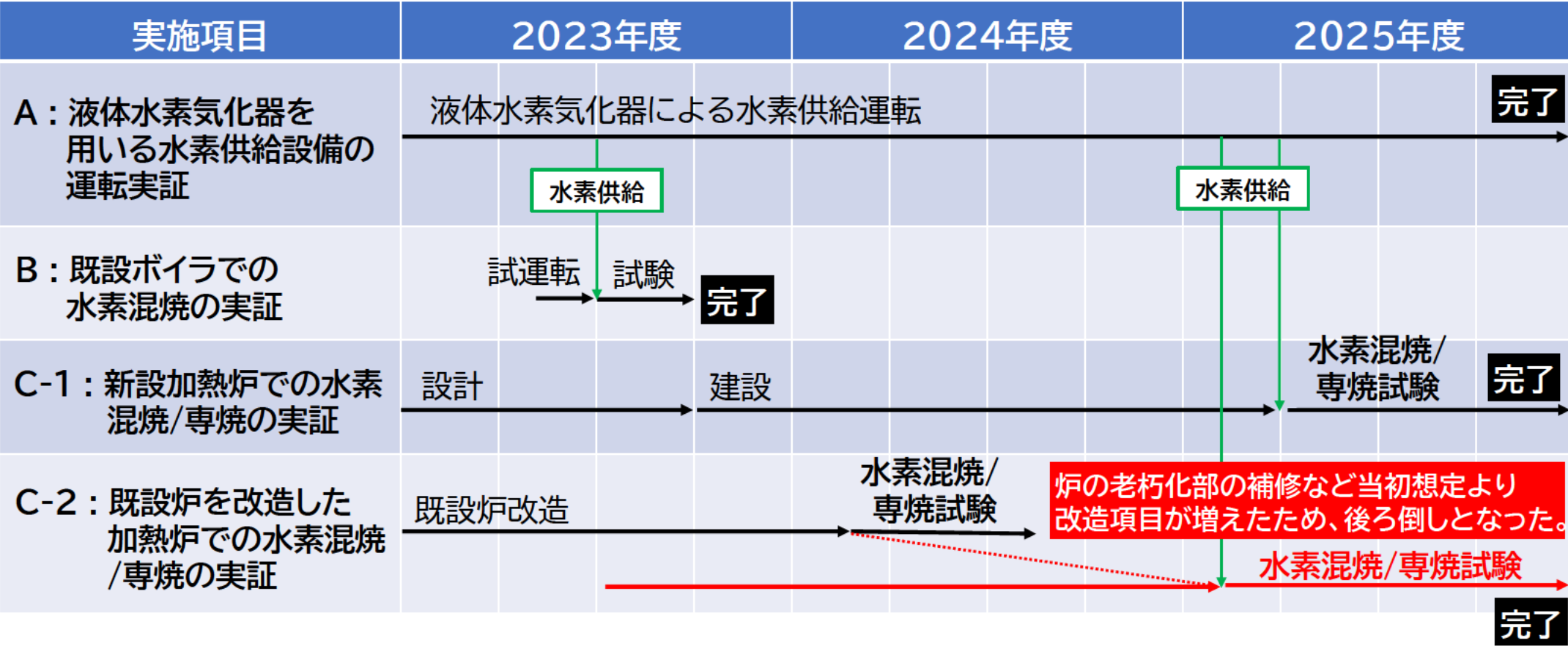
改造前(燃料供給部)



改造後
(燃料供給部)



一部後ろ倒しの項目もあったが、25年度までに全ての実施項目を完了。





あしたにいいこと、
KOBELCOと。

3. 研究開発成果(2025年度)



C-1. 新設加熱炉での水素利活用実証

・約3MWの直接式加熱炉を新たに設置することにより、詳細なデータ取得を可能とした。

【運転制御と安全対策のポイント】

- ✓都市ガス流量および水素流量は、炉内4点の炉温の平均値に基づいてバーナ個別に制御を実施
- ✓都市ガス・水素兼用バーナノズルを採用。同一ノズルで専焼・混焼(熱量比10～90%:残りは都市ガス)の燃焼可能
- ✓逆火等の安全対策として、点火直前及び消火時に燃料配管内の窒素パージを実施

表:新設加熱炉のスペック

加熱方式	直接式加熱
燃焼容量	2791 kW (698 kWバーナ×4本搭載)
設計処理温度	800～1260℃ (設計耐熱温度:1350℃)
炉内寸法	幅3300×奥行4000×高さ2630mm

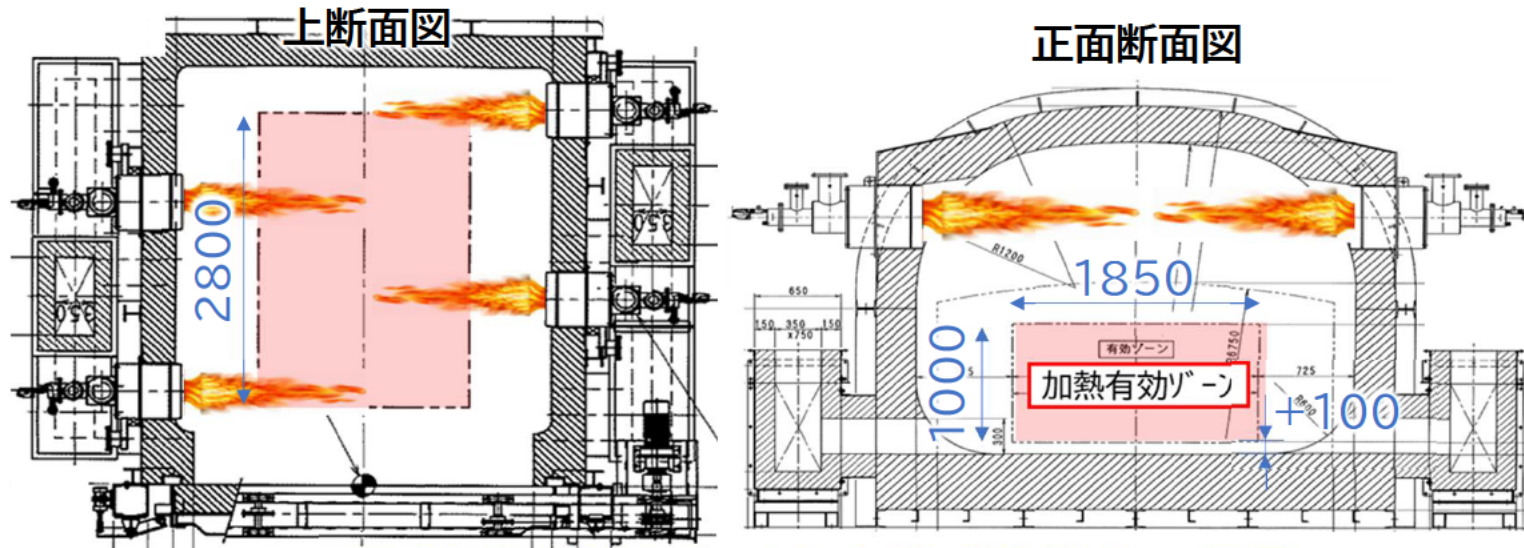


図:新設加熱炉内バーナおよび加熱有効ゾーン配置



図:鋼材加熱の様子

C-1. 新設加熱炉での水素利活用実証

・実生産相当の加熱条件, 被加熱物(材質, サイズ, 数量)にて、鋼材加熱を行い、雰囲気および鋼材上表面の温度を測定。

✓評価結果①:加熱有効ゾーン内の雰囲気温度は水素混焼(熱量比50:50%)・専焼ともに公差範囲を満足※1。

✓評価結果②:同一ヒートパターンで加熱した条件にて、鋼材温度は水素混焼・専焼ともに都市ガス専焼と同等水準。

— 水素専焼 最高温度 — 水素混焼 最高温度 — 都市ガス専焼 最高温度
 --- 水素専焼 最低温度 --- 水素混焼 最低温度 --- 都市ガス専焼 最低温度

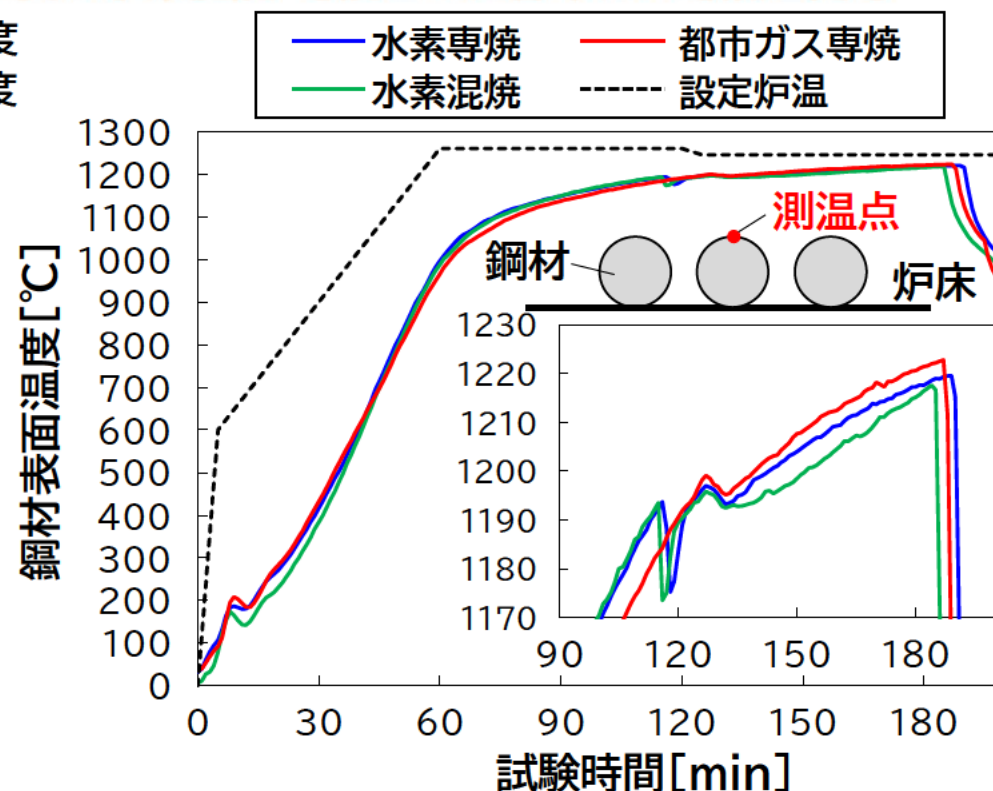
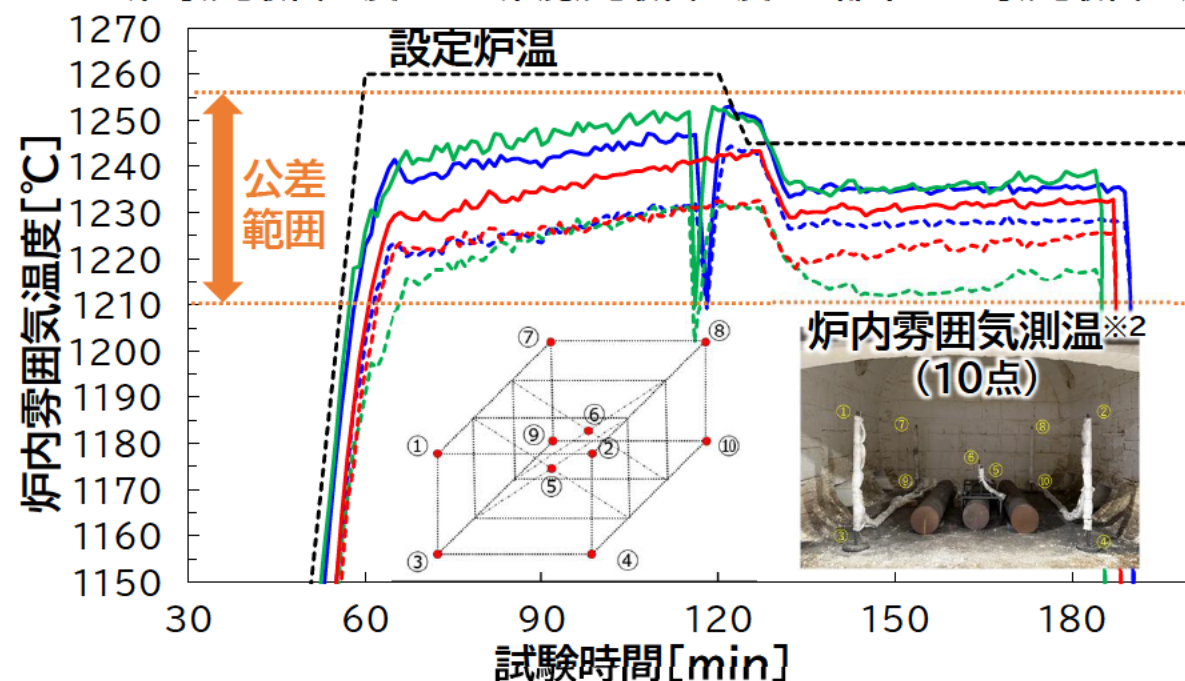


図: 炉内雰囲気温度※3と鋼材温度の一例 (SCM440V※4加熱条件、左: 雰囲気温度、右: 鋼材温度)

※1: 他のヒートパターン(実生産相当)においても、水素専焼・混焼ともに要求公差範囲を満足することを確認 ※2: JIS B6901 金属熱処理設備 有効加熱帯及び有効処理帯試験方法に準拠 ※3: 雰囲気温度のグラフでは、测温10点のうち試験時間180min経過(加熱処理終了)時点での最高/最低温度を描写 ※4: 被加熱物情報(材質: SCM440V, サイズ: 直径約263 mm、長さ約1850, 2195 mm, 重量: 約900 kg/本×3本=約2700 kg)

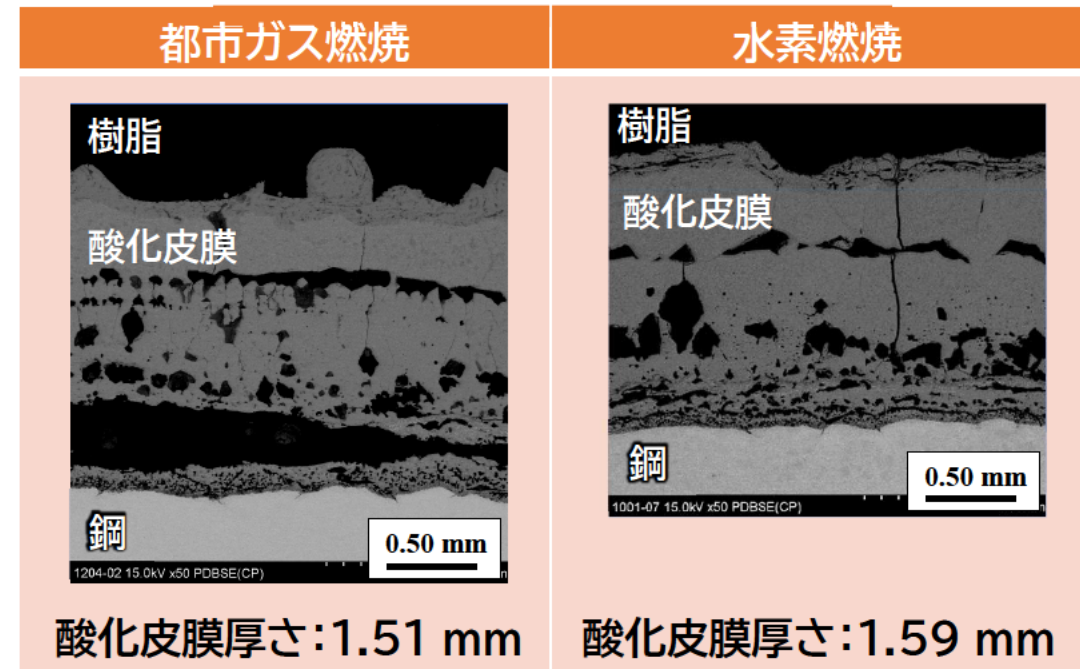
C-1. 新設加熱炉での水素利活用実証

✓加熱した鋼材の表面に生成した酸化皮膜を比較, 評価した。

✓酸化皮膜厚さは、都市ガス燃焼に比べ、水素燃焼ではやや増加する※ことを確認した。

※酸化皮膜の成長速度は炉内の水蒸気分圧に依存し、燃焼排ガス中の水蒸気の体積分率は都市ガス燃焼時に約18 vol%, 水素燃焼時に約31 vol%となる。

酸化皮膜(SCM鋼)の断面観察例



※酸化皮膜の厚さはサンプル内9点測定の平均値とした。

C-2. 既設炉を改造した加熱炉での水素利活用実証

✓水素を利用するために改造した項目は以下の通り。

- 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), 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に変更
- 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

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

改造後の加熱炉の全景



改造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

サイドバーナ×8本
煙道(炉天井)×3か所

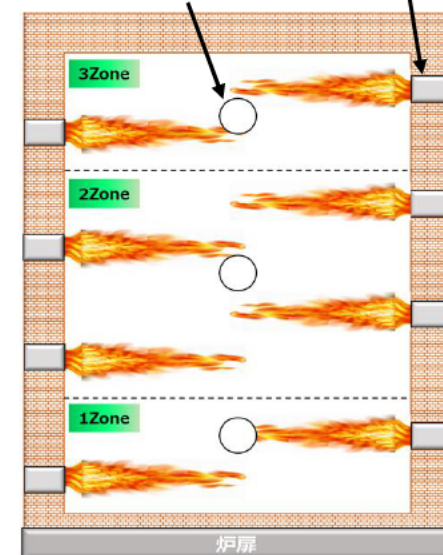
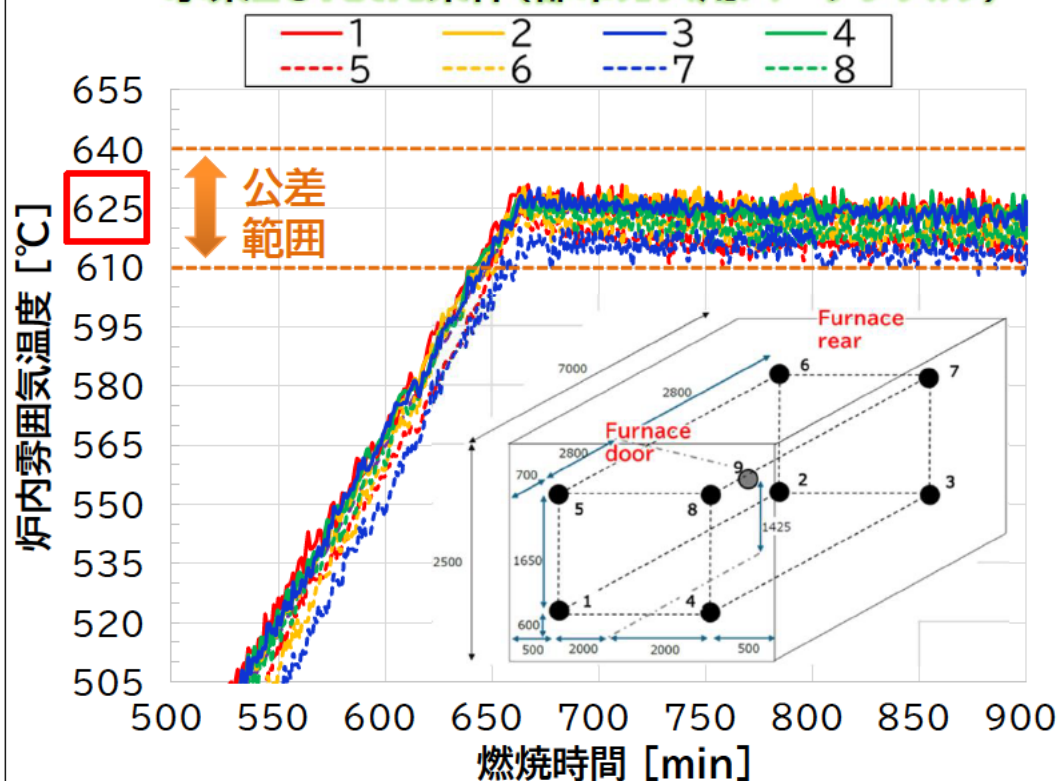


図: 炉内のバーナ配置

C-2. 既設炉を改造した加熱炉での水素利活用実証

- ✓バーナノズルを交換することで、水素0vol%～水素100vol%まで燃焼可能となった。
- ✓水素低混焼(～水素40vol%)であれば、都市ガス用のバーナノズルで問題なく温度公差(均熱保持)を満足できた。
- ✓水素専焼においても、水素用のバーナノズルを使用することにより、問題なく温度公差(均熱保持)を満足できた。

水素20vol%条件(都市ガス用バーナノズル)



水素専焼条件(水素用バーナノズル)

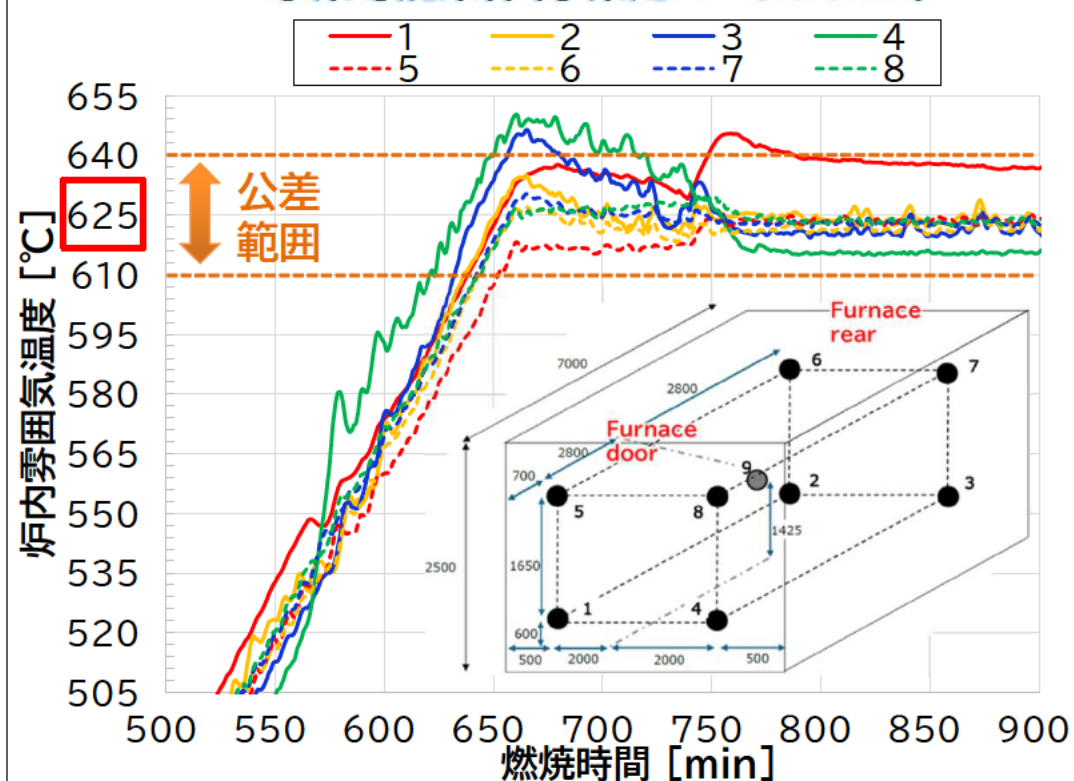


図: 炉内雰囲気温度の測定データ (鋼材加熱試験)

C-2. 既設炉を改造した加熱炉での水素利活用実証

- ✓どの条件においても、昇温初期(250℃~350℃)付近にNOx値がピークを迎える。
- ✓水素専焼では、NOx増加(約100ppm)となったが、自治体への届出値125ppm以下に収まった。

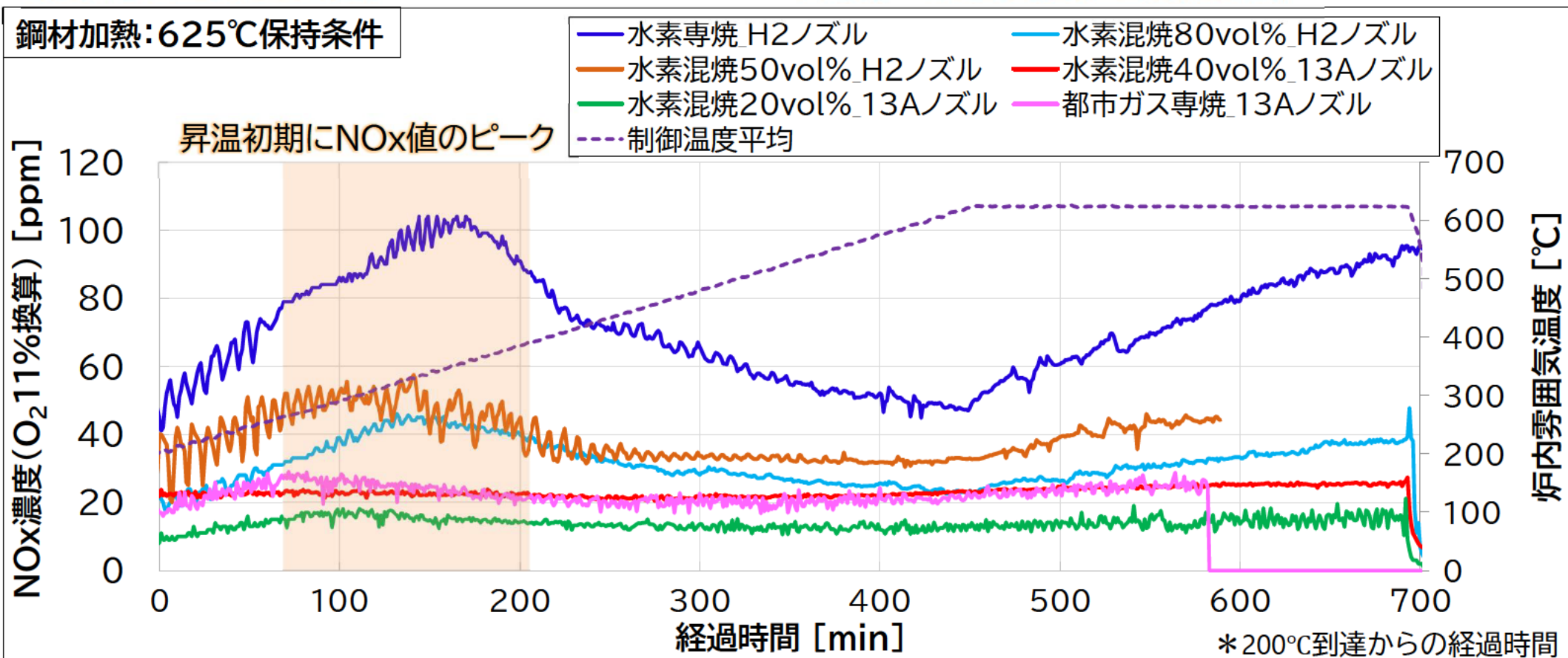


図: NOx濃度の測定データ (鋼材加熱試験)

● 講演 28件

- ・ 化学工学会 第55回秋季大会
- ・ NEDO-GNS Scienceワークショップ
- ・ 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 33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262回(延べ人数 約2,860名)

- ・ 企業 127回(製造業, 金融・保険業, 情報・通信業など)
- ・ 官公庁/公益団体 45回
- ・ 業界団体 39回
- ・ 社内 51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～





あしたにいいこと、
KOBELCOと。

4. 今後の見通しについて



実用化・事業化のイメージ

□ 直接式加熱炉での水素利活用

- ・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

- ・本事業では代表的な鋼種での加熱、材料特性の評価を行ったが、事業化には製造対象の種々の鋼種での実証が必要。
- ・本事業では鋼材加熱を対象としたが、他金属材料(チタン, 銅, アルミなど)に与える材料特性影響の検証も必要。
- ・燃焼式工業炉の用途の1つである金属溶解炉(アルミ, 銅など)への水素燃焼の適用の可能性についての検討も必要。
- ・既設炉の改造により水素燃焼可能であることは実証されている一方で、環境汚染物質(NOx)増加は避けられず、事業化時の影響検証が必要。また、工業炉自体の長期耐久性, 運用時の安全性の確認が必要。

□ 都市ガス燃料の既存ボイラでの水素利活用

- ・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。

実用化・事業化に対する今後の課題

- ・今回の成果は、特定のボイラメーカーの製品での結果であり、既設の都市ガスボイラで水素混焼を行うことは、各ボイラメーカーで見解が分かれる(安全性, 耐久性の考え方の相違)。そのため、少量の水素を混焼させる程度であれば、どこまで既設ボイラを使えるかボイラメーカーとの議論が必要。