

発表No.B2-9

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 松岡 亮

団体名 株式会社神戸製鋼所

発表日 2024年7月19日(金)

連絡先：
株式会社神戸製鋼所
(matsuoka.akira@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

液体水素タンクおよ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) ボイラーでの水素利用実証

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

2000kW級の直接式加熱炉(既設改造炉および新設炉)での水素混焼～専焼で、実生産を想定した昇温速度、炉内温度の保持の実証、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

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

B) ボイラーでの水素利用実証

定格負荷で燃焼調整ありで30vol%まで、燃焼調整なし20vol%まで水素混焼が可能であることを確認

C) 加熱炉での水素利用実証

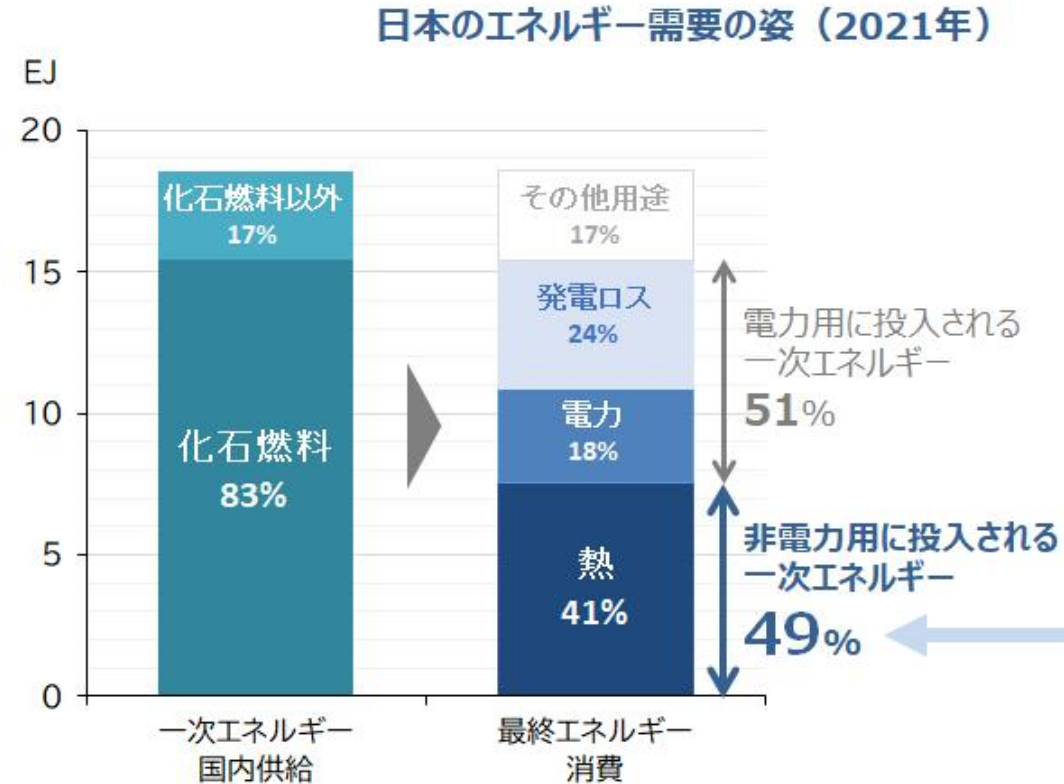
既設炉改造の設計は遅れが生じスケジュールを後ろ倒し。新設炉は予定通り設計製作が進捗中。

1. 事業の位置付け・必要性

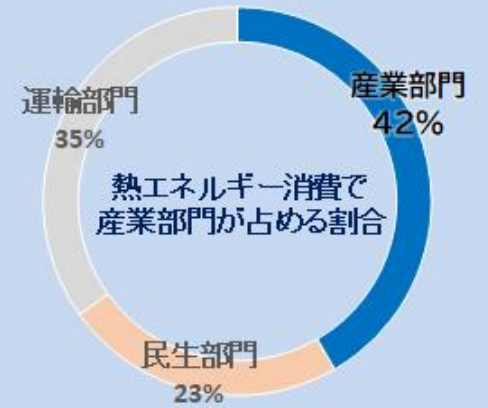
背景 ～熱エネルギーの位置づけ～

- 国内に供給される一次エネルギーの83%が化石燃料由来
- 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て、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

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



工業炉のイメージ（中外炉様より提供）



- 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

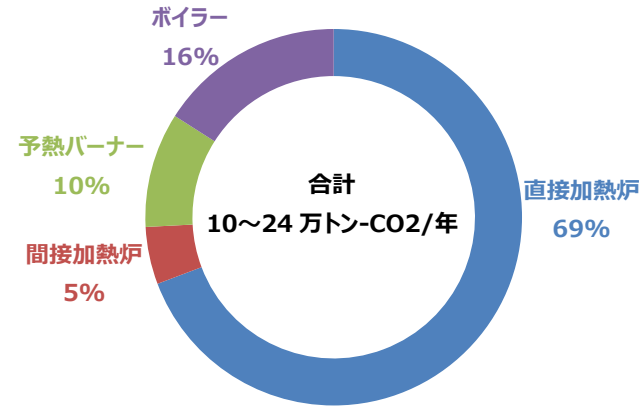
※水素社会構築技術開発事業/地域水素利活用技術開発/

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)

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～

高砂製作所の工業炉のCO2排出量内訳

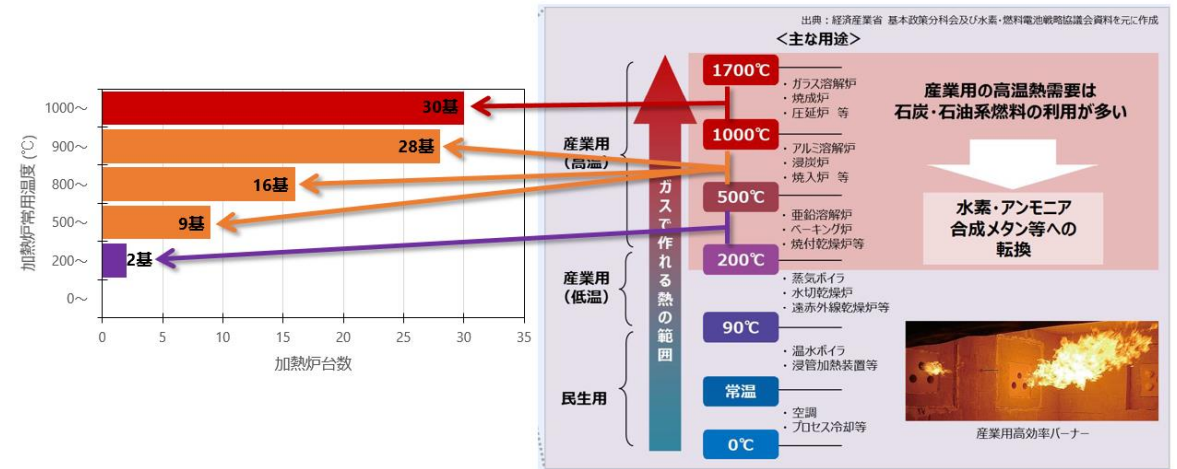


- CO2排出量の内訳は、直接加熱炉が69%と最も多く、次いでボイラーが16%と多い
- 直接加熱炉およびボイラーの脱炭素化が重要

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常用温度

- 常用温度900℃以上の炉が全体の68%
- 常用温度800～900℃の炉は19%、800℃未満の炉は13%



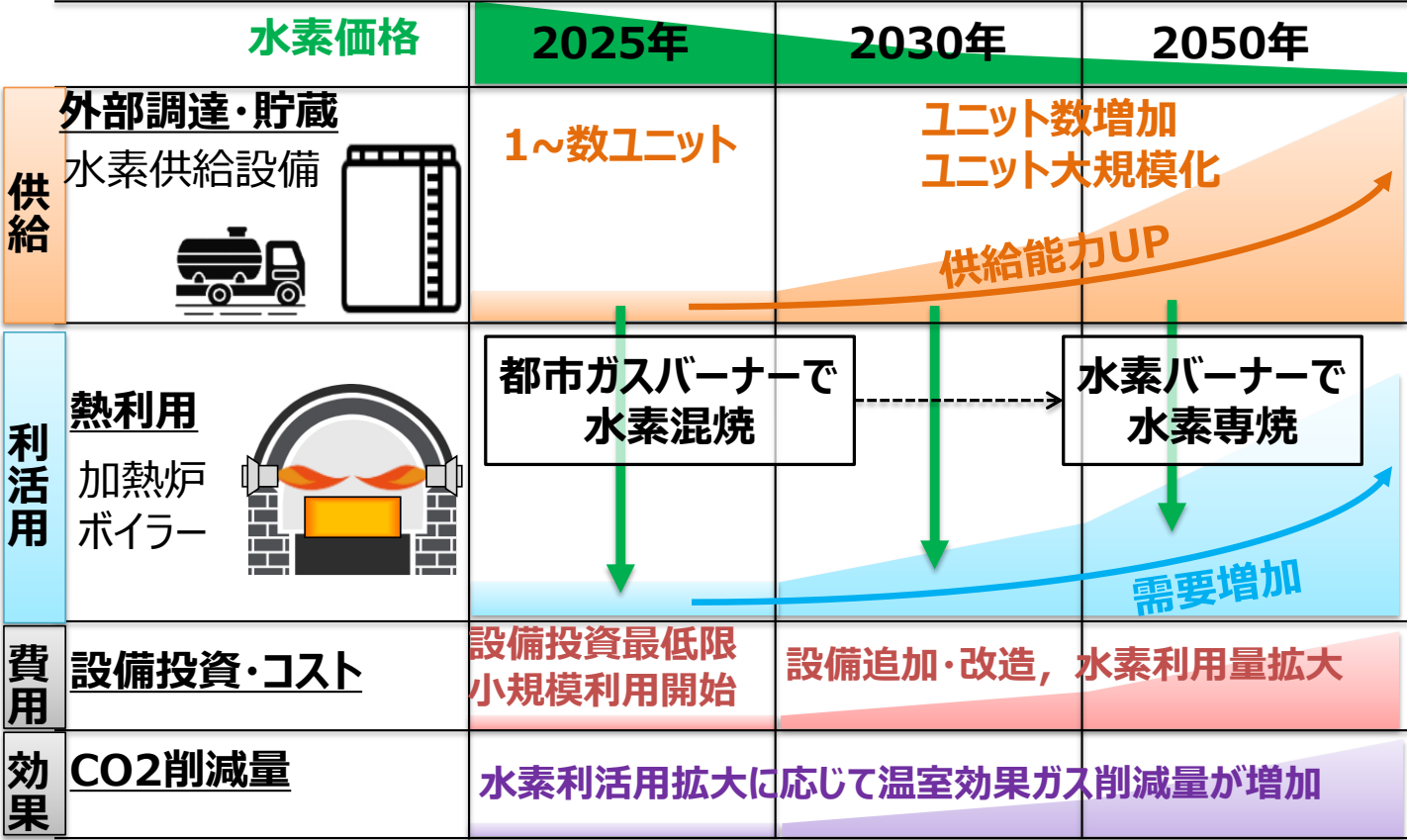
出典：水素・アンモニアの商用サプライチェーン構築について、資源エネルギー庁、R4.4.27

- 直接式加熱炉は高温/高出力であるため電化での対応が難しくCN燃料への転換が必要

CN燃料はアンモニアや合成メタンも選択肢となるが、**バーナー開発が先行**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、**水素による燃転**に取り組むことが現時点においては有望

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の確保には量および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**水素混焼で水素利用を開始し，専焼へ移行して段階的に水素利用量を増やし**，それに応じて水素供給設備を段階的に増やす燃料転換プランが有効

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

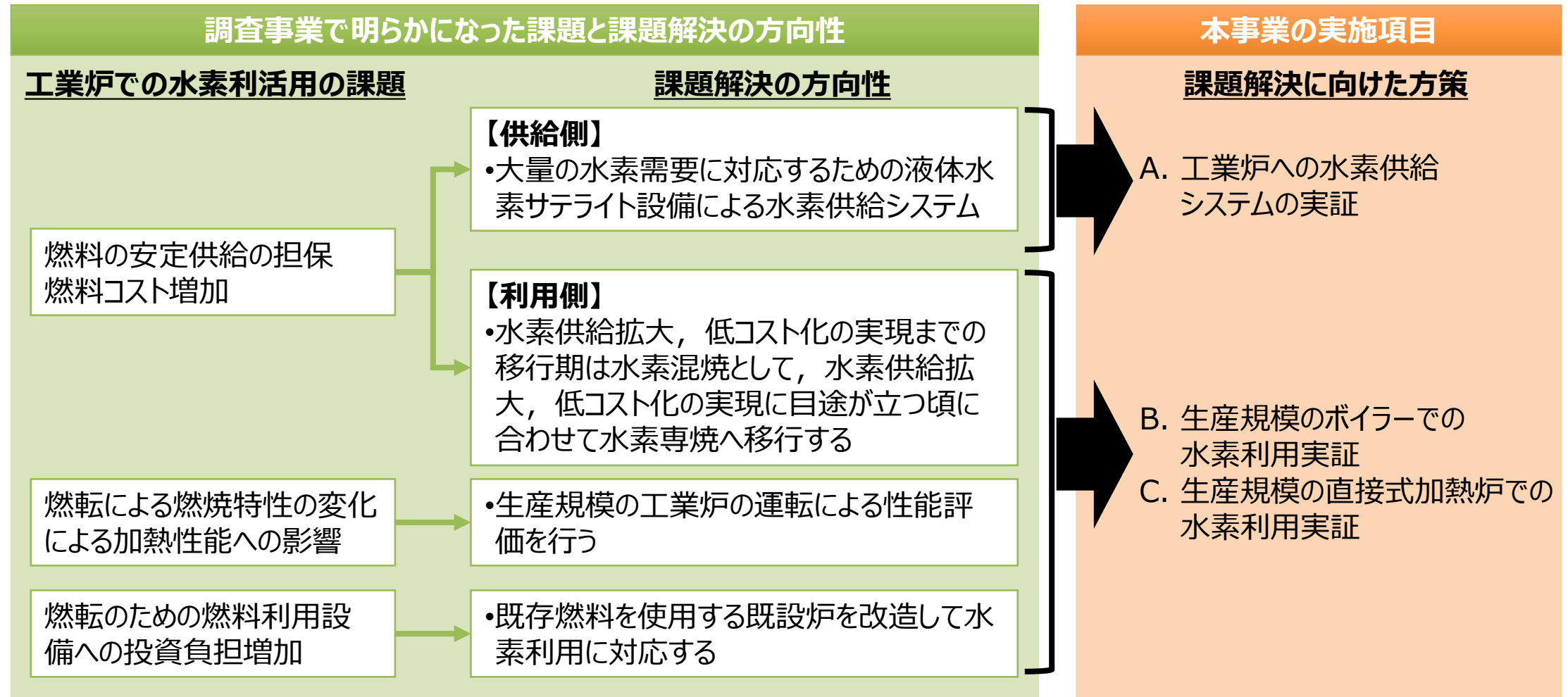
1. 事業の位置付け・必要性

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

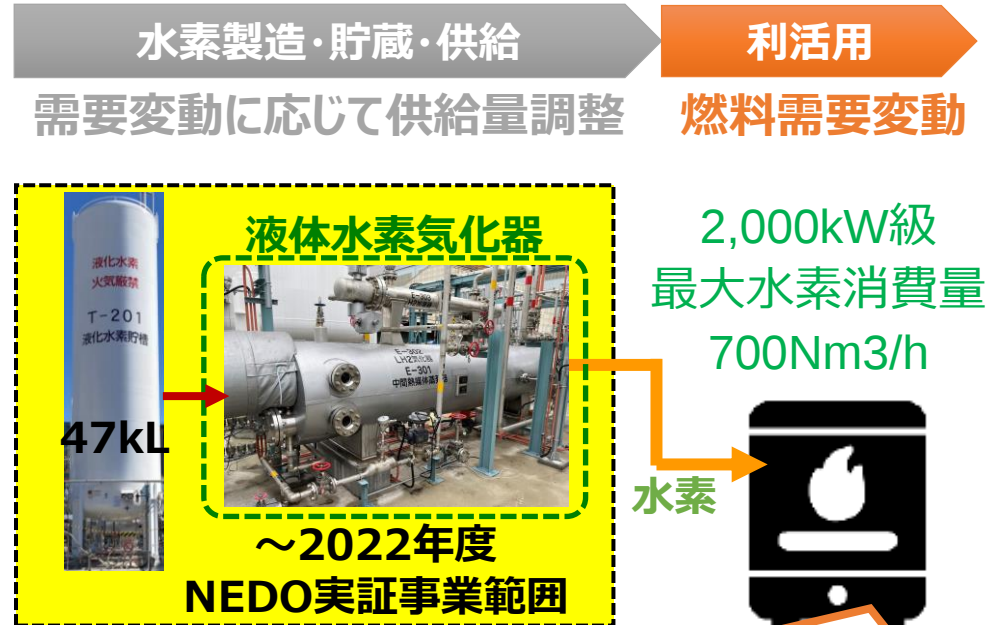
2. 研究開発マネジメントについて -目標と実施内容-

本事業の実施項目

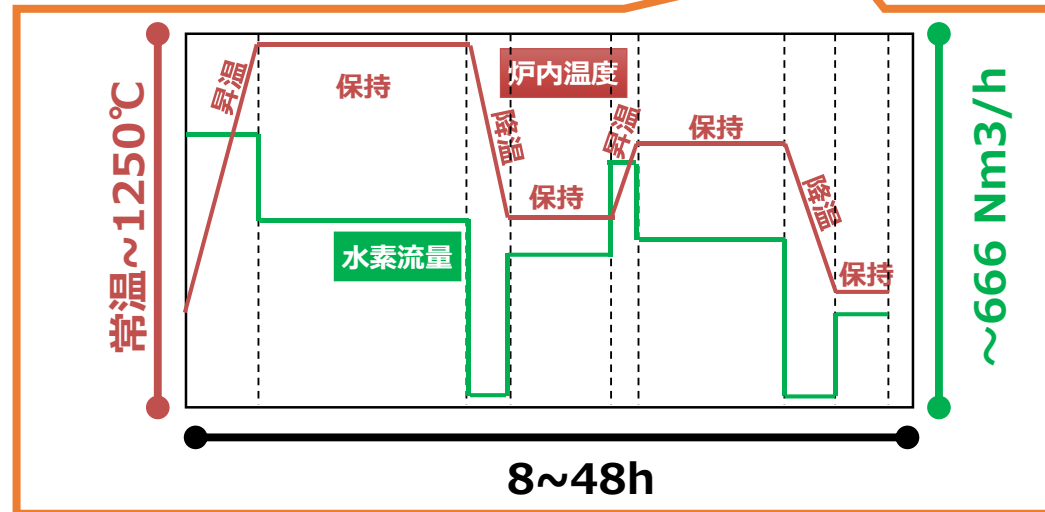


2. 研究開発マネジメントについて -目標と実施内容-

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ー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。



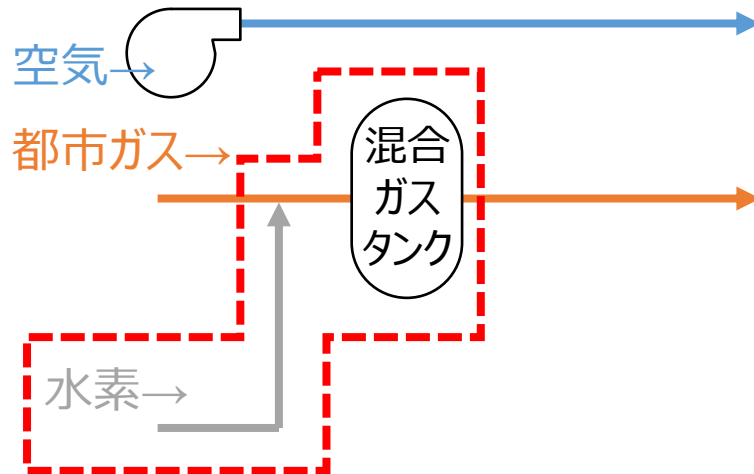
工業炉の運転パターンイメージ

燃料需要は、昇温時は大きいですが、昇温後の温度保持では小さいため、操業の間、燃料流量が変動する

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

高砂製作所の既設ボイラ
(現在は都市ガスで運転)



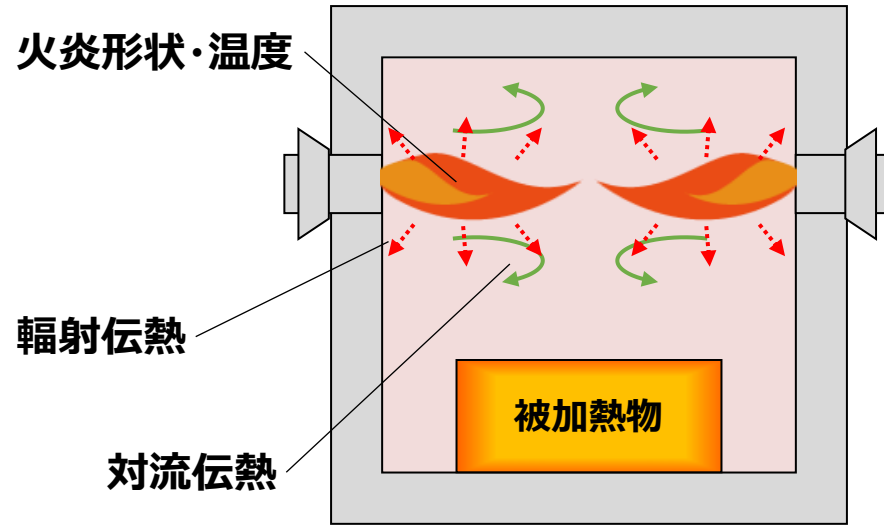
既設ボイラの燃料供給ラインに水素混合ガス供給ラインを設置する



- 都市ガス専焼で換算蒸発量1500kg/h(940kW)の小型貫流ボイラーでの**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(1280kg/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
- 使用するボイラー規模はボイラー適用区分の小型ボイラーに分類され、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

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



従来燃料から水素への燃転により、

- 火炎形状・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、これら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。

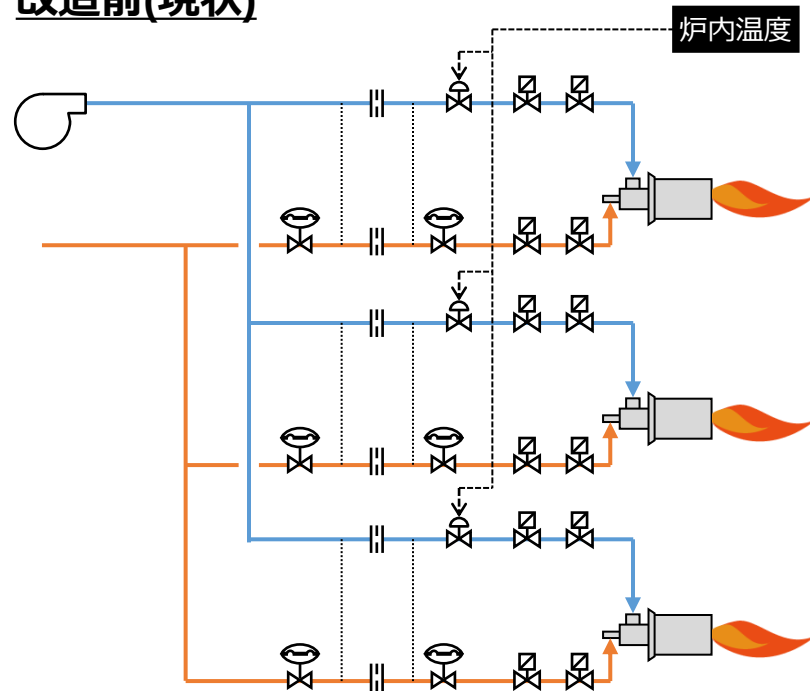
- 実機規模の直接式加熱炉(設備容量2000kW相当)にて、都市ガスへの水素混合濃度を段階的に高めて**水素濃度20vol%以上での水素混焼**と、**水素専焼**による試験材の加熱試験を行う
- 約2.5トンの鋼材を装入し、**常温から1時間昇温**(昇温速度は900°C/h以上を想定)後、炉内温度**900°C以上で1時間保持**を目標とする。その時の鋼材の加熱特性が都市ガス専焼と比較して異なる場合には、その差を生み出す因子を明らかにする
- 使用する加熱炉の規模は産業界で多く使用されている規模とし、保持時間目標は炉内の定常状態が確認できる時間に設定した(定常後は燃料供給が継続されさえすれば更に長い保持時間にも対応可能)

2. 研究開発マネジメントについて -目標と実施内容-

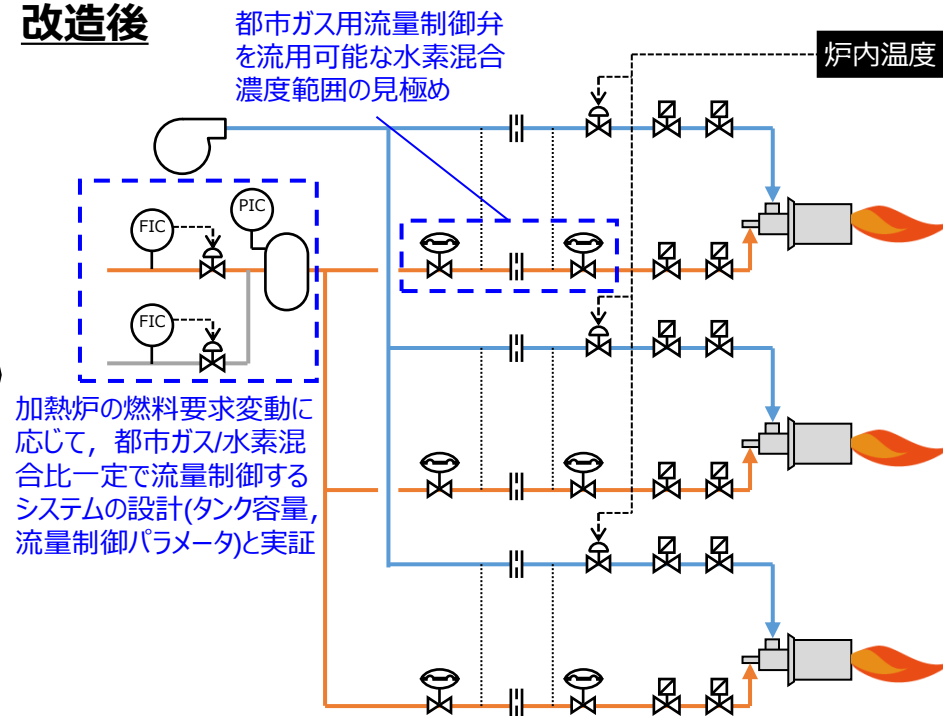
C-2. 既設炉を改造した加熱炉での水素利活用実証

- 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**による試験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)

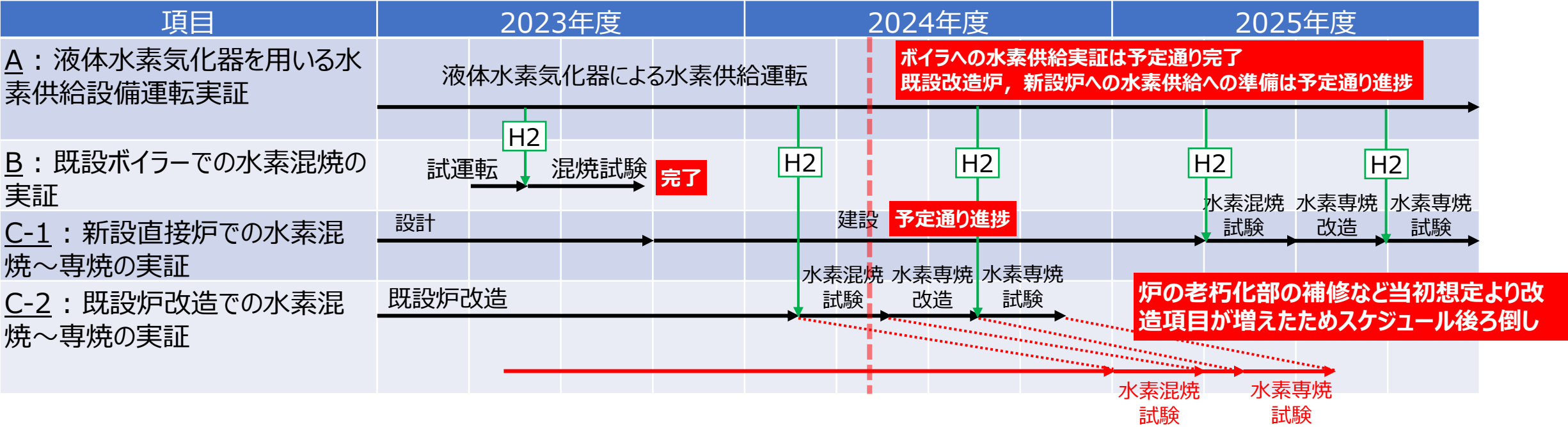


改造後

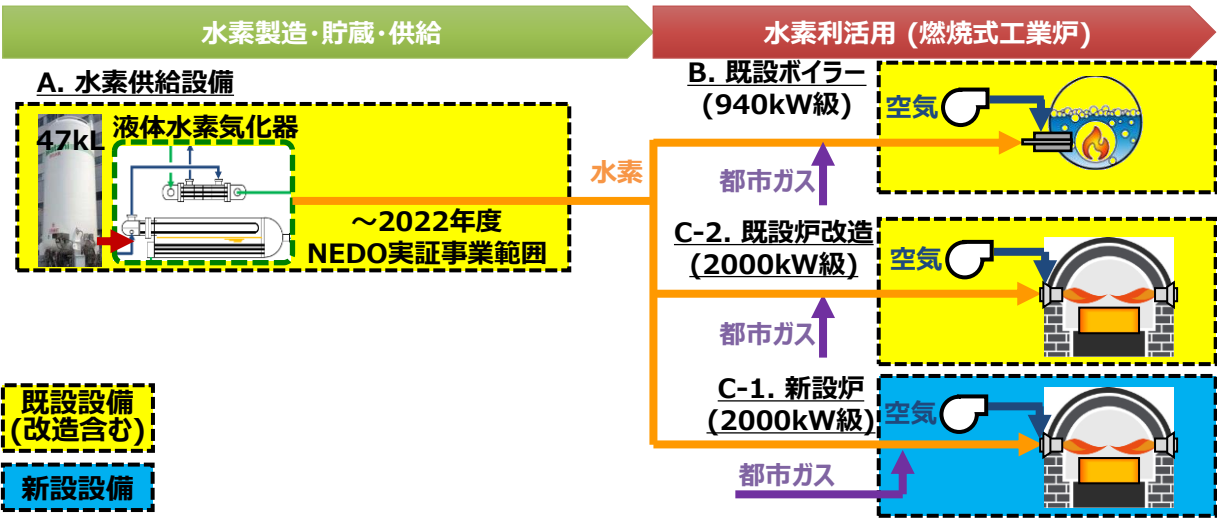


2. 研究開発マネジメントについて -スケジュールおよび実証設備概要-

スケジュール



実証設備概要

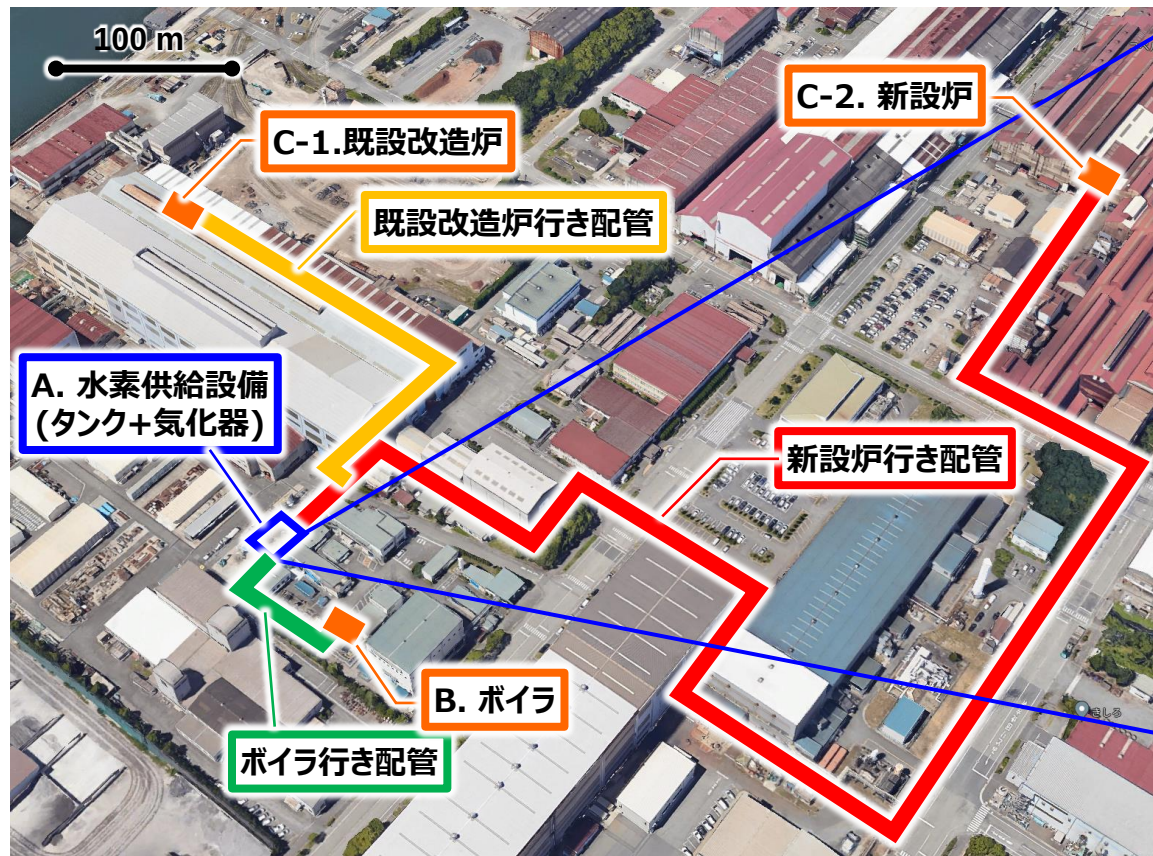


液体水素による水素ガス供給システムを活用し, 水素供給～利活用を合わせて実証試験を行う

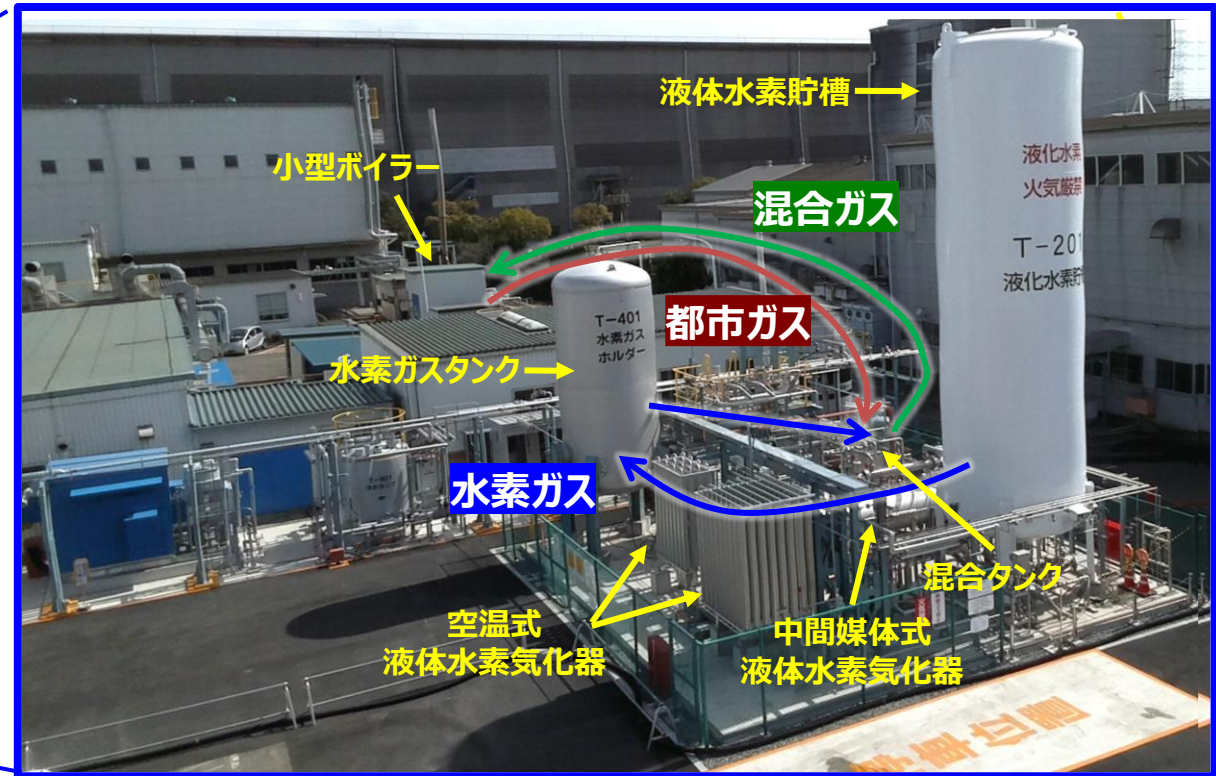
3. 研究開発成果について

水素利活用実証設備の構築

- 各水素供給先への配管ルートを確認
- ボイラ向け配管は設置完了，加熱炉向け配管は設置工事中



- 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

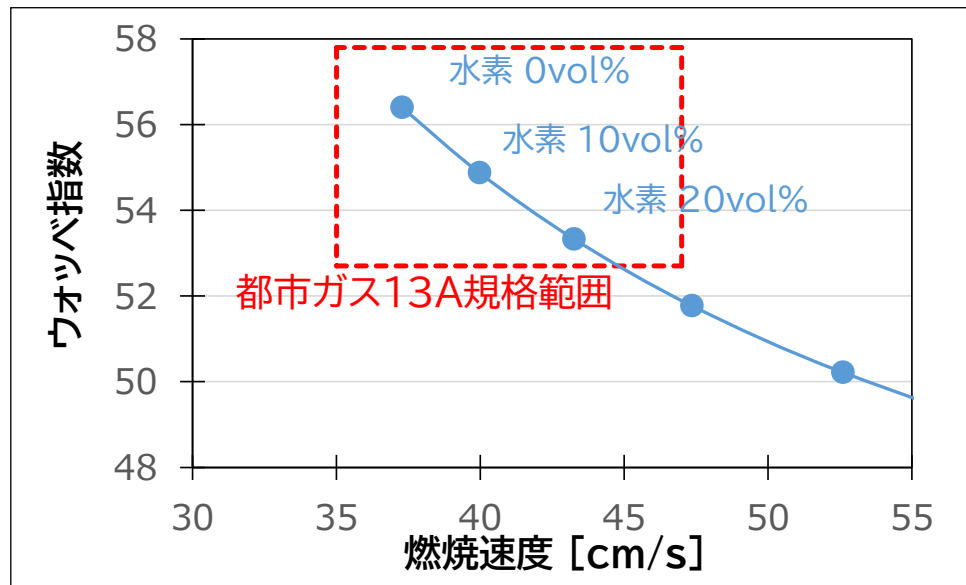


3. 研究開発成果について

ボイラーでの水素利活用実証

目的

都市ガス13A中の水素濃度が20vol%程度までであれば、都市ガス13Aの燃焼特性規格(ウォッベ指数と燃焼速度)の範囲内であることから、既設都市ガスボイラの改造や更新をすることなく燃料の一部を水素に置換して手間とコストを抑えたCO2排出量削減の手段に成り得ることを示すこと



都市ガスへの水素混合による燃焼特性の変化

試験内容

- ① 定格負荷運転, 燃焼調整※あり ※燃料および空気のバルブ開度調整
水素混合濃度ごとに燃焼調整を行った上でボイラ運転
- ② 定格負荷運転, 燃焼調整なし
都市ガス13Aで燃焼調整された状態のまま水素混合してボイラ運転

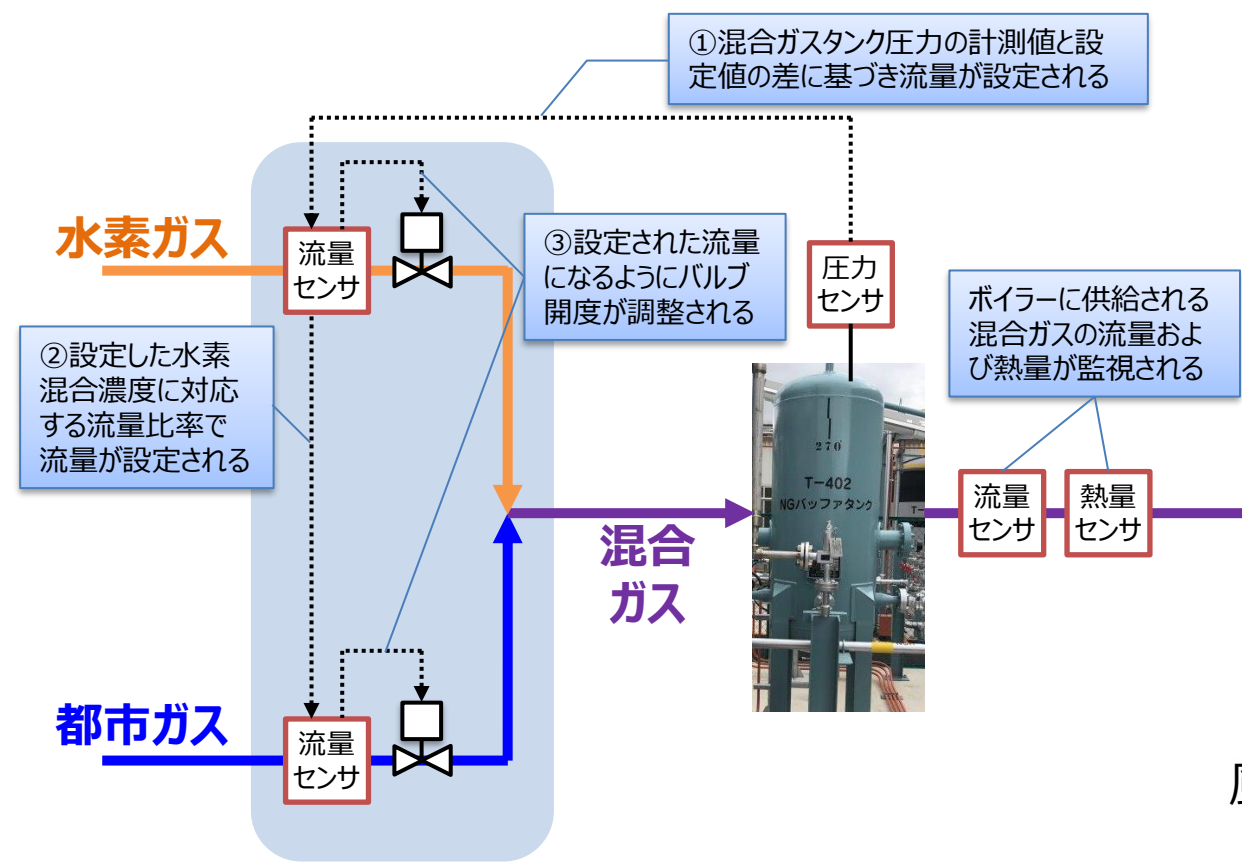


使用したボイラ

- メーカー／種類
サムソン製／小型貫流ボイラ
- 換算蒸発量
1.5 t/h
- その他
都市ガス13Aだけでなく6C(水素40～50vol%含む低発熱量ガス)でも燃焼調整すれば対応可能な機種

3. 研究開発成果について

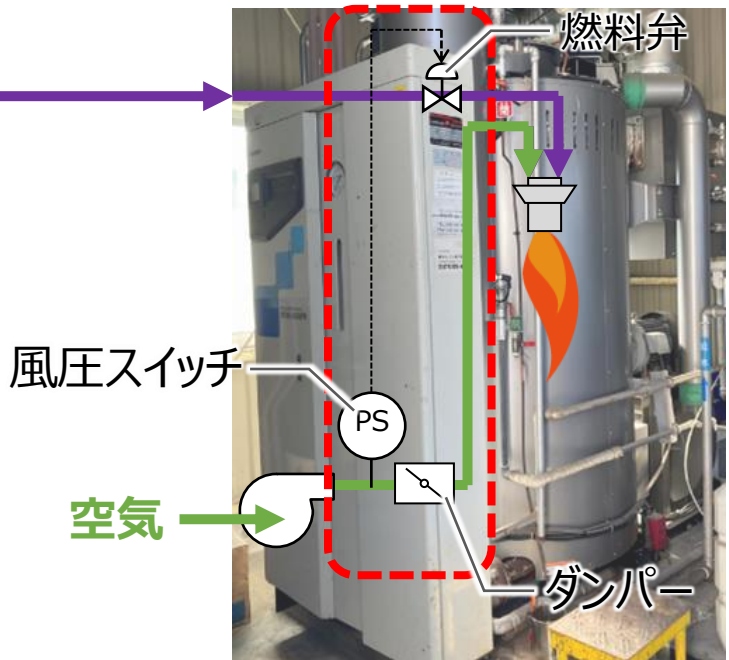
ボイラへの水素混合ガス供給，ボイラ側での水素混合ガスおよび燃烧空気供給の制御方法



ボイラ側の制御の動き

- 燃烧位置(高燃烧/低燃烧/燃烧停止)に応じてダンパー開度が切り替わる
- その空気圧を検知して燃料ガス流量調整弁の開度が切り替わる

燃烧位置	ダンパー開度	風圧スイッチ	燃料弁開度
高燃烧	高	高	高
低燃烧	低	低	低
燃烧停止	閉	ゼロ	閉



💡 燃烧調整とは？
適切な燃烧量と空気比となるように，燃烧位置に応じたダンパー開度，ダンパー開度に対応する燃料ガス弁の開度を事前調整する作業

3. 研究開発成果について

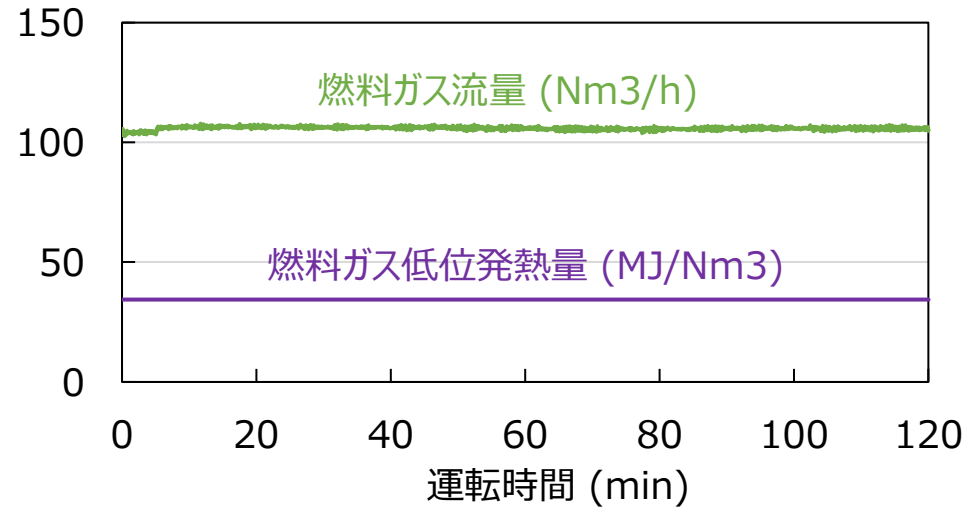
ボイラーでの水素利活用実証 約2hのボイラ連続運転でのデータ経時変化の一例

運転条件

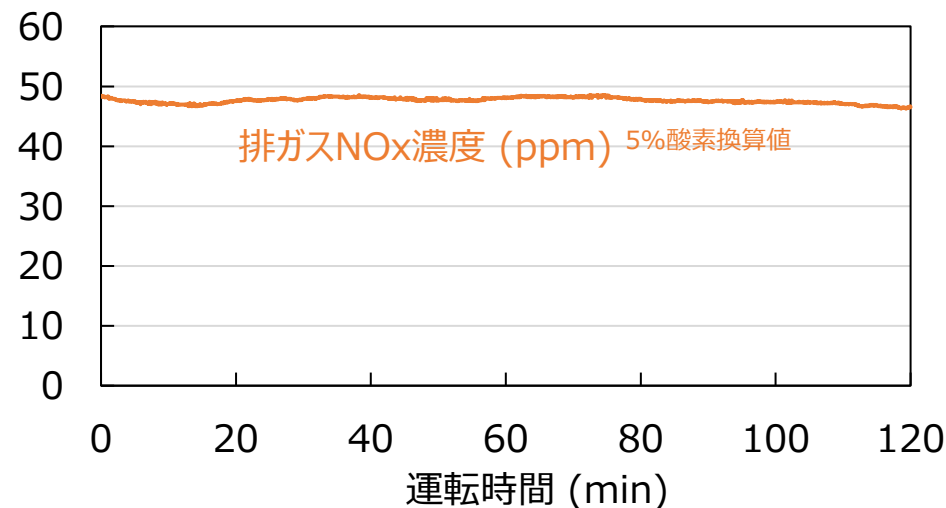
水素混合濃度：20vol%

燃焼調整：あり

投入熱量：961 kW



- 安定した熱量，流量で都市ガス/水素混合燃料を供給できることを確認



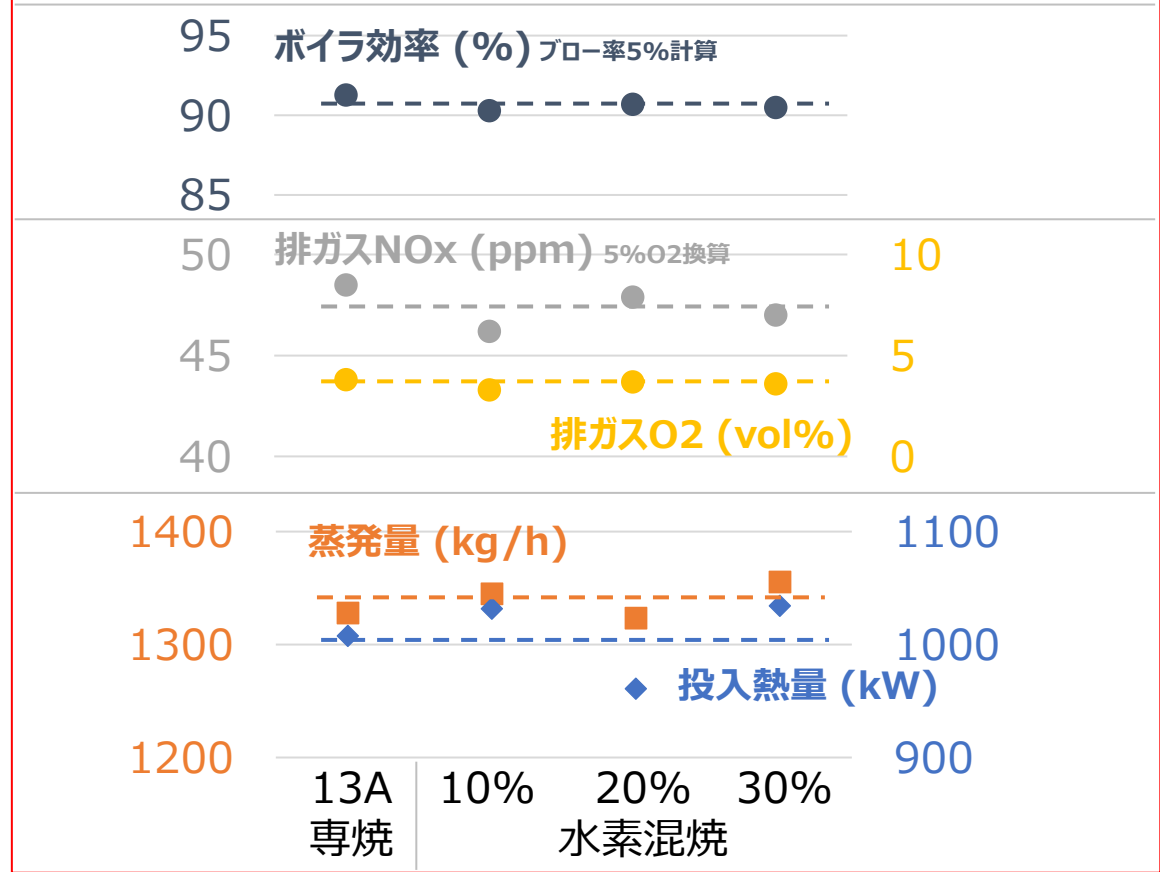
- 排ガス中のNOx濃度(5%酸素換算)も当該ボイラの環境協定値60ppm未満で一定で推移しており，環境性能も問題ないことを確認

3. 研究開発成果について

ボイラーでの水素利活用実証 燃焼調整の有無によらず最大30vol%の水素混焼が可能であることを確認

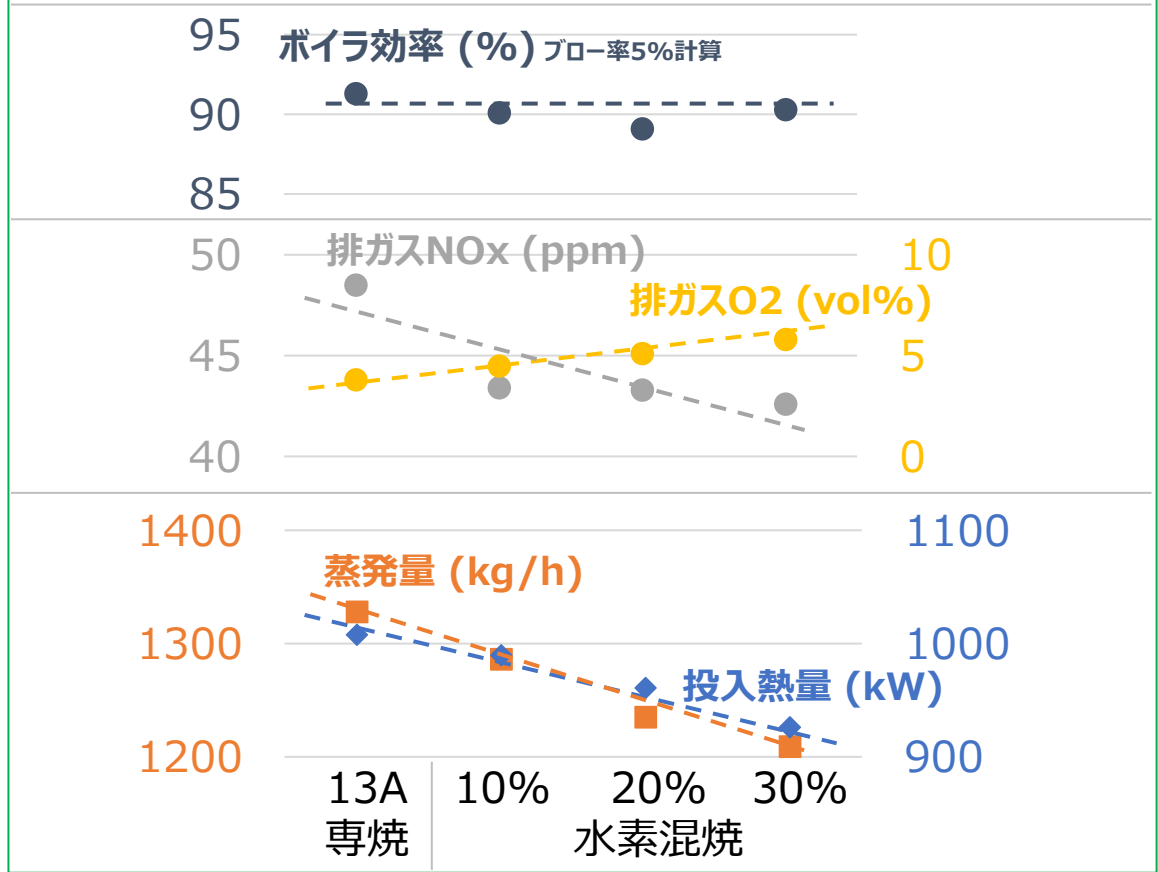
燃焼調整あり

- 水素混焼率ごとに燃焼調整を実施した
- ✓投入熱量および排ガスO2はほぼ一定
 - ✓その結果、蒸発量、排ガスNOxもほぼ一定
 - ✓ボイラ効率ほぼ一定



燃焼調整なし

- 13A専焼から燃焼調整なしで順次水素混焼率を上げた
- ✓投入熱量低下により蒸発量低下，排ガスO2が上昇
 - ✓投入熱量および排ガスO2の影響により排ガスNOxは低下
 - ✓ボイラ効率はほぼ一定



3. 研究開発成果について

ボイラーでの水素利活用実証

水素混焼率に応じた燃焼調整の有無における
水素混焼運転の評価 (都市ガス専焼との比較)

燃焼調整作業	排ガスNOx	蒸発量	ボイラ効率	運用の柔軟性
あり	○	○	○	△
なし	○	△	○	○

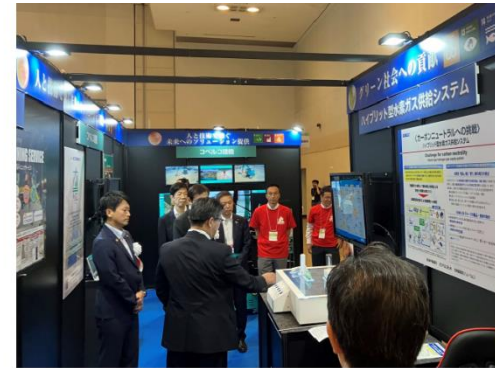
- 水素混焼率に応じて燃焼調整の有無によらず，排ガスNOxおよびボイラ効率は都市ガス専焼と大差なし
- 燃焼調整を行わない場合は，都市ガス専焼と比較して蒸発量が低下するが，蒸発量の低下を許容できる用途であれば，状況に応じて水素混焼率を柔軟に変化させることができる※

※例えば，オンサイト再エネ水素製造量の変動に合わせて水素混焼率を変化させる， など

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

- 講演 9件
 - ・ 神戸・関西圏水素利活用協議会での当社取組紹介
 - ・ AZEC Energy Transition Workshop 2023
 - ・ 2023年度 第3回 JH2A 会員セミナー
 - ・ FC EXPO, 他
- 展示会 11件
 - ・ Hydrogen Technology EXPO Europe
 - ・ リーフふくしま2023
 - ・ ジャパンモビリティショー
 - ・ FC EXPO, 他
- 見学受入 延べ110回 (延べ人数 約1,000名)
 - ・ 企業 57回 (製造業, 金融・保険業, 情報・通信業など)
 - ・ 官公庁/公益団体 19回
 - ・ 業界団体 13回
 - ・ 社内 21回



(概要)

* 斎藤兵庫県知事、久元神戸市長他にご見学頂いた

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が十分に構築されるまでの過渡期において、設備の大きな改造や入替をすることなく手間とコストを抑えて水素利用を開始してCO2排出量を削減できる手段
 - ・ 貫流ボイラは国内で使用されているボイラの大部分を占め、使用台数は約80,000台と推計されており、本研究開発で得られた成果の適用先ポテンシャルは大きく、今後、自社工場や他社への横展開を図る

- 直接式加熱炉での水素混焼～専焼
 - ・ 本研究開発で得られる水素供給システムを含む工業炉での水素利活用モデルに関する汎用的な知見については对外発表等により工業炉メーカーおよび工業炉ユーザーに共有することで、燃焼式工業炉の燃料転換の面的な拡大へ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と対応方針

- ・ 今回使用したボイラでの成果が、他のメーカーや他のモデルへの適用性
- ・ 今後、ボイラメーカーとも情報共有しながら、今回の成果の一般化と横展開を図る

実用化・事業化に対する今後の課題と対応方針

- ・ 工業炉自体の長期安定性や安全性の検証、製造工程の一部で水素燃料による直接加熱を施した部材のユーザー側での承認の要否や承認プロセスの確認