

NEDO水素・燃料電池成果報告会2024

発表No.B2-3

水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発／
水素バーナを採用したアルミ溶解炉の開発とオンサイト水素インフラ技術開発

平野 哲郎

株式会社ジェイテクト

委託先：東邦ガス株式会社

株式会社メイチュー

2024年7月19日

連絡先：

株式会社ジェイテクト

カーボンニュートラル戦略室 平野哲郎

E-mail tetsurou_hirano@jtekt.co.jp

事業概要

1. 期間

開始 : (西暦) 2022年12月 終了(予定) : (西暦) 2026年3月

2. 最終目標

基礎技術開発後に太陽光・水素を活用するCNモデル工場として実証・評価を行う

1)水素バーナ式アルミ溶解炉の開発

効率: 100万kcal/ton以下 品質: 溶湯品質を満足 設備: 溶解室の耐久性(現行同等)

2)水素インフラ技術の開発

つくる: 生成能力(50Nm³/h以上) ためる: 生成圧と供給圧の最適化 はこぶ: 実証設備への安定供給

3.成果・進捗概要: 水素実証評価に向けた基礎技術開発を推進中

1)水素バーナ式アルミ溶解炉の開発

予備試験溶解炉の評価完了 (2022.9~2023.9)

従来方式(都市ガス)バーナと水素バーナの燃焼比較を実施して溶解能力・溶湯品質を評価

→水素バーナ仕様の目途付けを完了、都市ガスと水素燃焼時の火炎特性を把握

評価用溶解保持炉の制作 (2023.11~2024.7)

水素燃焼時の火炎特性を考慮した溶解室に仕様変更にし、評価用溶解保持炉を製作

2)水素インフラ技術の開発

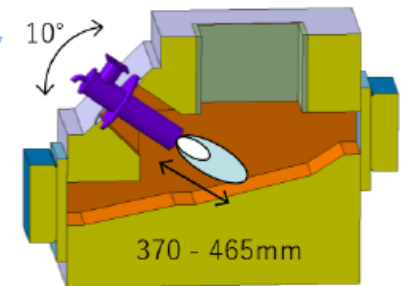
プロトインフラ設備の製作・評価を推進中 (2022.12~2024.9)

水素インフラの基礎評価を実施 (水素生成技術としてアルミ水素技術を評価)

再エネを活用して水素をつくる、ためる、はこぶ事が可能なプロトインフラの仕様を検討、設備を製作、評価中、

工場実証にむけた水素インフラ構想を検討

水素バーナ

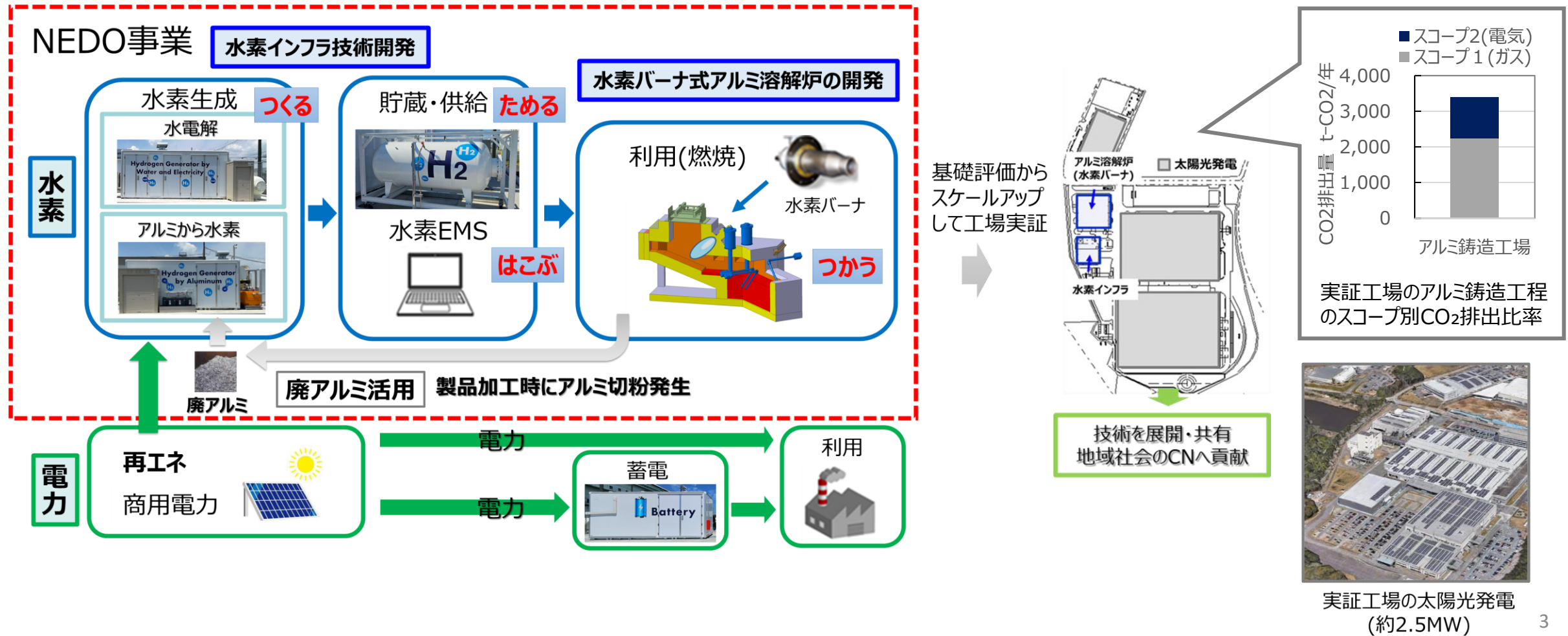


予備試験用溶解炉

1. 事業の位置付け・必要性

事業目的

製造業のCNを実現にあたり、スコープ1のガス燃焼によるCO₂排出量を削減することは大きな課題である。本事業では水素バーナを採用したアルミ溶解炉と再エネを活用するオンサイト水素インフラ技術の開発に取り組む。



2. 研究開発マネジメントについて

研究開発の目標と技術課題

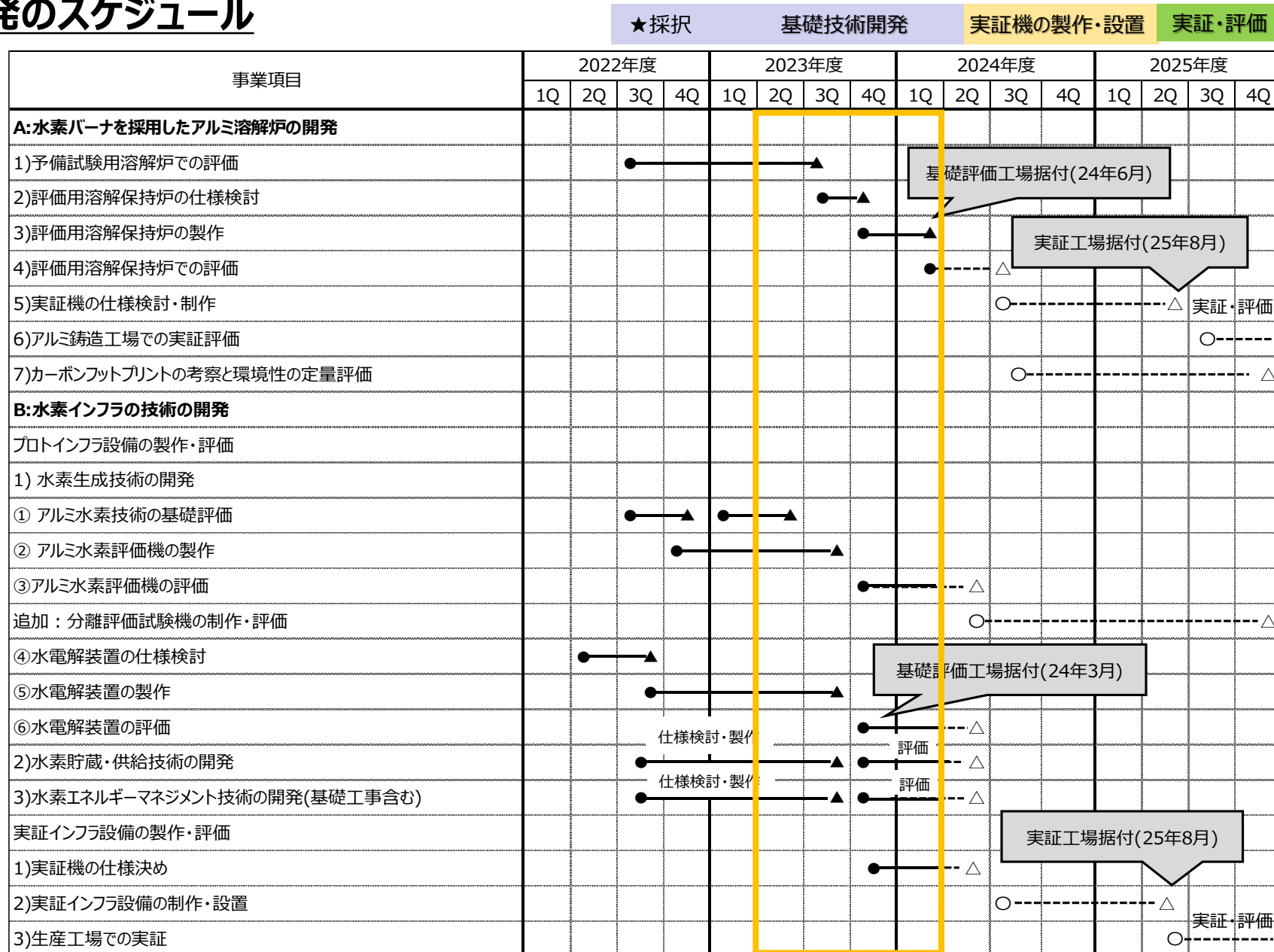
つかう

つくる、ためる、はこぶ

アイテム	A)水素バーナを採用したアルミ溶解炉の開発	B)水素インフラ技術の開発
目標値	<ul style="list-style-type: none"> ①溶解能力 100万kcal/ton以下 ※都市ガス使用時の同等レベルの溶解能力 ②溶湯品質 濾過率、介在物量、酸化被膜長が 都市ガス利用時の溶湯と同等の品質レベル ③設備 溶解室の耐久性が現行レベル 	<ul style="list-style-type: none"> ①水素生成技術 <ul style="list-style-type: none"> ・水素生成能力：50Nm³/h以上（溶解炉1台分） ・水電解とアルミ水素生成技術を評価 アルミ水素生成技術の実証可否を検討 ②水素貯蔵、供給技術 <ul style="list-style-type: none"> ・低圧仕様(1.0MPa未満)の水素インフラを構築 ・生成圧と供給圧の最適化 ③水素エネルギーマネジメント <ul style="list-style-type: none"> ・実証設備への安定供給 ・水素の需要変動を想定した貯蔵・供給システム構築
技術課題	<ul style="list-style-type: none"> ①溶解能力 燃烧速度の速い水素(都市ガスの約7倍)による 効率的なアルミインゴットの溶解技術 ②溶湯品質 <ul style="list-style-type: none"> ・水素吸収量（溶湯へ水素が溶け込みが多いと凝固時にピンホール欠陥が発生） ・酸化スケール量（溶解時の水蒸気との反応で酸化物となる懸念あり） ③設備 水素バーナに火炎特性に適した設備仕様決め 	<ul style="list-style-type: none"> ①水素生成技術 <ul style="list-style-type: none"> ・水電解：効率的かつ安定的な水素生成 ・アルミ水素：アルミ切粉からの安定的な水素生成 水電解に対してのコスト、品質は課題 ②水素貯蔵、供給技術 <ul style="list-style-type: none"> ・1.0MPa未満での貯蔵に効率的な生成圧の制御 ・安定的な供給のための貯蔵量 ③水素エネルギーマネジメント <ul style="list-style-type: none"> ・安定的な供給のための水素生成、貯蔵サイクル ・休日のオンサイトの余剰再エネの活用
経済性課題 環境性課題	電気炉又はガス・電気のハイブリッドとの経済性・環境性を比較し、水素利用の優位性を評価	アルミ水素製造の有効性を含めた全体プロセスの妥当性を検証

2. 研究開発マネジメントについて

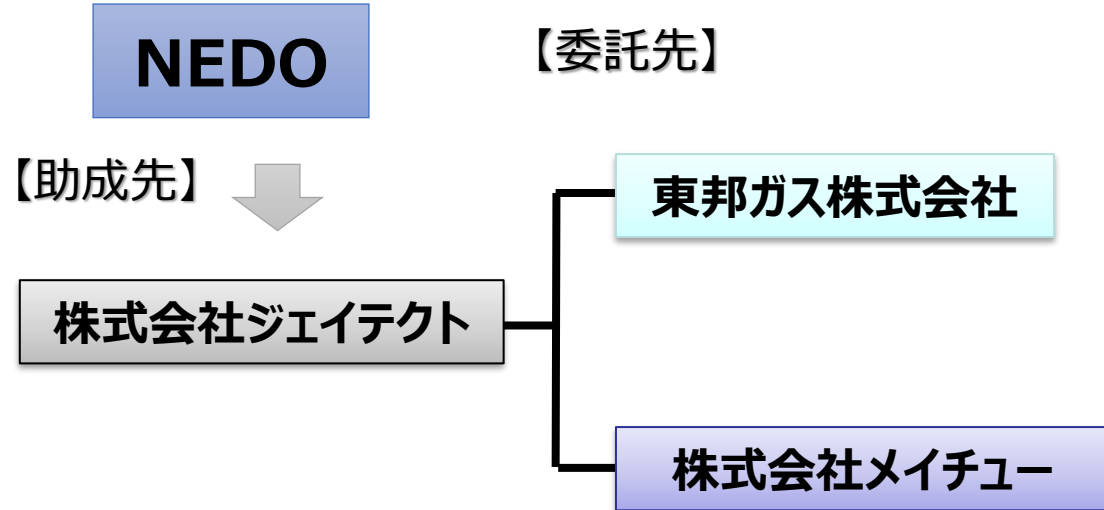
研究開発のスケジュール



2. 研究開発マネジメントについて

研究開発の実施体制

委託先2社と連携して開発を推進



東邦ガス株式会社

- ・水素バーナ選定
- ・試験工数（データ取り、評価）

株式会社メイチュー

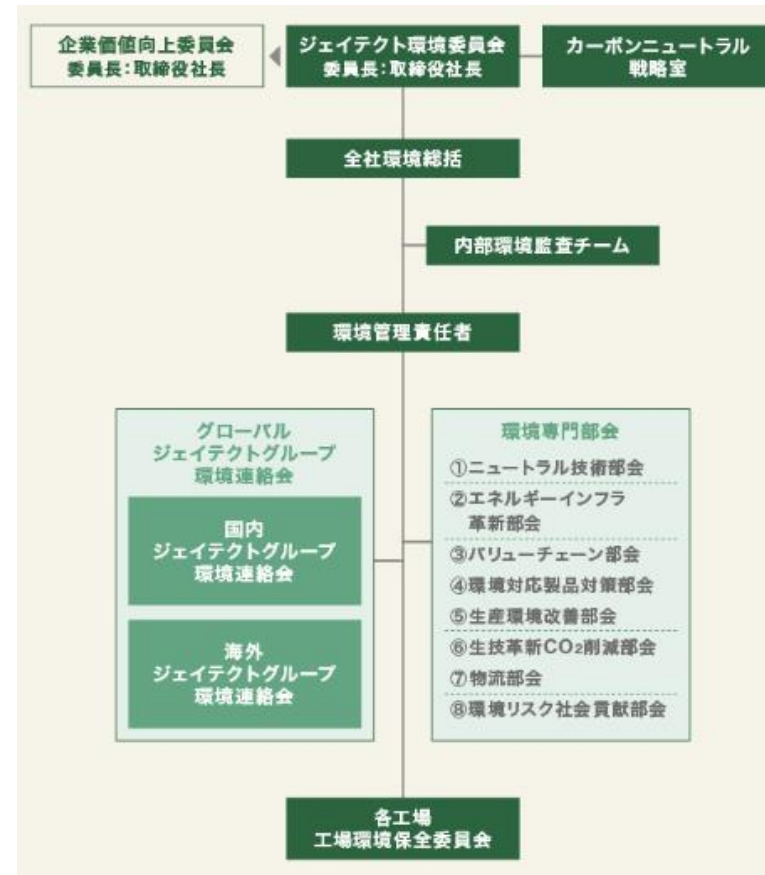
- ・溶解炉仕様決め
- ・試験工数（データ取り、評価）

社内ガバナンス

本プロジェクトを社長が議長のジェイテクト環境委員会で進捗報告してマネジメントを強化

水素バーナを採用したアルミ溶解炉の開発の進捗は生産技術本部長が担当

水素インフラ技術の開発は生産本部長が担当



3. 研究開発成果について (A:水素バーナ式アルミ溶解炉の開発)

研究開発の目標と技術課題

つかう

つくる、ためる、はこぶ

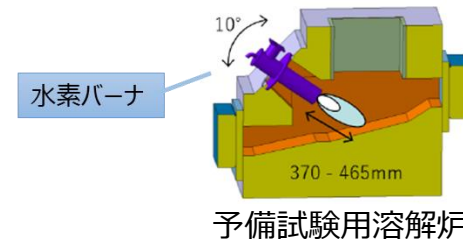
アイテム	A)水素バーナを採用したアルミ溶解炉の開発	B)水素インフラ技術の開発
目標値	<ul style="list-style-type: none"> ①溶解能力 100万kcal/ton以下 ※都市ガス使用時の同等レベルの溶解能力 ②溶湯品質 濾過率、介在物量、酸化被膜長が 都市ガス利用時の溶湯と同等の品質レベル ③設備 溶解室の耐久性が現行レベル 	<ul style="list-style-type: none"> ①水素生成技術 ・水素生成能力：50Nm³/h以上（溶解炉1台分） ・水電解とアルミ水素生成技術を評価 アルミ水素生成技術の実証可否を検討 ②水素貯蔵、供給技術 ・低圧仕様(1.0MPa未満)の水素インフラを構築 ・生成圧と供給圧の最適化 ③水素エネルギーマネジメント ・実証設備への安定供給 ・水素の需要変動を想定した貯蔵・供給システム構築
技術課題	<ul style="list-style-type: none"> ①溶解能力 燃焼速度の速い水素(都市ガスの約7倍)による 効率的なアルミインゴットの溶解技術 ②溶湯品質 ・水素吸収量（溶湯へ水素が溶け込みが多いと凝固 時にピンホール欠陥が発生） ・酸化スケール量（溶解時の水蒸気との反応で酸化 物となる懸念あり） ③設備 水素バーナでの炉内温度分布の安定化 	<ul style="list-style-type: none"> ①水素生成技術 ・水電解：効率的かつ安定的な水素生成 ・アルミ水素：アルミ切粉からの安定的な水素生成 水電解に対してのコスト、品質は課題 ②水素貯蔵、供給技術 ・1.0MPa未満での貯蔵に効率的な生成圧の制御 ・安定的な供給のための貯蔵量 ③水素エネルギーマネジメント ・安定的な供給のための水素生成、貯蔵サイクル ・休日のオンサイトの余剰再エネの活用
経済性課題 環境性課題	<p>電気炉又はガス・電気のハイブリッドとの経済性・環境性を 比較し、水素利用の優位性を評価</p>	<p>アルミ水素製造の有効性を含めた全体プロセスの妥当性を検証</p>

3. 研究開発成果について (A:水素バーナ式アルミ溶解炉の開発)

研究開発の目標及び進捗状況、目標達成に向けたアプローチ

従来方式(都市ガス)と水素バーナの燃焼比較

連続的に合計300kgのインゴットを溶解して比較(バーナ出力は10万kcal/hで共通)
都市ガスと水素バーナにおいて溶解能力と溶湯品質を比較評価した。



① 溶解能力の確認

・評価時の火炎の様子

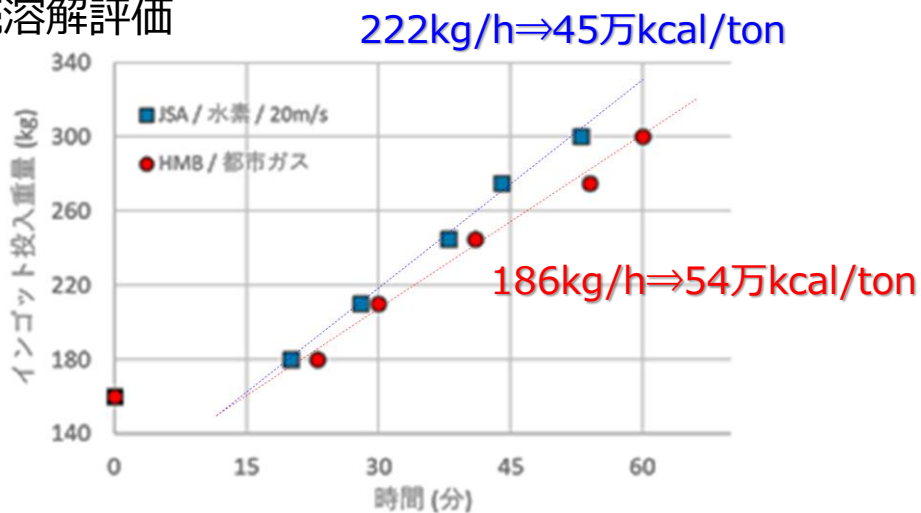


都市ガス火炎(輝炎)



水素火炎(無輝炎)

・連続溶解評価

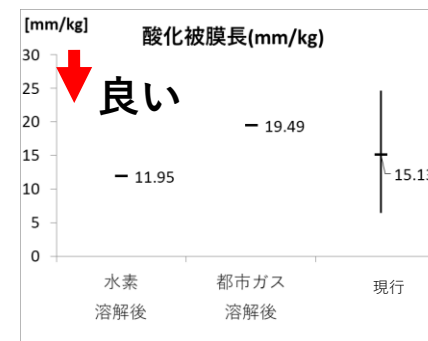
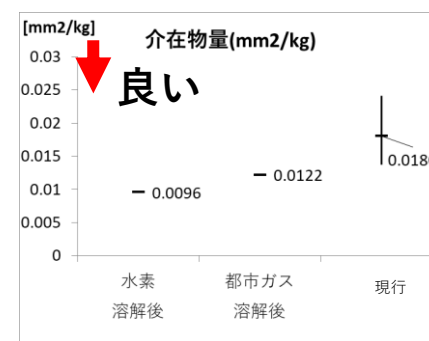
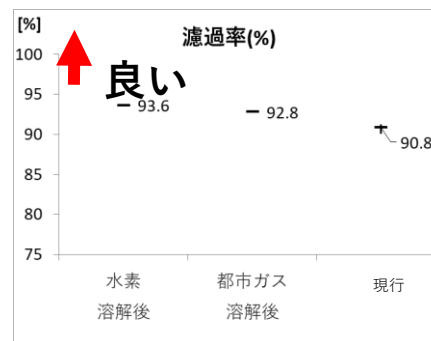


溶解能力同等レベル

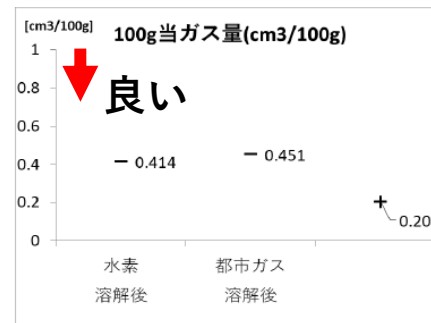
② 溶湯品質の確認

※微細な多孔性フィルターディスクを通して所定量の液体アルミニウムを濾過しフィルター上の介在物や酸化被膜長を評価をする方法

溶湯清浄度調査(PoDFA評価※)



ガス量測定



※ガス量測定

内部に介在するガス含有量とその放出全ガス成分より
鑄巣の原因を推測する分析方法

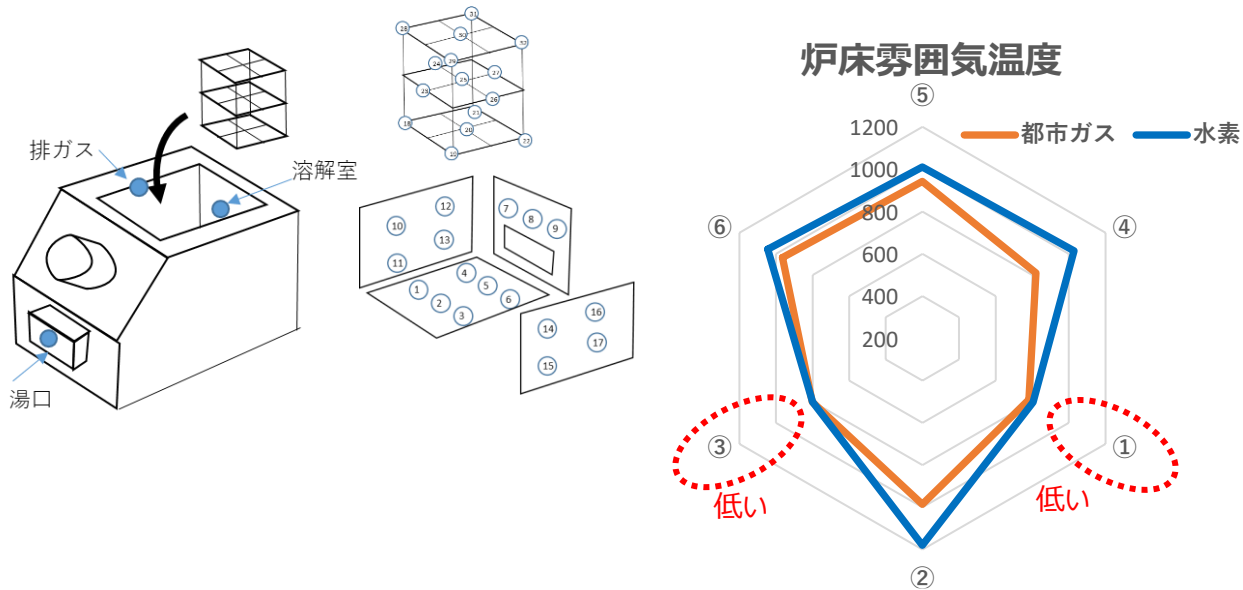
溶湯品質は同等レベル

予備試験の結果により水素バーナ設置位置・角度等の設備仕様の目途付け完了、評価用溶解保持炉へ反映

3. 研究開発成果について (A:水素バーナ式アルミ溶解炉の開発)

評価用溶解保持炉の仕様検討：水素火炎の特性の把握

温度分布測定： 雰囲気、炉体蓄熱どちらも水素が高い



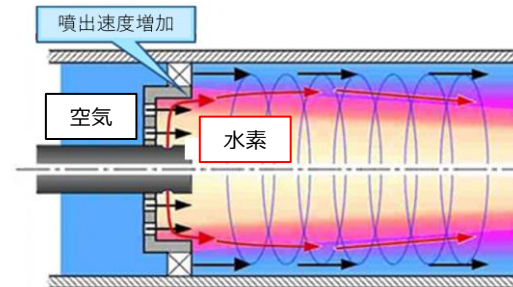
水素は都市ガスに比べどの地点でも温度は高い

①③の部位について、

- 都市ガスでは火炎が広がり、インゴットに直接当り溶ける
- 水素では実際にはインゴットの中央のみが溶け、①③へは火炎が広がって来ないためインゴットが溶けにくいと推定

➡ 溶解効率を上げるためインゴットに火炎を当てることが重要

火炎状態比較：水素火炎は都市ガスのように広がらない



燃烧速度、燃烧温度が高いため、火炎周囲を空気で覆ってバーナを保護している。

水素バーナー模式図

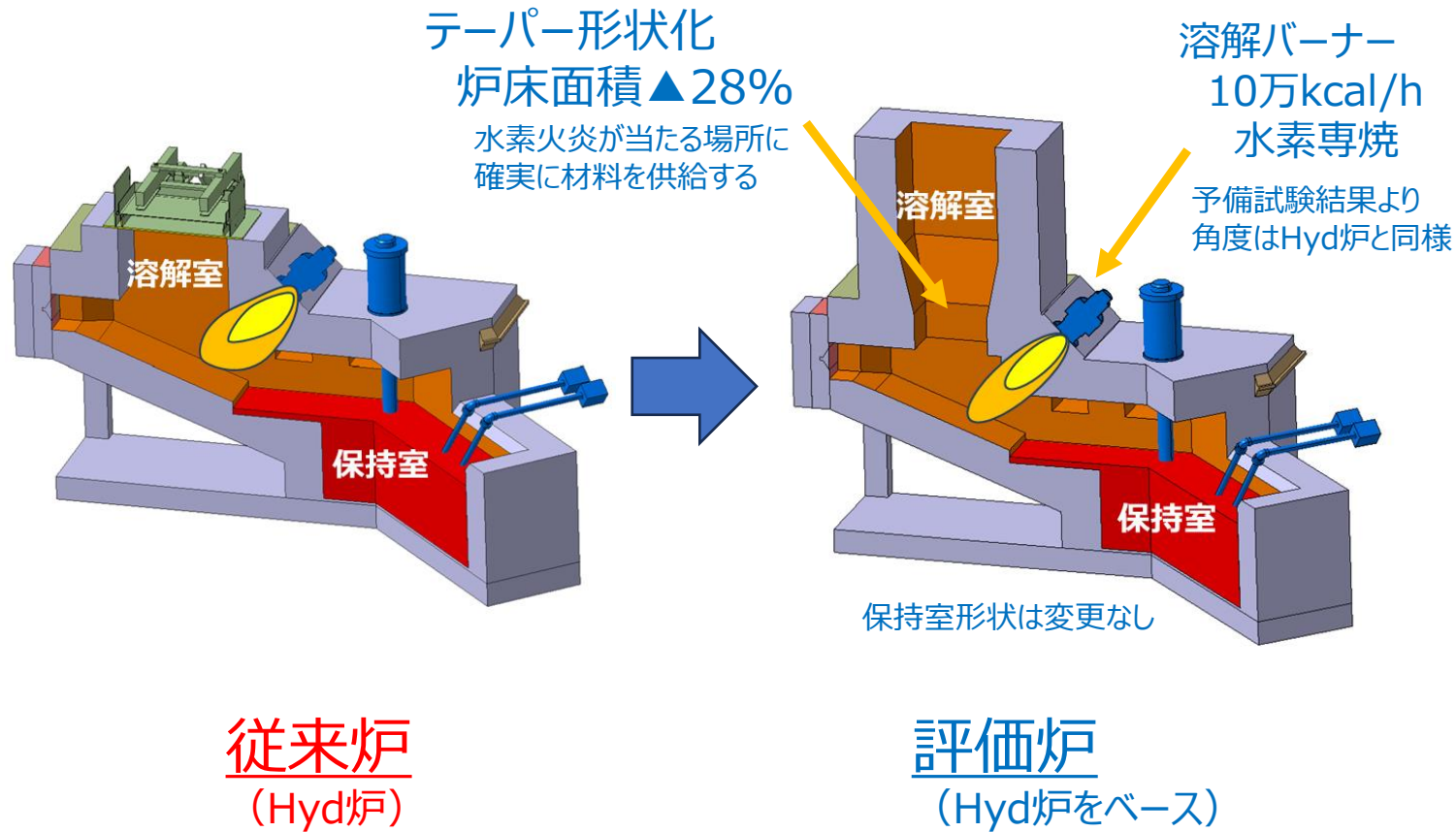
3. 研究開発成果について (A:水素バーナ式アルミ溶解炉の開発)

評価用溶解保持炉の仕様検討：溶解室を水素仕様へ

水素火炎の特性に合わせた設備仕様を検討、設備製作

評価用溶解保持炉での評価内容

水素バーナでの溶解ノウハウを確立



【項目】

- ・バーナー燃焼筒形状
- ・材料の形状
- ・材料投入のタイミング
- ・バーナーON/OFF時間など

【確認・評価】

- ・連続溶解時の溶解能力確認
- ・連続溶解時の溶湯品質評価
- ・バーナー、炉体の損傷具合確認
- ・材料投入最適化見極め

3. 研究開発成果について（A:水素バーナ式アルミ溶解炉の開発）

経済性検討

設備費用の比較

※HYBは保持室は電気

	従来式バーナ炉	都市ガスHYB炉	水素バーナHYB炉	電気炉
設備価格比	1	1.2	1.3	1.5

⇒ 省エネ仕様の都市ガスHYB炉から水素バーナに切り替わる部分がコストアップする、オール電化より安価

溶解炉のエネルギーコストの比較 溶解と保持の合計のコスト

・電力、都市ガス単価は2023.3の弊社の平均単価で共通
・グリーン水素の単価は自社太陽光の電力単価で算出

	従来式バーナ炉	都市ガスHYB炉	水素バーナHYB炉	電気炉
溶解コスト比	1	0.6	1	0.8

⇒ エネルギーコストは水素が高いが、電気炉はコールドスタート等の生産性の課題があり、
水素の将来性も考えると水素バーナと電気のハイブリッド炉は可能性あり

環境性検討

従来炉、都市ガスHYB炉ではカーボンニュートラル実現にむけてスコープ1の課題が残る
水素バーナ、電気炉は再エネ由来の電力とセットでエネルギーのグリーン化が可能

3. 研究開発成果について (B:水素インフラ技術の開発)

研究開発の目標と技術課題

つかう

つくる、ためる、はこぶ

アイテム	A)水素バーナを採用したアルミ溶解炉の開発	B)水素インフラ技術の開発
目標値	<ul style="list-style-type: none"> ①溶解能力 100万kcal/ton以下 ※都市ガス使用時の同等レベルの溶解能力 ②溶湯品質 濾過率、介在物量、酸化被膜長が 都市ガス利用時の溶湯と同等の品質レベル ③設備 溶解室の耐久性が現行レベル 	<ul style="list-style-type: none"> ①水素生成技術 <ul style="list-style-type: none"> ・水素生成能力：50Nm³/h以上（溶解炉1台分） ・水電解とアルミ水素生成技術を評価 アルミ水素生成技術の実証可否を検討 ②水素貯蔵、供給技術 <ul style="list-style-type: none"> ・低圧仕様(1.0MPa未満)の水素インフラを構築 ・生成圧と供給圧の最適化 ③水素エネルギーマネジメント <ul style="list-style-type: none"> ・実証設備への安定供給 ・水素の需要変動を想定した貯蔵・供給システム構築
技術課題	<ul style="list-style-type: none"> ①溶解能力 燃烧速度の速い水素(都市ガスの約7倍)による 効率的なアルミインゴットの溶解技術 ②溶湯品質 <ul style="list-style-type: none"> ・水素吸収量（溶湯へ水素が溶け込みが多いと凝固時にピンホール欠陥が発生） ・酸化スケール量（溶解時の水蒸気との反応で酸化物となる懸念あり） ③設備 水素バーナでの炉内温度分布の安定化 	<ul style="list-style-type: none"> ①水素生成技術 <ul style="list-style-type: none"> ・水電解：効率的かつ安定的な水素生成 ・アルミ水素：アルミ切粉からの安定的な水素生成 水電解に対してのコスト、品質は課題 ②水素貯蔵、供給技術 <ul style="list-style-type: none"> ・1.0MPa未満での貯蔵に効率的な生成圧の制御 ・安定的な供給のための貯蔵量 ③水素エネルギーマネジメント <ul style="list-style-type: none"> ・安定的な供給のための水素生成、貯蔵サイクル ・休日のオンサイトの余剰再エネの活用
経済性課題 環境性課題	電気炉又はガス・電気のハイブリッドとの経済性・環境性を比較し、水素利用の優位性を評価	アルミ水素製造の有効性を含めた全体プロセスの妥当性を検証

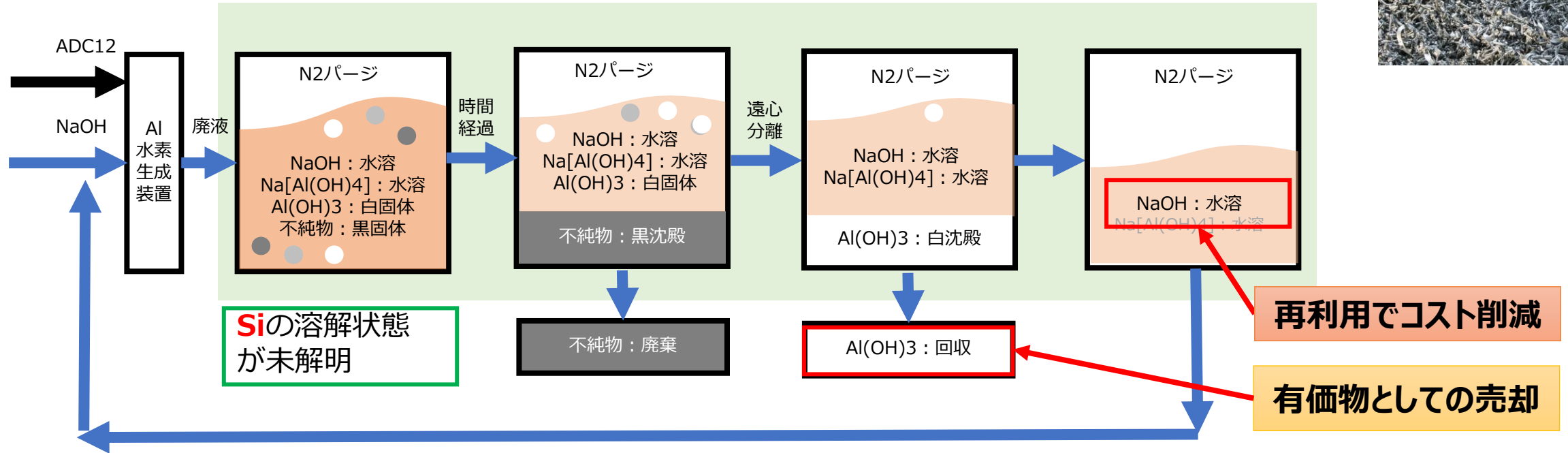
3. 研究開発成果について (B:水素インフラ技術の開発)

ADC12のアルミ切粉を使った場合の反応と副生成物

ADC12アルミ切粉



Al水素溶解処理工程



ADC12の合金成分Si、Zn、SnがNaOHの強アルカリに溶ける

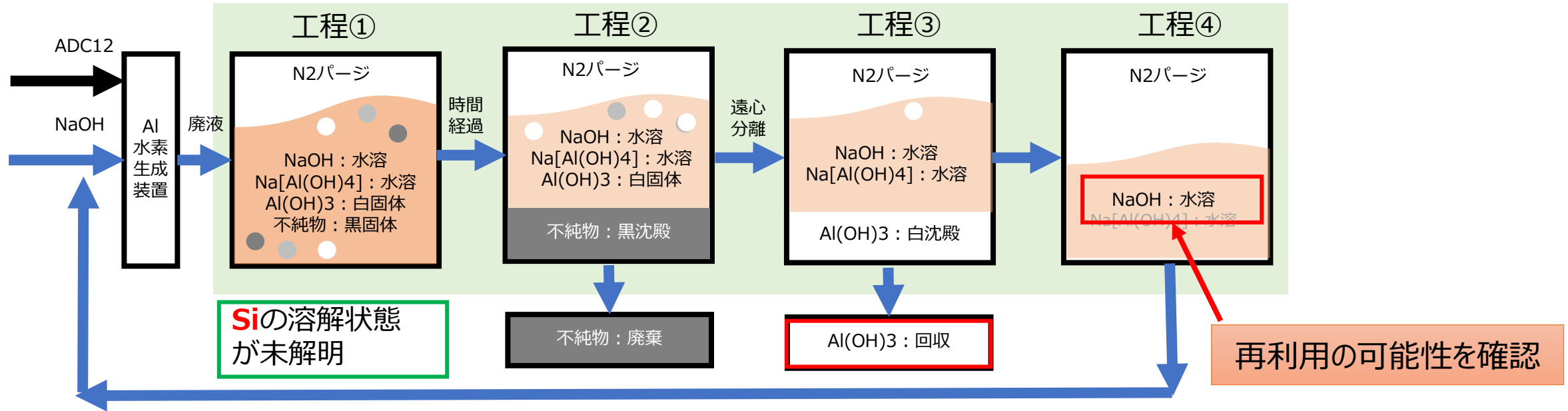
水酸化アルミニウム単体として分離が難しい

記号	化学成分 (%)								
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
ADC12	1.5 ~3.5	9.6 ~12.0	0.3以下	1.0以下	1.0以下	0.5以下	0.5以下	0.3以下	残部

3. 研究開発成果について (B:水素インフラ技術の開発)

NaOHの再利用の可能性の確認

Al水素溶解処理工程



反応時のPH濃度の変化

No.	アルミ	NaOH 濃度	反応時のPH濃度の変化			
			混合前	混合後 15分 (工程②)	1h後 (工程③)	20分後 攪拌 工程③
1	アルミ切粉	4%	14.09	13.29	14.20	14.16
2	アルミ切粉	4%	14.20	13.32	14.28	14.16
平均			14.15	13.31	14.24	14.16

反応初期はPH濃度が下がるが、Al(OH)₃の沈殿とともにPHが上がっている ⇒ NaOHは再利用の可能性あり

3. 研究開発成果について (B:水素インフラ技術の開発)

分離技術開発 (溶液状態の確認)

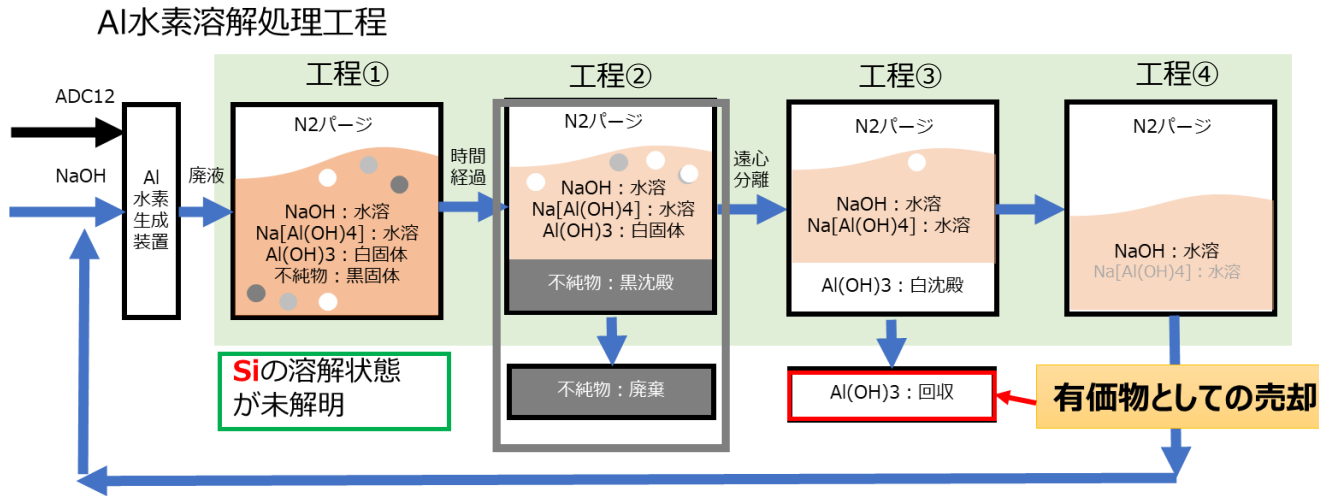
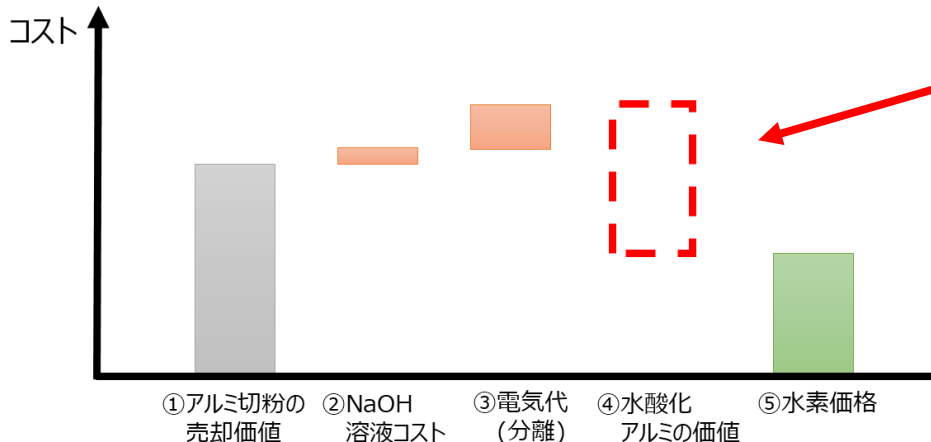


表3 SEM-EDS元素分析結果【およそのwt%】

試料	投与後の固液分離処理までのインターバル		C	O	Na	Mg	Al	Si	Fe	Cu
ろ過1回目採取物 (灰色粉末)	5分	n=1	6	45	5	2	11	14	8	9
		n=2	8	44	4	2	10	13	8	9
	10分	n=1	7	46	5	2	12	14	6	7
		n=2	8	44	5	2	12	15	7	6
	30分	n=1	8	45	5	1	12	14	7	7
		n=2	7	45	5	1	12	13	7	7
ろ過2回目採取物 (白色粉末)	5分	n=1	7	58	3	-	27	4	-	-
		n=2	7	59	3	-	27	3	-	-
	10分	n=1	7	59	3	-	26	4	-	-
		n=2	7	58	3	-	26	4	-	-
	30分	n=1	7	59	3	-	26	4	-	-
		n=2	7	59	3	-	26	4	-	-

⇒ 反応初期の工程②の段階の沈殿物にもSiは含有、元素分析の結果は工程③の沈殿物の成分の方がSiが少ない
 工程③の状態の方がよい、副生成物の水酸化アルミの成分は明確になった

水素のコストイメージ



安価な水素の生成には水酸化アルミの価値の向上が必要

現状の成分をふまえて水酸化アルミの価値を調査し、安定的に水酸化アルミを分離する基礎技術開発を進める

3. 研究開発成果について (B:水素インフラ技術の開発)

水素インフラ技術の開発

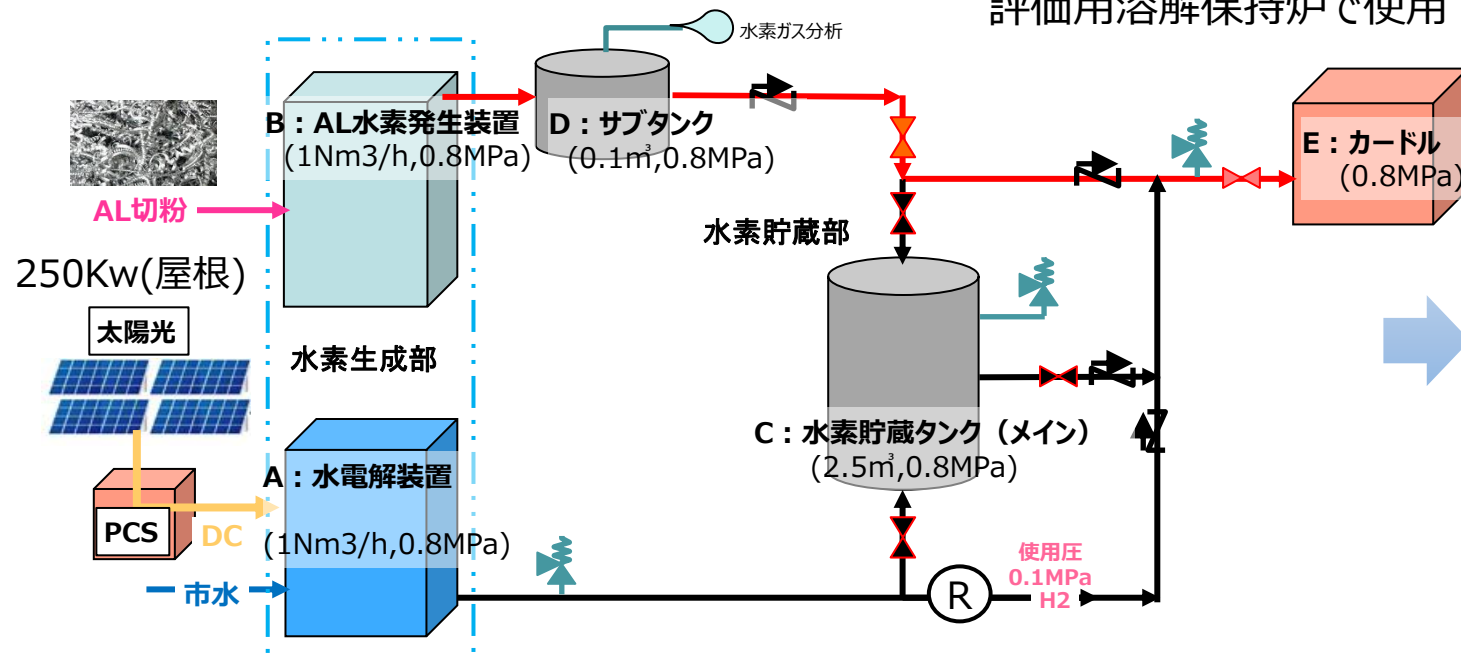
プロトインフラ設備の製作・評価 (2022.12~2024.9予定)

プロトインフラ仕様を決定、製作中

工場実証にむけて1MPa未満でオンサイトで再エネから水素を生成、貯蔵、供給するプロトインフラの仕様を検討し、製作

- ①水素生成技術：水電解装置(図中A)・アルミ水素評価機(図中B)の仕様を決定、反応圧を利用した貯蔵を評価予定
- ②水素貯蔵、供給技術：常用温度で1MPa未満となる水素貯蔵タンク(図中C)、アルミ水素用サブタンク(図中D)、カードル(図中E)で構成、貯蔵圧は0.8MPaとし、グリーン水素を評価用溶解保持炉で評価
- ③水素エネルギーシステム：再エネを最大限活用し、水素を生成・貯蔵するエネルギーマネジメントを評価

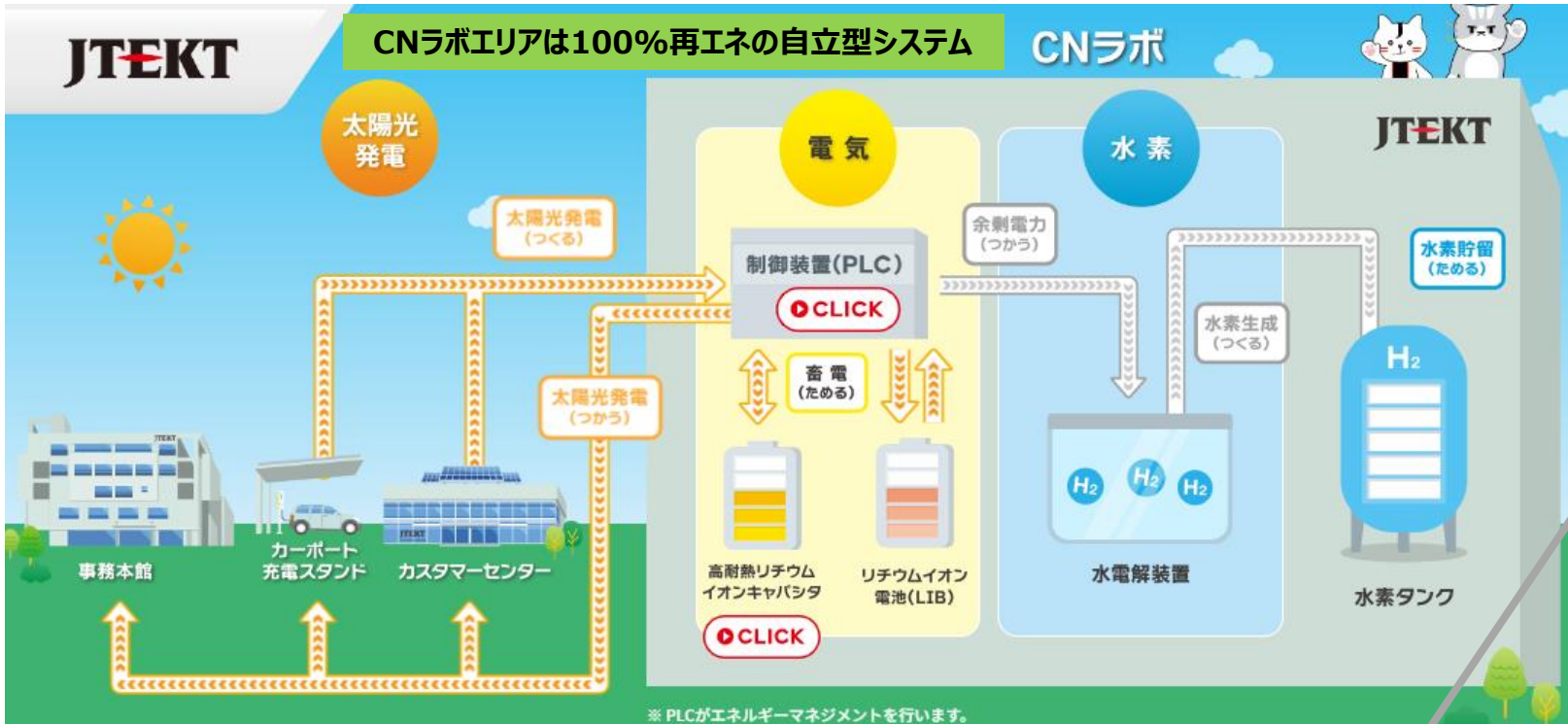
水素プロトインフラの概略図



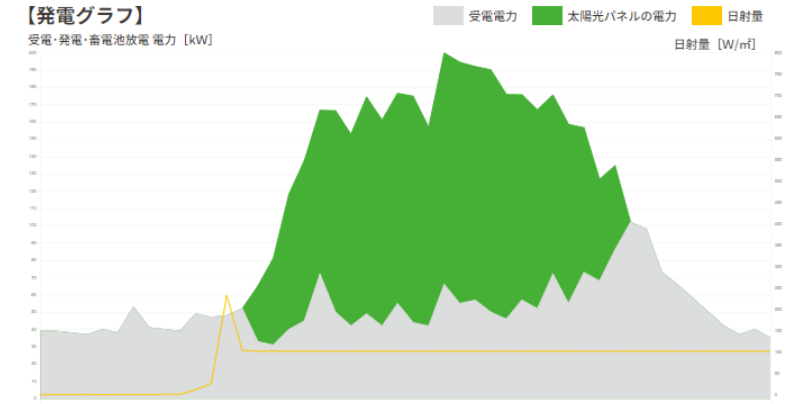
3. 研究開発成果について (B:水素インフラ技術の開発)

水素インフラ技術の開発

PLCを使った制御・監視システムの開発 (2024.6稼働)



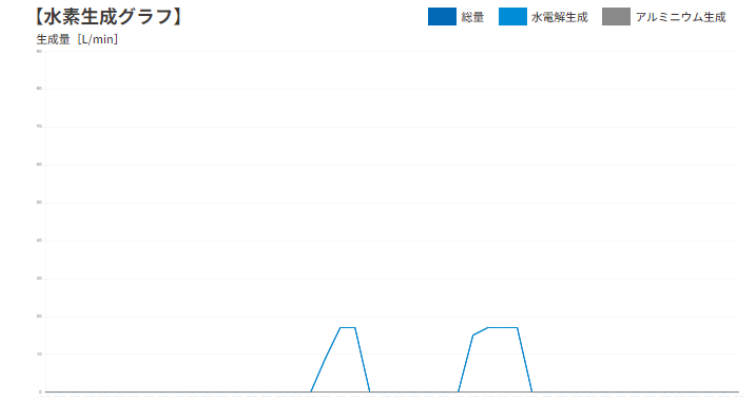
日射量・再エネ発電量・受電電力の可視化 (日毎)



①エネルギー自給率 ②太陽光発電量 ③蓄電量

自給率	電気発電電力	電気蓄電量
49.7%	1,218 kW	165.0 kWh

水電解・アルミ水素での水素生成量を可視化 (日毎)



④水素生成量 ⑤水素貯蔵量

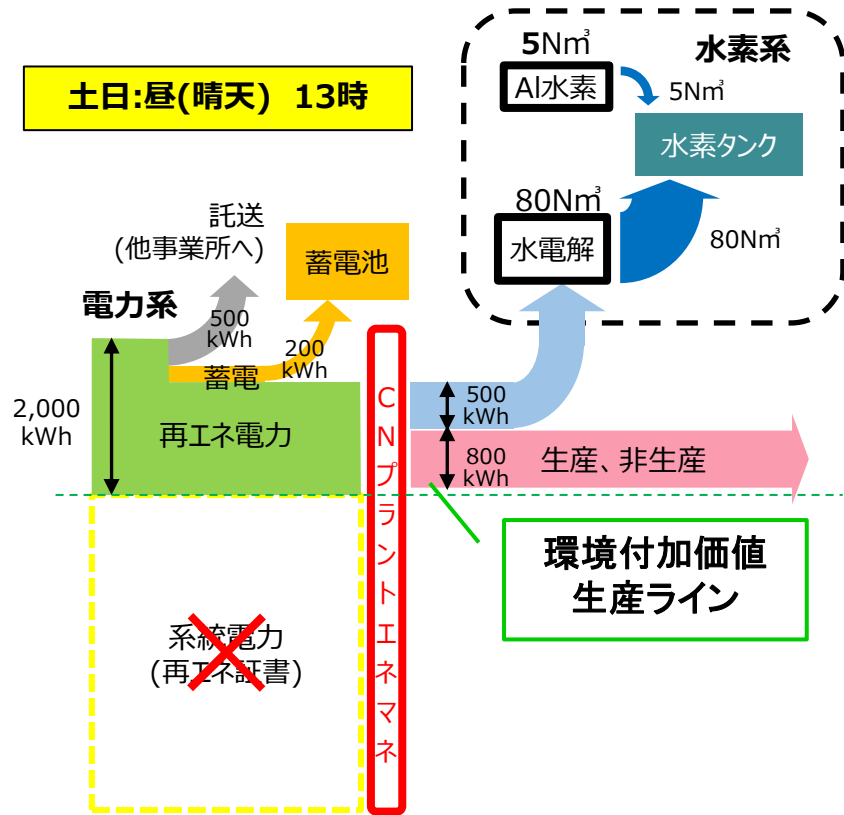
水素生成量	水電解生成	アルミ水素生成	水素貯蔵量
6,009 L	6,009 L	0 L	448 L

①エネルギー自給率、②太陽光発電量、③蓄電量、
水素生成量、水素貯蔵量をリアルタイム管理

⇒ 実証に向けたエネマネのデータベースをつくる

3. 研究開発成果について (B:水素インフラ技術の開発)

再エネの有活用 実証工場の休日のエネルギーバランス



【土日昼】
 ・再エネ電力で水電解を稼働し、タンクへ貯蔵する
 ⇒稼働日に水素利用で消費
 (水素でエネルギーをシフト)

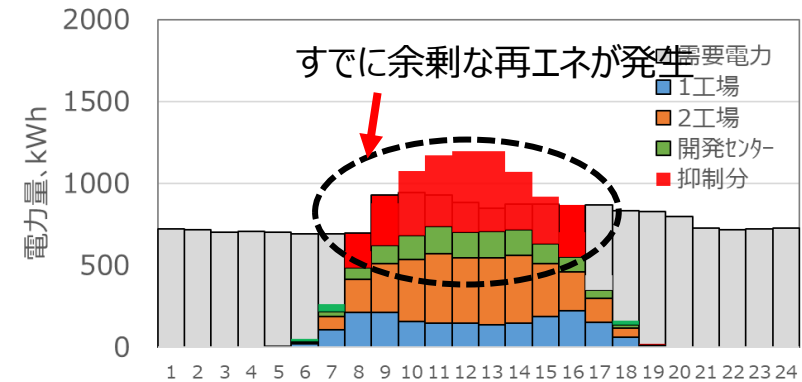


2.5MWの太陽光発電

オンサイトの再エネ普及の課題

一定規模以上になると土日は発電抑制している

更なる太陽光の増強が難しい
 (カーポート、フェンス型等)



実証工場の土日の発電量

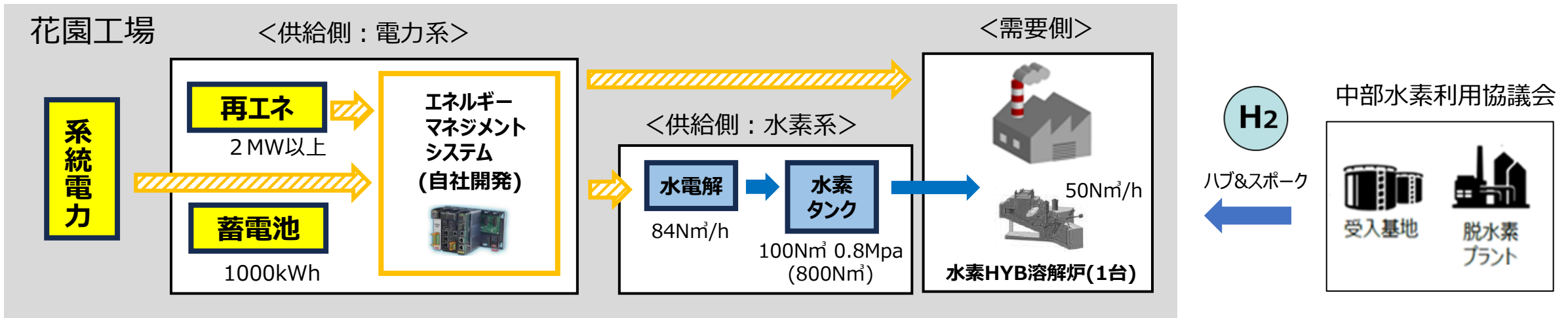
貯蔵方法の比較

	水素貯蔵	電池
イニシャル比	1	15
耐用年数	20年	10年
スペース比	1	5
判定	○	△

水素貯蔵のメリットはある

4. 今後の見通しについて

再エネを最大限活用し、グリーン水素製造を実証評価を行う



工場の太陽光の設置状況：2023.3設置済



水素インフラ設置予定地
(鋳造工場に隣接するエネルギー管理棟に設置)



4. 今後の見通しについて

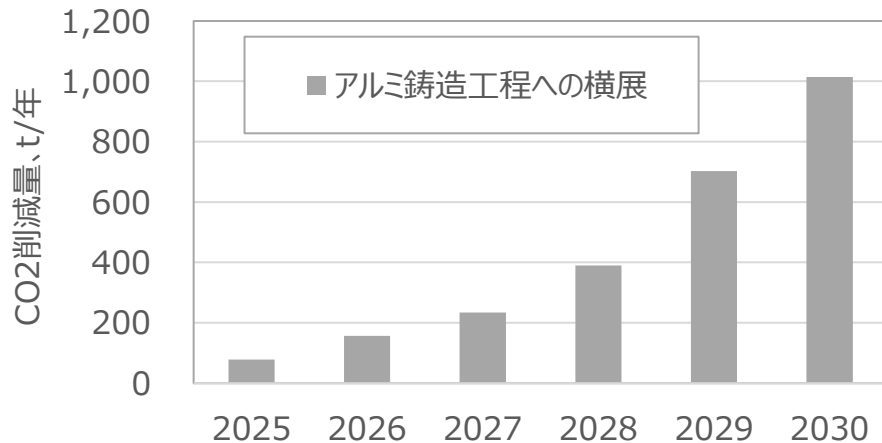
水素の利用拡大：実証工場での成果がポイント、実証後は社内のアルミ鑄造へ展開を推進予定
本事業で得られた水素インフラ技術の知見を活かして、水素によるエネルギー貯蔵も検討

社内展開

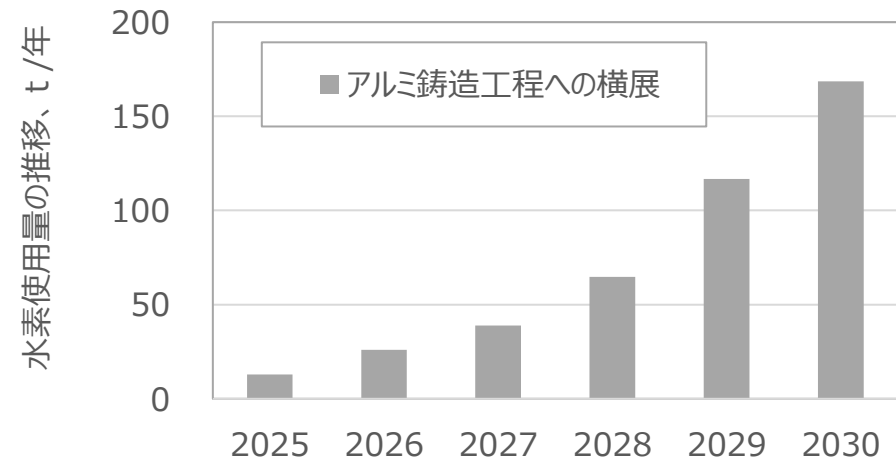


社内展開での効果

1) 水素活用によるCO2削減量



2) 水素使用量の推移

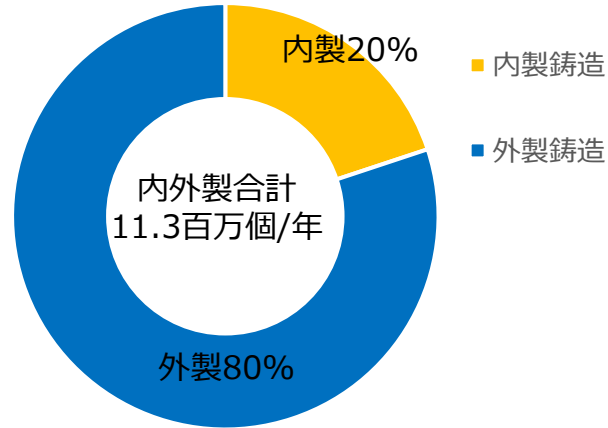


社内実績を積んだ後は社外への水素技術の展開（外製アルミ鑄造メーカー等）

4. 今後の見通しについて

水素の利用拡大：アルミ鋳造工程を有する仕入れ先様やアルミ素材メーカーへの水素技術を展開

仕入れ先様への展開効果：アルミ鋳造品も多く、本技術の展開が可能



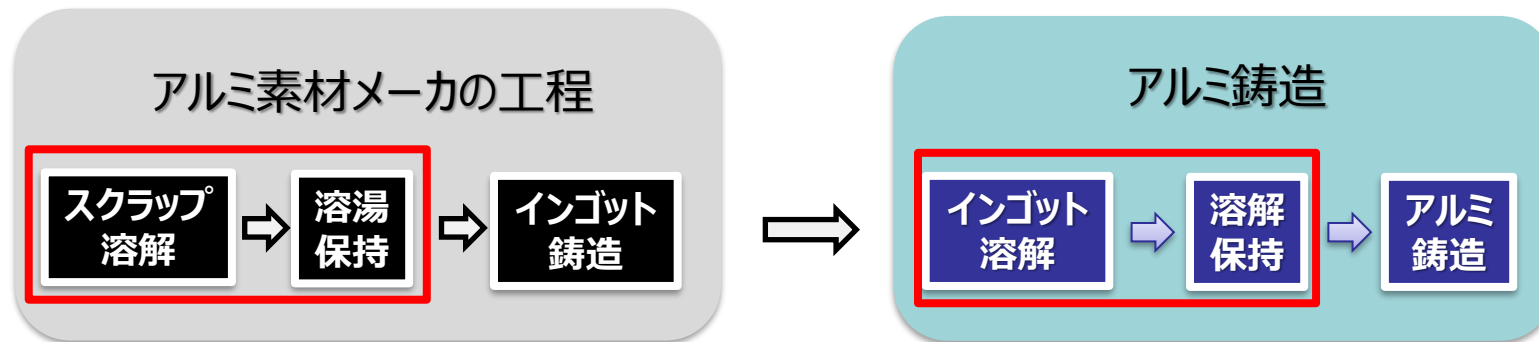
鋳造製品の内外製比率

鋳造製品の内製比率：20%



仕入れ先への展開は社内の4倍のボリューム

素材メーカーの展開：アルミ鋳造メーカーだけでなく、アルミ素材メーカーへの展開も可能



以上が本事業の報告となります

ご清聴ありがとうございました