

高温ガス炉実証炉開発事業

中間評価報告書

2024年8月

産業構造審議会産業技術環境分科会

イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成28年12月21日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省研究開発評価指針」（令和4年10月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「高温ガス炉実証炉開発事業」は、2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、日本原子力研究開発機構（JAEA）が保有する高温工学試験研究炉（HTTR）を活用し、800℃以上の高温を利用したカーボンフリーな水素製造法のフィージビリティスタディを実施しつつ、並行して800℃以上の脱炭素高温熱源と水素製造プラントについて、高い安全性を確保できる接続技術確立するため、2022年度より実施している（2022年度から2024年度まで実施した）ものである。

今般、省外の有識者より、本事業にかかる事業実施の意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋・目標達成状況・マネジメントの妥当性について、経済産業省研究開発評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準を踏まえて評価いただき、その評価結果としてとりまとめられた「高温ガス炉実証炉開発事業 中間評価報告書」の原案について、産業構造審議会 産業技術環境分科会 イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ（座長：鈴木 潤 政策研究大学院大学教授）において審議し、了承した。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

2024年8月

産業構造審議会 産業技術環境分科会
イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

【本中間評価の審議経過】

◆ 外部有識者による評価（意見聴取）

【実施時期】

2024年5月14日～22日

【外部有識者】

武田 哲明（山梨大学大学院 総合研究部 工学域 機械工学系 教授）

越塚 誠一（東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 教授）

櫻井 誠（東京農工大学 大学院工学研究院 応用化学部門 准教授）

木全 修一（住友化学株式会社 技術・研究企画部 部長）

◆ 産業構造審議会産業技術環境分科会イノベーション小委員会

評価ワーキンググループ（2024年8月28日）

・研究開発事業に関する中間評価報告書案について

【本研究開発評価に係る省内関係者】

事業担当課長 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課課長 吉瀬 周作

評価担当部署 産業技術環境局 研究開発課 技術評価調整官 大隅 一聡

目次

【事業情報】	1
第1章 外部有識者からの評価結果	4
1. 評点法による評価結果	5
2. 評価コメント	6
3. 評価コメントに対する対処方針・見解	11
第2章 評価ワーキンググループの所見と その対処方針	15
第3章 評価対象事業に係る資料	17

【事業情報】

事業名		高温ガス炉実証炉開発研究開発（超高温を利用した水素大量製造技術実証事業、高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発）					
担当部署		資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課					
事業期間		2022 年度 ～ 2030 年度 評価時期：事前（2021 年度）、中間（2024 年度）、中間（2027 年度）、終了時（2031 年度）					
予算額		2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	総額
	（予算）	7 億円	48 億円	274 億円	401 億円	574 億円	1304 億円
	（執行）	7 億円	22 億円	**億円	**億円	**億円	***億円
上位施策及び KPI		○2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和 3 年 6 月 1 8 日） 4. 重要分野における「実行計画」、（2）水素・燃料アンモニア産業、③水素の製造（水電解装置等） 「高温ガス炉等の高温熱源を活用した革新的な水素製造技術の研究開発・実証についても推進していく。」					
事業目的		2050 年のカーボンニュートラルの実現には、国内の CO2 総排出量の約 25%を占める鉄鋼や化学を含む産業部門からの削減が必須であり、そのためには大規模かつ安価な水素供給が必要。高温ガス炉は、従来の軽水炉よりも高温度帯となる 800℃以上の高温熱活用や水素製造等の産業利用が期待される。JAEA の実験炉である HTTR が再稼働済みであり、熱需要と水素製造の脱炭素化の手段として、商用化を目指した実証炉開発を行うことができる段階にある。本事業を通じて、2050 年には、800℃以上の脱炭素高温熱とカーボンフリー水素製造法によって、約 12 円/Nm ³ で大量の水素を安定的に供給する可能性を念頭に、製鉄や化学等での産業利用に繋げることを最終目標とする。					
事業内容		① 800℃以上の超高温を供給できる HTTR と商用化された技術であるメタン水蒸気改質法（グレー水素技術）による水素製造プラントを安全に接続するための接続技術を確認し、安定して水素が製造できることを実証する。 ② 将来的にはカーボンフリーの実証規模の水素製造施設との接続を見据えて、機器大型化の実現性を確認するため、高温隔離弁やヘリウム循環機などの概念設計を行う。 ③ フィージビリティスタディでカーボンフリーな水素製造技術を選択、基本コンセプトを確立し実験室規模・実環境下の高温ヘリウムループ試験を実施して、超高温を活用したカーボンフリー水素製造技術の技術的成立性を確認する。 これら 3 つの研究開発を組み合わせることで、商業規模での超高温を活用したカーボンフリーな水素供給に向けた道筋を明確化する。					
アウトカム指標				アウトカム目標			達成状況

短期目標 2030 年度	超高温を活用したカーボンフリーな水素製造技術の確立	超高温を活用したカーボンフリーな水素製造技術の技術的成立性に見通しを得た上で、HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術の確立	—
長期目標 2050 年度	将来の水素流通量 2000 万トン/年、水素コスト 20 円/Nm ³ （政府目標）に貢献	大量、安定的、経済的なカーボンフリー水素を供給 水素製造コスト約 12 円/Nm ³	—
アウトプット指標		アウトプット目標	達成状況
中間目標 2024 年度	HTTR とメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発	HTTR 接続試験に向け、以下 4 項目の見通しを得る： ・高温隔離弁：弁閉時間が 80 秒以内を見通せること（最新知見の反映） ・高温断熱配管：配管の健全性を保つための熱伸び吸収量を見通せること ・水蒸気改質器：触媒管を 2 層以上配列し、水素製造量を予測できる解析コードを構築すること ・He 循環機：触媒管を 2 層以上配列し、十分な流量を要素単位で見通せること	達成見込み
	接続設備機器の大型化に向けた概念設計	実証炉仕様に合わせた開発工程、機器概念が見通せること。	達成見込み
	カーボンフリー水素製造技術のフェージビリティスタディ	カーボンフリー水素製造技術の FS を実施し、ボトルネックとなる技術の抽出と要素技術開発を実施	達成見込み
中間目標 2027 年度	HTTR とメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発	安全審査の結果を踏まえて、HTTR 接続水素製造システムの詳細設計及び主要機器製作を完了	—
	接続設備機器の大型化に向けた概念設計	実証炉向け仕様に設計見直しを完了する。 ・高温隔離弁：実証炉で要求される閉止速度を見通せること。 ・ベローズ付高温断熱配管：実証炉で要求される伸び吸収量を見通せること。 ・メタン水蒸気改質器：実証炉で要求される水素製造量を見通せること。 ・He 循環機：実証炉で要求される He 流量を見通せること。	—

	カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディ	水素製造技術を絞り込み、小規模な実証試験により技術コンセプトを確認（目標 TRL:3）	—
最終目標 2030 年度	HTTR とメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発	水素製造量評価技術を確立し、予想値と実測値の誤差±10%以内を見通せること	—
	接続設備機器の大型化に向けた概念設計	基本設計が完了していること	—
	カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディ	技術コンセプトが確認された水素製造技術を対象に、脱炭素高温熱源との接続環境を想定し、システムレベルで技術を実証（目標 TRL:5）	—
マネジメント	評価委員会（外部）：「超高温を利用した水素大量製造技術実証事業に係る審査委員会」、「高温ガス炉実証炉技術評価委員会」にて研究開発評価を実施。		
プロジェクトリーダー等	（国研）日本原子力研究開発機構 高温ガス炉プロジェクト推進室長 坂場 成昭 三菱重工業株式会社 先進炉技術部 高温ガス炉担当部長 原 輝男		
実施体制	資源エネルギー庁 ⇒ 下記		
	超高温を利用した水素大量製造技術実証事業	〔委託〕日本原子力研究開発機構、三菱重工業株式会社	
	高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発	〔委託〕三菱重工業株式会社	

第 1 章 外部有識者からの評価結果

1. 評点法による評価結果

評価項目・評価基準	各外部評価者の評価					評点
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋						
(1) 本事業の位置づけ・意義	A	A	A	B		2.8
(2) アウトカム達成までの道筋	A	A	B	B		2.5
(3) 知的財産・標準化戦略	B	A	A	B		2.5
2. 目標及び達成状況						
(1) アウトカム目標及び達成見込み	A	A	B	B		2.5
(2) アウトプット目標及び達成状況	B	A	A	B		2.5
3. マネジメント						
(1) 実施体制	A	A	A	B		2.8
(2) 受益者負担の考え方	A	A	A	B		2.8
(3) 研究開発計画	A	A	A	B		2.8
《 判定基準 》						
A：評価基準に適合し、非常に優れている。						
B：評価基準に適合しているが、より望ましくするための改善点もある。						
C：評価基準に一部適合しておらず、改善が必要である。						
D：評価基準に適合しておらず、抜本的な改善が必要である。						

（注）評点はA=3、B=2、C=1、D=0として事務局が数値に換算・平均して算出。

2. 評価コメント

本項では、評価検討会の総意としての評価結果を枠内に掲載している。なお、「(参考) 外部評価者の評価コメント」に、各評価検討会委員の指摘事項を参考として列記している。

(1) 意義・アウトカム（社会実装）までの道筋

これまでわが国で開発を進めてきた高温ガス炉は、900℃を超える熱が供給できるという優れた特徴から、カーボンフリー水素製造の有力な手段の1つであり、経済的な水素製造にも期待が持てることから本事業の実施は意義がある。また、国内唯一の HTTR での実績を積みつつ、実証炉の設計研究を並行して進めていくアウトカム達成までの道筋は妥当な内容であり、知財化やノウハウのクローズ化を行いつつ、安全に関する内容は論文などでオープンにしていこうというオープン・クローズ戦略も妥当な内容である。

他方、標準化戦略については、確かに世界各国の高温ガス炉開発ベンダーは、高効率水素製造を可能とする 900℃を超える熱供給は視野に入れていないものの、800℃以下のレベルでは炉心形状が異なる原子炉での熱利用が検討されており、民間も含めそれらの動向を注視しながら、進める必要がある。また、産業への水素供給先として製鉄が検討され、海外状況等よく調査されている一方で、水素は自動車の燃料など多くの産業で利用が考えられるため、製鉄以外の需要も調査することが望まれる。本事業でのカーボンフリー水素のターゲットは、燃料利用か原料利用なのか、その両方なのか、狙い（位置づけ）は明確に記載すべき。役割分担、ステークホルダーへの情報発信の取組等は、もう少し明確化した方がよい。

(2) 目標及び達成状況

HTTR とメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発については、水素製造の経済性に対する定量的な目標が適切に設定されており、概ね妥当である。いずれも指標に対する目標に向けて順調な達成状況である。

他方、アウトプット目標及び達成状況について、もう少し定量的な数値が欲しい。小規模とはどの程度の規模なのか、絞り込んだ水素製造技術に依存するのか、実証試験時の水素製造量の目安等、検討結果があるなら見通しを記載して欲しい。水素還元製鉄への利用では、近接立地のための安全性に関して、性能目標などの定量的な目標を設定するとよい。カーボンフリー水素製造技術の FS については、入熱方法がボトルネック課題として抽出されており、それを基に次の段階に移行すべき。また、コスト競争力を含めた技術開発であるべきであり、電気と水素を併産できる高温ガス炉の特徴を経済価値で示すことは大切。アウトカム目標に対して計画通り進んでいる一方で、2023 年度の事業予算に対して実績額が半分以上になっている理由如何。

(3) マネジメント

実施体制、受益者負担の考え方も問題なく、様々な外部環境の変化を確認しながら順調に事業を進めており評価できる。

他方、研究開発計画については、FS は当初予定通りのスケジュールで良いが、特に実証試験は要素技術の不確定さの影響を受けるため、スケジュールについては柔軟に変更可能な体制を確保しながら

進めることが重要である。決められた予算、決められたスケジュールでの実施、という発想ではなく、検討加速（計画前倒し）は可能か、そのためには何が必要か、という視点を織り込んだ進捗管理をしていく必要がある。今後、計画通りに進まないことが出てきた場合の継続・中止の判断基準、対応法等についてももう少し具体的に決めておいてもよいと思う。

（参考）外部評価者の評価コメント

（１）意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

【肯定的意見】

- 事業の全体構成、およびアウトカム達成までの道筋については、妥当な内容であると思います。
- オープン・クローズ戦略についても概ね妥当な内容であると思います。
- カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディについては、実施企業が取得データ、知財、ノウハウ等を保有することは妥当です。
- 高温ガス炉を用いた水素製造は、カーボンフリー水素製造の有力な手段の 1 つであり、本事業の実施に意義がある。
- これまでわが国で開発を進めてきた高温ガス炉では 900℃を超える熱が供給できるという優れた特徴があり、経済的な水素製造に期待が持てる。
- HTTR での実績を積みつつ、実証炉の設計研究を並行して進めていく道筋は適切である。
- 知財化やノウハウのクローズ化を行いつつ、安全に関する内容は論文などでオープンにしていくというオープン・クローズ戦略は適切である。
- 事業の位置づけ、意義が明確に示されており、知的財産・標準化戦略等についても問題なく適切であると思われる。

【問題点・改善点・今後への提言】

- 標準化戦略については、確かに世界各国の高温ガス炉開発ベンダーは、高効率水素製造を可能とする 900℃を超える熱供給は視野に入れていないものの、800℃以下のレベルでは炉心形状が異なる原子炉での熱利用が検討されており、それらの動向を注視しながら、進める必要があります。
- 産業への水素供給先として製鉄が検討されており、海外での状況がよく調査されている。一方で、水素は自動車の燃料など多くの産業で利用が考えられているので、製鉄以外の需要も調査することが望まれる。
- 役割分担、ステークホルダーへの情報発信の取組等を、もう少し明確化した方がよいと思う。
- 鉄鋼、化学産業での水素は（副）原料としての価値が重要（製鉄は還元剤（コークス）の転換。化学は CCU で必須）。本事業でのカーボンフリー水素のターゲットは、燃料利用か原料利用なのか、その両方なのか、狙い（位置づけ）は明確に記載すべき。
- 製造業（素材産業）での高温ガス炉の導入検討事例としては、米国での Dow 社と X-energy 社の事例もある（<https://jp.dow.com/ja-jp/news/dow-x-energy-collaborate-on-smr-nuclear.html>）。民間の開発動向の注視も必要。

（２）目標及び達成状況

【肯定的意見】

- アウトプット目標について、HTTR とメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発については定量的な値も設定されており、概ね妥当であると思います。
- 水素製造の経済性に対する定量的な目標が適切に設定されている。

- 指標に対する目標に向けて順調な達成状況である。

【問題点・改善点・今後への提言】

- アウトプット目標及び達成状況について、もう少し定量的な数値が欲しいところです。例えば 2027 年度中間目標として、水素製造技術を絞り込み、小規模な実証試験により技術コンセプトを確認するとされていますが、であるとすれば、2024 年度中間目標では、もう少し具体的な検討結果が欲しいところです。
- 小規模とはどの程度の規模なのか、絞り込んだ水素製造技術に依存するのか、あるいは最終的に目標とする水素製造量が決まっているなら、実証試験時の水素製造量の目安はある程度決まるのか、などについて、検討結果があるなら見通しを記載して欲しいです。
- カーボンフリー水素製造技術の FS については、入熱方法がボトルネック課題として抽出されており、それを基に次の段階に移行すべきだと思います。
- 水素還元製鉄への利用では、近接立地のための安全性に関して、性能目標などの定量的な目標を設定するとよいのではないかと。
- 中間目標 2024 年度に対する達成状況については、達成見込みであるとの記述があるが、詳細については説明が不足している。
- アウトカム目標に対して計画通り進んでいる一方で、2023 年度の事業予算に対して実績額が半分以下になっているのがよくわかりません。予算設定に問題があったのでしょうか？何か問題があってこのようになったのであれば、それを明確化して今後の目標、計画に反映させた方がよいと思います。
- コスト競争力を含めた技術開発であるべきであり、フィージビリティスタディでは仮定（前提条件）をおいた経済性評価の実施は必要。電気と水素を併産できる高温ガス炉の特徴を経済価値で示すことは大切。

（３） マネジメント

【肯定的意見】

- 実施体制、受益者負担の考え方については、妥当な内容であると思います。
- 実施体制は、これまでの実績を踏まえた適切なものである。
- 様々な外部環境の変化を確認しながら事業を進めており、評価できる。
- 実施体制も問題なく研究開発も順調に進んでいると思われる。

【問題点・改善点・今後への提言】

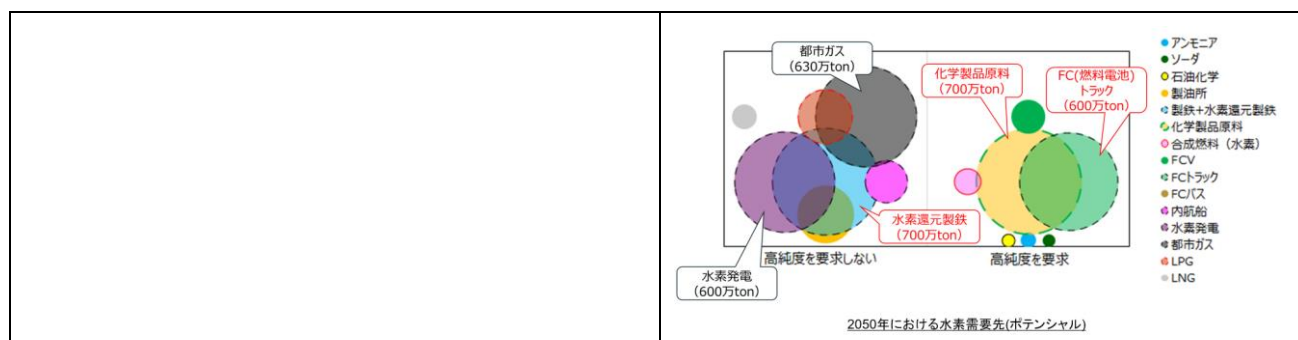
- 研究開発計画については、特に実証試験は要素技術の不確定さの影響を受けるため、スケジュールについては柔軟に変更可能な体制を確保しながら進めることが重要であると思います。一方、FS については、当初予定通りのスケジュールで進めてもらいたいと考えます。
- まだ始まったばかりで問題無く進んでいると考えられるが、今後、計画通りに進まないことが出てきた場合の継続・中止の判断基準、対応法等についてももう少し具体的に決めておいてもよいと思う。
- 決められた予算、決められたスケジュールでの実施、という発想ではなく、検討加速（計画前倒し）

は可能か、そのためには何が必要か、という視点を織り込んだ進捗管理をしていく必要がある。

3. 評価コメントに対する対処方針・見解

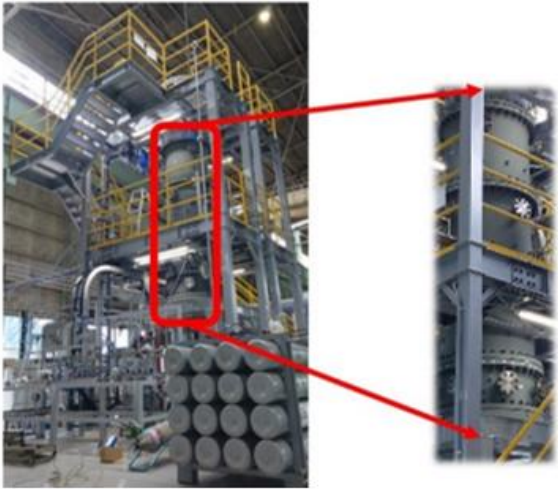
(1) 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

問題点・改善点・今後への提言	対処方針・見解
● 標準化戦略については、確かに世界各国の高温ガス炉開発ベンダーは、高効率水素製造を可能とする 900℃を超える熱供給は視野に入っていないものの、800℃以下のレベルでは炉心形状が異なる原子炉での熱利用が検討されており、民間も含めそれらの動向を注視しながら、進める必要がある。	今後とも海外動向を注視しながら開発を進めてまいります。
● 産業への水素供給先として製鉄が検討され、海外状況等よく調査されている一方で、水素は自動車の燃料など多くの産業で利用が考えられるため、製鉄以外の需要も調査することが望まれる。	今後とも水素ユーザーの動向や環境等を注視しながら開発を進めてまいります。
● 役割分担、ステークホルダーへの情報発信の取組等は、もう少し明確化した方がよい。	水素や高温熱の需要があり得る企業に対して、高温ガス炉による水素製造の特長や高温ガス炉開発状況の情報を提供するとともに意見交換を実施しているところです。また、今後、ステークホルダーへのより効果的な情報発信戦略などを検討していきたいと考えています。
● 本事業でのカーボンフリー水素のターゲットは、燃料利用か原料利用なのか、その両方なのか、狙い（位置づけ）は明確に記載すべき。	本事業でのカーボンフリー水素のターゲットとしては、燃料利用及び原料利用いずれも想定しています。 具体的には、鉄鋼業界、発電利用、産業利用など幅広い分野で水素の活用が期待されており、政府の水素導入目標は 2030 年：最大 300 万 ton、2050 年：2000 万 ton 程度となっています。 高温ガス炉による水素製造は、特に、産業分野（水素還元製鉄、化学製品等）、運輸分野（FC トラックステーション）などの大量・安定な水素供給ニーズに対応することを想定しています。 （「令和 4 年度超高温を利用した水素大量製造技術実証事業」より）



(2) 目標及び達成状況

問題点・改善点・今後への提言	対処方針・見解
カーボンフリー水素製造技術のFSについては、入熱方法がボトルネック課題として抽出されており、それを基に次の段階に移行すべき。	加熱方式を複数案検討し、ベンチスケール試験にて成立性を確認した方式で、スケールアップ等の後続検討を行います。ベンチスケール試験として、熱アシスト型 SOEC は、24 年度より円筒型 SOEC セル・スタックを数百本束ねたカートリッジ試験を行います。一方、メタン熱分解は、24 年度に加熱方法を検討し、25 年度から流動床試験を行います。(具体的な試験設備イメージは次項をご参照ください。)
アウトプット目標及び達成状況について、もう少し定量的な数値が欲しい。小規模とはどの程度の規模なのか、絞り込んだ水素製造技術に依存するのか、実証試験時の水素製造量の目安等、検討結果があるなら見通しを記載して欲しい。	入熱方法がボトルネック課題ですので、小規模実証試験では、He 等の熱媒体により入熱可能であり、他の外部熱源なしに水素製造出来ることを実証します。 今後、小規模実証試験計画を具体化する中で変更となる可能性があります。下図と同規模の試験設備を予定しています。なお、前述の通り、ボトルネック課題の見通しを得ることを目標としていますので、スケールアップ性の評価は行いますが、水素製造量自体は小規模実証試験の数値目標とはしていません。 ・熱アシスト型 SOEC (カートリッジ試験)

	 ・メタン熱分解(流動床試験) 
● 水素還元製鉄への利用では、近接立地のための安全性に関して、性能目標などの定量的な目標を設定するとよい。	原子力学会研究専門委員会「ブロック型高温ガス炉の安全基準の調査研究」における高温ガス炉の安全確保の考え方の議論等を踏まえて、性能目標を検討いたします。
● アウトカム目標に対して計画通り進んでいる一方で、2023年度の事業予算に対して実績額が半分以下になっている理由如何。	HTTR 水素製造において、HTTR 既設の配管や電線管、支持構造物との干渉が判明したことにより新設配管の引回し経路の見直しを行ったため、設計作業の一部が延期となり、2023年度予算を2024年度に繰越しております。 なお、当初予定どおり、2024年度中に HTTR 設置変更許可を申請できる見込みです。 なお、実証炉及びカーボンフリーFS は、2023年度は概ね計画どおり支出しています。
● コスト競争力を含めた技術開発であるべきであり、電気と水素を併産できる高温ガス炉の特徴を経済価値で示すことは大切。	2023年度は、SOEC ではガス炉から熱のみ供給する場合と、熱と電気を供給するシステムを検討し水素製造量を評価しています。経済性評価については、主に熱コスト（高温ガス炉の建設費及び運転費）、水素製造コスト（水素製造設備の設備

	費、原料費、運転費、副生物の評価）で構成され、将来の水素ユーザーとの連携も模索しながら、検討していきます。
--	---

(3) マネジメント

問題点・改善点・今後への提言	対処方針・見解
● 研究開発計画については、FS は当初予定通りのスケジュールで良いが、特に実証試験は要素技術の不確定さの影響を受けるため、スケジュールについては柔軟に変更可能な体制を確保しながら進めることが重要である。	実証試験や研究開発の不確定さに柔軟に対応できる体制をできる限り確保しながら進めます。 カーボンフリーFS は、当初予定通り、ペンチスケール試験により入熱方式の成立性を確認し(2025 年度予定)、小規模実証試験(2027 年度予定)にて He 等の熱媒体の入熱により水素製造出来ることを実証していきます。
● 今後、計画通りに進まないことが出てきた場合の継続・中止の判断基準、対応法等についてももう少し具体的に決めておいてもよいと思う。	今後、関係者間で判断基準、対応を協議していきたいと考えております。
● 決められた予算、決められたスケジュールでの実施、という発想ではなく、検討加速（計画前倒し）は可能か、そのためには何が必要か、という視点を織り込んだ進捗管理をしていく必要がある。	HTTR 水素製造事業は、事業開始時に最大限加速する場合のスケジュールとマイルストーンを定め、ここで決まったマイルストーン達成に向けて進捗を管理しており、1 番目のマイルストーンである、2024 年度中の基本設計完了（HTTR 設置変更許可申請）を達成できる見込みです。 実証炉設計及びカーボンフリーFS は、将来的には事業主体とも協調し、実証炉の早期実現に向けて検討を進め、柔軟に計画を見直ししながら進捗管理して参ります。 なお、カーボンフリー水素は、2023 年度の検討により、熱アシスト型 SOEC に加えてメタン熱分解も高温ガス炉へ接続するカーボンフリー水素製造技術として有望と評価し、2024 年度からメタン熱分解の要素技術開発を追加する計画です。

第2章 評価ワーキンググループの所見と その対処方針

中間評価（2024 年度）

所見	対応方針
HTTR を活用した熱利用試験、実証炉の設計や研究開発を着実に進めるとともに、カーボンフリーな高温熱の利活用方法や高温ガス炉の特性（固有の安全性）を踏まえた安全確保の考え方の具体化に向けた検討は重要である。	高温ガス炉と水素製造施設の接続技術の確立に向けた HTTR を活用した熱利用試験、実証炉の設計や研究開発を着実に進めていく。 加えて、カーボンフリーの水素や高温熱の需要があり得る企業に対して、高温ガス炉による水素製造の特長や開発状況の情報を引き続き提供するとともに、意見交換を通じて高温ガス炉実証炉での高温熱の利活用方法などの検討を進めていく。 また、原子力学会研究専門委員会「ブロック型高温ガス炉の安全基準の調査研究」における議論等を踏まえて、高温ガス炉の安全確保の考え方を具体化していく。

第 3 章 評価対象事業に係る資料

高温ガス炉実証炉開発事業 (中間評価) 評価用資料

2024年 5月14日

資源エネルギー庁

電力・ガス事業部 原子力政策課

事業基本情報

1

事業名	高温ガス炉実証炉開発事業 (超高温を利用した水素大量製造技術実証事業、高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発)					
事業期間	2022年度～2030年度 評価時期：事前（2021年度）、中間（2024年度）、中間（2027年度）、終了時（2031年度）					
予算額	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	総額
(予算)	7億円	48億円	274億円	401億円	574億円	1297億円
(実績)	7億円	22億円	**億円	**億円	**億円	***億円
実施体制	METI（委託） → JAEA、MHI					
事業目的	2050年のカーボンニュートラルの実現には、国内のCO2総排出量の約25%を占める鉄鋼や化学を含む産業部門からの削減が必須であり、そのためには大規模かつ安価な水素供給が必要。高温ガス炉は、従来の軽水炉よりも高温度帯となる800℃以上の高温熱活用や水素製造等の産業利用が期待される。JAEAの実験炉であるHTTRが再稼働済みであり、熱需要と水素製造の脱炭素化の手段として、商用化を目指した実証炉開発を行うことができる段階にある。本事業を通じて、2050年には、800℃以上の脱炭素高温熱とカーボンフリー水素製造法によって、約12円/Nm ³ で大量の水素を安定的に供給する可能性を念頭に、製鉄や化学等での産業利用に繋げることを最終目標とする。					

評価項目 1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

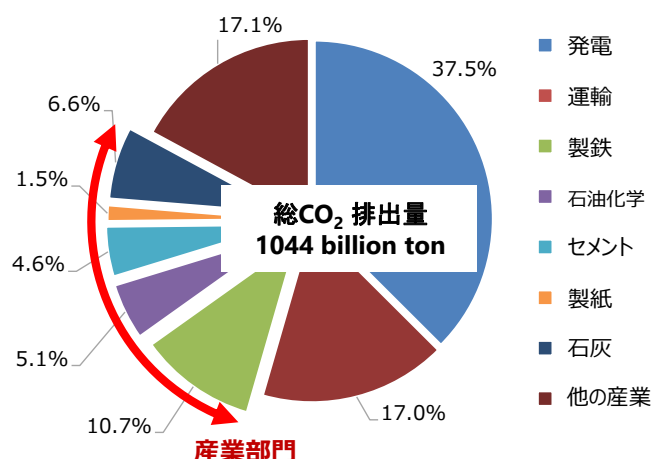
1-1-1. 社会課題と将来像

評価項目1

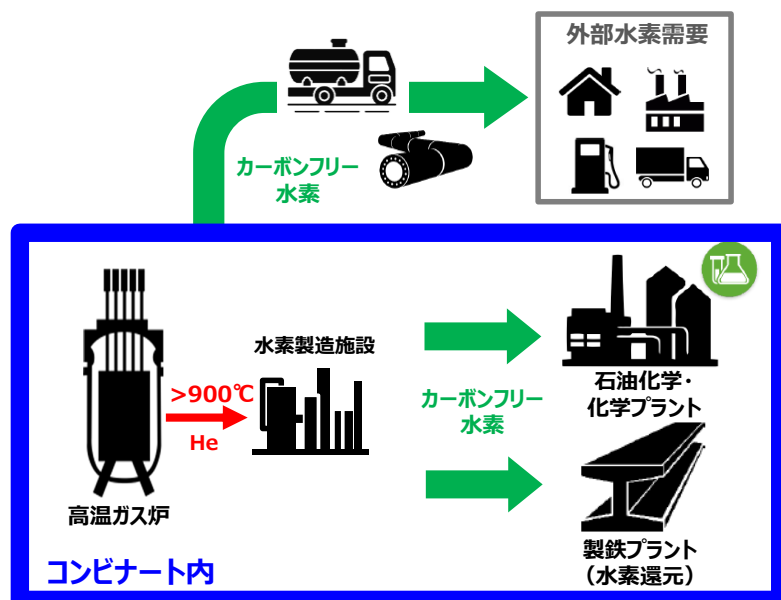
3

- 世界が脱炭素に舵を切る中、脱炭素資源に限られる我が国の産業がグローバルサプライチェーンで生き残るためには、ゼロカーボン水素を安定供給することが重要な課題である。特に鉄鋼や化学を含む産業部門のCO₂排出量は国内総排出量の約28%を占めることから、水素還元製鉄の開発等が進められており、大規模かつ経済的なカーボンフリー水素の供給が必要である
- 脱炭素高温熱源である高温ガス炉を活用した大量、かつ、安定したカーボンフリー水素製造により、製鉄や化学等の産業部門のカーボンニュートラル化を実現する

〈我が国の部門別CO₂ 排出量（2020）※1〉



〈高温ガス炉を活用した産業部門のカーボンニュートラル化〉



※1：環境省 温室効果ガス排出量（2020）<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg.html>

●産業部門のカーボンニュートラル化に向けて、水素供給源には以下の3点が求められる

- ① 大量の水素貯蔵や輸送に係るコスト低減：液化水素輸送は現状高コスト 162円/m³※1
- ② 大量・安定した水素製造：2050年 水素需要 2,000万t/年※2
- ③ カーボンフリー水素製造：海外におけるカーボンプライシングの本格導入 32,500円t/CO₂※3

●高温ガス炉は水素供給源の上記要件を満足し、以下の新しい価値の提供が可能

社会的価値：炭酸ガス多排出産業のカーボンニュートラル実現、カーボンニュートラル社会システムのレジリエンス強化

経済的価値：カーボンニュートラル社会における高価格なエネルギー調達コスト低減

＜安全性に優れた高温ガス炉の需要地近接立地による水素貯蔵・輸送コストの低減

：緊急時区域サイズ

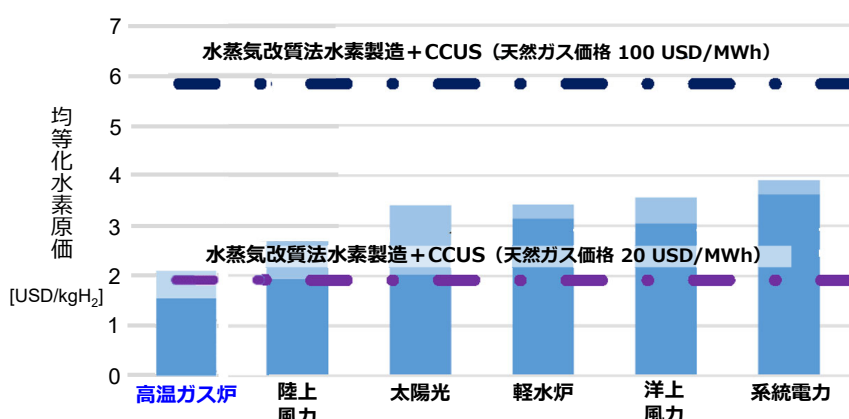
半径10 miles（約16 km）

大型軽水炉（米国の例）※4

↓ 400 m

高温ガス炉（米国の例）※4

＜高温ガス炉を活用したエネルギー調達コスト低減：OECD/NEA評価※5＞



※1 資源エネルギー庁、2020年時点試算

※2 水素戦略

※3 日本総研、カーボン・プライシングの活用に向けた課題～炭素価格引き上げの国内環境整備と国際協調を～

※4 X-energy, X-energy's Xe-100 Reactor Design Status, National Academy of Sciences, May 26, 2021.

※5 OECD/NEA, The Role of Nuclear Power in the Hydrogen Economy: Cost and Competitiveness (2022). (Figure is modified by JAEA)

1-1-3. 外的環境の状況（技術・市場・政策・制度動向等）

●世界各国で高温ガス炉の社会実装に向けた開発が加速

●高効率水素製造を可能とする900℃を超える熱供給は視野に入っていない

米国		エネルギー省（DOE）による開発支援 （新型炉実証プログラム、2020年～） ～2028年に稼働する革新炉原子炉（750℃、電気出力80MW）の建設を支援 - X-energy（ペブル型）、USNC（ブロック型）及びBWXT（ブロック型）が高温ガス炉開発を推進
英国		エネルギー安全保障・ネットゼロ省（DESNZ）による開発支援 （新型モジュール炉研究開発・実証プログラム、2022年～） - 英国政府は新型モジュール炉として高温ガス炉を選定、2030年初頭までに実証 - 英国国立原子力研究所（NNL）と原子力機構が参加するチームが、英国の高温ガス炉実証炉プログラムの基本設計を行う事業者のひとつとして採択（もうひとつはUSNC） - NNLが高温ガス炉燃料開発プログラムの製造技術開発等を行う事業者として採択。JAEAと連携し、英国における燃料製造技術を開発
ポーランド		ポーランド政府による高温ガス炉計画 - 高温ガス炉研究炉（750℃、原子炉熱出力30MW）の基本設計を開始（2021年） - 化学プラント用高温蒸気製造を指向 - 原子力機構はポーランド国立原子力研究センター（NCBJ）に設置する研究炉の基本設計の主要部分を受託
中国		エネルギー技術創新“十三五”計画（能源技術創新“十三五”規画） - 研究炉（700℃）を用いた研究開発 - 実証炉（750℃、電気出力210MW）が運転中（2021年12月送電開始、2022年全出力運転） - 原子力機構は清華大学核能及新能源技術研究院（INET）との高温ガス炉技術に関する情報交換覚書（1986年6月～2025年6月）
カナダ		カナダ原子力研究所（CNL）サイトでの高温ガス炉実証炉建設・運転計画 - USNCが～2026年に稼働する実証炉（630℃、原子炉熱出力15MW）を建設予定 - 遠隔地のエネルギー供給を指向

- 海外鉄鋼メーカーが製鉄プロセスのカーボンニュートラル化に向けた技術開発を加速※1
 - ThyssenKruppが直接還元プラントと電気溶解炉を発注、2027年以降の100%水素直接還元を目指す（ドイツ）
 - SSABが直接還元技術の開発に向け2020年からパイロットプラントでの実証開始、ボルボ・カーズと共同で生産したグリーンスチールを用いた自動車製造に着手（スウェーデン）
- 経産省が、我が国の鉄鋼業のカーボンニュートラル技術早期社会実装に向けた追加的取組を発表

〈海外の水素直接還元技術の開発加速※1〉

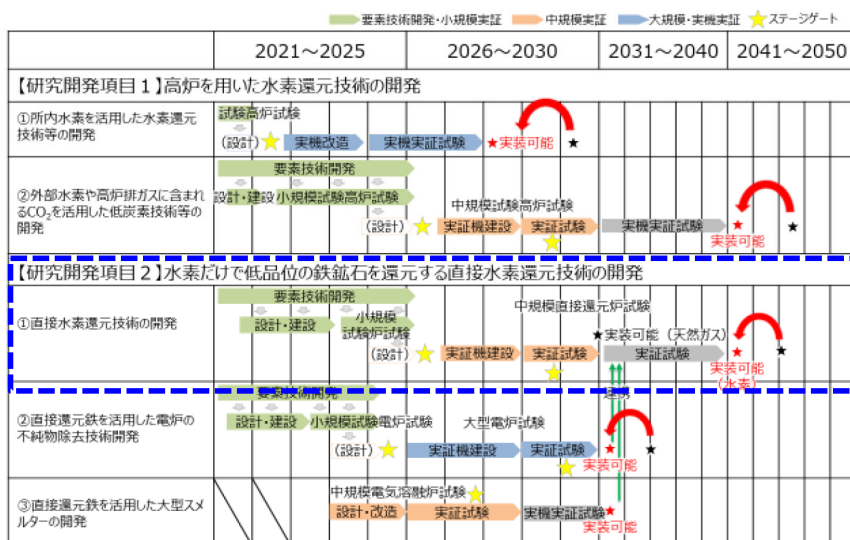


図 ThyssenKruppの直接還元炉



図 ボルボ・カーズ グリーンスチール自動車

〈我が国の水素直接還元技術開発の想定スケジュール※1〉



※1 経産省、第18回産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 エネルギー構造転換分野ワーキンググループ

1-1-3. 外的環境の状況（技術・市場・政策・制度動向等）

- カーボンニュートラル実現に向けた政策ツールとしてカーボンプライシングを導入する国・地域が拡大
- EUが2005年に開始した欧州域内排出量取引制度（EU-ETS）は、2013年（第3フェーズ）から有償割当（オークション）の割合を大幅に拡大。セメント、鉄鋼、アルミニウム、肥料、水素の無償割当は、「炭素国境調整措置（CBAM）」を導入しつつ、2026年から段階的に削減し、2034年には完全に終了予定
- CBAM導入により、海外からEUに輸入される製品に対し、その生産に際して排出された温室効果ガスの量に応じて金銭的負担が課される
- EU-ETSの排出枠の価格は、2005年の開始当時10～30ユーロ/tCO₂から100ユーロ/tCO₂まで上昇※1

〈EU-ETS排出枠市場価格の推移※1〉

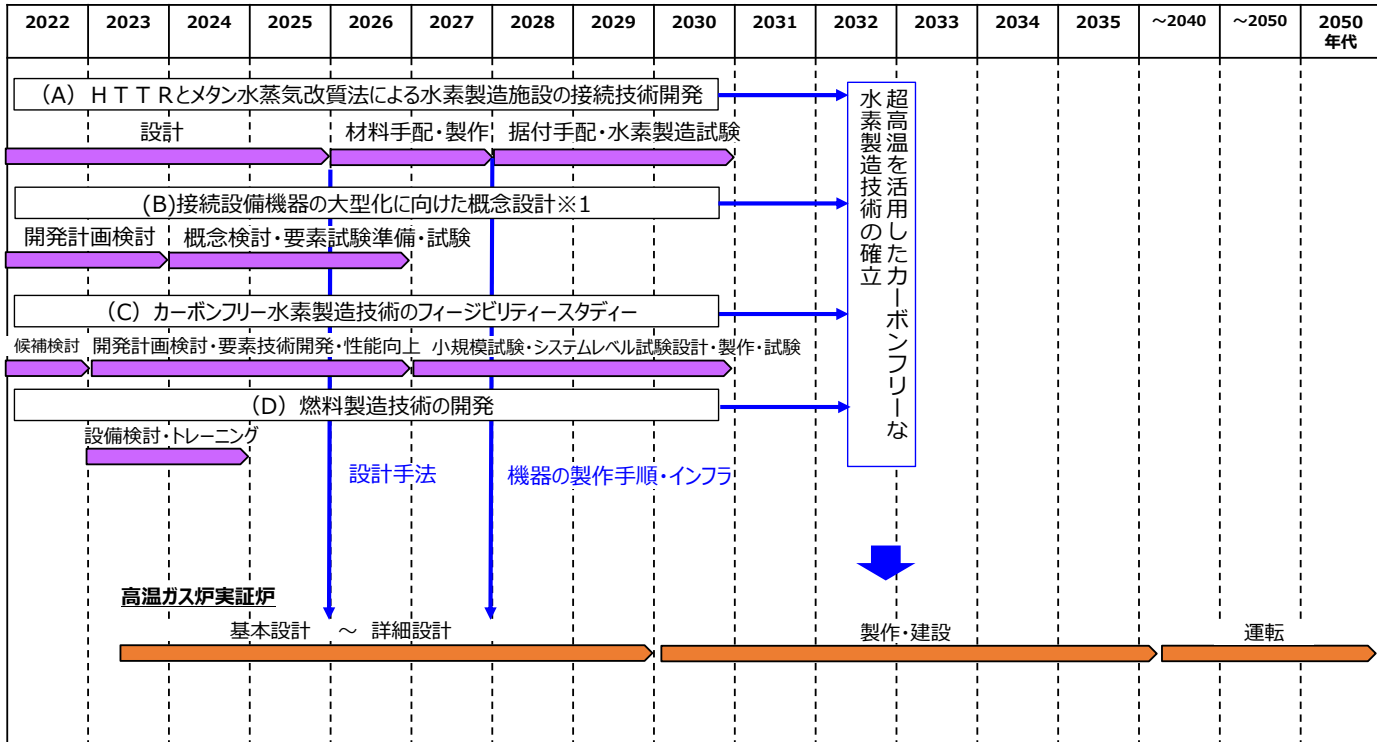


※1 若林、EU-ETSにおける排出枠の市場価格取引の実態、電力中央研究所社会経済研究所ディスカッションペーパー、SERC23004 (2023)。

研究開発項目			実施者
証事業 超高温を利用した水素大量製造技術実	H T T Rとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発	H T T R－熱利用試験施設のプラント基本計画の検討・設計、接続技術に係る機器開発、H T T R設備更新等	主：国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
	接続設備機器の大型化に向けた概念設計		主：国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構、 三菱重工業株式会社
	カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディー		主：三菱重工業株式会社
	燃料製造技術の概念検討	燃料製造及び燃料品質検査の設備概念検討等	主：国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
に高温ガス炉実証炉の設計 に係る研究開発	高温ガス炉実証炉の基本設計	高温ガス炉実証炉のシステム設計、炉心設計、機器設計、電気・計装設計、耐震設計、配置設計、建屋設計、安全設計、安全評価等	主：三菱重工業株式会社
	要素技術の開発	実証炉実現に必要な開発項目の整理、開発計画の策定、試験環境・装置の整備・製作等（コード検証、大型化検討、安全施設、高温材料等）	主：三菱重工業株式会社

1-2. アウトカム達成までの道筋（ロードマップ）

- 超高温を利用した水素大量製造技術実証事業において開発した技術は、2030年代運転開始を目標とする高温ガス炉実証炉開発に活用する
- 高温ガス炉実証炉開発を通じて大量、安定的、経済的なカーボンフリー水素供給接続技術を確立する



※1 2024年度から、高温ガス炉実証炉開発事業（高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発）に移行

HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発接続設備機器の大型化に向けた概念設計燃料製造技術の開発

- 原子力機構の「知的財産ポリシー」に従い、産業界等のニーズへの活用や外国企業からの模倣等による権利の侵害防止という点を重視し、中核的な技術を対象に開発成果を権利化する。
- 事業を進める上で必要な許認可取得に際し、設計の妥当性の根拠として利用する研究データは、第三者の専門家査読を必要とする論文等で公開する。

カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディー

- 世界に類を見ない800℃以上の高温熱を供給できる高温ガス炉との接続を念頭に開発を進めており、当面は、我が国特有の技術とすべくクローズ戦略を基本とし、技術の知財化、製造ノウハウ等の秘匿化を進める予定である。
- ただし、高温水蒸気電解では他社製セル・スタック、メタン熱分解では他社製反応器や触媒を活用する可能性があるため、将来的に高温ガス炉との接続技術の開示が必要となった場合は、ライセンス提供等のオープン戦略も検討する。
- また、高温ガス炉以外の高温熱源との接続の可能性を閉ざすことがないよう、知財やノウハウに抵触しない範囲で、学会や論文等により成果を公開し、高温ガス炉以外の接続先候補の探索を継続的に行う必要があると認識している。

実証炉設計

- 原子力関連情報及び商業機密以外の内容については、本PJのプレゼンス向上のため、学会などにて内容の一部を発表を行う場合がありうる。
- 研究開発の成果により得られた知的財産権（以下「フォアグラウンドIP」という。）のうち、弊社ノウハウに深く基づき、その著作物に記載することによりノウハウが推定できるような情報についてはこれを秘匿する。それ以外のフォアグラウンドIPについては特許化（国内外）し、技術を保護したうえで公開し、最大限事業化に結びつけるものとするが、特許化の時期については事業環境を考慮して個別に判断する。

HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発接続設備機器の大型化に向けた概念設計燃料製造技術の開発

- 原子力機構は、中核企業等との契約に基づき、本事業を通じて確保した知的財産をニーズに応じて中核企業等を実施許諾する

カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディー

- 本事業は、三菱重工業が保有する自社技術を最大限活用し開発を進めているところであり、現時点では、取得データ、知財、ノウハウ等は三菱重工業が保有することとしている。
- 今後、本事業で開発された技術を技術供与する場合や、先鋭的な技術を保有するプレイヤーと連携する場合には、知財戦略を統括する知財委員会（仮称）を設置し、知財に関する合意文書を作成の上、知財委員会が中心となり、本事業が長期事業であることを鑑み、オープン／クローズの判断、知財の帰属先・価値算定等について、戦略的なマネジメントを行うこととする。

実証炉設計

- 本事業は受託者1者であるため、参加者間の知的財産の帰属及び実施許諾／事業終了後の権利・義務／体制変更への対応は不要。
- 特許出願は国内外で申請。

HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発
接続設備機器の大型化に向けた概念設計
カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディー
燃料製造技術の開発

- 世界各国の高温ガス炉開発ベンダーは、社会実装に向けた開発が加速している一方、高効率水素製造を可能とする900℃を超える熱供給は視野に入れていない。
- 本事業を通じて、高温ガス炉による900℃を超える熱供給により大量、安定的、経済的なカーボンフリー水素製造技術を確立することで競争力を構築し、デファクト標準を目指していく。

実証炉設計

- 標準化戦略としては、JAEAが実施する海外の高温ガス炉プロジェクトに対し、これまで国内開発で培った技術や本事業での国内実証炉開発での成果をもとにJAEAへの支援を念頭におく。

評価項目2. 目標及び達成状況

アウトカム指標・目標		目標達成の見込み
2030年度	超高温を活用したカーボンフリーな水素製造技術の確立 ・超高温を活用したカーボンフリーな水素製造技術の技術的成立性に見通しを得た上で、H T T Rとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術を確立	目標達成見込 ・接続技術の確立に向けて必要となるHTTR-熱利用試験施設の基本設計及び接続設備機器の開発のうち、2023年度分までを計画通りに完遂した
2050年度	将来の水素流通量2000万トン/年、水素コスト20円/Nm ³ （政府目標）に貢献 ・大量、安定的、経済的なカーボンフリー水素を供給 水素製造コスト約12円/Nm ³	目標達成見込 ・大量、安定的、経済的なカーボンフリー水素を供給接続技術の確立に向けて必要となる実施項目のうち、2023年度分までを計画通りに完遂した
(目標の設定（変更）理由・根拠等)		
「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（2021年6月18日経済産業省）に基づき設定		

費用対効果

本技術の効果発現の算定に必要なパラメータを本事業において確認・把握すること、及び、本技術の完成には本事業に続く新たな技術開発の実施が必要不可欠であることから、現時点で本事業の費用対効果を議論することは困難である。

そのため、妥当性の検討は定性的推論によらざるを得ないが、世界が脱炭素に舵を切る中、我が国の産業がグローバルサプライチェーンで生き残るために、ゼロカーボン水素を安定供給するために必要な技術開発として政策的インパクトの大きな事業である。

また、導入効果としては、高温ガス炉1基で完全水素還元製鉄が可能なシャフト炉1基を脱炭素することができる可能性がある。太陽光発電で水を電気分解した場合と比べ、必要敷地面積が約1,600分の1となり、高温ガス炉の高い安全性が実証されれば、産業プロセスに必要な熱供給と組み合わせた水素の地産地消の可能性はある。

2-2-1. アウトプット目標及び達成状況

アウトプット指標		アウトプット目標	達成状況
中間目標 2024年度	(A) H T T Rとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発	● HTTR 接続試験に向け、以下を確認して要素技術開発完了： ✓ 高温隔離弁：弁閉時間が80秒以内を見通せること（最新知見の反映） ✓ 高温断熱配管：配管の健全性を保つための熱伸び吸収量を見通せること（最新知見の反映） ✓ 水蒸気改質器：触媒管を2層以上配列し、水素製造量を予測できる解析コードを構築すること ✓ He循環機：触媒管を2層以上配列し、十分な流量を要素単位で見通せること（最新知見の反映）	達成見込み （要素技術に関し、試験及び解析によりアウトプット目標に対応した項目を確認予定）
	(B) 接続設備機器の大型化に向けた概念設計（実証炉設計で実施する）	● 実証炉仕様に合わせた開発工程、機器概念が見通せること。	達成見込み（試験計画策定、機器概念図）
	(C) カーボンフリー水素製造技術のフィジビリティスタディ	● カーボンフリー水素製造技術のFSを実施し、ボトルネックとなる技術の抽出と要素技術開発を実施	達成見込み （高温熱源接続に資する水素製造技術について、ボトルネック課題として入熱方法を抽出。SOECは2023年度より、メタン熱分解は2024年度より要素技術開発を開始）
(目標の設定（変更）理由・根拠)			
● アウトカム目標及び指標の達成に必要な接続設備機器に要求される性能、水素製造量評価技術の予測精度に対する要求、カーボンフリー水素製造技術の技術成熟度に基づき目標を設定			
● (A) H T T Rとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発に関し、最新知見を反映して性能要求を変更			
● (B) 実証炉開発事業（高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発）にて実施することから、実証炉仕様への適応に向けた目標に変更			

2-2-1. アウトプット目標及び達成状況

評価項目2

16

アウトプット指標		アウトプット目標	達成状況
中間目標 2027年度	(A)HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発	● 安全審査の結果を踏まえて、HTTR 接続水素製造システムの詳細設計及び主要機器製作を完了	－
	(B)接続設備機器の大型化に向けた概念設計（実証炉設計で実施する）	● 実証炉向け仕様に設計見直しを完了する。 ✓ 高温隔離弁：実証炉で要求される閉止速度を見通せること。 ✓ ペローズ付高温断熱配管：実証炉で要求される伸び吸収量を見通せること。 ✓ メタン水蒸気改質器：実証炉で要求される水素製造量を見通せること。 ✓ He循環機：実証炉で要求されるHe 流量を見通せること。	－
	(C)カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディ	● 水素製造技術を絞り込み、小規模な実証試験により技術コンセプトを確認（目標TRL:3）	－
最終目標 2030年度	(A)HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発	● 水素製造量評価技術を確立し、予想値と実測値の誤差±10%以内を見通せること	－
	(B)接続設備機器の大型化に向けた概念設計（実証炉設計で実施する）	● 基本設計が完了していること。	－
	(C)カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディ	● 技術コンセプトが確認された水素製造技術を対象に、脱炭素高温熱源との接続環境を想定し、システムレベルで技術を実証（目標TRL:5）	－
（目標の設定（変更）理由・根拠） ● アウトカム目標及び指標の達成に必要な接続設備機器に要求される性能、水素製造量評価技術の予測精度に対する要求、カーボンフリー水素製造技術の技術成熟度に基づき目標を設定 ● (A) HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発に関し、最新知見を反映して性能要求を変更 ● (B)実証炉設計に係る研究開発で実施することから、実証炉仕様への適応に向けた目標に変更			

2-2-2. 副次的成果・波及効果

評価項目2

17

- 本事業では、原子炉施設であるHTTRを改造するのみならず、一般産業プラントである水素製造施設を建設する。
- したがって、原子力分野のみならず一般産業分野のプラントメーカーや機器サプライヤ、解析エンジニアリング会社がプラント建設に参画する機会を創出し、新たなサプライチェーンや人材基盤の構築という副次的な効果が見込まれる。

年度	論文数	発表	国内特許出願	国外特許出願	PCT出願
2022年度	0件	7件	0件	0件	0件
2023年度	2件 (うち査読2件)	1件	0件	0件	0件

評価項目3． マネジメント

3-1-1. 実施体制 -R5年度実績-

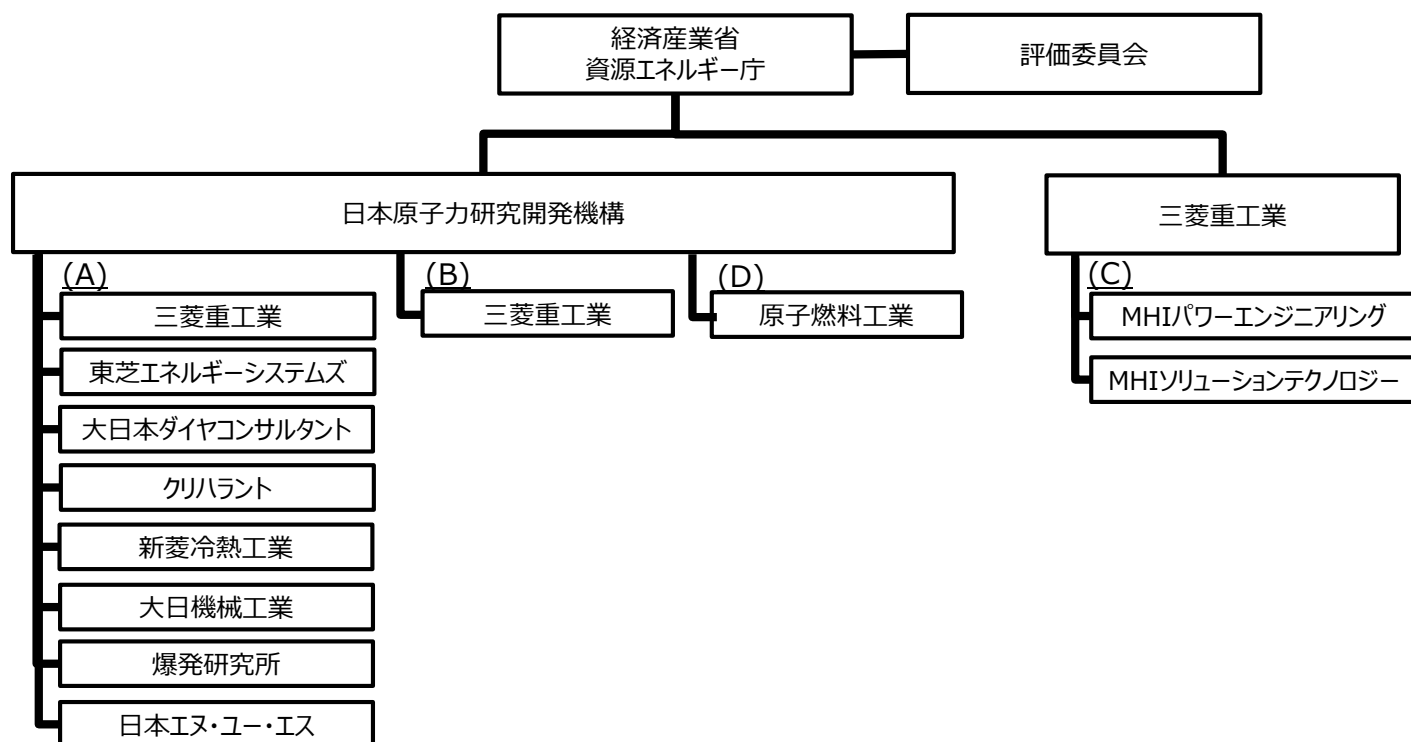
評価項目3

20

高温ガス炉実証炉開発事業（超高温を利用した水素大量製造技術実証事業）

(A) HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発、(B) 接続設備機器の大型化に向けた概念設計
(C) カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディ、(D) 燃料製造技術の開発、

- HTTRを有し、HTTRの設計、建設、運転保守を通じた高温ガス炉技術の知見を有するJAEAと高温ガス炉実証炉開発の中核企業である三菱重工業がコンソーシアムを形成して研究開発を進めている



3-1-1. 実施体制 -R5年度実績-

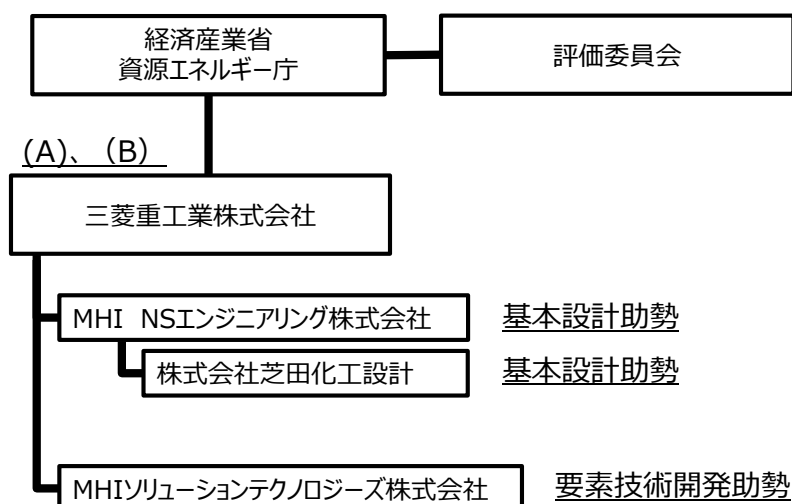
評価項目3

21

高温ガス炉実証炉開発事業（高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発）

(A) 高温ガス炉実証炉の基本設計、(B) 要素技術の開発

- 実施者のMHIは公募にて中核企業に選定。HTTR建設時の幹事会社兼1次冷却系などの主要部分を設計した実績などがあり高温ガス炉の知見を有している。1社取りまとめであるため指揮命令系統及び責任体制が明確となっており、有効に機能している。



■2022年度

○「高温ガス炉実証炉開発事業（超高温を利用した水素大量製造技術実証事業）」に係る入札可能性調査（公募）

【周知方法】経済産業省ホームページ（調査期間1ヶ月以上）

【参加資格】予算決算及び会計令第70条及び第71条の規定に該当しない者であること。

経済産業省からの補助金交付等停止措置又は指名停止措置が講じられている者ではないこと。

過去3年以内に情報管理の不備を理由に経済産業省との契約を解除されている者ではないこと。

【調査の体制】外部有識者3名による事業評価

【調査項目】特殊設備等(特殊な技術及びそれに係る知見、設備、データ、情報、知財並びに資格)が不可欠な理由

【結果の通知】事業者名を経済産業省ホームページで公表

■2023年度

○「高温ガス炉実証炉開発事業（高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発）」中核企業の選定に係る公募

【周知方法】経済産業省ホームページ（公募期間1ヶ月以上）

【応募資格】公募要領に定める事業内容・目的に合致する提案であること

日本に拠点を有していること

本事業を的確に遂行する組織、人員等を有していること

本事業を円滑に遂行するために必要な経営基盤を有し、かつ、資金等について十分な管理能力を有していること

予算決算及び会計令第70条及び第71条の規定に該当しないものであること

経済産業省からの補助金交付等停止措置又は指名停止措置が講じられている者ではないこと 等

【審査の体制】外部有識者6名で構成される委員会での審査

【審査の方法】審査基準に基づき総合的評価により審査

【交付決定通知】事業者名を経済産業省ホームページで公表

3-1-3. 研究データの管理・利活用

H T T Rとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発接続設備機器の大型化に向けた概念設計燃料製造技術の開発

- 2022年度及び2023年度は知財は発生しない
- 2024年度以降、原子力機構の「知的財産ポリシー」に従い、産業界等のニーズへの活用や外国企業からの模倣等による権利の侵害防止という点を重視し、中核的な技術を対象に開発成果を権利化する
- 研究開発で生じたデータベース、プログラム及びデジタルコンテンツは、特許等の取扱いの原則に準じて、組織的に管理・運用する

カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディ

- 2022年度及び2023年度は知財は発生しない
- 本事業は、三菱重工業が開発を進めており、取得データ、知財、ノウハウは当社が保有する
- 研究成果については、知財やノウハウに抵触しない範囲で、学会・論文等での公開を計画している（2022年度の超高温を利用した水素大量製造技術実証事業では、学会等にて3件口頭発表）

実証炉設計

- 研究開発で得られた成果は、オープン・クローズ戦略に則って管理し、必要に応じて特許化等による差別化を行ったうえで実証炉の実現及び将来の実用炉の供給に活用する。
- 管理体制整備の観点について、MHIでは技術・プロジェクト部門と独立して設置されている品質保証部が品質管理を所管しており、社内で原子力QMSを運用して適切に品質を確保する体制を構築。なお、MHIはQMSの運用においてはISO9001の認証を取得。

- 本事業は、2050年のカーボンニュートラルの実現には、国内のCO2総排出量の約25%を占める鉄鋼や化学を含む産業部門からの削減が必須であり、そのためには大規模かつ安価な水素供給が必要であり、その可能性を追求するための技術開発を委託事業として実施することが適切である。

3-3-1. 研究開発計画と進捗状況

〈研究開発進捗の概観〉

超高温を利用した水素大量製造技術実証事業 HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造 施設の接続技術開発 (A)

- HTTR-熱利用試験施設の基本設計のうち、技術開発計画及びプラント基本仕様を精緻化中。主要配管ルート及び主要機器の構造検討、水素製造施設の系統設計中
- 高温ヘリウム配管の断熱材データ取得試験中。高温隔離弁及びヘリウム循環機の試験装置検討中。水蒸気改質器の三次元詳細解析手法検討中。炉外技術開発試験装置水蒸気改質器の触媒管材料分析中

接続設備機器の大型化に向けた概念設計 (B)

- 高温隔離弁、高温ヘリウム配管、ヘリウム循環機及び水蒸気改質器の大型化に係る開発計画の具体化に向けた作業内容を詳細化するとともに構造を検討中

カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタ ディ (C)

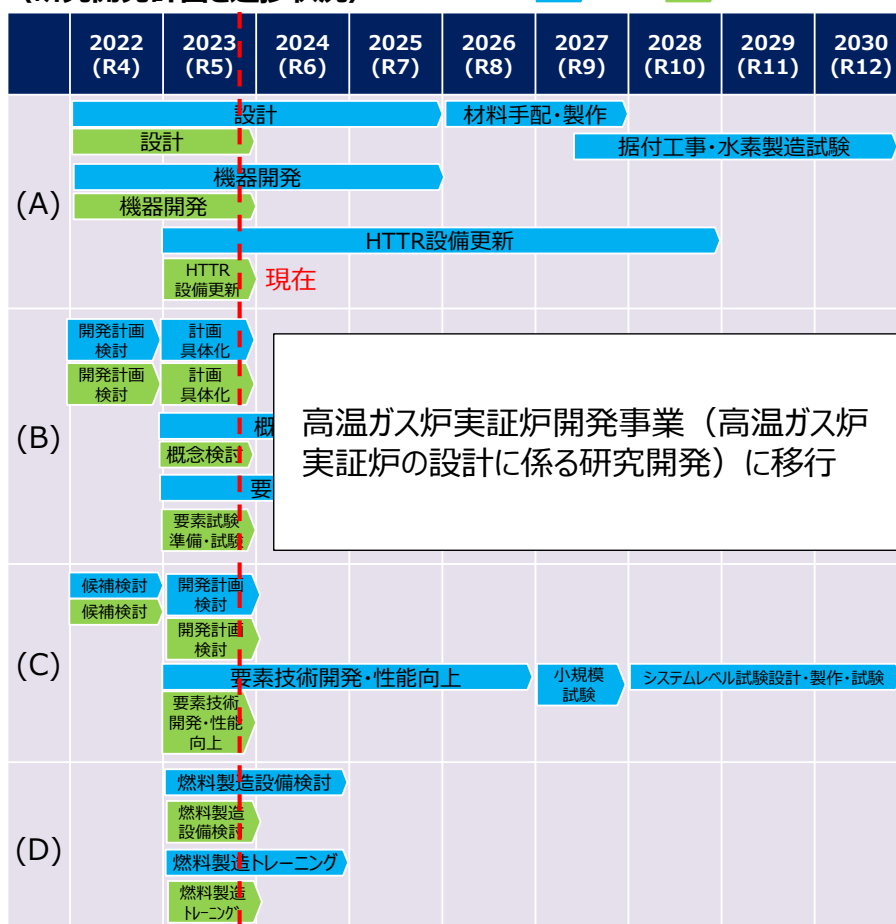
- 高温ガス炉を始め800℃以上の脱炭素高温熱源を利用可能な熱アシスト型高温水蒸気電解法、IS法、メタン熱分解法の全体系統図、熱物質収支を評価中

燃料製造技術の概念検討 (D)

- 実績の10倍以上の製造能力を有する燃料製造及び品質検査設備の設計図書整備並びにHTTR燃料製造装置の再稼働に向けた不具合個所の特定と修理方法検討中

〈研究開発計画と進捗状況〉

■ 予定 ■ 実績



高温ガス炉実証炉開発事業（高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発）に移行

＜研究開発進捗の概観＞

＜研究開発計画と進捗状況＞

予定 実績

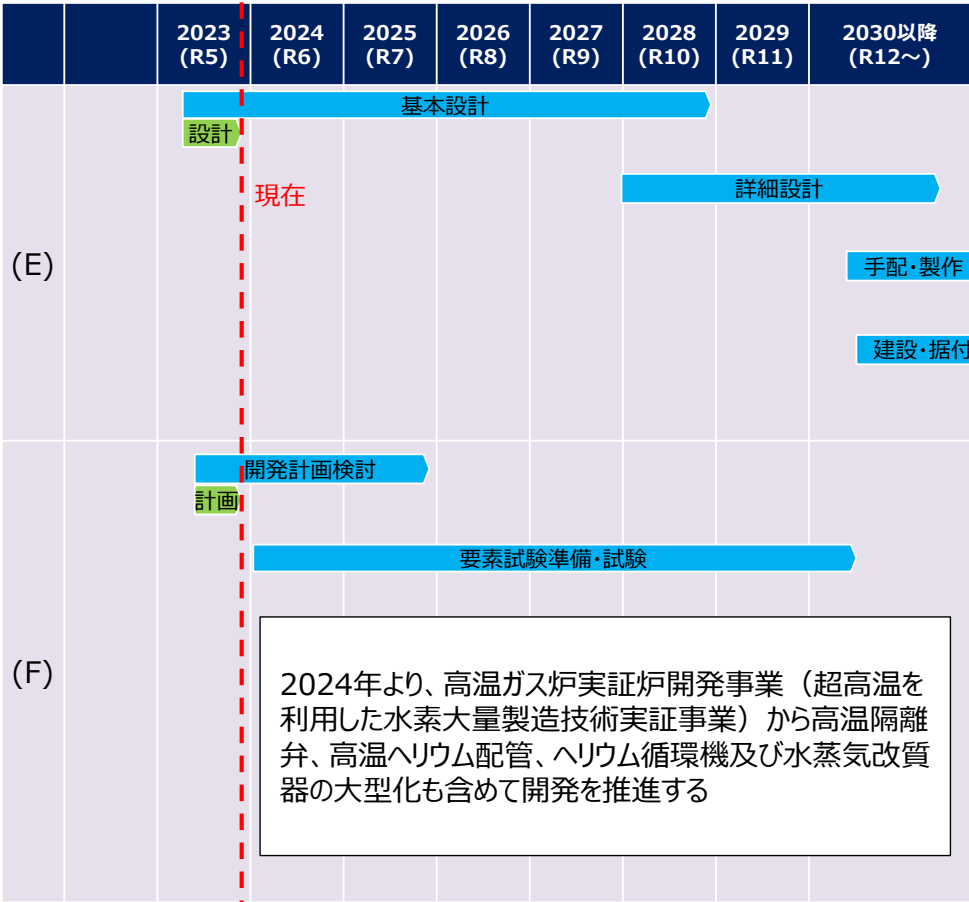
高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発

高温ガス炉実証炉の基本設計（E）

- 高温ガス炉実証炉の基本設計のうち、実証炉のコンセプト検討とシステム設計を推進。コンセプトのベースとなるプラント設計条件の仮設定や安全計画・安全保護の考え方等を整理し、プラント基本構成を検討中。

要素技術の開発（F）

- 実証炉の実現に必要な開発項目を整理し、開発計画を策定中（中間熱交換器製作性検証や長期材料データの取得試験等）



3-3-2. 進捗管理

HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発
接続設備機器の大型化に向けた概念設計
燃料製造技術の開発

	役割
高温ガス炉プロジェクト推進室長 （補佐：高温ガス炉プロジェクト推進室次長）	● プロジェクトの全体総括 ● 外部機関の助言や見解に従い、計画や開発の方向性を判断 ● 予算、スケジュール、品質及び人的リソース管理等、プロジェクト全般をマネージ
グループリーダー、課長	● 各テーマの目標達成に向け、技術開発をマネージ ● 室長の指示に基づき、グループ員又は課員を指導
グループ員、課員	● グループリーダー又は課長の指示に基づき、各テーマの目標達成に向け、業務を遂行

カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディ
実証炉設計

	役割
先進炉技術部長	● プロジェクトの全体総括
プロジェクトマネジャー	● 各テーマの目標達成に向け、事業進捗をフォローし、技術開発をマネージ
技師、研究員	● プロジェクトマネジャーの指示に基づき、目標達成に向け業務遂行

3-3-3. 外部環境変化の確認状況

a:市場ニーズの把握：2050年カーボンニュートラルに向けた取組が進められているため、ニーズは高い状況を維持している（確認頻度：4）

b:競合技術動向の把握：米国、中国で高温ガス炉開発が進められているが、発電目的で温度も低いため、脅威にはならない（確認頻度：4）

c:規制・標準化動向の把握：高温ガス炉実証炉の規制は事業主体が決定され、事業主体が原子力規制庁と協議を開始することによって進展するため、現状では進捗無し。標準化に関してはJAEA主導で原子力委員会（安全）と機械学会（構造設計）で協議が開始された。（確認頻度：4）

d:政策動向：2050年カーボンニュートラルに向け、原子力・水素製造共に推進する方向から変更なし（確認頻度：4）

e:他事業との関係性の把握：関係する他事業なし（確認頻度：4）

f:事業見直しの必要性調査：a～eを踏まえると不要（確認頻度：4）

※1 【確認項目】

- a:市場ニーズの把握
- b:競合技術動向の把握
- c:規制・標準化動向の把握
- d:政策動向の把握
- e:他事業との関係性の把握
- f:上記a～eを踏まえた事業見直しの
必要性調査

※2 【確認頻度】

4: 定期的に実施している
3: 実施したことがある
2: 実施を予定している
1: 実施予定なし

3-3-4. 継続・中止の判断の要件・ステージゲート方式

●現在、順調に進捗しているが、今後、進捗管理の結果、開発の進捗が著しく遅れたりアウトプット目標達成が大幅に困難と認められる場合は、プロジェクト内容の変更を柔軟に検討する

- (A) H T T R とメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発
(B) 接続設備機器の大型化に向けた概念設計
(C) カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディー
(D) 燃料製造技術の概念検討
(E) 実証炉設計

	2022 (R4)	2023 (R5)	2024 (R6)	2025 (R7)	2026 (R8)	2027 (R9)	2028 (R10)	2029 (R11)	2030 (R12)
(A)	設計				材料手配・製作				
	機器開発・製作性確認					据付工事・水素製造試験			
	HTTR設備更新								
(B)	開発計画 検討	計画具体化	高温ガス炉実証炉開発事業（高温ガス炉実証炉の設計に係る研究開発）に移行						
(C)	候補検討	開発計画検討	要素技術開発・性能向上				小規模試験	システムレベル試験設計・製作・試験	
(D)	設計図書整備	モジュール概念検討							
	修理方法検討	修理・トレーニング							
(E)	設計・要素技術開発								

前回評価時（2021年度）の問題点・改善すべき点

（評価WG：事前評価）

- ① 2030年までに達成する成果が、2050年のアウトカム目標である水素製造コストにどう貢献していくのかが分かるよう、計画をより具体化して行く段階で、各評価時点において検証可能な目標を設定すること
- ② 当該事業は委託として長期事業となることから、事業戦略の一環として知財化を進めることが重要となる。そのため明確な知財戦略を構築し、都度、見直しを行いながら戦略的に事業を進めること

（対応状況）

- ① 水素製造コストへの影響が大きく、実用プラント設計に係るパラメータを抽出し目標を設定するとともに、各評価時点において目標の達成度を検証する
 - カーボンフリー水素製造技術については、水素製造技術選定のための評価指標案の検討を2023年度に着手した。今後、水素製造技術の評価を進めていく予定。
- ② (A) HTTRとメタン水蒸気改質法による水素製造施設の接続技術開発
 (B) 接続設備機器の大型化に向けた概念設計
 - 標準化戦略との連携を考慮したオープン・クローズ戦略を定めるとともに（1-3-1.～1-3-3）、事業を進める上で必要な許認可取得に際し、設計の妥当性の根拠として利用する研究データの第三者の専門家査読を必要とする論文にとりまとめ投稿を進めた。
- (C) カーボンフリー水素製造技術のフィージビリティスタディー
 - 本事業が長期事業であることを鑑み、オープン／クローズの判断、知財の価値算定等について、戦略的なマネジメントを行っていく（1-3-1.～1-3-3）。なお、2023年度の事業開始段階では再委託先との共同開発を予定していたが、自社技術を活用し開発を進める体制へ変更したため、再委託先と知財戦略を統括する知財委員会（仮称）は設置していない。今後、本事業で開発された技術を技術供与する場合や、先鋭的な技術を保有するプレイヤーと連携する場合には、知財委員会を設置する。

（特許・論文・発表リスト）

【論文リスト】

番号	件名	公表先	公表時期
1	Development Plan for Coupling Technology Between High Temperature Gas-cooled Reactor and Hydrogen Production Facility Utilizing the HTTR (1)Overview of the HTTR Heat Application Test Plan to Establish High Safety Coupling Technology	第30回原子力工学国際会議(ICONE30)	2023年5月
2	Development Plan for Coupling Technology Between High Temperature Gas-cooled Reactor HTTR and Hydrogen Production Facility (2)Development Plan for Coupling Equipment Between HTTR and Hydrogen Production Facility	第30回原子力工学国際会議(ICONE30)	2023年5月

【発表リスト】

番号	件名	公表先	公表時期
1	超高温を利用した水素大量製造技術の開発 その1 (1) 超高温を利用した水素大量製造技術実証事業の全体概要	原子力学会2022年秋の大会	2022年9月
2	超高温を利用した水素大量製造技術の開発 その1 (2) 超高温を利用した水素製造技術のフィージビリティスタディ	原子力学会2022年秋の大会	2022年9月
3	超高温を利用した水素大量製造技術の開発 その1 (3) HTTRを活用した高温ガス炉と水素製造施設の接続試験計画	原子力学会2022年秋の大会	2022年9月
4	超高温熱を利用した水素大量製造技術の開発 その2 (1) 高温ガス炉と水素製造施設の接続設備機器の設計と開発計画	原子力学会2023年春の年会	2023年3月
5	超高温熱を利用した水素大量製造技術の開発 その2 (2) HTTR-熱利用試験施設の2次ヘリウム冷却設備設計	原子力学会2023年春の年会	2023年3月
6	超高温を利用した水素大量製造技術の開発 その2 (3) 超高温を利用した水素製造技術のフィージビリティスタディ	原子力学会2023年春の年会	2023年3月
7	高温ガス炉と水素製造施設の接続技術開発 -HTTR-熱利用試験計画	第27回動力・エネルギー技術シンポジウム	2023年9月
8	高温ガス炉を用いた水素製造	SOEC課題共有フォーラム	2022年11月

【発表リスト】

番号	件名	公表先	公表時期
9	我が国の高温ガス炉実証炉開発計画 中核企業としての取組み	高温ガス炉プラント研究会（RAHP）第18 回 定期講演会	2024年1月
10	水素製造に向けた高温ガス炉の開発について	令和5 年度 大口自家発電施設者懇話会 第 2 回合同委員会	2024年2月