

平成24年度 研究開発・評価報告書
評価課題「高温ガス炉及び水素製造研究開発」
(中間評価)

Assessment Report Research and Development Activities
Activity: "Research and Development on High-temperature Gas-cooled Reactor
and Hydrogen Manufacturing Technology"
(Interim Report)

原子力水素・熱利用研究センター
Nuclear Hydrogen and Heat Application Research Center

May 2014

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Evaluation

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

平成 24 年度 研究開発・評価報告書
評価課題「高温ガス炉及び水素製造研究開発」
(中間評価)

日本原子力研究開発機構
原子力水素・熱利用研究センター

(2014 年 2 月 17 日受理)

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成 20 年 10 月 31 日内閣総理大臣決定）の下に、整備された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」（平成 21 年 2 月 17 日文部科学大臣決定）及び原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」（平成 17 年 10 月 1 日制定、平成 21 年 8 月 19 日改定）等に基づき、高温ガス炉及び水素製造研究開発に関する中間評価を高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会に諮問した。

高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会は、高温ガス炉システムとこれによる水素製造技術の研究開発に関する第 2 期中期計画（平成 22 年 4 月から平成 27 年 3 月）に対して、平成 22 年 4 月から 3 年が経過した時点で、中間評価を実施した。本中間評価は、原子力機構、原子力水素・熱利用研究センターが提出した資料に基づき行われた。その結果、HTTR 炉心流量喪失解析シミュレーション、小型高温ガス炉水素製造システムの概念設計、IS プロセス健全性確証のための硫酸分解器の製作、プロセスデータ充足などの成果により着実な進捗が認められ、平成 20～24 年度の活動に対する中間評価は、高温ガス炉及び水素製造に関して A と評価された。その後、本評価結果は、平成 25 年 4 月 23 日に、高温ガス炉及び水素製造研究開発中間評価報告書（以下「中間評価報告書」という）としてまとめられた。

本報告書では、高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会の構成、審議概要、評価方法について記載し、同委員会により提出された「中間評価報告書」を収録している。

Assessment Report Research and Development Activities
Activity: “Research and Development on High-temperature Gas-cooled Reactor and
Hydrogen Manufacturing Technology”
(Interim Report)

Nuclear Hydrogen and Heat Application Research Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received February 17, 2014)

Japan Atomic Energy Agency (hereinafter referred to as “JAEA”) consults an assessment committee, “Evaluation Committee of Research Activities for High-temperature Gas-cooled Reactor and Hydrogen Manufacturing Technology” (hereinafter referred to as “Evaluation Committee”) for interim assessment of “High-temperature Gas-cooled Reactor and Hydrogen Manufacturing Technology” in accordance with “General Guideline for the Evaluation of Government Research and Development (R&D) Activities” by Cabinet Office, Government of Japan, “Guideline for Evaluation of R&D in Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology” and “Regulation on Conduct for Evaluation of R&D Activities” by JAEA.

An interim assessment of R&D activities in accordance with the second midterm plan “R&D on High-Temperature Gas-Cooled Reactor and Hydrogen Manufacturing Technology Incorporating Them” by JAEA during the period of three years from April 2010 was carried out by Evaluation Committee. The assessment was carried out based on the explanatory documents submitted by Nuclear Hydrogen and Heat Application Center, JAEA. As a result, the interim assessment to R&D activities from FY2008 to FY2012 was estimated as A about a High-Temperature Gas-Cooled Reactor and Hydrogen Manufacturing Technology. An interim assessment report “R&D on High-Temperature Gas-Cooled Reactor and Hydrogen Manufacturing Technology” was finalized by the Evaluation Committee.

Keywords: Midterm Goal, Midterm Plan, Interim Assessment, High-temperature Gas-cooled Reactor, Hydrogen Manufacturing Technology

目 次

1. 概要	1
2. 高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会の構成	2
3. 審議概要	2
4. 評価方法	2
5. 評価結果（中間評価報告書）	3

Contents

1. Outline	1
2. Evaluation Committee of Research Activities for High-Temperature Gas-Cooled Reactor and Hydrogen Manufacturing Technology	2
3. Status of assessment	2
4. Procedure of assessment	2
5. Result of assessment (Interim Assessment Report)	3

This is a blank page.

1. 概要

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成 20 年 10 月 31 日内閣総理大臣決定）の下に、整備された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」（平成 21 年 2 月 17 日文部科学大臣決定）及び原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」（平成 17 年 10 月 1 日制定、平成 21 年 8 月 19 日改定）等に基づき、更に平成 24 年 12 月 6 日の「国の研究開発評価に関する大綱的指針」改定を受けた文部科学省における研究開発評価システム改革の動きも確認しながら、高温ガス炉及び水素製造研究開発に関する中間評価を高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会に諮問した。

高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会は、高温ガス炉システムとこれによる水素製造技術の研究開発に関する第 2 期中期計画（平成 22 年 4 月から平成 27 年 3 月）に対して、平成 22 年 4 月から 3 年が経過した時点で、中間評価を実施した。評価は、原子力機構原子力水素・熱利用研究センターが提出した資料に基づき行われた。

その結果、温室効果ガスを排出しない熱源として水素製造等における熱需要に応えることができるように、高温ガス炉高性能化技術及び水の熱分解による革新的水素製造技術の研究開発を行うという明確な目標を掲げて技術開発を推進する第 2 期中期計画における企図が、HTTR 炉心流量喪失解析シミュレーション、小型高温ガス炉水素製造システムの概念設計、IS プロセス健全性確証のための硫酸分解器の製作、プロセスデータ充足などの成果を得た着実な推進が評価された。併せて、ユーザー獲得に向けた取り組みについても着実な継続が評価された。

このような状況の下で、平成 20～24 年度の活動に対する中間評価は、高温ガス炉及び水素製造に関して A 評価とされた。また、平成 25、26 年度に向けた取り組みに関しては、高温ガス炉については本質安全の確証を計画通りに推進すること、水素製造については産業界と連携して開発を進めること、等のコメントが出された。

本評価結果は、平成 25 年 4 月 23 日に、高温ガス炉及び水素製造研究開発中間評価報告書（以下「中間評価報告書」という）としてまとめられた。

本報告書では、高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会の構成、審議概要、評価方法について記載し、同委員会により提出された「中間評価報告書」を 5 ページ以降に添付したものである。

2. 高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会の構成

高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会は、以下の 10 名により構成される。

氏 名	区 分	所 属・職 位
門出 政則	委員長	佐賀大学大学院 工学系研究科 教授 佐賀大学 海洋エネルギー研究センター長
藤井 康正	委員長代理	東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻 教授
加藤 之貴	委 員	東京工業大学 原子炉工学研究所 エネルギー工学部門 准教授
中尾 安幸	委 員	九州大学大学院 工学部 エネルギー量子工学専攻 教授
久保田 健一	委 員	(株) 東芝 電力システム社 原子力事業部 技監
白神 誠一	委 員	(株) トクヤマ 顧問
細野 恭生	委 員	千代田化工建設 (株) プロジェクト開発事業本部 技術開発ユニット GM 理事
守谷 隆史	委 員	(株) 本田技術研究所 四輪 R & D センター 第 5 技術開発室 上席研究員
吉江 淳彦	委 員	新日鐵住金 (株) 執行役員 鉄鋼研究所長
遠山 眞	委 員	三菱重工業 (株) 原子力事業本部 副本部長

3. 審議概要

(1) 高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会開催：平成 25 年 1 月 15 日

- 原子力機構、原子力水素・熱利用研究センターが提出した資料に基づき、評価が行われた。
- 委員会開催後、委員の意見が集約され、報告書案が作成された。

(2) 中間評価報告書のまとめ：平成 25 年 4 月 23 日

- 報告書案に対する委員全員のレビューが行われ、これらを踏まえて、報告書が完成した。

4. 評価方法

中間評価の対象は、原子力水素・熱利用研究センターにおける研究活動全般であり、以下の領域に分けて評価を行った。

- (1) 高温ガス炉及び水素製造研究開発の全体的位置づけについて(第Ⅱ期中期計画)
- (2) 平成 20-24 年度までの実績について (全般)・中間評価

- (3) 平成 24 年度実績について
- (4) 平成 25、26 年度の計画について

5. 評価結果（中間評価報告書）

高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会報告書
「高温ガス炉及び水素製造研究開発中間評価報告書」

This is a blank page.

高温ガス炉及び水素製造研究開発 中間評価報告書

平成 25 年 4 月

高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会

目 次

1. はじめに.....	7
2. 総合所見	9
3. 中間評価	10
3. 1 中間評価の方法	10
3. 2 中間評価の対象	10
3. 3 中間評価の対象期間	10
4. 中間評価結果	11
4. 1 平成 20-24 年度までの実績について	11
4. 2 全体評価及び平成 25 年度以降に向けて必要な視点等	13
参考資料 高温ガス炉及び水素製造研究開発評価と原子力機構の措置	15

1. はじめに

高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発を国内外の中核機関として主導することを目的に、平成 22 年 2 月 1 日に原子力水素・熱利用研究センターが発足した。この原子力水素・熱利用研究センターでは、第 2 期中期計画(平成 22 年 4 月 1 日～平成 27 年 3 月 31 日)において、以下の活動を行うこととされている。

原子力エネルギー利用の多様化として、温室効果ガスを排出しない熱源として水素製造等における熱需要に応えることができるように、高温ガス炉高性能化技術及び水の熱分解による革新的水素製造技術の研究開発を行う。

- 高温工学試験研究炉(HTTR)を用いて、安全性実証試験、核熱供給試験等を実施し、限界性能データ等の取得により高温ガス炉水素製造システムの安全設計方針を策定する。併せて、小型高温ガス炉の概念設計により、システム設計の妥当性、炉心核熱流動設計の妥当性、プラント補助設備等の技術的成立性を示す。

- IS プロセスの実用装置材料を用いた反応器について、実環境(腐食性環境、高圧環境)に耐える機器・設備を開発し、健全性を確認する。また、水素製造効率 40%を可能とするプロセスデータを充足する。

平成 25 年度に、上述の技術目標の達成度に関する評価結果と実用化計画において実証炉の基本設計以降を実施する主体の存在の有無により、原子力水素製造(HTTR-IS)試験計画への移行の可否について判断を受ける。

高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会は、「高温ガス炉とこれによる水素製造技術研究開発」に関する中間評価を行うようにとの理事長からの諮問を受け、5 年間の第 2 期中期計画の 3 年が経過する時点での中間評価として、上記の活動を評価し、原子力水素・熱利用研究センター長に意見を述べるために、平成 25 年 1 月 15 日に高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会を開催した。原子力水素・熱利用研究センターから提出された資料に基づき、平成 20 年度から 24 年度までの事後評価、特に、平成 24 年度の事後評価、並びに、平成 25、26 年度の計画を含めた情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方などについて事前評価を行った。

委員会開催後、委員の意見を集約し、報告書案を作成し、報告書案に対する委員全員によるレビューを行い、これらを踏まえて、本報告書を完成させた。社会のニーズ・状況、特に、福島原発事故を受けて、安全性を高めた小型高温ガス炉や、核不拡散性に優れた燃焼方式等、原子力機構自ら、研究開発を進めていくことを明確にすべきである。本研究・評価委員会による中間評価結果が、高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発のさらなる発展に役立てられることを切に願う。

本研究・評価委員会の委員各位には、多忙を極める中で、非常に熱心に評価活動

を進めていただいた。そのご尽力に対して、ここに深甚なる謝意を表する。

平成 25 年 4 月 23 日
高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会
委員長 門出 政則

2. 総合所見

高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発は、原子力エネルギー利用の多様化を図る上で極めて重要である。本研究開発では第 2 期中期計画において、温室効果ガスを排出しない熱源として水素製造等における熱需要に応えることができるように、高温ガス炉高性能化技術及び水の熱分解による革新的水素製造技術の研究開発を行うという明確な目標を立て、技術開発を推進する企図が、HTTR 炉心流量喪失解析シミュレーション、小型高温ガス炉水素製造システムの概念設計、IS プロセス健全性確証のための硫酸分解器の製作、プロセスデータ充足などの成果を得て、着実に推進されていると評価できる。併せて、ユーザー獲得に向けて着実な取り組みを継続しており評価できる。

このような状況の下で、平成 20～24 年度の活動に対する中間評価は、高温ガス炉および水素製造に関して A 評価(設定目標を達成、または目標を上回る実績を上げた。目標達成度が 100%以上)とした。

平成 25、26 年度に向けた取り組みに対しては、以下のコメントを付す。

- ・ 高温ガス炉については、安全性の確保を含めて環境が整った後の HTTR 再稼働後、炉心流量喪失、炉心冷却喪失などの安全性確証試験等、本質安全の確証を計画通り推進して欲しい。他国における当該テーマの研究開発も進んでおり、安全性確保を第一にしつつも、予定通りの試験再開が望まれる。また、放射性物質の閉じ込め機能の優位性など安全性の特徴をもっと説明すべきである。
- ・ 水素製造については、競合技術との関係で信頼性の高いシステムの構築が望まれており、産業界が中心となって平成 25 年度から国のプロジェクトとして実施されるエネルギーキャリアプロジェクトの水素製造技術に、IS プロセスが選択されたことは、IS プロセスにとって大きな業績であると評価できる。反応系機器の健全性確証やプロセスデータの取得を継続的に実施するとともに、産業界と連携して開発を進めることが期待される。
- ・ いずれも次ステップへの移行可否を判断する重要な試験であり、確実に実行してもらいたい。

原子力水素・熱利用研究センターは、予算と人員という制約条件の中で、センター長、副センター長、ユニット長及びグループリーダーの適切な指導の下、大洗研究開発センター高温工学試験研究炉部などとの有機的な連携を図りながら多くの成果を挙げていると評価でき、今後も原子力水素の世界の拠点として実り多い成果が期待できる。人材と技術水準の維持に留意しつつ、社会のニーズ・状況、特に、福島原発事故を受けて、原子力機構自ら、本質的安全高温ガス炉、クリーン燃焼高温ガス炉、革新的水素製造技術等の研究開発を継続して進めていくことを明確にすべきであると考えらる。

3. 中間評価

3.1 中間評価の方法

表1に示す委員で構成される高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会で中間評価を実施する。

表1 高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会委員一覧表

	氏 名	所 属・職 位
委員長	門出 政則	佐賀大学大学院 工学系研究科 教授 佐賀大学 海洋エネルギー研究センター長
委員長代理	藤井 康正	東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻 教授
委 員	加藤 之貴	東京工業大学 原子炉工学研究所 エネルギー工学部門 准教授
委 員	中尾 安幸	九州大学大学院 工学部 エネルギー量子工学専攻 教授
委 員	久保田 健一	(株)東芝 電力システム社 原子力事業部 技監
委 員	白神 誠一	(株)トクヤマ 顧問
委 員	細野 恭生	千代田化工建設(株) プロジェクト開発事業本部 技術開発ユニット GM 理事
委 員	守谷 隆史	(株)本田技術研究所 四輪R&Dセンター 第5 技術開発室 上席研究員
委 員	吉江 淳彦	新日鐵住金(株) 執行役員 鉄鋼研究所長
委 員	遠山 眞	三菱重工業(株) 原子力事業本部 副本部長

3.2 中間評価の対象

研究開発評価の対象は、原子力水素・熱利用研究センターにおける研究活動全般であり、以下の領域に分けて評価を行う。

- (1) 高温ガス炉及び水素製造研究開発の全体的位置づけについて(第Ⅱ期中期計画)
- (2) 平成 20-24 年度までの実績について(全般)-中間評価
- (3) 平成 24 年度実績について
- (4) 平成 25、26 年度の計画について

3.3 中間評価の対象期間

研究開発評価の対象期間は平成 20 年 9 月～平成 25 年 3 月とし、併せて、平成 25、26 年度における計画も対象とする。

4. 中間評価結果

4. 1 平成 20-24 年度までの実績について

添付の参考資料1「1. H20-24 年度までの実績評価」に委員の評価コメントと評価結果を示す。

高温ガス炉及び水素製造の項目について、

- ・ 特に優れた成果を上げている項目・要素
- ・ より高い成果の望まれる、あるいは位置づけについて再検討の必要な項目・要素
- ・ 欠落/不足しており拡充が必要な要素

の観点から評価した。以下に評価結果を整理して記す。

4. 1. 1 高温ガス炉

(1) 特に優れた成果を上げている項目・要素

- ・ 高温ガス炉の連続運転の実証と、30%負荷からの炉心流量喪失試験を実施し、その安全性を確認できたこと。それらの結果を利用し、シミュレーションでの安全設計に向けた検討が進め、高温ガス炉の健全性と安全性を実証したこと。
- ・ 世界へのガス炉技術の普及への準備を進めたこと。
- ・ 施設健全性の総合評価を短期間で実施し、報告書を提出したこと、HTTR の補修についても実施見込みであること
- ・ 小型高温ガス炉のプラント補助設備等の検討を行い、設計検討書を作成したこと。特に VCS、IHX の設計検討では具体的な設計指針を確立させたことは評価できる。安全性と経済性の向上を両立させる安全系の受動化範囲拡大の検討。
- ・ 震災以後、柔軟に計画を見直し、安全性の実証に重点化した研究を進め、安全設計方針の策定にも着手したこと。本技術の安全性を科学的に評価し、発信していく姿勢が重要である。

(2) より高い成果の望まれる、あるいは位置づけについて再検討の必要な項目・要素

- ・ 高温ガス炉の安全性や優位性を確立するための検証。
- ・ 高温ガス炉と水素製造施設とのシステムとしての連成の検証—両施設間の放射性物質の遮断。
- ・ 小型炉の場合において、需要のカバー範囲、需要家数が小さいことに起因する熱・電気負荷の時間変動率の増大に対応した工夫。
- ・ さらなる種々の条件での冷却材喪失試験を終了し、高温ガス炉の安全性をより明確にすること。
- ・ 実社会への普及のための実用利用モデルの検討。

- ・高温ガス炉の実用化時期を考慮し、最新の軽水炉だけではなく、安全性と経済性を更に向上させた次世代軽水炉(の達成目標)をも対象とした比較。
- ・高温ガス炉で最も期待される安全性に関して、システムティックで誰もが納得できる理論付けと着実な実証。
- ・先ずは実証を推進することが重要。
- ・本質的な安全性を開発・実用化でアピールする観点から、高温ガス炉水素製造システムの安全設計方針において更に高い目標へのチャレンジ。

(3) 欠落/不足しており拡充が必要な要素

- ・震災後の原子力規制の見直しに伴って炉心流量喪失試験ができなかった点について、今後の速やかな検証。
- ・現状の安全性確認評価における閾値について、製品のバラツキや安全率等の考え方を考慮して判断できる様にすることで、より本質安全の精度を上げる様な取り組みが必要。
- ・放射性物質についても、純化設備の信頼性も含め評価することで、本質安全の向上を図るべき。
- ・個々の装置、要素技術についての研究にとどまらず、プロセス全体を一貫して評価する手法の検討。

これらの検討結果から、1名の委員がS、9名の委員がAと評価し、総合的にはA評価とした。

4. 1. 2 水素製造

(1) 特に優れた成果を上げている項目・要素

- ・反応器の簡素化に向けての材料開発、硫酸を分離する新たな装置開発に成果を上げたこと。
- ・反応に関する検討を化学の専門分野と協力して進めていること。
- ・実用装置材料を用いた反応系機器の健全性の確認。
- ・効率に関するプロセスデータの継続的充足により、効率向上に向けた知見が得られたこと。
- ・ヨウ化水素分解反応器の簡素化と、ヨウ化水素濃縮器での陰極室での硫黄析出の知見を取得できたこと。
- ・ブンゼン系は所定の実験により課題と対応の見通しが得られたこと。

(2) より高い成果の望まれる、あるいは位置づけについて再検討の必要な項目・要素

- ・装置のスケールアップが水素製造効率に及ぼす影響の定量的検討など、総合効率の明確化。

- ・ 目標とする水素製造効率(40%)について、競合する他の方法における技術開発の進捗や化石燃料価格の推移を踏まえた定期的な再確認、見直し。
- ・ フッ素樹脂被覆の剥離について、熱サイクルを重視した試験のみならず、水蒸気の浸透による剥離の発生の観点からの確認のための経時的な変化のテスト。
- ・ 硫酸分解系、HI 分解系ともまだ所定の成果が上がっていない。また、3 系を繋いだ連続的運転での、総合効率 40%以上を達成できる見込みの早期達成。

(3) 欠落/不足しており拡充が必要な要素

- ・ 硫酸分解反応における(硫酸+水)2成分系の伝熱特性の把握。
- ・ IS プロセスと他の水素製造方法との比較。同プロセスと他の高温熱多目的利用プロセスとの比較。
- ・ 実用化を見通すため、化学反応効率等の観点からのプラント規模(装置容量)のスケールアップ効果の検討。
- ・ 更なる効率向上のため、リサイクル量を画期的に低減するプロセスの検討。
- ・ 反応器について、多面的な評価の計画的推進。同時に効率評価は、最終的な連携運転が必須であり、水素製造プロセスのみでの連携運転が可能かも含めた検討。

これらの検討結果から、1 名の委員が A+、9名の委員が A と評価し(うち 1 名は条件付き)、総合的には A 評価とした。

4. 1. 3 総合評価

1 名の委員が S、9名の委員が A と評価し(うち 1 名は条件付き)、総合評価は A 評価とした。

4. 2 全体評価及び平成 25 年度以降に向けて必要な視点等

(1) 全体評価

本評価については、下記の4項目の観点から評価した。

- 高温ガス炉及び水素製造研究開発の全体的位置づけについて(第Ⅱ期中期計画)
- 平成 20-24 年度までの実績について(全般)-中間評価
- 平成 24 年度実績について(全般)
- 平成 25、26 年度の計画について(全般)

(2) 平成 25 年度以降に向けて必要な視点

本評価については、下記の 5 項目の観点から評価した。

- マネージメント全般について

- 産業界との連携について
- 国際的な連携・分担について
- 研究開発環境と資源配分について
- 震災を受けて追加する課題について
- ユーザーの獲得に向けて

また、その他の項目を設け、全般的なコメントを付した。

上記に関する各委員からのコメントを集約し、それらに対して原子力機構の対応を措置(案)としてとりまとめたものを、添付の参考資料1の「2. 全体評価及び平成 25 年度以降に向けて必要な視点等」に示す。

参考資料

高温ガス炉及び水素製造研究開発評価と原子力機構の措置

1. H20-24 年度までの実績評価(中間評価)

H20-24 年度までの実績評価(中間評価)		評価
高温ガス炉	特に優れた成果を上げている項目・要素	
	・ 設定された目標を着実に達成している。例えば、(1)30%出力の炉心流量喪失試験とその結果を利用した全量喪失の場合のシミュレーション解析の実施, (2)健全性と安全性の検証, (3)核燃料の優位性 ・ 冷却材喪失試験を終了し、高温ガス炉の安全性を実証したこと。 ・ 小型高温ガス炉の概念設計を進め、世界へのガス炉技術の普及への準備を進めたこと。 ・ 施設健全性の総合評価の実施と報告書提出、HTTR の補修、等。 ・ 安全性と経済性の向上を両立させる安全系の受動化範囲拡大の検討。 ・ 小型高温ガス炉のプラント補助設備等の検討を行い、設計検討書を作成したこと。 ・ 小型高温ガス炉の概念設計、特に VCS、IHX の設計検討では具体的な設計指針を確立させたことは評価できる。 ・ 高温ガス炉の連続運転の実証と、30%負荷からの炉心流量喪失試験を実施し、その安全性を確認できたことは大きな成果であると考ええる。その後、シミュレーションでの安全設計に向けた検討が進んだことも成果の一つであると考ええる。 ・ 震災以後、柔軟に計画を見直し、安全性の実証に重点化した研究を進	A A S A A A A A A A

		め、安全設計方針の策定にも着手した。本技術の安全性を科学的に評価し、発信していく姿勢が重要である。 ・施設の健全性評価を短期間で実施し、補修についても実施見込みである点。 ・高温ガス炉の安全性や優位性を確立するための検証に取り組む。 ・高温ガス炉と水素製造施設とのシステムとしての連成の検証――両施設間の放射性物質の遮断。 ・小型炉の場合、需要のカバー範囲も小さくなり需要家数も少なくなる。そのため、需要家どうしによる負荷変動の相殺が期待できず、熱や電気の負荷の時間変動率は大きくなるものと予想され、それに対応した工夫が必要ないように思われる。 ・さらなる種々の条件での冷却材喪失試験を終了し、高温ガス炉の安全性をより明確にすること。 ・実社会への普及のための実用利用モデルの検討。 ・高温ガス炉の実用化時期を考慮すると、研究対象の各テーマにおいて比較の対象とするのは最新の軽水炉だけではなく、安全性と経済性を更に向上させた次世代軽水炉(の達成目標)も対象とすべきと考える。 ・高温ガス炉で最も期待される事は、安全性でありそのためのシステムティックで誰もが納得できる理論付けと着実な実証。 ・先ずは実証を推進することが重要と考える。
	より高い成果の望まれる、あるいは位置づけについて再検討の必要な項目・要素	

		・高温ガス炉水素製造システムの安全設計方針は設備簡素化の観点での努力は評価できるが、一方で、本質的な安全性を開発・実用化でアピールするという観点では、更に高い目標へチャレンジすることが望ましい。 ・震災後の原子力規制の見直しに伴って炉心流量喪失試験ができなかった点については、今後速やかに検証することが望まれる。 ・現状の安全性確認評価における閾値について、製品のバツキや安全率等の考え方を考慮して判断できる様にする事で、より本質安全の精度を上げる様な取り組みが必要と考える。同時に、放射性物質についても、純化設備の信頼性も含め評価することで、本質安全の向上を図るべきと考える。 ・個々の装置、要素技術についての研究にとどまらず、プロセス全体を一貫して評価する手法も検討してもらいたい。 ・中期計画終了後に次の開発段階へ進むべきか否かを判断する材料が、この研究の中で得られるかの観点で、開発計画の修正・追加の有無)開発計画のうち技術的な項目には修正、追加の必要はないと考える。ただし、ユーザーを獲得する観点では、修正が必要と考える。	A A A A A+
水素製造	特に優れた成果を上げている項目・要素	・設定された目標を着実に達成している。 ・反応器の簡素化に向けての材料開発に成果を上げている。 ・H_2SO_4 の分離する新たな装置開発に成果を上げている。 ・反応に関する検討を化学の専門分野と協力して進めている。 ・実用装置材料を用いた反応系機器の健全性を確認した。	

		・ 反応機器の健全性評価、プロセスデータの継続的充足。 ・ 効率に関するプロセスデータの充足。 ・ ヨウ化水素分解反応器の簡素化と、ヨウ化水素濃縮器での陰極室での硫黄析出の治験を取得できたこと。 ・ ブンゼン系は所定の試験により課題と対応が見えてきた事は 1 歩前進。 ・ 実用材料での反応器の試作、評価を実施し予定通りの結果を得ている。また、プロセス効率の向上に向けた知見を得ることが出来たことは着実に検討が進んでいると考える。 ・ 実用装置材料を用いた反応機器の健全性確証のための試験および試験装置の作製が計画通り年度内に完了する予定。	A A A A 目論み通りの成果が 出れば A
より高い成果の望まれる、あるいは位置づけについて再検討の必要な項目・要素	・ H_2SO_4 の分離によって、ブンゼン反応器への硫酸の影響を取り除くことが可能となった。 ・ 耐熱被覆の損傷試験を行い、その有効性を確認した。 ・ 装置のスケールアップが水素製造効率に及ぼす影響の定量的検討など。 ・ 水素製造の総合効率の明確化。 ・ 目標とする水素製造効率(40%)については、競合する他の方法における技術開発の進捗や化石燃料価格の推移を踏まえて定期的に再確認し、見直すことも必要と考える。 ・ フッ素樹脂被覆の剥離について、熱サイクルを重視された試験を実施されているが、経験的には水蒸気の浸透による剥離の発生がある。この確		

		認のためには、サイクル数よりも、経時的な変化をテストする必要があるのではないか。 ・ 硫酸分解系、HI分解系ともまだ所定の成果が上がっていない。また、3系を繋いで連続的に運転し、総合効率 40%以上を達成できる見込みを早く達成願いたい。 ・ 硫酸分解反応における(硫酸+水)2成分系の伝熱特性の把握。 ・ IS プロセスと他の水素製造方法との比較。同プロセスと他の高温熱多目的利用プロセスとの比較。 ・ 実用化を見通すためには、材料開発だけでなく化学反応効率等の観点からプラント規模(装置容量)のスケールアップ効果の検討も重要と考える。 ・ 更なる効率アップのため、リサイクル量を画期的に低減するプロセスの検討を始めてほしい。 ・ 反応器の評価については、多面的な評価も必要ではないかと考える。製作後に確認、検証すべき項目に優先順位をつけて推進していると考えますが、多面的な評価を計画的に推進して頂きたい。同時に効率評価は、最終的な連携運転が必須であると考えるので、水素製造プロセスのみでの連携運転が可能かも含めて検討して頂ければと考える。 ・ 現時点で判断不能。
	欠落/不足しており拡充が必要要素	

【評価】 S: とくに優れた実績を上げた。 A: 当該年度に実施すべき中期計画の達成度が 100%以上 B: 当該年度に実施すべき中期計画の達成度が 70%以上 100%未満	総合評価	A A S A A A A A A A 目論み 通りの成 果が出 れば A
--	-------------	--

2. 全体評価及び平成 25 年度以降に向けて必要な視点等

高温ガス炉及び水素製造研究開発の全体的位置づけについて(第Ⅱ期中期計画)	全体評価	原子力機構の措置
	・ 小型の高温ガス炉は、健全(安全)性が高いという基本的な特性を活かして、その活用を一層進めるべきである。2015 年から燃料電池自動車の商用化が進められ、2020 年以降本格的な導入が見込まれ、大量の水素が必要となるだろう。化石燃料由来の水素だけでなく、二酸化炭素を放出しない高温ガス炉からの水素製造が期待されるだろう。	産業界と強く連携し、実用化に向けて研究開発を進めていきます。
	・ 燃料電池自動車の普及などによる社会における水素需要の見通しに関しては不確実性があるが、大規模な水素製造方法の技術オプションを確保するために、当該研究開発の意義は認められる。	なし。
	・ HTTR は世界最高の出力温度、性能を示している。また、平成 23 年 3 月東日本大震災以前に、冷却材循環停止による安全性を確認している。今後の原子力エネルギー利用の選択肢として欠くことができない、我が国の貴重なインリーワン技術であり、今後とも積極的に検討すべきである。ガス炉から発生する高温熱は高エクスセルギー源であり発電以外の水素製造、産業プロセス熱などに利用が有用	拝承。

	である。 - 高温ガス炉は、温室効果ガスを排出しない大規模熱源として優れた殆ど唯一の候補と考えられる。従って、その高性能化技術と革新的水素製造技術の研究開発は、第Ⅱ期中期計画として極めて妥当なものと評価される。 - 高温ガス炉とその特徴を活かすことが可能な多様な用途開発を、広く産学分野の協力を得て推進する姿勢が盛り込まれていると考える。なお、その前提となる経済性の向上については、建設・運転経験が少ないので引き続き重点的に検討する必要があると考える。 - 震災の影響で、健全性評価が必要となり、再稼働が遅れるのは仕方がないが、規制庁に働きかけ少しでも早く確認を頂けるよう働きかけを強める必要がある。日本のエネルギー事情を考えると、この技術の開発は必要で急がれる。そのためにも、健全性評価の確認の後ではあるが、少しでも早い再稼働を実現し、計画中の各種試験を実施して頂きたい。 - 世界最先端の技術であり、将来の低炭素社会の基盤となり得るポテンシャルの高い技術と考える。その中で、中期計画では、安全性と確実性を確保するため説得力のあるシナリオの下で着実に基礎固めする位置づけと理解す	なし。 拝承。 HTTR、高温ガス炉ガスタービンシステム(GTHTR300)等の経済性評価を参考に、原子力メーカー等産業界と協力し、新興国用の小型高温ガス炉等の経済性評価の精度向上を進めていきます。 拝承。 規制庁への定期的な働きかけを行い、できるだけ早く再稼働ができるように最大限の努力をいたします。 なし。
--	--	---

	る。 - 高温ガス炉と革新的水素製造技術は、世界をリードしている技術であり、将来の CO2 削減に向けて重要な位置づけの技術であると考ええる。ガス炉の本質安全の検証の早期再開と、革新的水素製造との連携運転に向けた取り組みが始められることを期待する。 - 温室効果ガスを排出しない熱源を得ること、水素製造等への熱需要に対応することは、地球温暖化問題を解決するうえでの重要な対策の一つであり、それを具現化する技術として、安全性の高い高温ガス炉の高性能化技術および水の熱分解による革新的水素製造技術の研究を進めることは、位置づけとして妥当である。一方で、震災以後、原子力利用そのものの可否が議論となっており、国および国民の正しい判断に資するよう、本技術の安全性・信頼性について客観的・科学的に評価し、発信していくことが重要である。	拝承。 高温ガス炉とこれを用いた水素製造技術開発において、HTTR を用いた試験も含めて、基盤技術開発を完了するための技術開発項目と環境の変化を受けて修正・追加が望ましい項目を明示し、5 年ごとに事後評価及び事前評価を行う
	中期計画終了後に次の開発段階へ進むべきか否かを判断する材料が、この研究の中で得られるかの観点で、開発計画の修正・追加の必要性の判断ができることが望ましい。	拝承。 高温ガス炉とこれを用いた水素製造技術開発において、HTTR を用いた試験も含めて、基盤技術開発を完了するための技術開発項目と環境の変化を受けて修正・追加が望ましい項目を明示し、5 年ごとに事後評価及び事前評価を行う

H20-24 年度までの実績について(全般) -中間評価	い、かつ、社会の状況に柔軟に対応した計画の修正、追加を行ってきており、今後とも、達成すべき目標、マイルストーンを明確にし、計画を常に見直しつつ進めていきます。
	3.11 以降、ガス炉の健全性の再評価や設備の点検や補修などが求められ、当初の計画が余儀なく変更されているが、IS プロセスの開発研究については、概ね順調に進んでいる。
	水素製造に関しては個々の装置・要素技術の研究開発が着実に進められている。
	HTTR は世界最高の出力温度、性能を示している。この HTTR について継続して研究を進めており、世界的に価値の高い検討を進めている。特に平成 23 年 3 月東日本大震災以前に、冷却材循環停止による安全性を確認しており、HTTR の安全性を科学的、公平に示したことは価値が大きい。水素製造の要素技術について確実に検討を進めており、今後の方針を明らかにしている。
	前半期は、冷却材流量喪失等の実機試験が精力的に実施されて、高温ガス炉の安全性の実証の面で成果があった。後半期は施設の安全性に関する業務が大きな比重を占めざるを得なくなったが、HTTR 安全解析コードや小型炉の概念設計、反応系機器の健全性評価、プロセスデー

	タの充足等に着実な進展があったことは高く評価される。 ・ 3. 11 震災の影響は炉の分野において無視できないが、水素製造分野はほぼ当初計画通りの成果が得られていると評価する。 ・ 震災の影響での遅れは生じているが、健全性評価・補修も確実に進み、その間に高温ガス炉水素製造システムの安全設計方針の原案作成と、小型高温ガス炉の設計検討書の作成に取り組み、まとめることが出来たことは評価できる。 ・ 安全性と確実性を確保するため着実に実績を積み上げていると評価する。 ・ 高温ガス炉の連続運転の実証と、30%負荷からの炉心流量喪失試験を実施し、その安全性を確認できたことは大きな成果であると考ええる。 ・ しかし、その後起きた東日本大震災による福島原発事故において、世論の逆風を受け再稼働が出来ない状況に陥り、計画を大幅に見直さざるを得ないことは致し方ないことであると考ええる。非常に価値の高い技術であることから、環境が整い次第、早期の再開を期待する。 ・ 革新的水素製造技術に関しては、実用材による反応器の作成と目標効率達成に向けた設計が推進されているが、熱源が稼働できない状況では、連携運転を目指すもの	なし。 なし。 なし。 拝承。 産業界を中心とした国のプロジェクトの中で、産業界と連携して IS プロセスの成立性の実証に向けた要素技術開発を進めます。
--	---	--

H24 年度実績について(全般)	の、先ずは個別の成立性の実証に向けた取り組みで推進することが望まれる。	
	・ 原子力の革新的技術開発ロードマップに従い概ね計画通りに研究がなされてきたが、震災を契機に柔軟に計画を見直し、より安全性評価に重点をおいた研究を進めている。実行内容は妥当である。	なし。
	・ 計画目標に対しては妥当	なし。
	・ 設備の点検や補修、また地震応答解析について、的確な対応を行っている。規制当局への対応も適切になされ、高温ガス炉の健全性が保たれていることを確認したことは評価できる。	なし。
	・ 計画通り年度目標は達成される見込みであり、特に問題はないと考えられる。	なし。
	・ 地震に対する安全性を包括的に検討している。安全評価を良く進め、事故時の炉心損傷に対する判断基準を満足していることを検証している。また規制当局からの指摘を受けた施設の補修も的確に実行している。高温ガス炉水素製造システムの安全設計方針原案の準備を適切に進めている。	なし。
	・ 高温ガス炉、水素製造ともに、ほぼ計画通りに年度目標を達成していると判断される。小形高温ガス炉については、技術的成立性の評価で成果があった。	なし。

	研究開発の目的の中に安全性の向上とともに経済性向上の観点が明確に示されている(例えば炉規法の原子炉施設の基準ではなく高圧ガス保安法を適用する可能性検討)ことは、実用化に向けての重要なステップだと考える。	賛意を受け、これまで通り進めます。
	施設の健全性の総合評価を実施し規制庁に提出し、補修も実施した。その間に、高温ガス炉水素製造システムの安全設計方針の原案作成と、小型高温ガス炉の設計検討書の作成に取り組み、着実に実施した。特に小型高温ガス炉の概念設計がまとまったのは評価できる。	なし。
	安全性と確実性を確保するため着実に実績を積み上げていると評価する。	なし。
	- 今回の高温ガス炉に対する年度目標の変更は、昨年度の評価時点で反映されているべきものであると考える。未曾有の災害に対して、環境整備を含めて出来ることが限られることは理解できることから、新たな年度目標に対して計画通りに復旧し、健全性が評価されていること、地震による影響の解析、安全設計方針の原案をまとめると共に、小型高温ガス炉の概念設計がまとめられており、新たな年度目標は達成されていると考える。 - 革新的水素製造技術に関しては、実用材の反応器の製作と成立性の検証が着実に進められています。が、検証項目についてはもう少し多面的な検証が必要であると考え	委員会でもご説明しましたように、産業界と協力し、次の段階に進むための課題等を検討し、その結果を受けて、産業界が中心となって、水

	る。全体の連携運転までに多面的な検証を行う様に今後検討頂くことを期待する。	素製造技術開発を含んだ国のプロジェクトが平成 25 年度から開始されることになりました。国のプロジェクトでは、JAEA が開発してきた基盤技術に基づき、低温化、さらなる高効率化、小型化を目指した 5 年間の要素技術開発が行われますが、JAEA もこれに中心的役割を果たすことが期待されており、期待に応えるべく全力で取り組んでいきます。
	・ 高温ガス化炉高性能化技術に関しては、計画通り、地震応答解析等を用いた施設の健全性に関する総合評価を実施した。 ・ 革新的水素製造技術に関しても、計画通り、高温ガス炉水素製造システムの安全設計方針原案の作成に着手し、平成25年3月までに完成予定である。いずれも順調な進捗と考える。 ・ 施設の健全性評価を短期間で実施し、補修についても実施見込みである点は評価できる。水素製造に関しては目論み通りのデータ取得が達成されれば妥当。	なし。
H25、26 年度の計画について(全般)	・ H24 年度高温ガス炉の再稼働ができなかったのも、炉心流量喪失試験などを速やかに実施、またガス炉の健全性を確認する必要がある。高温ガス炉の熱源を利用した IS プロセスによる水素製造が検証できるように取り組む計画	3 月 21 日時点で、目論見どおりデータ取得を完了しました。 3 月 21 日時点で、目論見どおりデータ取得を完了しました。 再稼働。高温ガス炉の再稼働を目指します。高温ガス炉の優位性について、体系的にまとめて、説明していただきます。

	となっている。放射性物質の閉じ込め機能の優位性など、もつと説明すべきである。 ・ 震災の影響が遅れがでているが、中国などの他国における当該テーマの研究開発も進んでおり、安全性確保を第一にしつつも、予定通りの試験再開が望まれる。 ・ 水素製造効率に関しては、もちろん高い方が好ましいが、競合技術との関係で考えれば 30%程度でも十分有意義と思われ、当面は効率をやや犠牲にしても信頼性の高いシステムを構築できればと思う。	拝承。 IS プロセスの開発項目の実施順位については、IS プロセスの経済性に影響する程度を概略評価し、影響の大きい順に開発を進めます。工学上の理論効率は 60%弱ですが、JAEA では最終目標を 50%として、その 8 割の 40%が達成できたあとは、経済性により大きく影響するであろう機器の小型化を行うべきと考えていました。 産業界との研究会での検討でも同じ結論となり、次段階の国のプロジェクトの IS プロセスの要素技術開発で引き続き開発が進められる予定です。
	・ 高温ガス炉の安全性実証試験、核熱供給試験を計画しており、安全設計方針策定に向けて適切に準備を進めている。	なし。
	・ H25 年度の中に補修作業・規制庁の承認等がクリアされて HTTR が再稼働し、炉心流動喪失・冷却喪失等の安全性実証試験や核熱供給試験等が実施されることを期待する。また、水素製造に関しても、反応系機器の健全性確証	拝承。

	やプロセスデータの継続的な充足の後、総合評価がなされることを期待する。	
原子炉の停止期間が長期化したことを踏まえて、運転再開前の点検準備期間に十分余裕を持たせる等の配慮も必要と考える。		拝承。 地震後も試運転可能な機器の試験などを実施し、かつ、長期間停止の影響がないことを、十分時間をとって、入念に点検します。
安全性実証試験と核熱供給試験を、定期検査合格証を取得後、直ちに実施する予定となっている。特に安全性実証は高温ガス炉の生命線とも言える重要なポイントとなる。安全・慎重に進めるのは勿論ではあるが、できるだけ早く試験を進めてもらいたい。		拝承。 点検を入念にかつ効率的に実施して、再稼働を遅らせることないよう配慮します。
高温ガス炉にたいしては高性能化と安全性の確保への注力、水素製造に対しては実用材料で 40% 効率達成に向かって総合的な技術検討を効果的に進めてほしい。		拝承。
高温ガス炉については、安全性の確保を含めて環境が整った後、再稼働出来次第、本質安全の実証を計画通り強力に推進して頂きたい。核熱供給についても革新水素製造プロセスの設備設計、試作と併せ、連携運転を計画通り実証し、安全設計の基準構築も含め、着実に成果に繋がられる様な推進を期待する。		拝承。
高温ガス化炉高性能化技術に関しては、炉心流量喪失、炉心冷却喪失による安全性実証試験および核熱供給試		拝承。

	験を実施し、水素製造システムの安全設計方針の策定が完了する予定である。 ・ 革新的水素製造技術に関しては、反応系機器の健全性確認および効率に関するプロセスデータの充足が計画されている。 ・ いずれも次ステップへの移行可否を判断する重要な試験であり、確実に実行してもらいたい。 ・ 従来の中期計画通りに遂行すべきか否か、あるいは計画の修正・追加について、判断することが望ましい。	
		委員会でご説明しましたように、本質的安全高温ガス炉及びプルトニウム燃焼高温ガス炉の研究を、現在の原子力政策大綱の中で、基盤技術開発の1項目として進めようと考えています。

H25 年度以降に向けて必要な視点		原子力機構の措置
マネージメント全般について	・ H20-24 年度までの成果を踏まえて、適切に計画されている。	なし。
	・ 高温ガス炉の安全性の実証試験を加速し、その安全性を公知にする計画性と努力が必要。	拝承。 安全性の公知のため、日本原子力学会の研究専門委員会、IAEA での客観的、科学的な評価を受けていく予定です。

	・ 国のエネルギー事情を考えると、高温ガス炉の技術の確立は非常に重要である。安全な試験が大前提ではあるが、少しでも再稼働を早め OECD/NEA 試験が実施できるよう、規制庁に働きかけていくことが望まれる。 ・ 元々の計画に対して、震災影響で稼働が出来ない状況の中、復旧作業と同時に既存のデータを最大限活用してシミュレーションや設計検討を強力に推進しており、現下の環境下で最大限可能なマネージメントがなされていると考える。 ・ 震災以降、柔軟且つ適切に研究内容を見直している。現在の進め方で良い。 ・ 環境の変化を受けて中期計画そのものの見直し要否を検討すること。	拝承。 規制庁への定期的な働きかけを行い、できるだけ早く再稼働ができるように最大限の努力をいたします。 なし。 なし。 国の原子力政策大綱が決まらないため、これに基づいて作成された中期目標・計画の見直しも進んでいないのが現状です。しかしながら、現在の原子力政策のもとで、環境の変化を受けて実施すべきことを、平成 25、26 年度の年度計画で実施していくとともに、中期計画の見直しに関し、機会あるごとに関係各所と検討していきます。
産業界との連携について	・ 高温ガス炉建設や熱源利用の産業界だけでなく、化学工業界との連携も考えて欲しい。	既に JACI などの化学工業界との連携を進めており、産業界が中心となって進める国のプロジェクトの IS プロセスの要素技術開発に協力しま

	す。
・ 高温ガス炉の小型化による新需要の発掘・創成、水素製造装置のスケールアップの可能性とその経済性に与える影響などの検討。	拝承。 新たな需要を発掘できる小型高温ガス炉システムの研究、水素製造の経済性の検討を引き続き進めていきます。
・ 高温ガス炉を利用した実用的な産業エネルギーシステム、利用モデルの確立が必要。高温ガス炉が出力する高温熱は高エクスセルギーを有しており、水素以外の利用法を検討し、産業界の需要に応じたエネルギー供給形態を検討することが重要。	製鉄、化学製品製造、自動車、燃料製造等の企業と、産業用のエネルギーシステムモデルの確立に向け、引き続き産官学が連携した研究会、フォーラム等で検討していきます。
・ 実用化の観点においては、産業界としてのユーザやプラントメーカーの視点だけでなく、サプライチェーンの強化も重要と考える。	実用化の観点においては、研究機関では見逃せない視点も多々ありますので、産業界のご指導を仰ぎつつ、進めていきたいと考えます。
・ 水素に関しては、ソーラー水素との相互技術提携を行ってほしい。	IS プロセス技術開発では、熱源の温度の影響は受けませんが、熱源の種類の影響をほとんど受けません。IS プロセスが採用された平成 25 年度から開始される国のプロジェクトでは、熱源は太陽熱であり、JAEA も中心的役割を果たすことが求められており、産業界と連携して進めていきます。

国際的な連携・分担について	・ 関連企業との連携は継続的に取られており、特に専門性の高い技術領域に対して連携が取られていると考える。 ・ 本技術を実用化するためには、生産規模・連続操業時の信頼性、コスト等の評価が必須である。三菱重工、川崎重工等の産業界との連携を進めていることは評価できる。 ・ 連携センターを介しての産業界との連携の取組姿勢は評価できる。実用化に向けて更に踏み込んだ議論を行うことが望まれる。	なし。
	・ 本技術を実用化するためには、生産規模・連続操業時の信頼性、コスト等の評価が必須である。三菱重工、川崎重工等の産業界との連携を進めていることは評価できる。 ・ 連携センターを介しての産業界との連携の取組姿勢は評価できる。実用化に向けて更に踏み込んだ議論を行うことが望まれる。	なし。
	・ 連携センターを介しての産業界との連携の取組姿勢は評価できる。実用化に向けて更に踏み込んだ議論を行うことが望まれる。	拝承。 産業界と協力して、潜在的利用者、ビジネスモデル等の具体化等を進めていきます。
	・ これまでの高温ガス炉の成果を踏まえ、先導的な役割を果たすと同時に国際的なリーダーシップの発揮を期待する。高温ガス炉の建設計画を持つ国との連携を強くする取り組みを進める。 ・ 高温ガス炉の規模に応じて設計、多目的利用システムに關して国際的な連携が必要。とくに本技術は日本のオンリーワン技術であるので、積極的に指導性を発揮し、世界をリードすることが重要。国への働きかけも重要。 ・ 市場の確保・拡大だけでなく、研究開発協力・分担の視点からも加速すべきと考える。 ・ 国際的な開発状況のウォッチを継続し、意見交換を通して技術のブラッシュアップを図ってほしい。	拝承。 GIF、IAEA での活動を主導するとともに、実用化が加速するよう、米国、カザフスタンなどの二国間協力を積極的に進めていきます。 拝承。
	・ 市場の確保・拡大だけでなく、研究開発協力・分担の視点からも加速すべきと考える。 ・ 国際的な開発状況のウォッチを継続し、意見交換を通して技術のブラッシュアップを図ってほしい。	拝承。 国際協力、国際会議などを通して、情報入手と意見交換を行います。

	・国内で本研究を拡大・推進するには、その可否の議論に時間を要すると思われるため、他国との分担により研究開発を加速することが賢明である。他国の装置もうまく活用して、技術を蓄積していただきたい。 ・カザフスタンでの取組が報道されているが、他国を含めてJAEAとしての意向を鮮明にすることが望まれる。	GIF などの国際協力の枠組みを通して、引き続き効率的に研究開発を進めていきます。
研究開発環境と資源配分について	・予算規模・人員は、21年度以降殆ど変化していない状況となっているが、必要な資源については、要求することも必要だろう。 ・高温ガス炉の次の炉建設が技術向上、技術継承において重要。次の炉建設に向けての設計を引き続き継続すべきである。建設に向けて、高温ガス炉の安全性、有用性を示す。また、高温ガス炉の多目的利用を進め、水素以外の利用法を検討する。このための研究開発環境、資源配分が必要。 ・現実的に、稼働が出来ない環境下で必要最小限の資源の中で、最大限の推進がなされていると考える。 ・国および国民の正しい判断に資するよう、原子力利用の安全性について客観的・科学的に評価し、発信していくことが重要であり、安全性の実証を加速するための優先的な資源	拝承。 原子力の置かれた環境を念頭に置きつつ、事業の拡大に応じた人・資金の要求を引き続き行っていくきます。 拝承。 なし。 拝承。 高温ガス炉の安全性を客観的・科学的に評価してもらうために、日本原子力学会の専門委員

	源配分も必要である。	会による検討、評価を行っていきます。 また、HTTR の再稼働を最優先予算課題として います。
震災を受けて追加 する課題について	・ 予算からは資源の大部分は HTTR 維持費。この状態であれば HTTR の有効利用をより積極的に打ち出すことが望まれる。	拝承。 HTTR を用いた試験による人材育成など、 HTTR のさらなる有効利用を目指していきま す。
	・ 計画されている炉心流量喪失試験を着実に進める。	なし。
	・ クリーン燃焼高温ガス炉は課題も多いようだが、余剰プルトニウムを削減するための手段としても興味深い。 ・ 高温ガス炉の安全性の実証試験を加速し、その安全性を公知にする計画性と努力が必要。	なし。
	・ HTTR は発電炉ではないが、将来の実用化を踏まえて 25 年度に公開される新安全基準への適合性検討が必要と考 える。なお、「本質的安全」という用語ですが ISO12100 に同 様の用語があり、それと混同しないような配慮が必要では ないかと考える。ISO では危険源を回避(原子炉では放射 能の低減・消滅か?)することが求められているようであ	拝承。 日本原子力学会、IAEA 等の国内外の専門家 による評価とオンラインセッション、並行して、 一般市民へのわかりやすい説明を行っていき ます。 HTTR は発電用原子炉ではないため、試験研 究用原子炉として、新安全基準への適合性に ついて、原子力規制委員会での議論の状況を 注視しつつ、関係各所と検討していきます。「本 質的安全」のチームについては、混同をされな いように十分に注意していきます。

	る。 ・実施すべき課題(1/2)、(2/2)共に研究に取り組むべきで、日本のエネルギー事情、地球温暖化防止への取り組みなどからも、日本独自にでも推進すべきテーマと思う。 ・本質安全という考え方を持つ本技術に対する評価として、副次的な効果も含め価値の高い技術であると考える。同時に、一般の安全を前提とした技術としてのニーズはあると考える。 ・本質的安全性の研究は重要であり、その成果において期待する。	なし。 なし。 なし。 拝承。 課題が多岐にわたるように見えますが、現在の原子力政策大綱及び中期目標・計画のもとでは、本質的安全性に関しては、HTTR 等を用いて研究する基盤技術の範囲内、また、プルトリウム燃焼及び放射性廃棄物に関しては、原子力を止めるとならない限り必要な基礎研究の範囲内の項目について行うものであり、十分に絞り込んだ項目としています。なお、予算が獲得できなければ実施できない項目を含んでいます。
--	--	---

ユーザーの獲得に向けて	・ 中長期的展望に従って、着実に前進して欲しい。研究成果の発信やマスコミへの公表を通して、高温ガス炉の安全性と核燃料の優位性を示していく必要がある。 ・ 熱利用側の産業界との連携は必須である。結果として高温ガス炉製造産業の活性化につながる。高温ガス炉を利用した実用的な産業エネルギーシステムの確立が必要。高温ガス炉の有用性を示し、産業界が自ら検討したくなる魅力を提供する。高温ガス炉が出力する高温熱は高エクセルギーを有しており、水素以外の利用方法も検討が望まれる。産業界の需要に応じた新たなエネルギー供給形態を検討することが重要。たとえば、高温の直接供給、低炭素化のための二酸化炭素還元などが候補である。エネルギー需要市場を定量的に把握し、高温ガス炉の貢献性を定量的に検討することが望まれる。 ・ 魅力あるコスト目標に向けたロードマップの提示が必要と考える。	拝承。 引き続き、研究成果の発信およびマスコミへの公表を積極的に行います。 拝承。 産学と連携して、二酸化炭素還元、化石資源を有効利用するシステム概念の検討を進めてまいります。 拝承。 高温ガス炉ガスタービンシステム（GTHTR300）等の経済性評価を参考に、原子力メーカー等産業界と協力し、新興国用の小型高温ガス炉等の経済性評価の精度向上を進めるとともに、経済性目標の達成に向けたロードマップを提示します。
--------------------	---	--

	・ 本質安全性の確認が前提となるが、鉄鋼、化学などエネルギー多消費産業の起死回生となりうる技術と思われる。地道に業界団体などでの講演などを実施することなどが、必要ではないか。	拝承。 これまで以上に様々な機会をとらえて、各種のPRを実施しています。
	・ 今回の評価では非常に曖昧な評価になっているが、本質安全の継続的な啓発活動や発信が重要であると考える。	拝承。 国内外における専門家による評価、オーストラリアゼーション、並びに一般市民への広報をしています。
	・ まずは本質安全性の研究を進め、しっかりと安全性を実証してほしい。その上で、実用化に至るまでの研究開発のスピードアップ、国内外の特許取得を行い、早い段階で産業界に連携を働きかけてほしい。	拝承。 産業界と連携して、商用化を目指す具体的な高温ガス炉システムに関し、必要最小限の研究開発課題を検討することによって、スピードアップを図りたいと考えます。
	・ JAEA としての意向を鮮明にするか、少なくともそのための検討を指向することが望まれる。	拝承。

その他		原子力機構の措置
・ 日本のオンラインワン技術として高温ガス炉研究の進展が望まれる。 ・ 高温ガス炉の本質的安全性の検討およびアピールとともに、不活性母材型燃料の利用等、使用済燃料の処理・処分に適した燃料形態に関する研究を是非進めていただきたい。		拝承。
		拝承。

・ 今回の評価で、一般公開フォーラム内で最終的に反対という立場を取った人達の評価は、その理由を確認し、今後の開発や啓発に反映する必要があると考える。 (定性的な反対か、理由のある反対かが重要) ・ 自己収束することをどの様に表現するかという観点で、「本質安全」という表現は、理解し易い表現と考える。	無記名でのアンケートとしたため、反対の立場をとった人を特定できないため、反対理由を確認できません。今後、あらゆる機会をとらえて、反対者の方々の意見も聞きたいと考えています。
・ ガス炉の方向性に関して時間を区切って積極的に活動する(方針を決める等)ことが望まれる。	現在の原子力政策大綱では、高温ガス炉とこれをを用いた水素製造の基盤技術の確立及び高度化までを一つの段階で完了させることになっており、一連の研究を5年毎に区切って進めてきました。今後について、例えば、HTTR で残された試験には、あと4年程度、本質安全を含めれば7年程度で完了できると考えており、社会・環境の変化に柔軟に対応しつつ、できる限り早期に研究開発を完了できるよう、併せて商用化活動に引き継がれるよう活動していきます。

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b)ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d)ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。

(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f)放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g)単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=1l=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオット	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx = 1G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G =1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≡ (10 ³ /4π)A m ⁻¹

(c) 3 元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≡ 」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリー) , 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m

