JAEA-Evaluation
2022-001
DOI:10.11484/jaea-evaluation-2022-001

令和２年度評価及び第３期中長期計画見込み評価 研究開発・評価報告書
評価課題「高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発」

Assessment Report on Research and Development Activities in FY2020
Activity and in Prospective Evaluation of Third Mid-to Long-term Plan
“Research and Development on High Temperature Gas-cooled Reactor and
Related Heat Application Technology”

篠原 正憲　角田 淳弥　柴田 大受　平田 勝

Masanori SHINOHARA, Junya SUMITA, Taiju SHIBATA and Masaru HIRATA

高速炉・新型炉研究開発部門
戦略・計画室

Strategy and Planning Office
Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development

June 2022

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Evaluation

本レポートは国立研究開発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。
本レポートはクリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の
条件で利用してください。（https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（https://www.jaea.go.jp）
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　JAEA イノベーションハブ　研究成果利活用課
〒 319-1195　茨城県那珂郡東海村大字白方 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.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under
the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section,
JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, 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

© Japan Atomic Energy Agency, 2022

JAEA-Evaluation 2022-001

令和 2 年度評価及び第 3 期中長期計画見込み評価　研究開発・評価報告書
評価課題「高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発」

日本原子力研究開発機構　高速炉・新型炉研究開発部門
戦略・計画室

篠原　正憲、角田　淳弥、柴田　大受、平田　勝

（2022 年 3 月 23 日受理）

日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」）は、外部有識者からなる高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会において、令和 2 年度の年度評価、令和 3 年度の研究計画及び第 3 期中長期計画（平成 27 年度から令和 3 年度）の見込評価に関する評価を受けた。その結果、年度評価については、技術系委員 10 名のうち、1 名の委員が S 評価、8 名の委員が A 評価及び 1 名の委員が B 評価とし、総合評価として A 評価を受けた。また、人文社会系委員 2 名の委員が B 評価とした。一方、第 3 期中長期計画の見込評価については、技術系委員 10 名のうち、1 名の委員が S 評価、8 名の委員が A 評価及び 1 名の委員が B 評価とし、総合評価として A 評価を受けた。また、人文社会系委員 2 名の委員が B 評価とした。

本報告書は高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会の構成、評価項目、評価結果及び原子力機構の措置について記載したものである。

本報告書は、高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会が「国の研究開発評価に関する大綱的指針」等に基づき実施した外部評価の結果をまとめたものである。

大洗研究所：〒311-1393　茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

JAEA-Evaluation 2022-001

Assessment Report on Research and Development Activities in FY2020 Activity and in Prospective Evaluation of Third Mid-to Long-term Plan "Research and Development on High Temperature Gas-cooled Reactor and Related Heat Application Technology"

Masanori SHINOHARA, Junya SUMITA, Taiju SHIBATA and Masaru HIRATA

Strategy and Planning Office
Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development,
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received March 23, 2022)

Japan Atomic Energy Agency received the annual evaluation of FY2020, the research plan of FY2021 and the prospective evaluation of the third mid- to long-term plan (from FY2015 to FY2021) from the "Evaluation Committee of Research Activities for High Temperature Gas-cooled Reactor (hereinafter referred to as "HTGR") and Related Hydrogen Production Technology" (hereinafter referred to as "Evaluation Committee") which consists of specialists in the fields of evaluation subjects of HTGR and related heat application technology. As a result, for the annual evaluation of FY2020, one of the ten technical committee members concluded a score of "S", eight members concluded "A" and one member concluded "B". The comprehensive evaluation was concluded a score of "A". On the other hand, two humanities and social sciences committee members concluded "B". For the prospective evaluation of the third mid- to long-term plan, one of the ten technical committee members concluded a score of "S", eight members concluded "A" and one member concluded "B". The comprehensive evaluation was concluded a score of "A". On the other hand, two humanities and social sciences committee members concluded "B".

This report describes the members of the Evaluation Committee, assessment items, assessment results and JAEA's measures following the assessment.

Keywords: HTGR, Hydrogen and Heat Application Research, Assessment Report

---

This work was performed based on "General Guideline for Evaluation of Government R&D Activities" by Cabinet Office, Government of Japan, etc.

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. 開催日、主な議題及び配布資料 ----4
4. 評価方法 ----5
5. 評価結果 ----7
6. 原子力機構の措置 ----46

付録　課題評価委員会配布資料集----57

Contents

1. Outline ----1
2. Members of Evaluation Committee of Research Activities for High Temperature Gas-cooled Reactor and Related Hydrogen Production Technology ----2
3. Date, main agenda and distributed materials ----4
4. Items of assessment ----5
5. Results of assessment ----7
6. Measures of JAEA ----46

Appendix　Handouts in the Evaluation Committee ----57

This is a blank page.

1. 概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）理事長は、「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）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 29 年 4 月 1 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、令和 4 年 1 月 20 日改訂）等に基づき、「高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発」に関する令和 2 年度の年度評価、令和 3 年度の研究計画及び第 3 期中長期計画（平成 27 年 4 月から令和 4 年 3 月）の見込評価を、原子力機構 高速炉・新型炉研究開発部門から提出された資料を基に、高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会で審議した。高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会事務局は、評価シートを用いて令和 2 年度の研究実績及び平成 27 年度から令和 3 年度までの研究実績（見込み含む）に関する委員の意見を集約し、意見に対する原子力機構の措置を取りまとめた。本報告書の第 2 章では、高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会の委員構成を示した。第 3 章では、評価委員会の開催日、主な議題及び配布資料リストを示した。第 4 章では、評価方法を示した。第 5 章では、高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会により提出された課題評価報告書を添付した。第 6 章では、高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会からの提言に対する原子力機構の措置を示した。また、付録として評価委員会で配布した資料を末尾に添付した。

2. 高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会の構成

本年度は評価委員の任期（原則 2 年）の満了に伴い、候補者の選定（再任・追加）の手続きを行った。候補者の選定に当たっては、参考資料 1 を考慮した上で、評価委員候補に対する利害関係の確認を行い、評価委員を選定した。

○ 評価委員候補者に対する利害関係の確認

- 利益相反チェック
- 除斥事由該当の有無確認
- 評価委員の委嘱に伴う理事懇談会での承認

高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会は、表 1 に示す 12 名により構成される。

表 1 高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会 評価委員一覧(令和 3 年 1 月 27 日時点)

氏　名	区　分	所　属・職　位
藤井　康正	委員長 （技術）	東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻　教授
糸井　達哉	委員 （技術）	東京大学大学院　工学系研究科 建築学専攻　准教授
碓井　志典	委員 （技術）	三菱重工業株式会社　パワードメイン　原子力事業部 新型炉・原燃サイクル技術部　次長
小原　徹	委員 （技術）	東京工業大学 科学技術創成研究院　先導原子力研究所　教授
加藤　之貴	委員 （技術）	東京工業大学 科学技術創成研究院　先導原子力研究所　教授
小島　由継	委員 （技術）	広島大学　自然科学研究支援開発センター 研究開発部門　先進機能物質部門長　教授
西條　美紀	委員 （人文社会）	東京工業大学 環境・社会理工学院　融合理工学系　教授
鈴木　和代	委員 （人文社会）	京都大学医学部付属病院 先制医療・生活習慣病研究センター　特定助教
竹田　貴代子	委員 （技術）	日本製鉄株式会社 技術開発本部　関西技術研究部　主幹研究員
福家　賢	委員 （技術）	東芝エネルギーシステムズ株式会社 パワーシステム企画部　部長代理
細野　恭生	委員 （技術）	千代田化工建設株式会社 フロンティアビジネス本部　上席参与
森　大五郎	委員 （技術）	トヨタ自動車株式会社 トヨタ ZEV ファクトリー　ZEV 普及推進室　主幹

参考資料１

評価委員及び専門委員の構成について

評価委員及び専門委員については、原子力機構が行う研究開発分野及びそれに関連する分野に精通する原子力機構外の専門家及び有識者で、十分な評価能力を有し、公正な立場で評価を行うことができる者を選定する。また、イノベーション創出の観点での評価も適切に受けるため、当該専門分野の専門家のみならず、異分野、産業界、社会実装、人文・社会系等の専門家も選定するとともに、評価委員の多様性を高めるため、外国人及び女性委員の選定にも努めるものとする。委員の選定に当たっては表2を参考にするとともに、現役で活躍し、最新の情勢に精通している者を優先的に考慮する。

表 2　評価委員及び専門委員のカテゴリ及び必要性

評価委員のカテゴリ	必要性
当該分野の専門家	◎
連携を深めるべき異分野の専門家	◎
成果の受け手たる産業界の専門家	◎
成果の社会実装の観点からの専門家	○
ELSI*の視点での専門家	○

◎：必須　　○：必要に応じて

＊：ELSI（Ethical, Legal and Social Issues）

ある研究に伴って生じる、倫理的・法的・社会的な影響や課題

なお、評価委員及び専門委員の多様性の観点で、委員構成については下記のとおりとする。

（1）　外国人委員と女性委員を合わせた割合は 30%を目標とする。

（2）　人文・社会系分野の委員の割合は 20%を目標とする。

3. 開催日、主な議題及び配布資料

高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会

開催日　：令和 3 年 1 月 27 日　於　Web 開催（Cisco Webex meeting）

主な議題：「高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発」の令和 2 年度の年度計画、令和 3 年度の研究計画及び第 3 期中長期計画の見込評価

配布資料：付録 1. 令和元年度研究実績の評価結果と原子力機構の措置

付録 2. 第 3 期中長期計画の中間評価（令和元年度）について（概要）

付録 3. 高温ガス炉及び水素製造研究開発の概要

付録 4. 令和 2 年度研究実績の評価と令和 3 年度の研究計画（案）

付録 5. 第 3 期中長期計画の見込評価

付録 6. 参考資料

4. 評価方法

4.1 評価の目的

原子力機構では、「研究開発課題評価実施規程」において評価の目的を定めている。評価の目的を表 3 に示す。

表 3　研究開発課題評価実施規程（抜粋）

（評価の目的） 第 3 条　研究開発課題の評価は、研究開発を督励するとともに、経営資源を有効に活用して、研究開発成果の最大化及び業務運営の効率化を達成するための効果的な研究開発業務に資することを目的とする。

4.2 評価の観点

原子力機構が実施する「高温ガス炉とこれによる熱利用技術」の研究開発に関する評価における基本的考え方として、我が国のエネルギー政策を踏まえた「高温ガス炉とこれによる熱利用技術」に関する研究開発の意義及び研究開発を取り巻く動向を整理した上で、高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究活動全般について課題評価の対象とし、以下の項目に分けて評価を行った。

（1）令和 2 年度研究実績の年度評価

令和 2 年度に実施した研究開発項目の業務実績

- 研究開発の進捗状況の妥当性
- 研究資金、人材等の研究開発資源の再配分の妥当性

（2）令和 3 年度の研究計画

- 第 3 期中長期計画を達成するための研究開発の進め方の妥当性

（3）第 3 期中長期計画（平成 27 年度から令和 3 年度）の見込評価

第 3 期中長期計画の期間の終了時に見込まれる研究開発項目の業務実績

- 研究開発の達成度、成功・不成功の原因の把握・分析
- 当初の研究開発計画の妥当性
- 研究開発成果の効果・効用（アウトカム）の把握・普及
- 若手研究者の育成・支援への貢献の程度
- 将来への研究開発の展開
- 新たな課題への反映の検討

4.3 評価基準

評価基準を表 4 に示す。

表 4　評価点と評価基準

評価点	評価基準
S	特に顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められる。
A	顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められる。
B （標準）	成果等の創出に向けた着実な進展が認められる。
C	一層の工夫・改善の必要性が認められる。
D	抜本的見直しを含め特段の工夫・改善の必要性が認められる。

5. 評価結果

5.1 令和 2 年度研究実績の年度評価

(1) 高温ガス炉技術研究開発

① HTTR の新規制基準への適合性確認の対応

技術系委員（10 名）のうち、9 名の委員が S、1 名の委員が A と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- HTTR において炉心溶融が起こらないことが原子力規制委員会に認められたことは今後の高温ガス炉の実用化に向け大変大きな成果である。
- 原子力防災上の観点も含め高温ガス炉の安全性が原子力規制庁に認められたことは極めて重要で評価できる。
- BDBA に対する具体的な考え方を規制の中で整理できたことは、高温ガス炉に限らず安全規制の継続的改善の観点でも大きな成果と思います。一方、今後何らかの自然災害が発生したとしても 2011 年時のような長期停止なく、継続的に研究開発ができるような備えが必要と思います。重要度が高くない SSCs も含めて検討をされるとさらによい成果が得られると思います。
- 再稼働に向けた取り組みは高く評価でき、2021 年 7 月に実現できることを期待します。

② 実用高温ガス炉システムの安全基準の整備に向けた燃料設計限度の考え方

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、7 名の委員が A 及び 2 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 高温ガス炉の実用化に向けた考え方が提示できており、顕著な成果である。
- 具体的な燃料の追加破損を許容する燃料設計限度の適用性を確認したことは評価できる。

③ 蒸気供給用高温ガス炉システムの設計

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、8 名の委員が A 及び 1 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- コンファインメント設計で安全性も経済性も向上しており、実機適用への展開も期待します。
- 目標が「大幅な削減」とあり定量評価ができない目標。約 30%の建設コスト低減は顕著とまでは言い難い。

(2) 水素製造技術研究開発

① HTTR との接続を想定した起動・停止などの運転手順検証及び運転後のプロセス機器

の腐食・劣化に関するデータ取得と有効性確証

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、7 名の委員が A 及び 2 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 迅速に計算できる新たな溶液組成計算法を提示して妥当性を検証し、自動組成制御のためへの貢献が大きい。安定した水素製造に成功している。
- プロセス機器の改善に反映され、水素製造効率が上がることを期待します。
- 連続運転のためのオンライン制御パラメータデータの整備は今後の安定運転に大いに貢献できる成果と評価するが、硫黄析出問題は本質的な課題であり、根本的な対応が必要と考える。
- 連続水素製造時の自動組成制御はコスト低減の観点からも重要。連続運転の実証は重要な成果だが、安定性に課題有と思われる。

② 硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能評価

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、4 名の委員が A 及び 5 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 金属材料によるループ構成ができれば実用化が大きく進むと考えられる。本項目への注力、研究促進を期待したい。
- 硫酸分解器の環境に耐え得る合金の技術的キーポイントと改善の方向性を見出した点は評価できる。機械的特性など設計と関わる点は該当部門とも連携して進めること。
- 化学的な腐食の場合は、腐食量だけでなく、腐食して系統内に流れ込んだ物質が IS プロセスの連続運転に影響を与える影響も検討して材料選定した方がよい。

③ ガスタービンへの核分裂生成物の沈着低減技術について、候補合金の核分裂生成物の沈着量評価

技術系委員（10 名）のうち、2 名の委員が S、8 名の委員が A と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- ガスタービン保守時の作業員被ばく線量率は従来設計値の約 1/100、制限値の約 1/10 であることを見出した。
- 最新の評価方法を用いて、従来の文献値に代わる新たな合金状態図を提案できる予定とのことであり、学術的な貢献は大きい。

(3) 人材育成

技術系委員（10 名）のうち、9 名の委員が A、1 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 受け入れた学生が職員に応募・採用されたかどうかなど、具体的な成果の有無で評価

したい。
・ コロナ禍の状況にも関わらず多数の実習生を受入れ人材育成にあたっており高く評価できる。

(4) 産業界との連携

技術系委員（10 名）のうち、4 名の委員が S、6 名の委員が A と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

・ 英国、ポーランドとの国際協力の拡大は大きな成果と考えられる。
・ ポーランドに加え英国とも具体的な協力関係を確立しつつあり極めて高く評価できる。
・ 産学官協議会での協議で、産業界からの理解を得ている。ポーランド、英国との協力が進んでいる。

(5) 総合所見

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、8 名の委員が A 及び 1 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

・ 高温ガス炉研究開発は順調と思われ、水素製造など熱利用は時運に乗った早期の実用化を期待します。
・ 設置変更許可取得したものの再稼働時期については不明である。
・ 目標が曖昧なため、評価が難しい項目が有ります。高温ガス炉の実用化及びその判断のため、各年度で各技術がどのレベルに達成していなければならないかの技術的な定量目標を示し、それに対する達成度合いを評価すべきと考えます。
・ HTTR の再稼働に向けた準備が進捗し、研究開発も着実に進展を遂げている。IS 法はブンゼン反応工程で硫黄の析出が確認されたとのことであるが、米仏が実施した試験でもブンゼン工程がうまくいかなかったため、是非ともこの課題を乗り越えていただきたい。
・ 水素製造に関し、熱交換器の閉塞が発生するなど安定性が不十分。スケールアップやコスト目標達成に向けた課題の明確化が必要と思われる。

(6) 社会的貢献

① 科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性

人文社会系委員（2 名）のうち、2 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

・ 「炭酸ガスを排出しない水素製造法である IS プロセスの開発は世界がカーボンフリーに向かう上で重要な貢献をなすもの」であろうと推測はできる。開発の事実は高く評価されるべきだが、どのように世界的な脱炭素社会のニーズに適合するのかは技術の実装・普及戦略なしに判断できない。実用高温ガス炉についても同様であ

ると考える。

② 研究開発課題／成果の社会的受容性
（社会へ及ぼす影響度の想定、研究倫理的妥当性）
人文社会系委員（2 名）のうち、2 名の委員が C と評価した。
以下に代表的なコメントを示す。

- HTTR の安全性、水素製造の要素技術について広く発信したとあるが、プレスリリースや新聞報道によってどのように社会的受容性が向上すると考えているのか不明である。また、実用高温ガス炉と水素製造技術研究の倫理的妥当性についての検討の報告は見当たらなかった。また、これら 2 つが実現した時の社会に与える影響度について、要素技術についてではなく、システム全体としての検討も見当たらない。
- 現時点で脱原発の世論が一部にはある中で、HTTR が国民の多くに安心される研究課題／成果として理解されているとは言い難いです。自主的な発信としてプレス発表 5 件では国民が HTTR 研究開発成果を理解するには不十分と思われます。国民への情報発信は HTTR だけでなく JAEA 全体としてもっと取り組みの強化を期待します。欧文論文発表および講演は積極的に行われており、研究内容・研究成果を国際的に発信していると言えます。JAEA 全体として研究開発活動上の不正行為の防止に関する行動規範が定められているようですが、HTTR ではそのためにどのような取り組みが行われているか報告会では明らかではありませんでした。

③ 成果の波及効果を十分に見極めるなど、長期的・文化的な観点に立った評価
人文社会系委員（2 名）のうち、2 名の委員が B と評価した。
以下に代表的なコメントを示す。

- 日本の産業界とのビジネスモデルについての検討、ポーランドに対する技術協力を活発に行っていることは評価できるか、それらがどのように結びついて高温ガス炉、並びに水素製造技術の実用に至るのか中長期的な視点からの戦略、ビジネスモデルの検討の中身が示されているべきである。
- 発電、水素製造など多様な産業利用が見込まれ、原子力利用の多様化・高度化に貢献する可能性のある研究課題と思われます。熱利用系の接続に関する他分野への応用技術の確立に波及効果を当てられることを期待します。若手や女性、外国籍が積極的に登用・活用されているかについて、原子力機構の人材ポリシーに基づき、人材育成、技術伝承の促進等を目的としたキャリアパス方針を明示し、職員の資質・能力の向上に努めるとの目標を掲げているようです。今回の報告では学生の短期受け入れとポーランド研究者へのセミナーによる若手職員育成とのことでしたので、さらに女性や外国籍の積極的な登用・活用を期待します。

④ 新規科学技術の研究開発や利活用におけるリスク発生の可能性

人文社会系委員（2 名）のうち、1 名の委員が A 及び 1 名の委員が C と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

・ HTTR を含む原子力利用の研究開発の実施はその軍事利用への危惧や放射性廃棄物の課題もあり常に社会的論争になっています。27 日の委員会でもコメントさせて頂きましたが、原子力機構全体および高温ガス炉及び水素製造研究開発の成果の最大化及び効率化のためにも本評価法そのものの透明性に疑義を呈させて頂きます。評価の実施者である評価委員の募集要項ないしは適格要件の情報が原子力機構内部（理事長、理事、評価室等）のみで集約されており社会に向けて分かりやすく公開されていない現状には改善が必要と思われます。社会から評価報告が信用に足るものと受け入れるためには、評価報告書と一緒に評価法の詳細についての上記のような委員登用を含んだ情報の公開を希望します。また、同時に委員個別の利益相反 conflict of interest も公開すべきと考えます。以上の情報公開を持ってようやく社会は本評価法の前提を知ることが出来ると考えます。原子力エネルギーの安全性や効率性の確立とともに、原子力エネルギーへの信頼を取り戻すためにあらゆる面で透明性はとても重要だと思っています。

⑤ 国内外他機関、産業界との連携の妥当性

人文社会系委員（2 名）のうち、1 名の委員が A 及び 1 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

・ それぞれについて活発に活動されていて評価できるが、相互の関係性がわかるとなおよい。なんのためになぜこの連携が必要で相互にそれらがどう結びついているのかなど。

⑥ 総合所見

人文社会系委員（2 名）のうち、2 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

・ 全体的に評価委員会での報告内容とこの評価シートの項目が対応していない。評価部門と開発現場でよく議論を重ねて、実用高温ガス炉と水素製造の社会実装をゴールとしたシナリオとそれに基づく評価項目を策定してほしい。

・ 令和 2 年度の研究成果について、イノベーション創出や新規科学技術の社会や政策への橋渡しにおいて生じうる課題に対する取組状況（社会とのコミュニケーション、研究倫理、法規制、政策との関連等）の観点から評価し、成果等の創出に向けた着実な進展が認められます。しかし、他の委員から関連の質問がありましたが、設計基準事故を超えるような事故を想定して新規制基準適合性に係る原子炉設置変更許可を取得したことが、地質学系災害である地震津波を十分に想定したとしても、他の災害である水害や感染症、戦争やテロ（サイバー攻撃も含めて）への対応についての想定が HTTR 開発部門のみでは難しいような印象を受けましたので、外部

専門家との連携が必要なのではないかと思いました。最大限に具体的な GE シナリオを作成し、それに対応を検討できるような研究開発を引き続きお願いしたいと思います。

5.2　令和 3 年度の研究計画

（1）高温ガス炉技術研究開発

以下に代表的なコメントを示す。

- 再稼働が間近に迫っているが、ほぼ 10 年ぶりの運転となるため、運転ノウハウの忘却や喪失などによる様々なミス（10 年前であれば当然防ぐことができたミス）の発生が懸念される。研究開発に支障が生じないように、運転員の技術能力の維持向上には引き続き留意して戴きたい。
- 運転再開することが計画になっていますが、再開時期が見通せる場合には、運転再開後の実施事項について計画に含める必要はないでしょうか。
- 安全上重要なプラント本体には十分な手当てがなされていると思うが、原子炉設備でないものの運転に不可欠な施設においては、長期停止に伴うトラブルが発生することも懸念されるので、対応に時間を要するものについては事前の備えをした方がよい。
- 昨今の状況変化に伴い、「将来的に社会に貢献できるか」、など技術以外の観点から計画見直しの余地が無いか検討が必要と思われる。

（2）水素製造技術研究開発

以下に代表的なコメントを示す。

- 運転中の自動組成制御に向けて、制御変数の決定や変数間の相関関係の分析などが行われているが、静的な相関関係だけでなく、動的な関係の分析も必要と考えられる。適切なフィードバック制御を実現するには、制御対象システム内における時間遅れを定量的に考慮することが必要である。
- 工業規模での実用化のためには金属材料での IS 法の確立が重要。第 3 期中長期計画を達成するためというだけではなく、長い目で見て、金属材料の材料データ取得を推進願う。また硫黄の析出に関しても、実用化に向けた原因の把握と対策の検討を確実に行い、その効果を長時間連続水素製造試験で確認されたい。
- 水素製造の開発スピードの遅いことが気になる。現状 92L/h からスケールアップへの具体的なロードマップを作成してほしい。
- 水素製造は IS プロセス以外のシステムも様々な国や企業で検討されており、水素製造量やコストも重視して研究開発を進めていただきたい。
- 自動組成制御は必須でありその物性データベースの整備をしっかり確立してほしい。それにより沃素・硫黄析出など根本的な問題解決を図り、更なる長期連続運転（1000Hr 以上）を達成させていただきたい。
- 令和 3 年度は現中長期計画の最終年度にあたり、今後に向けた課題を明らかにする

必要があると思われる。これまでの水素製造プロセスの検討に加え、スケールアップやコスト目標達成に向けた課題を明らかにする取り組みが必要と思われる。

（3）人材育成

以下に代表的なコメントを示す。

- 若い世代に関心を持ってもらうために、原子力エネルギー全般の有効性を認知してもらう活動も必要かもしれない。インターネット配信できる動画は特に有効なように思われる。
- 社会実装も含めた幅広い人材育成のあり方も並行して検討されてはと思います。
- 現在の目標記載は「高温ガス炉に関する知識を習得させる」のみである。知識を習得させた結果どうするのか、何のために知識を習得させるのか人材育成の目的を明確にし、その目標達成のための活動とされたい。
- 日本の税金で海外の人材育成をする場合のメリットを出してほしい。
- 高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発の評価軸、つまり「高温ガス炉とこれによる熱利用技術についての成果が、海外の技術開発状況に照らし十分意義のあるものか、さらに将来の実用化の可能性等の判断に資するものであるか」のうち、社会学系委員の評価軸は後段の部分と思うが、今回の評価資料には、将来の実用化シナリオが描かれていない。そのシナリオなしに個別の開発項目を評価しても意味がない。評価軸と評価内容がずれるからである。中期計画策定にむけ、まずは現時点で考えられる将来シナリオを提示したうえで、産業界との連携、人材育成、国際連携などの項目の目標を立てるべきである。また、「イノベーション創出・社会実装」は高温ガス炉と熱利用技術開発の結果であって個別の評価項目とするべきでないと考える。
- HTTR を活用した人材育成として、より幅広い分野の研究者や学生を受け入れ、高温ガス炉の可能性について範囲を限定せずに探っていただきたいと思います。受け入れのみでなく、HTTR 職員が外に出て様々な経験や知見や人的つながりを得られるように、JAEA 組織として適切にリーダーシップを発揮していただくことでイノベーション創出につながることを期待します。国内外における高温ガス炉サポーター獲得に向け、セミナーやガス炉イベントなど、積極的なガス炉 PR と人材受け入れの展開に努める、という目標を立てておられたように拝見しましたのでコロナ禍でも行える情報発信やオンラインイベントなどの企画を楽しみにしています。
- 国内、海外との交流を介した技術の流出のないように、新しい技術の特許化、秘密保持契約や覚書の締結など、知的財産の保護を確実に行うこと。
- 研究者・技術者の受け入れ数は目標を上回っているが、育成の結果、どの程度の育成が達成できたかがわかるような、新たな指標等を検討し、育成内容のチェックができるようになると良い。
- 他分野への情報発信、情報開示の機会を増やし、オープンな議論を活発化させることが期待される。

（4）産業界との連携

以下に代表的なコメントを示す。

- 英国、ポーランドとの国際連携については、HTGR 開発のライバルである中国の研究機関等への技術漏洩には注意が必要かもしれない。
- 委員会でも指摘されていた通り、国際協力が日本の高温ガス炉開発にどんな利益を与えるのかを意識して取り組まれたい。
- HTTR について、産業界との連携で実用化を早く進めてほしい。
- 海外では英国（Penultimate Power 社など）、ポーランドとの協力進展に、また、国内では高温ガス炉産学官協議会での議論が進展し国産技術の海外展開を実現するためのより具体的な産業界との戦略策定を期待します。その際には、知財の保護を着実に行いつつデータなどの知見を交換し開発を効率的効果的に進めて頂きたいと思います。
- 国内、海外との交流を介した技術の流出のないように、新しい技術の特許化、秘密保持契約や覚書の締結など、知的財産の保護を確実に行うこと。
- 米国などではビジネスモデルの策定経験を有する原子力発電事業者が高温ガス炉の開発に参画している。わが国でも、ようやく、電力事業者との連携の気運が醸成されてきた感があり、連携強化に向けた活動を推進してほしい。
- 他分野との連携に向け、製造コストだけでなく、運搬や後工程での活用までのサプライチェーンを考慮した実用化構想の検討が必要と思われる。

（5）イノベーションの創出社会実装

以下に代表的なコメントを示す。

- 高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発の評価軸、つまり「高温ガス炉とこれによる熱利用技術についての成果が、海外の技術開発状況に照らし十分意義のあるものか、さらに将来の実用化の可能性等の判断に資するものであるか」のうち、社会学系委員の評価軸は後段の部分と思うが、今回の評価資料には、将来の実用化シナリオが描かれていない。そのシナリオなしに個別の開発項目を評価しても意味がない。評価軸と評価内容がずれるからである。中期計画策定にむけ、まずは現時点で考えられる将来シナリオを提示したうえで、産業界との連携、人材育成、国際連携などの項目の目標を立てるべきである。また、「イノベーション創出・社会実装」は高温ガス炉と熱利用技術開発の結果であって個別の評価項目とするべきでないと考える。
- IAEA、GIF、OECD/NEA LOFC プロジェクトとの連携を通じて、日本固有の技術に海外技術を取り入れられることが見込めるようです。経済性や競争性についてなどは、原子力工学研究技術者のみでなく人文・社会学系の専門家との連携も検討していただくと良いと思います。HTTR 研究開発の現場には既に人文・社会学系研究者も参画しているのでしょうか。今後は社会実装に向けて人文社会技術（人口・エネルギー需要予測、法・規制・制度、社会受容、事故時の医療圏医療対応計画など）

の専門職との連携が重要となってくるフェーズと思います。

5.3　第 3 期中長期計画（平成 27 年度から令和 3 年度）の見込評価

（1）高温ガス炉技術研究開発

① 新規制基準への適合性確認を受けて速やかに再稼働

技術系委員（10 名）のうち、7 名の委員が S、3 名の委員が A と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 停止期間が長かったため、本中長期計画の最終年度の再稼働時に、思わぬ事態が発生しないように注意して戴きたい。
- 高温ガス炉の安全の考え方が軽水炉と異なることを原子力規制委員会に認められ HTTR が再稼働することは大きな成果である。
- 新規制基準を満たし高温ガス炉の固有安全性を踏まえた許可を取得し、まもなく再稼働を果たす見込みとなっており極めて高く評価できる。

② 実用高温ガス炉システムの安全基準の整備

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、9 名の委員が A と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 安全要件原案が IAEA レポートとして出されるなど、国際的な安全基準の整備に向けた成果をあげており高く評価できる。
- 産業界、学会の協力を得ながら、安全要件の原案が IAEA の技術報告書として発行されており、国際標準確立に向けた成果となった。

③ 高燃焼度化・高出力密度化のための燃料要素開発

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、9 名の委員が A と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 経済性を高めることに貢献できることを確認して戴きたい。
- 今後は商業的な燃料製造に関する検討を期待する。
- 実用化に向けた燃焼度向上が照射試験によって確認されており、さらなる向上に向けた研究の推進に期待する。

④ HTTR－熱利用試験施設のシステム設計、安全評価

技術系委員（10 名）のうち、2 名の委員が S、8 名の委員が A と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- この研究開発の中心課題と考えられ、知財管理に注意しつつ、成果のアピールを行ってもらいたい。
- 実用化にむけた大型化及び建設コスト低減に成果を上げており高く評価できる。

⑤ 軸封システム設計、試験

技術系委員（10 名）のうち、2 名の委員が A、8 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 熱利用システムの全ての機器仕様の設定を完了。
- 試験の実施には至らなかったが、開発の優先順位によるものと理解している。試験計画まで策定できたため、計画された内容に対して最大限の対応がなされたものと評価する。

(2) 熱利用技術研究開発

① 連続水素製造試験装置による運転制御技術及び信頼性等の確証

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、6 名の委員が A 及び 3 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- システムが平衡状態に達するまでだけでなく、より長時間の運転実績を示すと、産業界としてはより安心できたのではないかと思う。
- 多くの課題に対し着実に対応してきているが尚、長期連続運転への課題は残っている。
- 安定性に課題。コスト低減など実用化に向けた見通しを得るための取り組みが必要。

② セラミックス構造体の強度評価法の作成

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が A、9 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- セラミックス構造体の強度評価法を作成
- 強度評価法の提案ができた段階であり、今後、必要に応じて規格基準化ができるとよい。

③ 将来の実用化や技術の民間移転等に向けた研究目標の明確化

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、1 名の委員が A 及び 8 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 大容量化に向けては、膜や電極を用いた反応過程がボトルネックとなる可能性があるので、対応策などを検討して戴きたい。
- 水素の製造コスト、効率が不明。
- 民間移転には運転制御法の確立と経済性の実証が不可欠である。経済性については、まだ十分な目標が提示できているとは言えず、当面は、経済性に大きな影響を与えそうな部分に着目し、システム・機器の改良を行っていくことを推奨する。
- CO_2 フリー水素製造に関する期待が高まっているが、課題明確化やマイルストーンの設定が必要。

④ 核分裂生成物の沈着低減技術等の要素技術開発

技術系委員（10 名）のうち、2 名の委員が S、7 名の委員が A 及び 1 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- ガスタービン保守時の被ばく線量率が制限値を満足することを確認。
- HTTR での直接サイクルガスタービン実用化に向けた成果を上げており高く評価できる。
- ガスタービンが実用化された場合のメンテナンス軽減等に寄与できる技術開発であり、目標は達成されたものと判断する。

(3) 人材育成

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、9 名の委員が A と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 若手研究者の育成により高温ガス炉開発者のすそ野を広げることに貢献できた。
- 本中長期計画中、毎年、常に計画を上回る人員の育成が行われており、近年ではポーランド等の人員に対しても育成対象を拡げて対応しており、原子力導入国の人材育成にも貢献している。

(4) 産業界との連携

技術系委員（10 名）のうち、4 名の委員が S、6 名の委員が A と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 政策的には追い風を受けており、連携をさらに強化して戴きたい。
- 実用化に向け、日本の高温ガス炉技術の維持フィールドとして幅広い国際協力体制が構築できている。
- 国際協力で成果を上げ JAEA 発ベンチャーの設計を計画するなど高く評価できる。
- 世界の原子力研究機関の中では、最も精力的に高温ガス炉の国際協力を推進していると評価している。

(5) 総合所見

技術系委員（10 名）のうち、1 名の委員が S、8 名の委員が A 及び 1 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- HTTR を用いた研究開発ではなく、その再稼働自体が重要な課題であったが、新規制基準に対応した設置変更許可を取得できたことは評価される。必要と考えられる各種要素技術の研究開発やシステム設計は着実に進められていると判断されるが、社会から寄せられる期待も大きくなっており、連続水素製造設備の商業化に向けた課題も検討するフェーズに入りつつあるように思われる。

・ 高温ガス炉を利用した電気、熱化学水素の経済性が従来の技術を利用したものに比べ有利になるかの経済性を計算してほしい。
・ HTTR の再稼働に向けた準備が進捗し、研究開発も着実に進展を遂げており、総合的に計画を上回る成果が得られたと判断する。近々、中国の HTR-PM も運開し、今後、米国においても新政権の下で高温ガス炉の開発も進められものと予想される。これらの国では、豊富な資金で急に開発を立ち上げるため、第 4 期中長期計画の策定にあたっては、これらの開発動向に注視する必要がある。類似の計画が後追いで立ち上げられ、開発途中で逆転されて、二番煎じとならないよう留意願いたい。
・ 高温ガス炉および熱利用技術開発について、課題明確化や目標達成までのマイルストーン設定などの検討が必要と思われる。

(6) 社会的貢献

① 科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性

人文社会系委員（2 名）のうち、2 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

・ 「炭酸ガスを排出しない水素製造法である IS プロセスの開発は世界がカーボンフリーに向かう上で重要な貢献をなすもの」であろうと推測はできる。開発の事実は高く評価されるべきだが、どのように世界的な脱炭素社会のニーズに適合するのかは技術の実装・普及戦略なしに判断できない。実用高温ガス炉についても同様であると考える。
・ 設置変更許可を取得など、高温ガス炉が有する固有の安全性は社会の要請に応えることができることを社会がより深く理解できるようなコミュニケーションの方法を、現場の研究者・技術者だけではなく原子力機構全体で支援し専門の人材を配置して実施する必要性を感じます。

② 研究開発課題／成果の社会的受容性

（社会へ及ぼす影響度の想定、研究倫理的妥当性）

人文社会系委員（2 名）のうち、1 名の委員が B、1 名の委員が C と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

・ HTTR の安全性、水素製造の要素技術について広く発信したとあるが、プレスリリースや新聞報道によってどのように社会的受容性が向上すると考えているのか不明である。また実用高温ガス炉と水素製造技術研究の倫理的妥当性についての検討の報告は見当たらなかった。またこれら 2 つが実現した時の社会に与える影響度について、要素技術についてではなく、システム全体としての検討も見当たらない。ただし、第 3 期中期計画全体として要素技術の発信について着実に成果を上げてきていると考えるので、期間評価は B としたい。
・ このほど ICRP Publication 146 が発行されており以下の内容は抜粋であるが、このような視点での取り組みは第 3 期中長期計画ではまだ準備段階のように感じまし

た。JAEA 全体としての取り組みも必要と思います。責任ある組織は、地域の状況のより良い評価、適切で実践的な放射線防護文化の発展、および影響を受ける人々の間での情報に基づいた意思決定を達成するために、専門家との協力的なプロセス（共同専門知プロセス）に地域社会が関与することを促進すべきである。大規模原子力事故が発生した場合、その影響を緩和するためには、準備計画が不可欠であり、ステークホルダーを巻き込む必要がある。

③ 成果の波及効果を十分に見極めるなど、長期的・文化的な観点に立った評価

人文社会系委員（2 名）のうち、2 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 日本の産業界とのビジネスモデルについての検討、ポーランドに対する技術協力を活発に行っていることは評価できるが、それらがどのように結びついて高温ガス炉、並びに水素製造技術の実用に至るのか中長期的な視点からの戦略、ビジネスモデルの検討の中身が示されているべきである。
- 長期的な視野に立って、将来的に社会活性につながる研究課題／成果だと思います。熱利用技術開発や熱化学法 IS プロセスの開発は他分野への応用など、視点を変えた波及効果の可能性はあると思われます。設置変更許可を取得され、SMR 安全基準整備により、実用高温ガス炉の安全基準構築に貢献していることは大変有意義です。一方で、2011 年以降に大学で原子力工学・理学を専攻する学生は減少したままであり若手（女性を含む）の人材確保は喫緊の課題です。行政の縦割りで行われている、例えば文科省国際原子力人材育成イニシアティブ事業に採択されている機関などとも、今期は難しくても次期にはぜひ積極的に連携を検討できないものでしょうか。

④ 新規科学技術の研究開発や利活用におけるリスク発生の可能性

人文社会系委員（2 名）のうち、1 名の委員が A 及び 1 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- 実用高温ガス炉の安全基準の整備を推進し、HTTR の許可取得は安全基準の構築に寄与する成果であり、リスク発生の回避に資するものと評価できる。
- 今後のエネルギー政策を考えるにあたって小規模の原子炉の実用化は重要と思いますので、日本社会での冷静な議論と核エネルギー利用への理解が進むことは開発の一部として肝要と考えます。核利用反対者も巻き込んだ議論および対話を成り立たせる努力が必要かもしれません。異常の早期発見対処のために膨大な監視データを分析できるインフォマティクスを担う人材育成は進んでいるのでしょうか。

⑤ 国内外他機関、産業界との連携の妥当性

人文社会系委員（2 名）のうち、1 名の委員が A 及び 1 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- それぞれについて活発に活動されていて評価できるが、相互の関係性がわかるとなおよい。なんのためになぜこの連携が必要で相互にそれらがどう結びついているのかなど。
- 報告書資料に、JAEA 発ベンチャーを設立し、産業界と連携して海外プロジェクトへ参加することを目指し、日本の利益については、高温ガス炉産学官協議会、高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチームにおいて議論を進めている、と拝見したと思うのですが、報告会ではベンチャー設立のお話は無かったような記憶ですので今後に期待しています。自由市場において経済性が十分に自立する見通しについて、例えば初期投資コスト、建設工期の短縮、ランニングコスト、など電気事業者および金融業界などの視点はいかがでしょうか。

⑥ 総合所見

人文社会系委員（2 名）のうち、2 名の委員が B と評価した。

以下に代表的なコメントを示す。

- R3 の計画は R2 年度の実績の延長であるが、国産技術の海外展開にむけて国や産業界と協力をし、戦略を練り、ビジネスモデルを具体化すると表明している点は高く評価したい。意思の表明だけでなく、R3 年度の年度報告ではその具体が報告されることを望む。その点を期待して見込み評価は社会的受容性を B とするが、他は R3 年度の計画に R2 と比べて顕著な進捗を感じないので R2 年度の実績と同様の評価、意見である。R3 年度は次期中長期計画の策定時期でもあるので、なんども繰り返しになるが、実用高温ガス炉と水素技術の社会実装ならびにそこからのイノベーションをどのように実現するのかについて中長期のシナリオを描き、それを外部識者も交えて議論し、実効性と実現性のある工程表を書くべきと考える。それに基づいて評価指標を作成するのが望ましい。
- 今年度評価から人文・社会科学系委員を置くとして頂きましたので、技術面のことは不勉強ながら生意気にも評価させて頂きました。産学官の垣根を超えた人材・技術・産業基盤のさらなる強化、原子力需要が増加する新興国への積極的な貢献、開発者目線で将来に稼働後の老朽化に対する保守点検計画の立案など、多くの期待をしています。

5.4 まとめ

令和 2 年度研究実績の年度評価は、技術系委員 10 名のうち、1 名の委員が S 評価、8 名の委員が A 評価及び 1 名の委員が B 評価と評価し、総合評価として A 評価を受けた。また、人文社会系委員 2 名のうち、2 名の委員が B 評価と評価した。さらに、第 3 期中長期計画の見込評価については、技術系委員 10 名のうち、1 名の委員が S 評価、8 名の委員が A 評価及び 1 名の委員が B 評価と評価し、総合評価として A 評価を受けた。加えて、人文社会系委員 2 名のうち、2 名の委員が B 評価と評価した。

令和２年度実績の評価点及び評価委員からの意見一覧

（1）技術系委員

総合評価；S判定１名、A判定８名、B判定１名			評価点
高温ガス炉技術研究開発	HTTR の新規制基準への適合性確認の対応（原子力規制庁による審査）	①設置変更許可を取得し、再稼働に向けた手続きが着実に進められている。	S
		②BDBA に対する具体的な考え方を規制の中で整理できたことは、高温ガス炉に限らず安全規制の継続的改善の観点でも大きな成果と思います。一方、今後何らかの自然災害が発生したとしても 2011 年時のような長期停止なく、継続的に研究開発ができるような備えが必要と思います。（規制対応を超えますが）重要度が高くない SSCs も含めて検討をされるとさらによい成果が得られると思います。	S
		③HTTR において炉心溶融が起こらないことが NRA に認められたことは今後の高温ガス炉の実用化に向け大変大きな成果である。進捗も計画通り。	S
		④HTTR の固有の安全性を十分取り入れた内容で新規性基準に対応した許可を取得しており極めて高く評価できる。	S
		⑤原子力防災上の観点も含め高温ガス炉の安全性が原子力規制庁に認められたことは極めて重要で評価できる。	S
		⑥新規制基準への適合性の審査について、設置変更許可を規制庁から取得した。	S
		⑦再稼働に向けた取り組みは高く評価でき、2021 年 7 月に実現できることを期待します。	S
		⑧HTTR の安全上の特性を規制当局に理解させることができ、大きな追加工事を行うことなく再稼働が見通せる設工認レベルまで進捗した。特に EAL を適切に設定できたことは、今後の商用炉開発において有用な指針が得られたものと考える。	S
		⑨HTTR の安全性を認める許可を正式に取得し、EAL に関し、措置不要とするなどができた事は大いに評価できる。	S
		⑩－	A

	実用高温ガス炉システムの安全基準の整備に向けた燃料設計限度の考え方提示	①燃焼日数を長くした炉心を対象に適用性が確認されている。	A
		②－	A
		③高温ガス炉の実用化に向けた考え方が提示できており、顕著な成果である。	A
		④燃焼日数がより長い炉心に対して燃料設計限度の考え方の適用を確認しており着実な進捗が認められる。	B
		⑤提案した燃料設計限度の適用性の確認を完了。	S
		⑥燃焼日数を 60 日長くした炉心を対象に、燃料の追加破損を許容する燃料設計限度の考え方の適用性を確認。	A
		⑦安全裕度が上がり、熱利用施設の非原子力施設化への貴重な成果である。	A
		⑧燃料設計限度の評価指標は判断基準を満足しており、計画通りである。	B
		⑨具体的な燃料の追加破損を許容する燃料設計限度の適用性を確認したことは評価できる。	A
		⑩－	A
	蒸気供給用高温ガス炉システムの設計	①経済性を高めたコンファインメント概念を提示している。	A
		②－	A
		③目標が「大幅な削減」とあり定量評価ができない目標。約 30%の建設コスト低減は顕著とまでは言い難い。	B
		④新たに経済性に優れたコンファインメント概念を提示しており、今後の成果の発展が期待できる。	A
		⑤大幅にコスト削減可能なコンファインメントの合理化案を提示。	S
		⑥原子炉建家の建設コストを令和元年度の設計から約 30%削減可能なコンファインメント概念を提示。	A
		⑦コンファインメント設計で安全性も経済性も向上しており、実機適用への展開も期待します。	A
		⑧上記条件のもとで建設コストを 30%削減するコンファインメント構造の見通しを得たことは商用炉開発を加速させるに値する成果である。	A

		⑨原子炉建家の建設コスト 30%削減可能なコンファインメント概念の提示は年度計画を上回る成果と評価。	A
		⑩－	A
水素製造技術研究開発	HTTR との接続を想定した起動・停止などの運転手順検証及び運転後のプロセス機器の腐食・劣化に関するデータ取得と有効性確証	①運転中の自動組成制御に向けて、制御変数の決定や変数間の相関関係の分析など、その準備が進められている。発生した課題にも対応している。	A
		②－	A
		③自動組成制御に向けた計算式まで構築できており、顕著な成果と認められる。	A
		④オンラインかつ迅速に計算できる溶液組成法を提示し妥当性を検証しており、今後の技術の発展・波及が期待できる。	A
		⑤迅速に計算できる新たな溶液組成計算法を提示して妥当性を検証し、自動組成制御のためへの貢献が大きい。安定した水素製造に成功している。	S
		⑥自動組成制御に向けた制御パラメータ及び物性データを取得した。 水素製造量 92L/h（28 時間）を達成した。	A
		⑦自動組成制御に向けた長期組成変動制御のためのパラメータ抽出や多成分系のデータ整備はご苦労されたと思料いたします。プロセス機器の改善に反映され、水素製造効率が上がることを期待します。	A
		⑧自動組成制御に向けた制御パラメータ及び物性データを取得するだけでなく、オンラインかつ迅速に計算できる新たな溶液組成計算法を提示して妥当性を検証できた。	A
		⑨連続運転のためのオンライン制御パラメータデータの整備は今後の安定運転に大いに貢献できる成果と評価するが、硫黄析出問題は本質的な課題であり、根本的な対応が必要と考える。	B
		⑩連続水素製造時の自動組成制御はコスト低減の観点からも重要。連続運転の実証は重要な成果だが、安定性に課題有と思われる。	B
	硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能評	①計画通り進められている。	B
		②－	B

	価	③金属材料によるループ構成ができれば実用化が大きく進むと考えられる。本項目への注力、研究促進を期待したい。	B
		④計画通り実施しており着実な進捗が認められる。	B
		⑤新規耐食合金に対して、耐食性評価試験及び高温引張試験を行い、優れた耐食性能及び高温引張特性を明らかにした。	S
		⑥新規耐熱耐食合金を開発し、民間企業と共同で特許を出願した。	A
		⑦硫酸分解器の環境に耐え得る合金の技術的キーポイントと改善の方向性を見出した点は評価できる。機械的特性など設計と関わる点は該当部門とも連携して進めること。	A
		⑧化学的な腐食の場合は、腐食量だけでなく、腐食して系統内に流れ込んだ物質が IS プロセスの連続運転に影響を与える影響も検討して材料選定した方がよい。	B
		⑨年度計画を充分達成。	A
		⑩新規耐食合金の特許出願は民間企業との連携の観点からも重要。	A
	ガスタービンへの核分裂生成物の沈着低減技術について、候補合金の核分裂生成物の沈着量評価	①適切な評価がなされ、既存の知見を変えるデータを得たことは評価される。	A
		②－	A
		③過去のデータを書き換える成果で、かつ、実用化に向け有効なデータが取得できている。	A
		④銀の沈着特性について一般的・工学的に有用なデータを取得するところまで成果が発展しており高く評価できる。	A
		⑤ガスタービン保守時の被ばく線量率を評価し、制限値を満足することを確認。	S
		⑥ガスタービン保守時の作業員被ばく線量率は従来設計値の約 1/100、制限値の約 1/10 であることを見出した。	S
		⑦沈着量評価は貴重な結果と思料いたします。	A
		⑧最新の評価方法を用いて、従来の文献値に代わる新たな合金状態図を提案できる予定とのことであり、学術的な貢献は大きい。	A
		⑨年度計画を充分達成。	A

		⑩－	A
人材育成	国内外の研究者・技術者の受け入れ実績	①新型コロナ感染対策下で、当初計画を上回る実績を残している。	A
		②－	A
		③受け入れた学生が職員に応募・採用されたかどうかなど、具体的な成果の有無で評価したい。	B
		④コロナ禍の状況にも関わらず多数の実習生を受入れ人材育成にあたっており高く評価できる。	A
		⑤国際セミナーを開催し、国内外の研究者・技術者への技術継承・普及が進展。	A
		⑥年度目標を上回る、夏期休暇実習生 12 名、学生実習生 2 名を受け入れた。	A
		⑦人材育成は労を要しご苦労されたこと察します。育成した人材の受け皿があるように HTTR 再稼働や高温ガス炉の実用化を期待します。	A
		⑧研究者・技術者の受け入れ数は目標を上回っており計画は達成できたものと考えられる。	A
		⑨年度計画を充分達成。	A
		⑩－	A
産業界との連携	産学官協議会での協議 国際協力の推進（既存、新規）	①英国、ポーランドとの国際協力の拡大は大きな成果と考えられる。	S
		②－	S
		③日英の枠組みを構築したことは顕著な成果と認められる。	A
		④ポーランドに加え英国とも具体的な協力関係を確立しつつあり極めて高く評価できる。	S
		⑤産学官協議会での協議で、産業界からの理解を得ている。ポーランド、英国との協力が進んでいる。	S
		⑥ポーランドとの協力関係を維持しつつ、英国 NNL 及び ONR との協力の取決めを新たに締結した。	A
		⑦－	A
		⑧高温ガス炉は積極的に国際協力が推進されており、ポーランドに加え英国との協力も緒についた。	A
		⑨年度計画を充分達成。	A

		⑩－	A
総合所見		①HTTR に関しては、設置変更許可を取得し、再稼働に向けたステップが着実に進められている。熱利用については、要素技術等の耐久性向上と運転制御を意識した慎重な検討が行われている。	A
		②適切に進捗していると理解されます。	A
		③昨年度も記載しましたが、目標が曖昧なため、評価が難しい項目が有ります。高温ガス炉の実用化及びその判断のため、各年度で各技術がどのレベルに達成していなければならないかの技術的な定量目標を示し、それに対する達成度合いを評価すべきと考えます。	A
		④計画を確実に達成したのみならず、規制対応・国際協力で大きな成果を上げており高く評価できる。	A
		⑤与えられた資産、情報、交流を活用し、年度目的に向けて研究開発を良く進めている。人材育成、産業界との連携も進んでいる。	S
		⑥設置変更許可取得したものの再稼働時期については不明である。	A
		⑦高温ガス炉研究開発は順調と思われ、水素製造など熱利用は時運に乗った早期の実用化を期待します。	A
		⑧HTTR の再稼働に向けた準備が進捗し、研究開発も着実に進展を遂げている。IS 法はブンゼン反応工程で硫黄の析出が確認されたとのことであるが、米仏が実施した試験でもブンゼン工程がうまくいかなかったため、是非ともこの課題を乗り越えていただきたい。	A
		⑨HTTR の安全性を認める許可を正式に取得し、実験再稼働の具体的計画に漕ぎつけたことは評価できる。また、装置システムの各種合理化・最適化・課題解決や人材育成、国際協力など所定の成果を出し評価できる。	A
		⑩水素製造に関し、熱交換器の閉塞が発生するなど安定性が不十分。スケールアップやコスト目標達成に向けた課題の明確化が必要と思われる。	B

（2）人文社会系委員

総合評価；B判定２名		評価点
科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性	「炭酸ガスを排出しない水素製造法である IS プロセスの開発は世界がカーボンフリーに向かう上で重要な貢献をなすもの」であろうと推測はできる。開発の事実は高く評価されるべきだが、どのように世界的な脱炭素社会のニーズに適合するのかは技術の実装・普及戦略なしに判断できない。実用高温ガス炉についても同様であると考える。	B
	エネルギーミックスにおいて一翼を担える重要な課題であり、カーボンフリー水素の供給源としても非常に有望と思われます。新規制基準適合性に係る原子炉設置変更許可の取得についても大変喜ばしいことと思います。	B
研究開発課題／成果の社会的受容性（社会へ及ぼす影響度の想定、研究倫理的妥当性）	HTTR の安全性、水素製造の要素技術について広く発信したとあるが、プレスリリースや新聞報道によってどのように社会的受容性が向上すると考えているのか不明である。また実用高温ガス炉と水素製造技術研究の倫理的妥当性についての検討の報告は見当たらなかった。またこれら 2 つが実現した時の社会に与える影響度について、要素技術についてではなく、システム全体としての検討も見当たらない。	C
	現時点で脱原発の世論が一部にはある中で、HTTR が国民の多くに安心される研究課題／成果として理解されているとは言い難いです。自主的な発信としてプレス発表 5 件では国民が HTTR 研究開発成果を理解するには不十分と思われます。国民への情報発信は HTTR だけでなく JAEA 全体としてもっと取り組みの強化を期待します。 欧文論文発表および講演は積極的に行われており、研究内容・研究成果を国際的に発信していると言えます。 JAEA 全体として研究開発活動上の不正行為の防止に関する行動規範が定められているようですが、HTTR ではそのためにどのような取り組みが行われているか報告会では明らかではありませんでした。	C

成果の波及効果を十分に見極めるなど、長期的・文化的な観点に立った評価	日本の産業界とのビジネスモデルについての検討、ポーランドに対する技術協力を活発に行っていることは評価できるか、それらがどのように結びついて高温ガス炉、並びに水素製造技術の実用に至るのか中長期的な視点からの戦略、ビジネスモデルの検討の中身が示されているべきである。	B
	発電、水素製造など多様な産業利用が見込まれ、原子力利用の多様化・高度化に貢献する可能性のある研究課題と思われます。熱利用系の接続に関する他分野への応用技術の確立に波及効果を当てられることを期待します。 若手や女性、外国籍が積極的に登用・活用されているかについて、原子力機構の人材ポリシーに基づき、人材育成、技術伝承の促進等を目的としたキャリアパス方針を明示し、職員の資質・能力の向上に努めるとの目標を掲げているようです。今回の報告では学生の短期受け入れとポーランド研究者へのセミナーによる若手職員育成とのことでしたので、さらに女性や外国籍の積極的な登用・活用を期待します。	B
新規科学技術の研究開発や利活用におけるリスク発生の可能性	実用高温ガス炉の安全基準の整備を推進し、HTTR の許可取得は安全基準の構築に寄与する成果であり、リスク発生の回避に資するものと評価できる。	A
	HTTR を含む原子力利用の研究開発の実施はその軍事利用への危惧や放射性廃棄物の課題もあり常に社会的論争になっています。 27 日の委員会でもコメントさせて頂きましたが、原子力機構全体および高温ガス炉及び水素製造研究開発の成果の最大化及び効率化のためにも本評価法そのものの透明性に疑義を呈させて頂きます。評価の実施者である評価委員の募集要項ないしは適格要件の情報が原子力機構内部（理事長、理事、評価室等）のみで集約されており社会に向けて分かりやすく公開されていない現状には改善が必要と思われます。社会から評価報告が信用に足るものと受け入れるためには、評価報告書と一緒に評価法の詳細についての上記のような委員登用を含んだ情報の公開を希望します。また、同時に委員個別の利益相反 conflict of interest も公開すべきと考えます。以上の情報公開を持ってようやく社会は本評価法の前提を知ることが出来ると考えます。原子力エネルギーの安	C

	全性や効率性の確立とともに、原子力エネルギーへの信頼を取り戻すためにあらゆる面で透明性はとても重要だと思っています。	
国内外他機関、産業界との連携の妥当性	それぞれについて活発に活動されていて評価できるが、相互の関係性がわかるとなおよい。なんのためになぜこの連携が必要で相互にそれらがどう結びついているのかなど。	A
	HTTR 研究開発 4 チーム間や、異分野間の連携と協働は努力されているようでしたが、時間的な制約など大変ご苦労があるように思われました。 国際的なネットワークを構築し世界に日本の HTTR 技術を導入するための方策として、現在進められている海外のプロジェクトに日本が参加してリードすることを目標として進めておられるとのことで、具体的事例として日英間の政府レベルでの技術開発と規制の両面からの協力体制を構築しており、今後も多くの国との研究連携が期待されます。	B
総合所見	全体的に評価委員会での報告内容とこの評価シートの項目が対応していない。評価部門と開発現場でよく議論を重ねて、実用高温ガス炉と水素製造の社会実装をゴールとしたシナリオとそれに基づく評価項目を策定してほしい。	B
	令和 2 年度の研究成果について、イノベーション創出や新規科学技術の社会や政策への橋渡しにおいて生じうる課題に対する取組状況（社会とのコミュニケーション、研究倫理、法規制、政策との関連等）の観点から評価し、成果等の創出に向けた着実な進展が認められます。 しかし、他の委員から関連の質問がありましたが、設計基準事故を超えるような事故を想定して新規制基準適合性に係る原子炉設置変更許可を取得したことが、地質学系災害である地震津波を十分に想定したとしても、他の災害である水害や感染症、戦争やテロ（サイバー攻撃も含めて）への対応についての想定が HTTR 開発部門のみでは難しいような印象を受けましたので、外部専門家との連携が必要なのではないかと思いました。最大限に具体的な GE シナリオを作成し、それに対応を検討できるような研究開発を引き続きお願いしたいと思います。	B

令和 3 年度の研究計画に対するコメント

研究課題	コメント
高温ガス炉技術研究開発	①再稼働が間近に迫っているが、ほぼ 10 年ぶりの運転となるため、運転ノウハウの忘却や喪失などによる様々なミス（10 年前であれば当然防ぐことができたミス）の発生が懸念される。研究開発に支障が生じないように、運転員の技術能力の維持向上には引き続き留意して戴きたい。
	②運転再開することが計画になっていますが、再開時期が見通せる場合には、運転再開後の実施事項について計画に含める必要はないでしょうか。
	③計画は妥当。計画通り着実な推進をお願いしたい。
	④年度内に運転再開を目標としており極めて妥当。是非達成すべきである。また熱利用施設の非原子力化へ向けた取り組みの計画も妥当と判断される。
	⑤原子力防災上の観点も含め高温ガス炉の安全性が原子力規制庁に認められたことは極めて重要で評価できる。燃料設計限度検討の進展、コンファインメント低コスト化も見出され、第 3 期中長期計画を十分達成されるものと判断される。高温ガス炉のカーボンニュートラルへの貢献を工学的に明らかにできると見込まれる。
	⑥再稼働してほしい。
	⑦－
	⑧－
	⑨熱利用施設の非原子力施設化に関わる安全要件が明確になることを期待します。
	⑩安全上重要なプラント本体には十分な手当てがなされていると思うが、原子炉設備でないものの運転に不可欠な施設においては、長期停止に伴うトラブルが発生することも懸念されるので、対応に時間を要するものについては事前の備えをした方がよい。
	⑪妥当と判断します。
	⑫昨今の状況変化に伴い、「将来的に社会に貢献できるか」、など技術以外の観点から計画見直しの余地が無いか検討が必要と思われる。

水素製造技術研究開発	①運転中の自動組成制御に向けて、制御変数の決定や変数間の相関関係の分析などが行われているが、静的な相関関係だけでなく、動的な関係の分析も必要と考えられる。適切なフィードバック制御を実現するには、制御対象システム内における時間遅れを定量的に考慮することが必要である。
	②－
	③工業規模での実用化のためには金属材料での IS 法の確立が重要。第 3 期中長期計画を達成するためというだけではなく、長い目で見て、金属材料の材料データ取得を推進願う。 また硫黄の析出に関しても、実用化に向けた原因の把握と対策の検討を確実に行い、その効果を長時間連続水素製造試験で確認されたい。
	④IS プロセスの自動組成制御開発及び、技術の民間移転等に向けた取り組みを計画しており妥当と判断される。
	⑤迅速に計算できる新たな溶液組成計算法を提示して妥当性を検証し、自動組成制御のための貢献が大きい。耐食性のある新規耐食合金を見出している。安定した水素製造に成功しており、計画は達成されると判断される。
	⑥水素製造の開発スピードの遅いことが気になる。 現状 92L/h からスケールアップへの具体的なロードマップを作成してほしい。
	⑦－
	⑧－
	⑨水素製造は IS プロセス以外のシステムも様々な国や企業で検討されており、水素製造量やコストも重視して研究開発を進めていただきたい。
	⑩水から水素を作れる IS 法は産業界の期待は高い。一方で、複雑な化学プラントでもあり、民間にとっては自動化運転が必須である。自動化運転システムの開発により連続運転実証を目指すという計画は妥当である。
	⑪自動組成制御は必須でありその物性データベースの整備をしっかり確立してほしい。それにより沃素・硫黄析出など根本的な問題解決を図り、更なる長期連続運転（1000Hr 以上）を達成させていただきたい。
	⑫令和 3 年度は現中長期計画の最終年度にあたり、今後に向けた課題を明らかにする必要があると思われる。これまでの水素製造プロセスの検討に加え、スケールアップやコスト目標達成に向けた課題を明らかにする取り組みが必要と思われる。

人材育成	①若い世代に関心を持ってもらうために、原子力エネルギー全般の有効性を認知してもらう活動も必要かもしれない。インターネット配信できる動画は特に有効なように思われる。
	②社会実装も含めた幅広い人材育成のあり方も並行して検討されてはと思います。
	③現在の目標記載は「高温ガス炉に関する知識を習得させる」のみである。知識を習得させた結果どうするのか、何のために知識を習得させるのか人材育成の目的を明確にし、その目標達成のための活動とされたい。
	④今後も引き続き人材育成につとめる計画としており妥当と判断される。
	⑤国際セミナー主催などを通し、国内外の研究者、技術者向けの人材育成活動が進んでいる。職員採用も行われており、目標を果たしている。
	⑥日本の税金で海外の人材育成をする場合のメリットを出してほしい。
	⑦高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発の評価軸、つまり「高温ガス炉とこれによる熱利用技術についての成果が、海外の技術開発状況に照らし十分意義のあるものか、さらに将来の実用化の可能性等の判断に資するものであるか」のうち、社会学系委員の評価軸は後段の部分と思うが、今回の評価資料には、将来の実用化シナリオが描かれていない。そのシナリオなしに個別の開発項目を評価しても意味がない。評価軸と評価内容がずれるからである。中期計画策定にむけ、まずは現時点で考えられる将来シナリオを提示したうえで、産業界との連携、人材育成、国際連携などの項目の目標を立てるべきである。また、「イノベーション創出・社会実装」は高温ガス炉と熱利用技術開発の結果であって個別の評価項目とするべきでないと考える。
	⑧HTTR を活用した人材育成として、より幅広い分野の研究者や学生を受け入れ、高温ガス炉の可能性について範囲を限定せずに探っていただきたいと思います。受け入れのみでなく、HTTR 職員が外に出て様々な経験や知見や人的つながりを得られるように、JAEA 組織として適切にリーダーシップを発揮していただくことでイノベーション創出につながることを期待します。 国内外における高温ガス炉サポーター獲得に向け、セミナーやガス炉イベントなど、積極的なガス炉 PR と人材受け入れの展開に努める、という目標を立てておられたように拝見しましたのでコロナ禍でも行える情報発信やオンラインイベントなどの企画を楽しみにしています。
	⑨国内、海外との交流を介した技術の流出のないように、新しい技術の特許化、秘密保持契約や覚書の締結など、知

	的財産の保護を確実に行うこと。
	⑩研究者・技術者の受け入れ数は目標を上回っているが、育成の結果、どの程度の育成が達成できたかがわかるような、新たな指標等を検討し、育成内容のチェックができるようになると良い。
	⑪妥当と判断します。
	⑫他分野への情報発信、情報開示の機会を増やし、オープンな議論を活発化させることが期待される。
産業界との連携	①英国、ポーランドとの国際連携については、HTGR 開発のライバルである中国の研究機関等への技術漏洩には注意が必要かもしれない。
	②－
	③委員会でも指摘されていた通り、国際協力が日本の高温ガス炉開発にどんなご利益を与えるのかを意識して取り組まれたい。
	④実用化へ向けた戦略及び海外との協力等を計画しており妥当。成果の発信については軽水炉と異なる固有の安全性を有していることをもっと前面に出した情報発信を強力に行い、高温ガス炉に対する社会の理解と支持を得られるよう一層の努力することが期待される。
	⑤産学官協議会での協議で、産業界からの理解を得ている。ポーランド、英国との協力が進んでいる。将来の社会実装が具体的に期待できる。
	⑥HTTR について、産業界との連携で実用化を早く進めてほしい。
	⑦高温ガス炉とこれによる熱利用利術の研究開発の評価軸、つまり「高温ガス炉とこれによる熱利用技術についての成果が、海外の技術開発状況に照らし十分意義のあるものか、さらに将来の実用化の可能性等の判断に資するものであるか」のうち、社会学系委員の評価軸は後段の部分と思うが、今回の評価資料には、将来の実用化シナリオが描かれていない。そのシナリオなしに個別の開発項目を評価しても意味がない。評価軸と評価内容がずれるからである。中期計画策定にむけ、まずは現時点で考えられる将来シナリオを提示したうえで、産業界との連携、人材育成、国際連携などの項目の目標を立てるべきである。また、「イノベーション創出・社会実装」は高温ガス炉と熱利用技術開発の結果であって個別の評価項目とするべきでないと考える。
	⑧海外では英国（Penultimate Power 社など）、ポーランドとの協力進展に、また、国内では高温ガス炉産学官協議

	会での議論が進展し国産技術の海外展開を実現するためのより具体的な産業界との戦略策定を期待します。その際には、知財の保護を着実に行いつつデータなどの知見を交換し開発を効率的効果的に進めて頂きたいと思います。
	⑨国内、海外との交流を介した技術の流出のないように、新しい技術の特許化、秘密保持契約や覚書の締結など、知的財産の保護を確実に行うこと。
	⑩米国などではビジネスモデルの策定経験を有する原子力発電事業者が高温ガス炉の開発に参画している。わが国でも、ようやく、電力事業者との連携の気運が醸成されてきた感があり、連携強化に向けた活動を推進してほしい。
	⑪妥当と判断します。
	⑫他分野との連携に向け、製造コストだけでなく、運搬や後工程での活用までのサプライチェーンを考慮した実用化構想の検討が必要と思われる。
イノベーションの創出・社会実装	①－
	②－
	③－
	④－
	⑤－
	⑥－
	⑦高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発の評価軸、つまり「高温ガス炉とこれによる熱利用技術についての成果が、海外の技術開発状況に照らし十分意義のあるものか、さらに将来の実用化の可能性等の判断に資するものであるか」のうち、社会学系委員の評価軸は後段の部分と思うが、今回の評価資料には、将来の実用化シナリオが描かれていない。そのシナリオなしに個別の開発項目を評価しても意味がない。評価軸と評価内容がずれるからである。中期計画策定にむけ、まずは現時点で考えられる将来シナリオを提示したうえで、産業界との連携、人材育成、国際連携などの項目の目標を立てるべきである。また、「イノベーション創出・社会実装」は高温ガス炉と熱利用技術開発の結果であって個別の評価項目とするべきでないと考える。
	⑧IAEA、GIF、OECD/NEA LOFC プロジェクトとの連携を通じて、日本固有の技術に海外技術を取り入れられることが見込めるようです。経済性や競争性についてなどは、原子力工学研究技術者のみでなく人文・社会学系の専門

	家との連携も検討していただくと良いと思います。 HTTR 研究開発の現場には既に人文・社会学系研究者も参画しているのでしょうか。今後は社会実装に向けて人文社会技術（人口・エネルギー需要予測、法・規制・制度、社会受容、事故時の医療圏医療対応計画など）の専門職との連携が重要となってくるフェーズと思います。
	⑨－
	⑩－
	⑪－
	⑫－

第 3 期中長期計画の見込評価の評価点及び評価委員からの意見一覧

（1）技術系委員

総合評価；S判定１名、A判定８名、B判定１名			評価点
高温ガス炉技術研究開発	新規制基準への適合性確認を受けて速やかに再稼働	①停止期間が長かったため、本中長期計画の最終年度の再稼働時に、思わぬ事態が発生しないように注意して戴きたい。	S
		②速やかな再稼働は社会的情勢もありできなかったが、その過程で補って余りある成果を得た。	A
		③高温ガス炉の安全の考え方が軽水炉と異なることを NRA に認められ HTTR が再稼働することは大きな成果である。	S
		④新規制基準を満たし高温ガス炉の固有安全性を踏まえた許可を取得し、まもなく再稼働を果たす見込みとなっており極めて高く評価できる。	S
		⑤新規性基準に対応したことは重要。	S
		⑥設置変更許可を規制庁から取得したものの再稼働の時期が不明。	A
		⑦－	S
		⑧HTTR の再稼働が見通せること、安全特性を活かした許認可対応ができたことから予定される成果を達成できるものと考える。	S
		⑨高温ガス炉が炉心溶融を起こさないことが認められ、設置変更許可を取得し再稼働を確実にしたことは大いに評価できる。	S
		⑩－	A
	実用高温ガス炉システムの安全基準の整備	①IAEA 技術報告書の刊行など、前向きに整備に取り組んでいる。	A
		②－	A
		③基準整備により実用化に向け前進できた。	A
		④安全要件原案が IAEA レポートとして出されるなど、国際的な安全基準の整備に向けた成果をあげており高く評価できる。	A
		⑤提案した燃料設計限度の適用性の確認を完了。	S

		⑥計画以上に整備している。	A
		⑦－	A
		⑧産業界、学界の協力を得ながら、安全要件の原案が IAEA の技術報告書として発行されており、国際標準確立に向けた成果となった。	A
		⑨計画通り着実に実施できた。	A
		⑩－	A
	高燃焼度化・高出力密度化のための燃料要素開発	①経済性を高めることに貢献できることを確認して戴きたい。	A
		②－	A
		③今後は商業的な燃料製造に関する検討を期待する。	A
		④HTTR の高性能化に重要な 100GWd/t の高燃焼度データの取得に成功しており高く評価できる。	A
		⑤高充填率燃料コンパクトの性能評価を完了。	S
		⑥計画以上に整備している。	A
		⑦－	A
		⑧実用化に向けた燃焼度向上が照射試験によって確認されており、さらなる向上に向けた研究の推進に期待する。	A
		⑨計画通り着実に実施できた。	A
		⑩－	A
	HTTR－熱利用試験施設のシステム設計、安全評価	①この研究開発の中心課題と考えられ、知財管理に注意しつつ、成果のアピールを行ってもらいたい。	S
		②－	A
		③今後の熱利用試験計画立案へ成果を活用ができる。	A
		④実用化にむけた大型化及び建設コスト低減に成果を上げており高く評価できる。	A
		⑤大幅にコスト削減可能なコンファイントメントの合理化案を提示。	S

		⑥計画以上に整備している。	A
		⑦－	A
		⑧高温ガス炉は様々な熱利用の形態があり、その代表的な施設に対する設計・評価が完了した。本検討をベースとして、様々な熱利用施設への応用が期待される。	A
		⑨計画通り着実に実施できた。	A
		⑩－	A
	軸封システム設計、試験	①－	B
		②－	A
		③実用化に向けた成果が得られた。	B
		④計画を着実に達成したと判断される。	B
		⑤熱利用システムの全ての機器仕様の設定を完了。	A
		⑥計画通り実施。	B
		⑦－	B
		⑧試験の実施には至らなかったが、開発の優先順位によるものと理解している。試験計画まで策定できたため、計画された内容に対して最大限の対応がなされたものと評価する。	B
		⑨予定の内容は完了した。	B
		⑩－	B
熱利用技術研究	連続水素製造試験装置による運転制御技術及び信頼性等の確証	①システムが平衡状態に達するまでだけでなく、より長時間の運転実績を示すと、産業界としてはより安心できたのではないかと思う。	A
		②－	A
		③予期せぬ運転中断なども実用化に向けた成果であり、試験データの拡充がなされた。	A
		④計画を着実に達成しつつあると判断される。	B
		⑤150h の安定した水素製造に成功している。	S
		⑥自動組成制御に向けた制御パラメータ及び物性データを取得。	A

開発		⑦－	A
		⑧自動運転開発は期初の計画には明示されていなかったと思うが、期中コメントにより、果敢にチャレンジしている。連続製造試験も達成できており、わが国が誇れる成果である。	A
		⑨多くの課題に対し着実に対応してきているが尚、長期連続運転への課題は残っている。	B
		⑩安定性に課題。コスト低減など実用化に向けた見通しを得るための取り組みが必要。	B
	セラミックス構造体の強度評価法の作成	①－	B
		②－	B
		③研究計画通りの成果が得られたと判断する。	B
		④計画を着実に達成しつつあると判断される。	B
		⑤セラミックス構造体の強度評価法を作成。	A
		⑥計画通り実施。	B
		⑦－	B
		⑧強度評価法の提案ができた段階であり、今後、必要に応じて規格基準化ができるとよい。	B
		⑨計画の内容は実施できた。	B
		⑩－	B
	将来の実用化や技術の民間移転等に向けた研究目標の明確化	①大容量化に向けては、膜や電極を用いた反応過程がボトルネックとなる可能性があるので、対応策などを検討して戴きたい。	B
		②－	B
		③周囲状況に影響されるものであるが成果は得られている。	B
		④計画を着実に達成したと判断される。	B
		⑤自動組成制御、実用合金材料を開発した。	S
		⑥水素の製造コスト、効率が不明。	B
		⑦－	A
		⑧民間移転には運転制御法の確立と経済性の実証が不可欠である。経済性については、まだ十分	B

		な目標が提示できているとは言えず、当面は、経済性に大きな影響を与えそうな部分に着目し、システム・機器の改良を行っていくことを推奨する。	
		⑨計画の内容は実施できた。	B
		⑩CO_2フリー水素製造に関する期待が高まっているが、課題明確化やマイルストーンの設定が必要。	B
	核分裂生成物の沈着低減技術等の要素技術開発	①新知見が得られたのは評価される。	A
		②－	A
		③これまでにない貴重な成果が得られている。	A
		④HTTR での直接サイクルガスタービン実用化に向けた成果を上げており高く評価できる。	A
		⑤ガスタービン保守時の被ばく線量率が制限値を満足することを確認。	S
		⑥沈着量が１桁程度低い分析結果を得た。	S
		⑦－	A
		⑧ガスタービンが実用化された場合のメンテナンス軽減等に寄与できる技術開発であり、目標は達成されたものと判断する。	B
		⑨計画通り着実に実施できた。	A
		⑩－	A
人材育成	高温ガス炉に関する人材育成及び技術伝承	①積極的に推進されている。	A
		②－	A
		③若手研究者の育成により高温ガス炉開発者のすそ野を広げることに貢献できた。	A
		④例年多数の実習生を受入人材育成に努めており高く評価できる。	A
		⑤国際セミナーを主催などで人材育成が進んでいる。	S
		⑥人材育成が積極的に進められている。	A
		⑦－	A
		⑧本中長期計画中、毎年、常に計画を上回る人員の育成が行われており、近年ではポーランド等	A

		の人員に対しても育成対象を拡げて対応しており、原子力導入国の人材育成にも貢献している。	
		⑨計画通り着実に実施できた。	A
		⑩－	A
産業界との連携	産学官協議会での協議及び国際協力の推進	①政策的には追い風を受けており、連携をさらに強化して戴きたい。	S
		②－	A
		③実用化に向け、日本の高温ガス炉技術の維持フィールドとして幅広い国際協力体制が構築できている。	A
		④国際協力で成果を上げ JAEA 発ベンチャーの設計を計画するなど高く評価できる。	A
		⑤産学官協議会の実施、英国、ポーランド等との国際協力が進展。	S
		⑥ポーランドや英国との国際協力が推進されている。	S
		⑦－	A
		⑧世界の原子力研究機関の中では、最も精力的に高温ガス炉の国際協力を推進していると評価している。	S
		⑨計画通り着実に実施できた。	A
		⑩スケールアップやコスト目標達成に向けた議論が途上にあると思われる。よりオープンな議論が必要。	A
総合所見		①HTTR を用いた研究開発ではなく、その再稼働自体が重要な課題であったが、新規制基準に対応した設置変更許可を取得できたことは評価される。 必要と考えられる各種要素技術の研究開発やシステム設計は着実に進められていると判断されるが、社会から寄せられる期待も大きくなっており、連続水素製造設備の商業化に向けた課題も検討するフェーズに入りつつあるように思われる。	A
		②全体として大変適切に進められていると理解しました。	A
		③第 3 期中長期計画の間に実用化に向けた研究成果が着実に得られている。 今後は HTTR 熱利用系接続、実証炉開発に向け、実機に向けた研究開発の遂行を期待します。	A

	④HTTR の再稼働及び実用化に向け成果を上げつつあり高く評価できる。	A
	⑤高温ガス炉の安全性が原子力規制庁に認められたこと重要。水素製造の進展がみられる。高温ガス炉のカーボンニュートラルへの貢献が期待できることを工学的に明らかにしている。産業界、国際協力の進展から社会実装も期待できる。	S
	⑥高温ガス炉を利用した電気、熱化学水素の経済性が従来の技術を利用したものに比べ有利になるかの経済性を計算してほしい。	A
	⑦－	A
	⑧HTTR の再稼働に向けた準備が進捗し、研究開発も着実に進展を遂げており、総合的に計画を上回る成果が得られたと判断する。 近々、中国の HTR-PM も運開し、今後、米国においても新政権の下で高温ガス炉の開発も進められものと予想される。これらの国では、豊富な資金で急に開発を立ち上げるため、第 4 期中長期計画の策定にあたっては、これらの開発動向に注視する必要がある。 類似の計画が後追いで立ち上げられ、開発途中で逆転されて、二番煎じとならないよう留意願いたい。	A
	⑨概ね、中長期計画は所定の成果を出せることが確認できた。再稼働後の大いなる進展、国際展開を期待する。	A
	⑩高温ガス炉および熱利用技術開発について、課題明確化や目標達成までのマイルストーン設定などの検討が必要と思われる。	B

（2）人文社会系委員

総合評価；B判定２名		評価点
科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性	「炭酸ガスを排出しない水素製造法である IS プロセスの開発は世界がカーボンフリーに向かう上で重要な貢献をなすもの」であろうと推測はできる。開発の事実は高く評価されるべきだが、どのように世界的な脱炭素社会のニーズに適合するのかは技術の実装・普及戦略なしに判断できない。実用高温ガス炉についても同様であると考える。	B
	設置変更許可を取得など、高温ガス炉が有する固有の安全性は社会の要請に応えることができることを社会がより深く理解できるようなコミュニケーションの方法を、現場の研究者・技術者だけではなく原子力機構全体で支援し専門の人材を配置して実施する必要性を感じます。	B
研究開発課題／成果の社会的受容性	HTTR の安全性、水素製造の要素技術について広く発信したとあるが、プレスリリースや新聞報道によってどのように社会的受容性が向上すると考えているのか不明である。また実用高温ガス炉と水素製造技術研究の倫理的妥当性についての検討の報告は見当たらなかった。またこれら 2 つが実現した時の社会に与える影響度について、要素技術についてではなく、システム全体としての検討も見当たらない。ただし、第 3 期中期計画全体として要素技術の発信について着実に成果を上げてきていると考えるので、期間評価は B としたい。	B
	このほど ICRP Publication 146 が発行されており以下の内容は抜粋であるが、このような視点での取り組みは第 3 期中長期計画ではまだ準備段階のように感じました。JAEA 全体としての取り組みも必要と思います。 責任ある組織は、地域の状況のより良い評価、適切で実践的な放射線防護文化の発展、および影響を受ける人々の間での情報に基づいた意思決定を達成するために、専門家との協力的なプロセス（共同専門知プロセス）に地域社会が関与することを促進すべきである。 大規模原子力事故が発生した場合、その影響を緩和するためには、準備計画が不可欠であり、ステークホルダーを巻き込む必要がある。	C

成果の波及効果を十分に見極めるなど、長期的・文化的な観点に立った評価	日本の産業界とのビジネスモデルについての検討、ポーランドに対する技術協力を活発に行っていることは評価できるが、それらがどのように結びついて高温ガス炉、並びに水素製造技術の実用に至るのか中長期的な視点からの戦略、ビジネスモデルの検討の中身が示されているべきである。	B
	長期的な視野に立って、将来的に社会活性につながる研究課題／成果だと思います。熱利用技術開発や熱化学法 IS プロセスの開発は他分野への応用など、視点を変えた波及効果の可能性はあると思われます。設置変更許可を取得され、SMR 安全基準整備により、実用高温ガス炉の安全基準構築に貢献していることは大変有意義です。 一方で、2011 年以降に大学で原子力工学・理学を専攻する学生は減少したままであり若手（女性を含む）の人材確保は喫緊の課題です。行政の縦割りで行われている、例えば文科省国際原子力人材育成イニシアティブ事業に採択されている機関などとも、今期は難しくても次期にはぜひ積極的に連携を検討できないものでしょうか。	B
新規科学技術の研究開発や利活用におけるリスク発生の可能性	実用高温ガス炉の安全基準の整備を推進し、HTTR の許可取得は安全基準の構築に寄与する成果であり、リスク発生の回避に資するものと評価できる。	A
	今後のエネルギー政策を考えるにあたって小規模の原子炉の実用化は重要と思いますので、日本社会での冷静な議論と核エネルギー利用への理解が進むことは開発の一部として肝要と考えます。核利用反対者も巻き込んだ議論および対話を成り立たせる努力が必要かもしれません。 異常の早期発見対処のために膨大な監視データを分析できるインフォマティクスを担う人材育成は進んでいるのでしょうか。	B
国内外他機関、産業界との連携の妥当性	それぞれについて活発に活動されていて評価できるが、相互の関係性がわかるとなおよい。なんのためになぜこの連携が必要で相互にそれらがどう結びついているのかなど。	A
	報告書資料に、JAEA 発ベンチャーを設立し、産業界と連携して海外プロジェクトへ参加することを目指し、日本の利益については、高温ガス炉産学官協議会、高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチームにおいて議論を進めている、と拝見したと思うのですが、報告会ではベンチ	B

	ャー設立のお話は無かったような記憶ですので今後に期待しています。 自由市場において経済性が十分に自立する見通しについて、例えば初期投資コスト、建設工期の短縮、ランニングコスト、など電気事業者および金融業界などの視点はいかがでしょうか。	
総合所見	R3 の計画は R2 年度の実績の延長であるが、国産技術の海外展開にむけて国や産業界と協力をし、戦略を練り、ビジネスモデルを具体化すると表明している点は高く評価したい。意思の表明だけでなく、R3 年度の年度報告ではその具体が報告されることを望む。その点を期待して見込み評価は社会的受容性を B とするが、他は R3 年度の計画に R2 と比べて顕著な進捗を感じないので R2 年度の実績と同様の評価、意見である。R3 年度は次期中長期計画の策定時期でもあるので、なんども繰り返しになるが、実用高温ガス炉と水素技術の社会実装ならびにそこからのイノベーションをどのように実現するのかについて中長期のシナリオを描き、それを外部識者も交えて議論し、実効性と実現性のある工程表を書くべきと考える。それに基づいて評価指標を作成するのが望ましい。	B
	今年度評価から人文・社会科学系委員を置くとして頂きましたので、技術面のことは不勉強ながら生意気にも評価させて頂きました。 産学官の垣根を超えた人材・技術・産業基盤のさらなる強化、原子力需要が増加する新興国への積極的な貢献、開発者目線で将来に稼働後の老朽化に対する保守点検計画の立案など、多くの期待をしています。	B

6. 原子力機構の措置

評価委員会の提言と原子力機構の措置を以下に示す。

6.1 令和元年度研究実績の評価に対する原子力機構の措置

高温ガス炉技術研究開発

提言	措置
安全性、出力を考え、あるべき燃料破損率を、製造実績から設定したと理解。破損率は製造元に依存するなら規格/標準化面で扱いを慎重にする必要あるのではないか。タービンノズルのクラック発生原因は高温酸化又は疲労でしょうか。	本基準案は、燃料破損率設定の考え方を提示したものであり、ご指摘の製造実績自体は基準に含まれない。HTTR 非常用発電機のガスタービンノズルのクラック発生原因は、起動停止の繰り返しによるクリープ疲労によるものである。
高温ガス炉の実用化に向けた経済性向上のためにも重要な技術であることを意識して取り組んでほしい。	これまでに、燃料設計限度の考え方の基となる安全要件を検討し、IAEA の技術報告書（IAEA-TECDOC-1936 Applicability of Design Safety Requirements to Small Modular Reactor Technologies Intended for Near Term Deployment）として纏めた。今後も引き続き IAEA や GIF などの国際的な枠組みでの議論の主導、ポーランド等における規制への反映に向けた活動などを積極的に実施する。
バッチを増やすことで燃料を有効に利用できることが示された。一方、燃料交換作業は 1 回増えているので、燃料交換の準備に要する期間はその分、長くなり稼働率の低下が懸念される。商用炉では有効利用と稼働率のどちらに重きを置くかユーザーの視点も重要である。	交換回数が増えているが、1 回あたりの交換作業量は減っているので、稼働率低下について大きな懸念はないと考えている。今回提案した 3 バッチ炉心については、燃料交換が 1 回増えることによる稼働率の低下は 2%程度にとどまると見込んでいる。実用化にあたっては、有効利用の指標となる取出し時の残存濃縮度及び燃焼度について、稼働率と共に提示することで、どちらに重きを置くかユーザーが検討できるようにする。
カラム単位の燃料交換バッチ処理については、交換に伴う安全性、処理の標準化等の検討を進めて頂きたい。	燃料交換は、3 バッチ目の照射済燃料ブロックを新燃料ブロックにカラム単位で交換して行う。実際の取り扱いの操作は HTTR と同じブロック単位であるため、安全性に大きな問

	題はないと考えている。燃料交換バッチ処理の標準化については、燃料交換機の移動、燃料ブロックの取出し及び装荷に係わる具体的な手順等について、検討を進める。
製作性を含めた実現性の検討は行われているか。	実績のある HTTR 技術をできる限り用いているため、燃料交換機の製作性を含めた燃料交換の実現性に大きな問題はないと考えているが、今後の設計進捗において課題が生じた場合は検討を行い、実証炉の建設までに課題解決を図る。

水素製造技術研究開発

提言	措置
水素製造を民間に移転するためには、全自動運転が必須である。HTTR との接続試験では自動運転制御プログラムの検証を行ってほしい。	令和 2 年度、自動組成制御法の構築に必要なプロセス溶液の物性データベースを整備し、HTTR 接続試験での検証に向け、第 4 期中長期計画にかけて、自動組成制御法の研究開発に取り組む。
まずは安全運転できるように損傷部位の徹底した原因調査と水平展開をお願いする。次年度に遅延した連続運転試験時は、手順の検証とともに分解効率向上や化学量論維持に係る解釈も期待する。	損傷部位については、製作メーカーの事例調査を含めてフォルトツリー要因解析手法を用い、割れの原因を析出物あるいは施工時の負荷と判定した。析出物については、試験後の損傷部のガスパージを見直し、析出防止を図った。また、共通要因を有する機器を点検し、割れ、腐食が無いことを確認した。今年度実施した水素製造試験において、水素・酸素生成比が水素製造の安定時に 1：2 となっており、化学量論を維持していることを確認した。
シール部の信頼性は、曝される環境条件（温度、温度サイクル、圧力、圧力サイクル、シールする気液の特性)、面粗度、平面度、ガスケット材料、締め付けトルク（面圧）等の影響を受けるものであり、システムの信頼性に対して、大きな影響を与えるため、実用化段階でも課題となる箇所である。このため、実用化に向けた Know How の構築という意味合いも含め、ガスケット材料、締め付けトル	ガスケット材料、締め付けトルク以外の影響として、高温時のシール部面圧維持のため、熱膨張率の観点からボルト材料を見直した。今後も試験後の点検を通じてシール部信頼性向上、Know How の蓄積に取り組む。

ク以外の影響も考慮する必要があり、これらの影響を網羅的に考慮した上で、適正な設計諸元を見出して頂きたい。	
今年度水素製造試験ができなくなった原因究明も含め、腐食に関する令和元年度の対策強化案の効果を確実に評価するとともに、実用化の際にはさらなる長時間運転が必要となることも考えたシステマティックな対策立案をお願いしたい。	水素製造試験を延期した要因である損傷部位については、製作メーカーの事例調査を含めてフォルトツリー要因解析手法を用いて原因を特定するとともに、点検の結果他の同様部位に割れ、傷が無いことを確認した。また、長時間運転を可能にする自動制御技術の開発及び耐食機器の信頼性評価手法の確立に第 4 期中長期計画にかけて取り組んで行く。
100 時間程度のテストで十分かは今後要検討。	100 時間の試験で優れた耐食性能を示した合金について、400 時間の長時間腐食試験を実施し、目標腐食速度を満足することを確認した。
腐食試験の継続と、絞り込んだ材料については、エッジ部、加工に伴う残存応力等の影響によって、粒界等からの腐食も想定されるため、実際の構造を模擬した部品による腐食試験を進めて頂きたい。	新規合金の開発後、実際の構造を模擬した部品による腐食試験の実施について検討する。
材料コストの観点と耐食性のバランスは考慮されているか。	SiC 製の硫酸分解器の一部を耐食合金で置き換えることを目標としている。平成 30 年度に実施した検討では、機器コストを 60%に削減できる結果を得ている。
次年度は研究の最終年度になるので、これまでに得られた成果を、タービン設計やタービン保守にフィードバックし、一連の沈着低減技術がタービン開発にどのように寄与し得るかを示して頂けるよう期待している。	候補合金のタービン設計への適用性を明らかにする中で、タービン保守の観点から重要な、FP 沈着量低減技術を開発した。これにより、高温ガス炉ガスタービンシステムにおいて、保守時の被ばく量を十分に抑制可能な実用的なタービンの開発に目処を得た。また、線量低減を目的とした保管冷却のための予備タービンユニットを不要とする運用の可能性を示した。
状態図計算によりサポートできないか検討してもらいたい。	合金状態図計算ソフトウェア CaTCalc と、第一原理計算による溶解エネルギーを反映した Ni 中の Ag の混合エンタルピーを用い、状態

	図計算を実施して、Ni-Ag 固溶濃度実験結果を再現できるか検討を進めている。
候補合金が変わった際にも使える汎用性にも考慮いただきたい。	拡散濃度分布測定や微細構造観察を通じて、候補合金中の FP 拡散メカニズムを解明し、候補合金を変更する場合にも適用可能な汎用性のある翼合金設計方針として、FP 拡散係数と FP 固溶限を用いて保守時の被ばく量を評価する方針を示した。

人材育成

提言	措置
受け入れ人材については、JAEA 等高温ガス炉の技術者・研究者の獲得のみを目指した狭いものでなく、多様な分野において、高温ガス炉のサポーターを増やすという観点で戦略的に実施することが、より望ましいと考えます。	国内外における高温ガス炉サポーター獲得に向け、セミナーやガス炉イベントなど、積極的なガス炉 PR と人材受け入れの展開に努める。
国内の研究者の受け入れが、原子力関連技術者の継続的な育成に結びつくことを期待したい。また海外からの受け入れは、秘匿情報の漏えい防止に向けた取り組みを継続的に進めて頂きたい。	HTTR を活用した人材育成を継続し、高温ガス炉に関する技術・知識の維持・伝承に努める。また、原子力機構の知財ポリシーに基づき、秘匿情報の漏えい防止に向けた取り組みを継続して努める。
目的が高温ガス炉の知識習得であり、人数が目標を上回ったからと言って顕著な成果とは言えないのではないか。	実習生、研究者等の受け入れは、高温ガス炉に関する知識習得を目的に、各々テーマを課し論文発表等の成果を上げている。今後もガス炉発展に向けた人材育成に努める。

産業界との連携

提言	措置
ITER のように各国が投資する高温ガス炉の国際 PJ を創設し、日本がリードするような企てが必要と考えられる。	ITER のような枠組みは原子力機構が単独で創設できるものではなく、また、米英加においては自国のプロジェクトとして次世代炉の開発に取り組んでいることから、国際PJとして共同開発することは難しいと考える。そのため、日本の技術を導入するための方策として、現在進められている海外のプロジェク

	トに日本が参加してリードすることを検討している。
国際協力において日本が何を得られるのかの戦略の整理もお願いする。	JAEA 発ベンチャーを設立し、産業界と連携して海外プロジェクトへ参加することを目指している。日本の利益については、高温ガス炉産学官協議会、高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチームにおいて議論を進めている。

総合所見

提言	措置
HTTR の早期の運転再開が第一であり、着実に推進して頂きたい。一方、これまでは新規制対応に注力されてきたと思うが、既に原子力規制庁と電力事業者は安全文化や新検査制度への取り組みを強化している。これらへの不備を起因として HTTR が停止されないよう今後傾注していく必要がある。	設置変更許可、設工認（4 分割）のうち第 1 回～3 回設工認の認可を取得済。令和 3 年 7 月の運転再開に向けて、第 4 回設工認や対策工事などを着実に進捗させるよう、工程管理を強化した。安全文化や新検査制度への取り組みについては、原子力機構大でガイドを策定して取り組みを進め、令和 2 年 11 月 20 日に新検査制度に関する保安規定の変更の認可を取得した。関連して、運転手引き等の下部規定の改定を実施した。
今年度新たに判明した IS 試験装置の腐食については、着実に原因究明し、他部位への水平展開を図って頂きたい。年度目標設定に関することだが、高温ガス炉の実用化及びその判断のため、各年度で各技術がどのレベルに達成していなければならないかの技術的な定量目標を示し、それに対する達成度合いを評価すべきと考える。	損傷部位については、製作メーカーの事例調査を含めてフォルトツリー要因解析手法を用いて原因を析出物あるいは施工時の負荷と判定した。析出物については、試験後の損傷部のガスパージを見直し、析出防止を図った。また、共通要因を有する機器を点検し、割れ、腐食が無いことを確認した。実用化に向けた検討により、機器や反応器性能について実証が必要な耐食時間、性能等の目標値を設定した。

6.2 第 3 期中長期計画の中間評価に対する原子力機構の措置

高温ガス炉技術研究開発

提言	措置
進捗は妥当である。HTTR の運転再開に向けて最大限に注力してほしい。HTTR 運転再開は相手のあることであり、また試験実施による新たな不具合も予想されるので、令和 3 年度の最終評価に向けては前倒しの推進をお願いしたい。	早期の運転再開に向け、これを最優先課題とし、最大限のリソースを投入して変更許可を取得。後段規制対応も並行して迅速に対応し、設工認（4 分割）のうち第 1 回～3 回設工認の認可を取得。第 4 回設工認については令和 3 年 2 月の認可取得を目指し対応している。令和 3 年 7 月の運転再開に向け、認可取得や対策工事等を着実に進捗させるよう、工程管理を強化している。 また、変更許可で認められた HTTR の安全性を踏まえ、緊急時活動レベルを大幅に見直しし、HTTR の BDBA 等では屋内退避などの措置は不要となった。また、運転再開前の訓練を計画的に実施するための管理体制を構築し、各種事故時の対応能力強化に努める。 この上で HTTR 運転再開後、速やかに安全性実証試験を実施し、国際契約に応える。また、安全性実証試験後の HTTR を用いた国際協力研究計画を検討する。並行して、HTTR 熱利用系接続試験計画の検討を開始し、令和 3 年度の事後評価に向けて計画の前倒しを検討する。
実用高温ガス炉システムの安全基準の整備は、令和 3 年度目標として蒸気供給用にとどまらない検討を願う。	これまで、原子力機構が提案した全ての利用形態を対象とした安全要件が、IAEA エネルギー局案として採用された。加えて、ガスタービン発電及び水素製造に係る安全要件の適用性の確認を完了している。令和 3 年度までに、残された蒸気供給用高温ガス炉の安全要件への適用性評価を完了させる。
高燃焼度化・高出力密度化燃料の実用化に向け、さらに燃焼度を向上させる必要はないか。実施が必要な開発の計画立案はいつ立案するのか。	経済性向上の観点から 160GWd/t を目指して燃焼度を向上させることが重要であり、2030 年代後半の実用炉での使用を目指している。 被覆燃料粒子の被覆技術については確立済みであり濃縮度を高くした（U-235 重量とし

	て 14～20%未満)燃料試料を用いた中性子照射試験が必要である。国際協力の下でこれらを次期中長期計画期間内に開始できるよう、検討を進めている。
軸封システム設計、試験は、軸封システムの設計に留まっており、試作による性能確認が必要。次期中長期計画において、実用化に向けた試験の実施が望まれる。	高温ガス炉ガスタービンシステムの実用化に向け、軸封システム試作による性能確認試験等については、外部資金等による実施に努める。

熱利用技術研究開発

提言	措置
世界初の 150 時間連続運転は評価できるが、まだ 150 時間に留まっている。	実用化に向け、第 4 期中長期計画にかけて、自動組成制御システムの開発を進め、その実証により連続水素製造時間の大幅な延伸を目指す。今年度は組成制御の自動化に必要なプロセス溶液の物性データベースの整備及び長時間運転における耐食機器の信頼性評価手法の確立に着手した。連続水素製造試験による長期間の機器耐用確証を含めて、これら研究開発に取り組む。
IS プロセス水素製造試験装置の漏えい対策はまだまだ実施すべき項目があると考えられる。	実用工業材料製 IS プロセス水素製造試験装置を実動させている強みを活かし、今年度抽出した対策改善が必要な部位の試験後機器開放点検を通じて、プロセス環境、温度など網羅的に知見を収集して、漏えい対策を強化する。
基本的な反応は実証されたと考えられる。今後は長期的な組成変化も考慮した全自動制御法の確立が重要である。 連続装置を用いて安全、自動制御、反応解析モデルの技術導出を図っている。今後、閉鎖循環系での物質量、温度（熱量）のプロセス変動への影響を見極め、収束できる自動制御法の導出が重要。	IS プロセスの長期安定運転には、自動制御システムの導入が極めて重要であり、今後必要な開発項目と位置付けている。今年度、自動制御法の構築に必要なプロセス溶液の物性データベースの整備に着手した。次期中長期計画において自動組成制御法を確立し、制御システムを連続水素製造試験装置に組み込み、技術の実証を目指す。
セラミックス構造体の強度評価法の作成は、平成 30 年度で完了しているが、実用化に向けた開発継続が必要。	セラミックス構造体の強度評価法の作成は平成 30 年度で完了し、IS プロセス水素製造試験装置に組み込んだセラミックス反応器の肉厚

	測定といった実用プラントで必要となる交換頻度に係わるデータ取得を継続している。また、セラミックス反応器を代替するポテンシャルを有する新規耐食合金の開発も進めており、低腐食速度の材料を見出すなど成果を挙げつつある。
硫酸分解器の金属合金化は、低コスト化の1アイテムとして着実に進んでいるが、実用化には必須の自動制御系を含めた低コスト化の更なる検討が必要であり、また他の水素製造技術とのコスト比較を継続的に実施していくことが必要と考える。	水素製造コストは、技術開発の段階ごとに見直している。また、他の水素製造技術のコストや産業界の要求について情報収集し、実用化段階での低コスト化の指標としている。今後も水素製造コスト評価を継続的に実施する。
競争力ある H_2 製造目標とのギャップを更に埋めてほしい。 25 円/Nm^3 目標を可能とするアイテムが少ない気がする。プラント技術含め様々な課題を掲げ、民間を刺激し、民間技術の活用を進めるべき。	水素製造コストの低減に向け、また、高温ガス炉水素製造システム全体での低コスト化の検討を開始した。高温熱を利用するプロセスとして、民間を刺激し民間技術の活用に継がる取組を今後も強化していく。
将来の実用化や技術の民間移転等に向けた研究目標の明確化は、令和2年度までではなく3年度まで不断の開発とすべき。	令和2年度の結果をまずは精査し、耐食合金の耐食性能の更なる改良、追加の機械特性評価等が必要と判断された場合等を含め、令和3年度まで不断の開発とすべく検討する。
核分裂生成物の沈着低減技術等の要素技術開発は、長時間運転性が今後必要。令和2年度までではなく3年度まで不断の開発とすべき。	令和2年度までに、長期間運転性の評価に必要な候補合金中の Ag 拡散係数及び Ni 中の Ag 固溶限データの取得を完了するとともに、候補合金をガスタービン翼設計へ適用した場合の成立性を確認できたことによって、核分裂生成物の沈着低減のための要素技術開発を完了することから、本技術開発は令和 2 年度で終了としたい。

高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発全体

提言	措置
学生の育成も重要だが、民間では高温ガス炉の技術は徐々に失われつつある。その前に、官民での早期実用化への取り組みが期待される。	文科省の下に設置された高温ガス炉産学官協議会及びその下の海外戦略検討ワーキンググループにおいて、官民一体となって早期実用化に向けた取組を強化し、官民の高温ガ

	ス炉技術の維持を図る。
開発が長期にわたるため、研究・技術者のマインド維持、技術が散逸せぬよう技術の整備・伝承に配慮を希望する。	原子力機構の人材ポリシーに基づき、人材育成、技術伝承の促進等を目的としたキャリアパス方針を明示し、職員の資質・能力の向上に努める。また、引続き HTTR を人材育成の場として活用し、国内外の研究者等に高温ガス炉の安全性に関する知識を習得させ、高温ガス炉に関する優秀な人材を育成し、技術の継承を図る。
今後民間との連携をさらに強め、特に連携時に得られる知見・情報を民間と共有化し、知財化を戦略的に進め、追随を許さない技術の確立を期待する。	高温ガス炉産学官協議会、海外戦略検討ワーキンググループ、さらには令和 2 年 1 月に原子力機構内に設置した高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチーム（原子力機構職員、民間で構成）での議論を通じて民間等の連携を強め、知見・情報の知財化の検討を進める。
人材育成や海外との連携で、コア技術が流出しないように注意してほしい。	原子力機構の知財ポリシーに基づき、産業利用の見込める内容に絞り特許出願を進めるとともに、原子力機構所定の方法に基づいて管理、確認を行い、ノウハウが漏れないよう継続して努める。
ポーランドや英国への技術協力から、技術実証機会、市場/スポンサーとしてうまく活用することを期待。それぞれの活用戦略を明確にしてほしい。	令和 2 年 1 月に原子力機構内に設置した高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチーム（原子力機構職員、民間で構成）の下で、海外高温ガス炉建設プロジェクトへの日本企業の参画方針案を作成した。今後、高温ガス炉産学官協議会及びその下の海外戦略検討ワーキンググループへ当該案を提案し、方針を決定する。
米国との 2 国間だけでなく、新たにポーランド、英国との協力が推進されることになった。国内では産学官協議会が定期的に実施されており、原子力業界以外の幅広い企業との連携も進んでおり、さらなる拡大を期待している。	令和 2 年 11 月に英国国立原子力研究所及び原子力規制局と協力の取り決めを新たに締結し、英国 AMR 計画への日本の技術展開に向けた活動の土台を構築した。また、ユーザー獲得に向けて、四国電力との高温ガス炉勉強会を立上げた。今後、高温ガス炉で製造した水素のユーザー等、幅広い企業との連携を

	模索していく。
運転再開後の大いなる進展、国際展開を期待する。	HTTR の運転再開後には、国際契約の下での安全性実証試験（LOFC 試験）を最優先に実施する。また、LOFC の運営委員会において、現在検討中の HTTR を用いた新たな試験を説明して OECD/NEA や参画機関から意見を聴取し、新たな国際協力計画に反映していく。

第 3 期中長期計画

高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発

エネルギー基本計画を受けて、発電、水素製造など多様な産業利用が見込まれ、高い安全性を有する高温ガス炉の実用化に資する研究開発を通じて、原子力利用の更なる多様化・高度化に貢献するため、目標や開発期間を明らかにし、国の方針を踏まえ以下に示す高温ガス炉の安全性の確証、固有の技術の確立、並びに熱利用系の接続に関する技術の確立に資する研究開発や国際協力を優先的に実施する。

高温工学試験研究炉（HTTR）について、安全の確保を最優先とした上で再稼働するまでの間における維持管理費の削減に努め、新規制基準への適合性確認を受けて速やかに再稼働を果たす。

高温ガス炉の安全性の確証及び固有の技術の確立については、炉心冷却喪失試験、熱負荷変動試験等の異常時を模擬した試験を実施し、高温ガス炉の固有の安全性を検証する。また、HTTR を用いて運転データを取得し、国際協力の下、実用高温ガス炉システムの安全基準の整備を進めるとともに、将来の実用化に向けた高燃焼度化・高出力密度化のための燃料要素開発を進める。

熱利用系の接続に関する技術の確立については、HTTR と熱利用施設を接続して総合性能を検証するための HTTR-熱利用試験施設のシステム設計、安全評価等を進める。なお、当該施設の建設段階に進むに当たり、平成 28 年度を目安に、研究開発の進捗状況について、外部委員会の評価を受け、その建設に向けての判断を得る。

これらの取組に加えて、水の熱分解による革新的水素製造技術（熱化学法 IS プロセス）については、耐食性を有する工業材料製の連続水素製造試験装置による運転制御技術及び信頼性等を目標期間半ばを目途に確証し、セラミックス製機器の高圧運転に必要なセラミックス構造体の強度評価法を作成することにより、工学的な研究開発を完了する。これに加えて、経済性の観点も踏まえつつ将来の実用化や技術の民間移転等に向けた研究目標を早期に明確化し、これらの成果を取りまとめて、水素社会の実現に貢献する。

また、ガスタービン高効率発電システムにおける核分裂生成物の沈着低減技術等の要素技術開発を完了する。

さらに、HTTR を人材育成の場として活用し、国内外の研究者等に高温ガス炉の安全性に関する知識を習得させ、高温ガス炉に関する優秀な人材を育成し、技術の継承を図る。

実施に当たっては、国の方針等に基づき、産学官と協議して、具体的な実用化像、高温ガス炉及び熱利用技術の将来的な実用化に向けた課題や得られる成果、実用化の可能性、研究開発の方向性、産業界との協力、産業界への技術移転の項目及び時期等を明確にしつつ研究開発や国際協力を進める。

付録　課題評価委員会配布資料集

付録 1. 高温ガス炉及び水素製造研究開発の概要
付録 2. 令和 2 年度研究実績の評価と令和 3 年度の研究計画（案）
付録 3. 第 3 期中長期計画の見込評価
付録 4. 参考資料

This is a blank page.

付録１

高温ガス炉及び水素製造研究開発の概要

令和3年1月27日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門

高温ガス炉及び水素製造研究開発の概要

1

(1) 高温ガス炉技術

- 定格出力30MW、原子炉出口温度950℃達成（2004年4月）
- 950℃、50日間高温連続運転（2010年3月）
- 新規制基準適合性に係る設置変更許可の取得（2020年6月）
- 高温ガス炉安全性向上のためのHTTR試験
- 高性能燃料要素開発

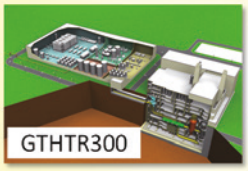
(2) 熱利用技術（発電、水素製造）

ヘリウム圧縮機

連続水素製造試験装置

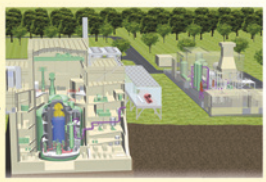
- ガスタービンシステム開発
- ISプロセスの運転制御技術の確証
- 連続水素製造試験92ℓ/hを達成（2020年10月）

(3) 実用高温ガス炉設計



- 実用高温ガス炉システム設計（ガスタービン発電、水素製造コジェネ、蒸気供給）
- 実用高温ガス炉の安全基準策定と国際標準化
- 再生可能エネルギーとのハイブリットシステム設計

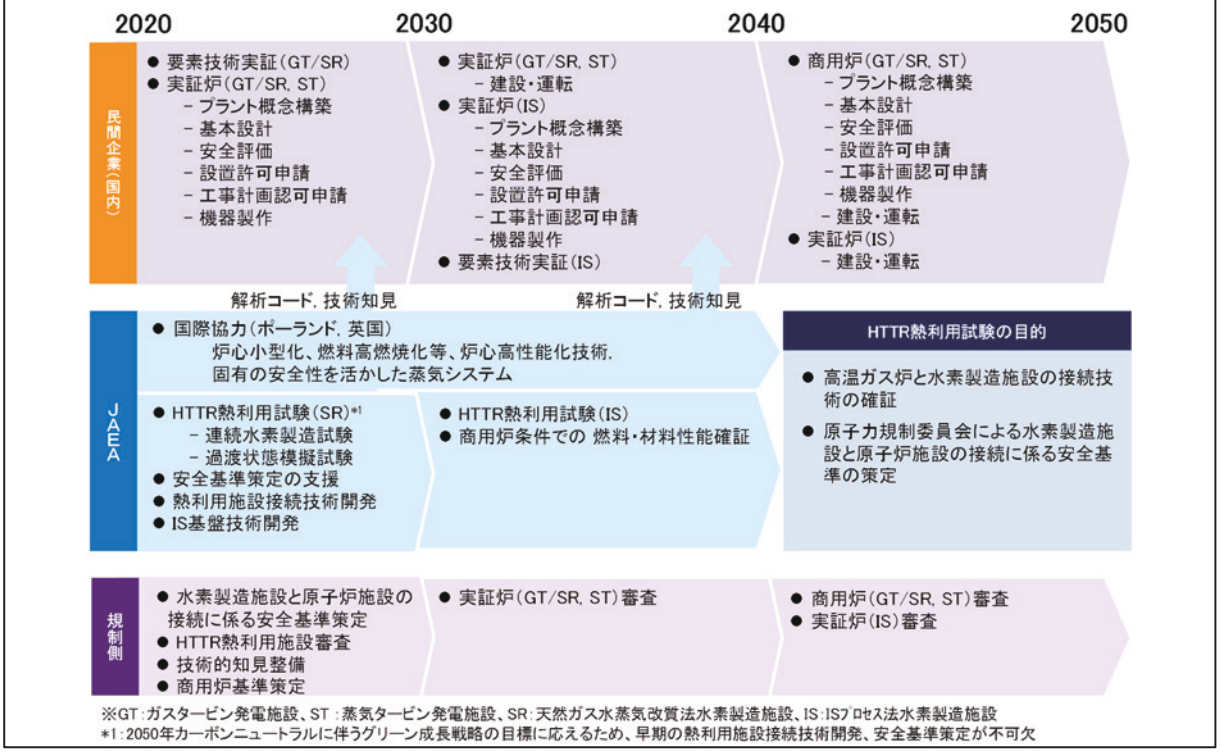
(4) HTTR熱利用試験



- 安全基準（案）の作成と規制庁による策定
- 高温ガス炉熱利用技術の総合実証

高温ガス炉の全体研究開発と導入スケジュール（原子力機構案）

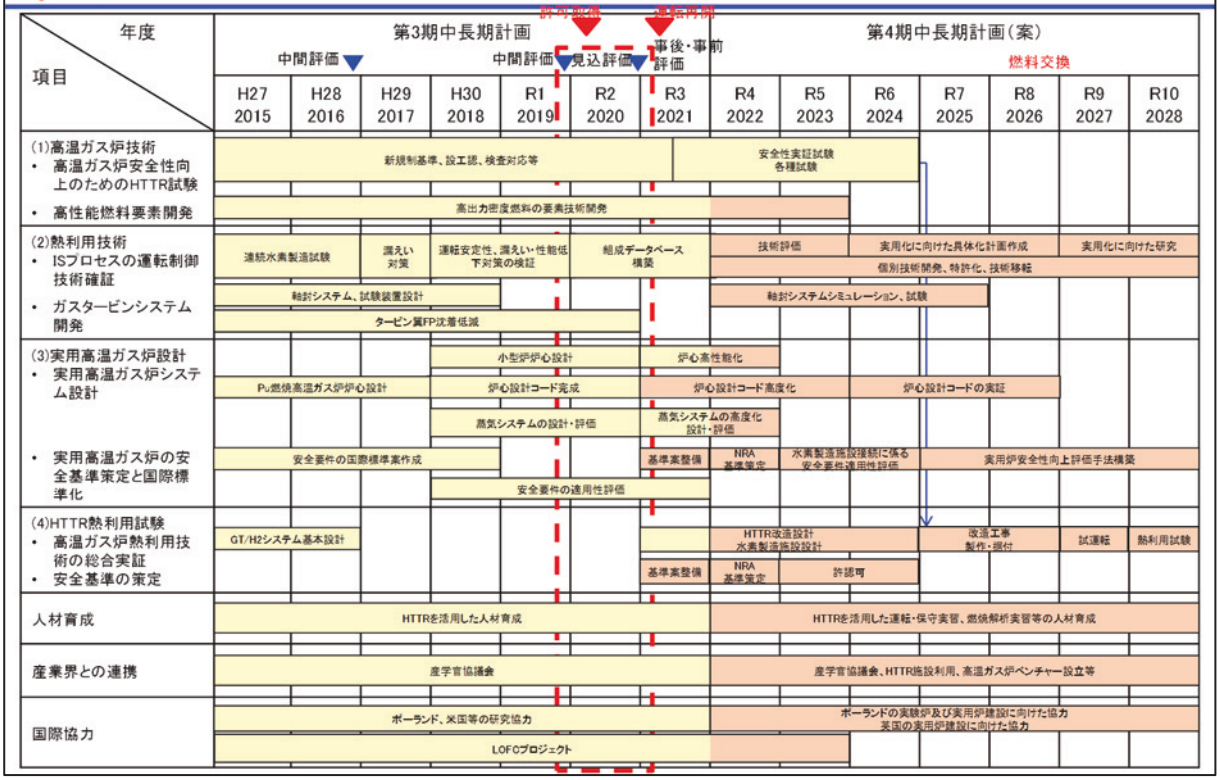
2



※GT：ガスタービン発電施設、ST：蒸気タービン発電施設、SR：天然ガス水蒸気改質法水素製造施設、IS：ISプロセス法水素製造施設
*1：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の目標に応えるため、早期の熱利用施設接続技術開発、安全基準策定が不可欠

高温ガス炉及び水素製造研究開発の全体計画

3



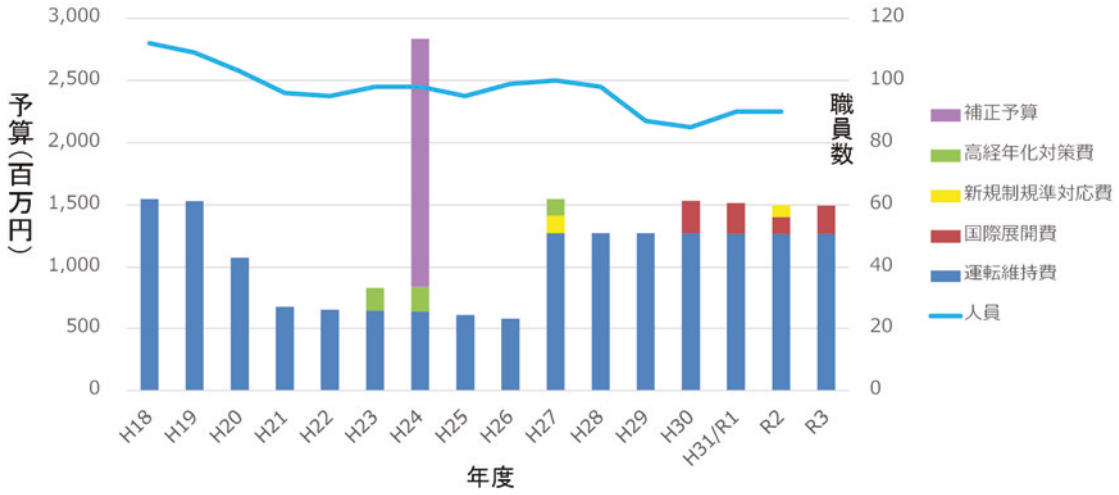
予算と人員の推移

4

令和2年度予算（令和3年度予算案）　　1,496百万円（令和3年度予算案：1,497百万円）

◆原子力の基礎基盤研究とそれを支える人材育成
- 高温ガス炉に係る研究開発

固有の安全性を有し、水素製造を含めた多様な産業利用が見込まれる高温ガス炉に係る国際協力を含めた研究開発を推進する。



*H28年度からH29年度にかけて出向職員9名を派遣に切替

論文数

5

			戦略・計画室、国際・社会環境室、炉設計部、水素・熱利用研究開発部（旧高温ガス炉水素・熱利用研究センター）	高温工学試験研究炉部	合計（達成目標：査読付論文20報）	
平成27年度	査読付き論文		12	9	21	
	査読無し論文		3	0	3	
	報告書		7	1	8	
平成28年度	査読付き論文		24	10	34	
	査読無し論文		1	2	3	
	報告書		7	5	12	
平成29年度	査読付き論文		11	9	20	
	査読無し論文		0	0	0	
	報告書		4	2	6	
平成30年度	査読付論文	（和）	1	0	1	31
		（欧）	7	2	9	
	査読付会議論文	（和）	0	0	0	
		（欧）	17	4	21	
	査読無し論文		0	0	0	
	報告書		1	1	2	
令和元年度	査読付論文	（和）	2	0	2	20
		（欧）	12	2	14	
	査読付会議論文	（和）	0	0	0	
		（欧）	3	1	4	
	査読無し論文		2	0	2	
	報告書		1	2	3	
令和2年度*1)	査読付論文	（和）	0	0	0	21
		（欧）	16	0	16	
	査読付会議論文	（和）	0	0	0	
		（欧）	5	0	5	
	査読無し論文		1	0	1	
	報告書		2	4	6	
	その他*2)		0	4	4	

*1) 令和3年1月1日の時点のデータ
*2) 官公庁に許可（認可）された申請書

特許、表彰、プレス、視察等(1/2)

6

○ 特許 (1件登録)*1)

- ヨウ化水素分解触媒及び水素製造方法 (登録番号:2687870、令和2年10月)

○ 表彰 (3件)*1)

- 実用高温ガス炉における革新的冷却設備を開発 (一般社団法人日本機械学会関東支部茨城ブロック表彰 技術賞、令和2年9月)
- 熱化学水素製造法IS プロセスの工業材料性反応器開発と長時間水素製造達成 (日本原子力学会北関東支部技術功労賞、令和2年4月)
- Cs捕獲機能を有する高温ガス炉燃料被覆層の開発 (日本原子力学会北関東支部優秀発表賞、令和2年10月)

○ プレス発表 (5件)*1)

- 熱利用水素製造の主反応の大幅な省エネルギー化に成功
  ー国家プロジェクトの目標値である水素製造効率40%の達成に見通しー(令和2年4月17日)
- HTTR(高温工学試験研究炉)の新規制基準適合性に係る原子炉設置変更許可の取得について(令和2年6月3日)
- 日本の高温ガス炉技術の高度化、国際標準化に向けて
  ー英国国立原子力研究所と高温ガス炉技術の研究開発協力を開始ー(令和2年10月16日)
- 高温工学試験研究炉(HTTR)の「運転再開想定スケジュール」の変更(令和2年11月6日)
- 高温ガス炉の実用化に向けて英国との協力体制をさらに強化
  ー英国原子力規制局と高温ガス炉の安全性に関する情報交換のための取決めを締結ー(令和2年11月27日)

＊1) 令和3年1月1日時点の集計値

特許、表彰、プレス、視察等(2/2)

7

○ 新聞等掲載 (54件)*1)2)

- 掲載新聞社:読売新聞、朝日新聞、毎日新聞、産経新聞、東京新聞、茨城新聞、河北新報、日刊工業新聞、電気新聞、原子力産業新聞、日経産業新聞、科学新聞、化学工業日報、宮崎日日新聞

○ 取材 (2件)*1)2)

- 産経新聞(2回)

○ 講演 (19件)*1)2)

- 第3回高温ガス炉セミナー(於ポーランド)、欧州原子力学会高等科学評議会、IAEA Scientific Forum 2020、JST新技術説明会等

○ HTTR及びIS視察 (14件)*1)

- 宮城県 村井嘉浩知事(令和2年12月17日)
- 資源エネルギー庁 小野祥太政策統括調査官(令和2年12月24日)
- 自由民主党 石川昭政衆議院議員(令和2年12月25日)
- 文部科学省 堀内義規文部科学省大臣官房審議官(令和2年12月25日)等

＊1) 令和3年1月1日時点の集計値、2)タイトル等の詳細は、「付録 4 参考資料」に示す。

主な成果（令和2年度評価）

8

1. 高温ガス炉研究開発の成果
   - 新規制基準への適合性の審査について、令和2年6月3日に設置変更許可を取得。
   - HTTRの安全上の特長（BDBAにおいて炉心溶融をこなさない）を踏まえ、HTTRの緊急時活動レベル（EAL）を大幅に見直し、規制庁に認められた。
   - 安全要件の国際標準案に適合し、かつ、蒸気供給用高温ガス炉システムの建屋コストを大幅に削減可能なコンファインメントの合理化案を提示。
2. 水素製造研究開発の成果
   - 連続水素製造試験を実施し、92ℓ/hの連続水素製造を達成（令和2年10月）。自動組成制御に向けた制御パラメータ及び物性データを取得し、新たな溶液組成計算法を提示。
   - 選定した候補合金のガスタービン翼設計への適用性評価を完了。JSPS合金状態図委員会に修正提案すべくNi-Ag固溶濃度（800～1200℃）に関する高精度データを取得見込み。
3. 人材育成及び産業界との連携
   - 高温ガス炉産学官協議会において、HTTR熱利用試験の必要性の合意。2050年カーボンニュートラル実現に向け、高温ガス炉の実用化に向けた政策の立案等に貢献していくことが決定。
   - 原子力機構内に設置した機構職員や民間企業所属の委員で構成される高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチームの下で、ポーランド高温ガス炉計画への日本企業の参画方針案を作成。
   - 日英政府間レベルでの高温ガス炉開発の協力を進めることで基本合意を得るとともに、英国国立原子力研究所（NNL）との既存の技術協力取決めを改定（令和2年10月）、英国原子力規制局（ONR）と高温ガス炉の安全性に関する情報交換取決めを締結（令和2年11月）し、技術開発と規制の両面からの協力体制を構築。

主な成果（見込評価）

9

1. 高温ガス炉研究開発の成果
   - 新規制基準への適合性の審査について、令和2年6月3日に設置変更許可を取得。
   - IAEAのCRPにおける安全要件の国際標準の検討において、原子力機構が提示したHTTRデータに基づく安全要件原案がIAEAエネルギー局案として採用され、日本技術の国際標準化に向けた大きく前進。
2. 水素製造研究開発の成果
   - 世界で初めて実用工業材料で製作したISプロセス水素製造試験装置による150時間の連続運転に成功（令和元年1月）し、運転技術及び機器信頼性を確証するとともに、安定した長時間運転に向けた組成変動制御技術の基盤を完成。
3. 人材育成及び産業界との連携
   - ポーランドとの協力の開始と具体化
     - ✓ 海外戦略検討WGを設置し、ポーランドへの高温ガス炉導入戦略、ポーランドとの協力内容及び成立性評価（FS）実施に向けた産学官連携による国内体制を構築（2017年8月）
     - ✓ 波国国立原子力センターと高温ガス炉技術分野における研究開発協力のための実施取決めを締結（2019年9月）
     - ✓ 産学官協議会での議論を通じて産業界のニーズを聞き取り、社会実装に向けた体制を構築しプロジェクトを大きく前進
   - HTTR熱利用システムの設計とプロジェクトの開始準備
     - ✓ 「高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチーム」を設置し（2020年1月）、民間企業委員の意見を反映して、高温ガス炉実用化ビジネスモデルや高温ガス炉事業化に係る原子力機構発ベンチャー事業化構想案、ポーランド高温ガス炉計画への日本機電企業の参画形態案を決定
     - ✓ 産学官協議会で、HTTR熱利用試験の必要性をメンバー間で合意（2021年1月）

10

参考資料

11

高温ガス炉を取り巻く動向

国会議員等のHTTR視察

- 高温ガス炉推進議員連盟（石原環境大臣、野田会長、他6名）（H26.4.7）
- 下村文科大臣（H26.7.7）
- 冨岡文科大臣政務官（H26.8.6）
- 高温ガス炉推進議員連盟（石原幹事長、田野瀬事務局長、他8名）（H27.10.13）
- ポーランドエネルギー省クルティカ副大臣（H28.11.24）
- 新妻文科大臣政務官（H29.9.19）
- 資源エネ庁村瀬電力・ガス事業部長（H30.1.12）
- 国際協力銀行前田副総裁（現総裁）（H30.3.2）
- 日本原子力産業協会高橋理事長（H30.4.19）
- 高温ガス炉推進議員連盟田野瀬事務局長、津島衆議院議員、大野衆議院議員（H30.11.5）
- 渡海衆議院議員（高温ガス炉推進議員連盟）（H31.3.18）
- 石川昭政経産省政務官（H31.3.25）
- ポーランド気候省クルティカ大臣、ジスカ副大臣、科学・高等教育省プロフナ副大臣（R2.1.19）
- 石川昭政衆議院議員（R2.12.25）

マスメディアによる報道

- 日本経済新聞（H26.12.13、H26.1.7、H28.3.24、H29.9.17（朝刊1面）、H29.12.21（朝刊1面）、H30.7.11、R1.9.16、R1.9.30、R1.10.15、R1.10.25）
- 読売新聞（H26.4.3、H26.9.17、H27.1.16、H31.4.14、R1.9.21、R1.9.30、R1.12.17、R2.6.4、R2.11.7）
- 産経新聞（H26.8.25、H27.1.7、H30.1.9、R2.1.29、R2.2.26、R2.4.20、R2.6.3（取材）、R2.6.5、R2.11.4（取材））
- 毎日新聞（H30.11.24、R2.6.5、R2.11.7）
- 朝日新聞（H31.4.20、R2.6.5、R2.11.7、R2.12.20）
- NHKニュース

エネルギー基本計画（第５次）

自民党高温ガス炉推進議員連盟（野田毅会長）

（H26.6.19第1回総会、H27.3.10第2回総会、H29.6.14第3回総会、H29.12.6幹事会、H30.4.2勉強会、H30.11.16会談）

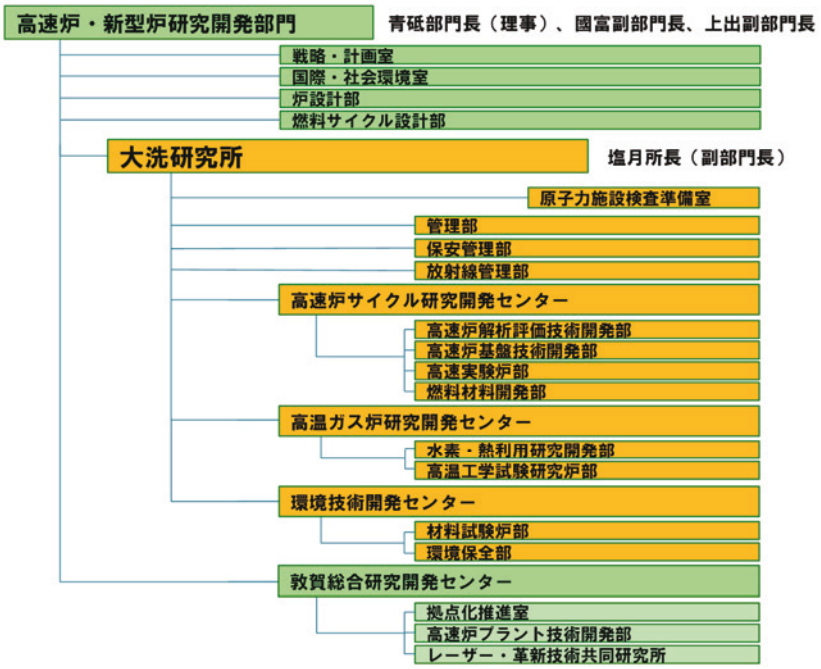
- 自民党議員48名が参加
- 第2回総会で以下を決議
  - HTTRの早期運転再開と高温ガス炉技術の研究開発の強化
  - 高温ガス炉に関する基本施策を検討する体制強化
  - 国際協力・人材育成の強化
- 幹事会（官民が出席）での確認事項
  - オールジャパン体制でポーランドの計画に協力
  - ポーランド友好議連から日本との協力推進を依頼
- ポーランドエネルギー省ソボレフスキー原子力局長と野田議員、田野瀬議員が会談
  - 原子力分野における二国間協力の可能性や高温ガス炉について議論

国の取組

- 原子力科学技術委員会の高温ガス炉技術研究開発作業部会において、中間報告書「高温ガス炉技術開発に係る今後の研究開発の進め方について」をとりまとめる（H26.10.1）
- 日・ポーランド外相会談で高温ガス炉技術の研究開発に向けた協力奨励が含まれた行動計画に署名（H29.5.18）
- 田野瀬政務官（当時）を団長とする産・学・官からなる視察団がポーランドを訪問し、高温ガス炉に係る日・ポーランドの研究開発協力について会談（H29.7.23～24）
- 文科省、経産省、原子力メーカー、ユーザー、大学、原子力機構等で構成される協議会を設立。将来の実用化像、導入シナリオ等を検討（第1回（H27.4.28）、第2回（H27.9.29）、第3回（H28.4.26）、第4回（H28.6.23）、第5回（H29.6.12）、第6回（H30.8.7）、第7回（R1.12.24）、第8回（R3.1.14））
- 第5回協議会で海外戦略検討ワーキンググループを設置。ポーランドへの国産高温ガス炉技術導入戦略、産学官におけるポーランド高温ガス炉計画への協力体制等を構築（第1回（H29.8.9）、第2回（ H29.8.31）、第3回（R1.11.19））
- 衆議院予算委員会において、田野瀬議員がポーランドとの高温ガス炉に関する協定、プロジェクトの推進を要請。麻生副総理が、今後文科省で検討を進めると回答（H31.2.14）
- 経産省、文科省主導でSMR開発の原子力イノベーション事業を開始（H31.4）
- 英国への日本の高温ガス炉技術の展開に関し、経産省と英国ビジネス・エネルギー産業戦略省（BEIS）が協議（H30.10、R1.7）
- 日英の原子力政策に関し、高温ガス炉開発の推進に向け、BEIS、経産省、文科省、英国国立原子力研究所、原子力機構が協議。（R2.12.1）
- 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が経産省により策定。HTTRを活用したカーボンフリー水素製造に必要な技術開発支援、HTTRの建設・運転・再稼働を通じて、日本の規格基準普及に向けた他国関連機関との協力推進。

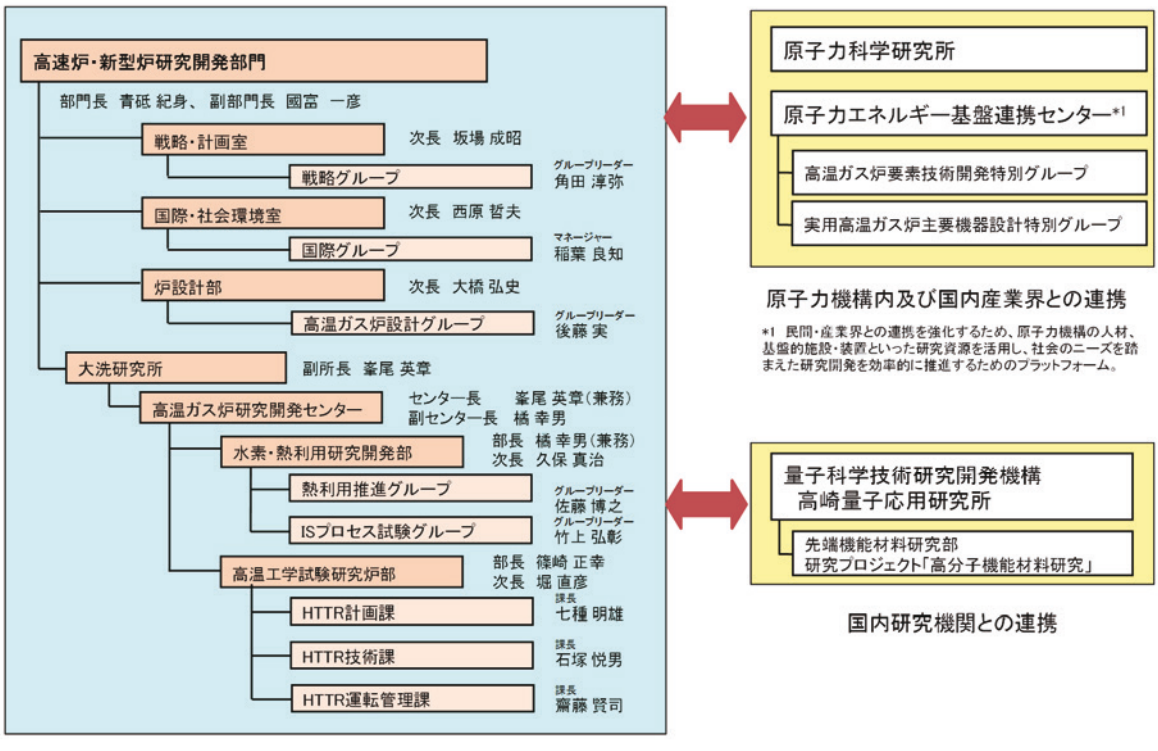
高速炉・新型炉研究開発部門

12



高温ガス炉及び水素製造研究開発の実施体制

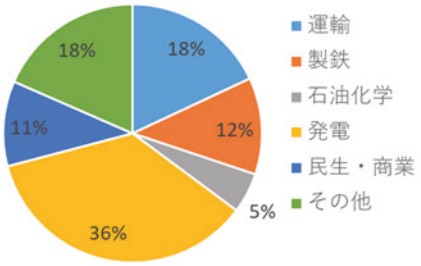
13



環境負荷の低減

■ エネルギー基本計画（S+3E)を満たす高温ガス炉は、日本の温室効果ガス排出削減に関する長期的目標（2050年カーボンニュートラル）に貢献する最適なシステム

我が国のCO2ガス排出量内訳(2019年)



発電、運輸、製鉄からの温室効果ガス排出量削減が重要

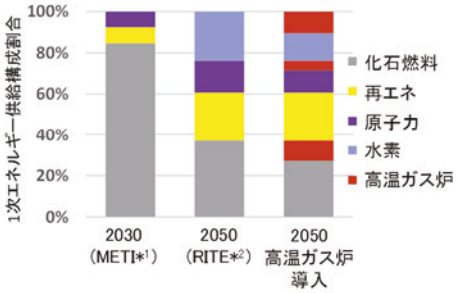
水素還元製鉄の導入（国内13か所で12%）→高温ガス炉水素製造

燃料電池自動車の導入→高温ガス炉水素製造

化石燃料を用いたプラントの代替→高温ガス炉ガスタービン発電又はコジェネ

高温ガス炉の各需要への導入を仮定

1次エネルギー需要	高温ガス炉導入割合
水素	40%
原子力発電	30%
工業プロセス熱供給	20%



*1) 資源エネルギー庁，長期エネルギー需給見通し，2015年7月16日

*2) (公財)地球環境産業技術研究機構（RITE)，2℃目標と我が国の2050年排出削減目標との関係，2016年3月2日より抜粋

発電以外のエネルギー利用分野で炭酸ガスの排出削減に貢献

付録２

令和2年度研究実績の評価と令和3年度の研究計画（案）

令和3年1月27日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門

1

令和2年度研究実績の評価

高温ガス炉研究開発の成果

1. 令和2年度研究成果

2

令和2年度の年度計画

1. 高温工学試験研究炉(HTTR)については、安全の確保を最優先とした上で運転再開までの間における維持管理経費の削減に努める。また、速やかな運転再開に向けて新規制基準への適合性確認対応を進め、設置変更許可を取得し、設工認の取得を目指すとともに使用前事業者検査の準備を行う。
2. さらに、実用高温ガス炉システムの安全基準の整備に向けて、安全要件を達成するための安全設計における燃料設計限度の適用性を確認する。

令和2年度研究成果

1-1 新規制基準への適合性の審査について、令和2年6月3日に設置変更許可を取得。HTTRがBDBAにおいても炉心溶融を起こさず、固有の安全性が極めて高いことが認められた。また、4分割申請としている設工認について、令和2年に第1回～第3回の認可を取得し、第4回についても概ね審査を終了。耐震補強等の大規模工事は不要の見込み。(対策工事費は約1．2億円) 令和3年7月の原子炉起動に向けた工事や使用前事業者検査を開始。このうち、防火帯の整備工事を終了した。

1-2 取得した許可を踏まえ、HTTR原子炉施設由来の事故により屋内退避や避難が必要な事象に至らないことが認められたため、当該内容を原子力事業者防災業務計画に反映した。

自己評価:S

HTTRの安全上の特徴(BDBAにおいても炉心溶融を起こさない)を認める許可を正式に取得した。また、これを踏まえ、HTTRの緊急時活動レベル(EAL)に関し、原子炉の冷却機能及び停止機能の喪失、使用済燃料の冷却機能喪失を屋内退避等の措置が不要な事象とするなど、大幅な見直しを行うことができた。本成果は、水冷却型の原子炉で達成することは極めて困難な安全性(高温ガス炉の安全性)が原子力防災上の観点からも原子力規制庁に認められたものであり、実用高温ガス炉を含む次世代型原子炉の開発に大きく貢献するものである。

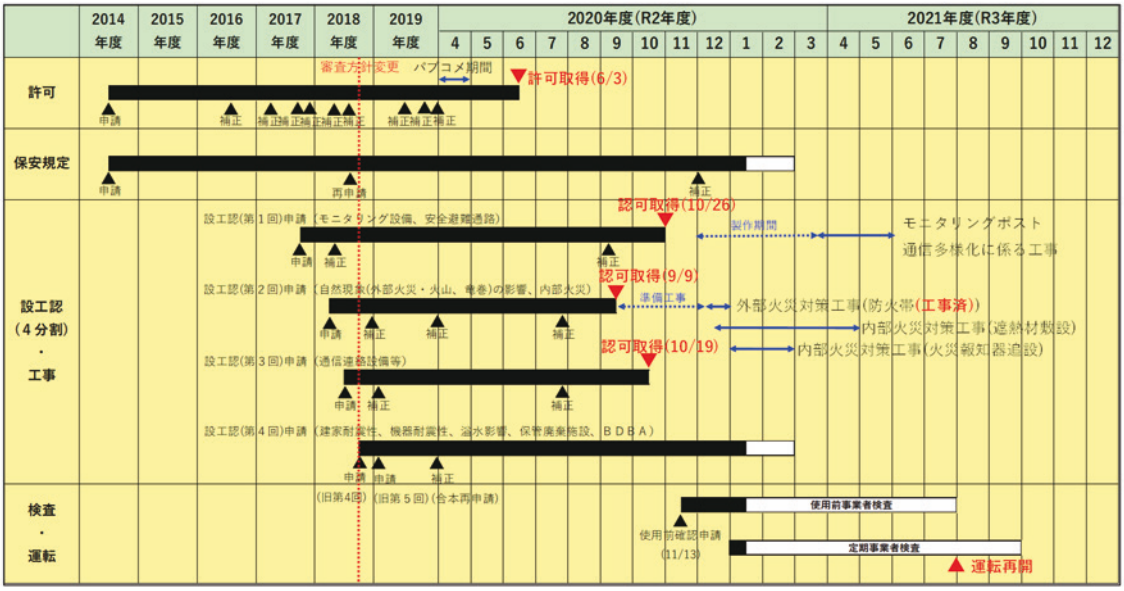
令和3年度の計画

高温工学試験研究炉(HTTR)については、安全の確保を最優先とした上で安全対策工事、使用前事業者検査及び定期事業者検査を進め、運転再開を果たす。

1-1 運転再開に向けた新規制基準対応状況について

3

令和3年1月14日現在



平成25年12月に施行された新規制基準をもとに、平成26年11月26日に新規制基準適合性確認のための設置変更許可申請を実施、令和2年6月3日に許可取得

・令和2年6月3日に原子力規制委員会より炉心溶融が起こらない高い安全性を認める設置変更許可を取得した。
・審査説明資料をとりまとめた資料の作成要求に対し、迅速に、かつ、後段規制においても利用可能な内容となるようにすることにより、設工認審査においては大きな論点が生じず認可を取得し、早期運転再開に大きく貢献。

1-1 運転再開に向けた新規制基準対応状況について

4

項目	従来の対策	令和2年6月に取得した許可における新規制基準想定内容等	設工認の内容	設工認の審査進捗状況
地震	・耐震重要度分類は実用炉を参考に分類 ・最大の地震動：350gal	・耐震重要度分類を試験研究用等原子炉施設に係る耐震重要度分類の考え方を参考に重要度を再分類 ・設計基準地震動：973gal	耐震評価の結果、補強工事不要	概ね終了
津波	・最大波浪：TP+6m	・基準津波相当の津波：TP+17.8m	TP+36mの高台設置のため、ハード対応不要	工事不要（完了）
外部衝撃（自然現象等）	・新基準により項目追加（火山、竜巻、外部火災）	・火山灰の設計層厚等：50cm（密度1.5g/cm^3） ・設計竜巻風速：100m/s ・外部火災：防火帯設置（幅9.5m） （防火帯外縁より外側に20mの樹木管理範囲有）	・火山及び竜巻事象について、評価の結果、対策工事不要。 ・電源喪失対策として可搬型発電機を設置（監視の継続用）*1 ・防火帯を新規設置	認可取得済、対策工事完了
内部火災	・新基準により要求強化（方策の組み合わせ防護から、一部、1方策による防護へ）	・原子炉建家内の可燃物量を制限 ・ケーブル（スクラム系等）を必要時間火災から防護 ・原子炉格納容器内における早期火災検知（熱＋煙）	・可燃物量の評価 ・ケーブル保護のためトレイへの遮熱材等を敷設 ・火災報知器を追設	認可取得済、対策工事中
多量の放射性物質を放出する事故の拡大防止（BDBA）	・新基準による追加要求	（BDBAの想定）→どの想定も炉心溶融は発生しない ・DBA＋原子炉停止機能の全喪失 ・DBA＋炉心冷却機能の全喪失 ・DBA＋閉じ込め機能の全喪失 ・使用済燃料プール等の冷却機能喪失	・可搬型発電機6基設置（電源喪失時の後備炉停止用や監視の継続用等）*1 ・消防車の活用（プールへの注水用）*1	概ね終了

平成25年12月に施行された新規制基準をもとに、平成26年11月26日に新規制基準適合性確認のための設置変更許可申請を実施

*1:取扱訓練を実施

・HTTRの極めて高い固有の安全性（BDBAにおいても炉心溶融が発生しない）が認められたため、耐震重要度や安全機能の重要度の再分類を提案し原子力規制庁に認められた結果、大規模な追加工事は必要なく運転再開ができる見込み。
・この高い固有の安全性が認められたことは、将来の実用化に向けた、高温ガス炉の安全上の特長を反映した安全基準の策定につながる大きな成果である。

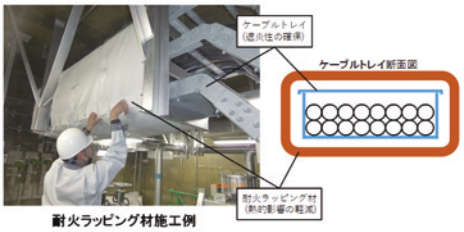
1-1 運転再開に向けた新規制基準対応状況について

5

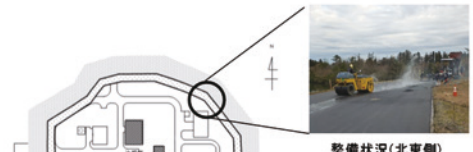
運転再開に向けた取り組み

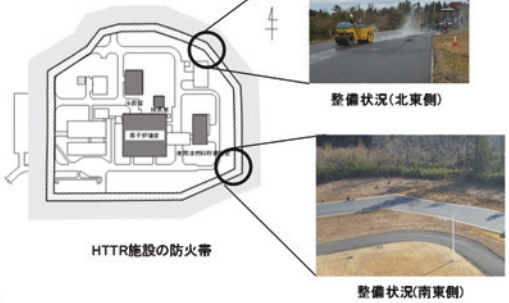
➢ 対策工事や使用前事業者検査の工程、訓練の実施に関し、詳細工程を関係者と共有するとともに進捗を管理。

対策工事の実施状況



耐火ラッピング材施工例

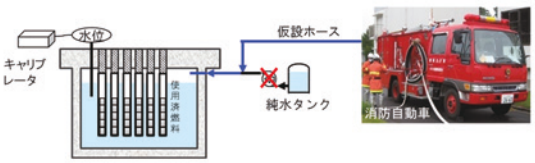

整備状況（北東側）


HTTR施設の防火帯

整備状況（南東側）

訓練の概要

- 火災時における初期消火活動としての空気呼吸器の装着、現場への移動
- 内部溢水時における溢水抑制訓練として漏水警報発報時の漏水系統隔離
- 火山、竜巻及びBDBA時の全電源（交流電源、直流電源）喪失時における可搬型発電機及び可搬型計器による監視
- 原子炉停止機能喪失時の手動によるスクラム遮断機の開、可搬型発電機による後備停止系の作動
- 閉じ込め機能喪失時の原子炉建家からの放射性物質の影響緩和
- 使用済燃料冷却機能喪失時における消防自動車によるプール水の注水
- 使用済燃料プールのサイフォン効果によるプール水の流出防止



● 消防自動車によるプール水の注水

1-2 HTTRの緊急時活動レベルの見直し

6

目 標

高温ガス炉の安全性を反映し、HTTRの緊急時活動レベル(EAL(Emergency Action Level))を見直す。

- 公衆への被ばくを与えるような事故事象が発生した際の対応として、緊急時の対策や判断が円滑に行えるよう、原子力事業者防災業務計画にEALを定めている。EALは、AL(警戒事象)、SE(施設敷地緊急事態)、GE(全面緊急事態)の3つのレベルに分けられている。従前のHTTRのEALは、実用発電炉で考慮されている枠組みを基本とし、試験研究炉の特性を考慮せずに設定していた。なお、熱出力30MWの試験研究炉では、GEの認定により屋内退避を実施すること(場合によっては避難すること)が必要とされている。
- 令和2年6月3日に取得した許可の内容、特にHTTRの炉の特性を考慮したBDBA事象やその対策、さらには敷地周辺における線量率から周辺住民の屋内退避等の対応の必要性を検討、抜本的にHTTRのEALの見直しを行い、設置許可の想定をはるかに超える自然現象等によって閉じ込め機能を大きく破損させる事象のみをGEとするEALが原子力規制庁より認められた。

事象	変更前	変更後	変更理由
原子炉運転中の非常停止が必要な場合に、原子炉の停止機能及び冷却機能を喪失する事象	GE	AL	HTTRの高い固有の安全性により、当該事象においても燃料が破損せず、事象が進展しないため、避難等は不要でありALに変更。(水冷却型の原子炉では、極めて困難な変更)
使用済燃料に対する冷却機能の喪失	GE	AL	許可上はラックが破損するように評価の上、対策を準備しているが、現実的な評価においては、破損せず事象進展しないため、避難等は不要でありALに変更。
原子炉運転中に、燃料*、1次系バウンダリ、原子炉格納容器の閉じ込め機能が全喪失	GE	SE	技術的には、燃料が追加破損することはなく、他の閉じ込め機能も一定程度担保される。当該条件により線量率を評価した結果、最大で5μSv/h(敷地境界付近)であり、その継続時間等を考慮しSEに変更
HTTRにおけるGEは、防護設計として考慮している基準地震動(973gal)、津波(17.6m)、火山灰層厚(50cm)、竜巻(100m/s)をはるかに超える自然事象やテロ行為により、原子炉施設のうち、閉じ込め機能を大きく破損させる事象が発生した場合のみと整理した。			

・今回のEALの抜本的な見直しは、水冷却型の原子炉で達成することは極めて困難な安全性(ガス炉の安全性)が原子力防災上の観点で原子力規制庁に認められたことを意味しており、炉心溶融のような事故は発生せず、屋内退避は想定を大きく超える自然現象等によって閉じ込め機能を大きく破損させる事象のみという高温ガス炉の安全性により、実用高温ガス炉の開発に貢献する大きな成果である。

1. 令和2年度研究成果

7

令和2年度の年度計画

1. 高温工学試験研究炉(HTTR)については、安全の確保を最優先とした上で運転再開までの間における維持管理経費の削減に努める。また、速やかな運転再開に向けて新規制基準への適合性確認対応を進め、設置変更許可を取得し、設工認の取得を目指すとともに使用前事業者検査の準備を行う。
2. さらに、実用高温ガス炉システムの安全基準の整備に向けて、安全要件を達成するための安全設計における燃料設計限度の適用性を確認する。

令和2年度研究成果

2-1 実用高温ガス炉の安全基準案としてIAEAへ提案した安全要件の要求事項を網羅しつつ、燃料破損率を考慮可能な燃料設計限度の考え方について適用性の確認を完了。

2-2 安全要件の国際標準案に適合し、かつ、蒸気供給用高温ガス炉システムの建屋コストを令和元年度の設計に比べて大幅に削減可能なコンファインメントの合理化案を提示。

自己評価: A

年度計画の達成に加え、原子炉建家の建設コストを令和元年度の設計から約30%削減可能なコンファインメント概念を提示し、年度計画を上回る成果を達成。

令和3年度の計画

蒸気供給用高温ガス炉システムの設計・評価により、熱利用施設の非原子力施設化に係わる安全要件の適用性を確認する。

2-1 燃料設計限度の考え方の適用性確認を完了

8

実用高温ガス炉システムの安全基準の整備

H25-26	日本原子力学会において安全要件の原案を作成
H27	設計基準事象選定の考え方を提示
H28-29	安全要件を達成するために安全設計において評価すべき設計事項を設定
H30	IAEAにおいて安全要件の原案を作成。高温ガス炉（30MW、730日燃焼）の設計を提示して、適用性を確認
R01	安全要件を達成しつつ燃料の追加破損を許容する燃料設計限度の考え方を提示

目標 燃料の追加破損を許容する燃料設計限度の考え方の適用性を確認

課題 燃料の追加破損が発生しつつも、燃料設計限度の評価指標が判断基準を満たす炉心の提示

解決法 H30年度に提示した設計に比べて燃焼期間を長くした炉心を対象に、以下を確認

- 燃料設計限度の考え方に基づく各評価指標について、計算値（評価値）が判断基準を満たす
- 通常時の公衆被ばく線量について、計算値（評価値）が放射線防護基準を満たす

成果

- 燃料設計限度の各評価指標は、判断基準を満たすことを確認
- 通常時の公衆被ばく線量は0.09μSv/yで、設定した放射線防護基準：5μSv/y（50μSv/y*の10分の1）以下を満たすことを確認

H30年度の設計に比べて燃焼日数を60日長くした炉心を対象に、燃料の追加破損を許容する燃料設計限度の考え方の適用性を確認

運転状態	評価指標	計算結果	判断基準
通常運転時	燃料破損率	初期破損：0.05% **	合計：0.2%
		燃料核移動による破損：0.1%	
		Pd腐食による破損：0%	
		内圧破損：0%	
	燃料温度	1451℃	1493℃
事故時	燃料スリーブ底板の腐食	3.44mm	5mm

*「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」で定める線量目標値

** HTTR燃料の製造実績に基づく破損率

2-2 蒸気供給用高温ガス炉システムのコンファインメント概念

9

目標 燃料設計限度を満足するための要求事項に適合し、経済性にも優れたコンファインメントの概念を提示

課題

- 二重管破断時に、人為操作なしで燃料設計限度の評価指標（燃料スリーブ底板の腐食）を満足
- 建設コストの高いコンファインメント容積の削減による経済性向上
- 容積削減で二重管破断時の内圧が従来より高くなる状況下でのコンファインメント健全性の確保

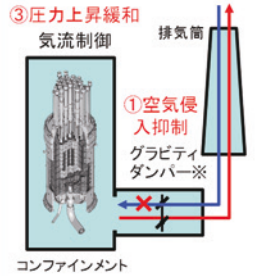
解決法

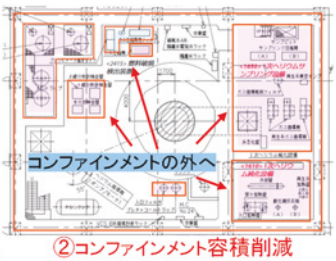
- グラビティダンパー※を設置して、人為操作なしで空気侵入量を抑制
- コンファインメント内の重要度の低い機器を、グレードの低い（建設コストの低い）建屋に移動
- コンファインメント内機器等の配置調整により気流を制御して、圧力上昇を緩和

成果

- 提示したコンファインメント設計が、二重管破断時においても、燃料設計限度の評価指標を満足
- コンファインメント容積の削減により建設コストを約30%削減の見込み（建築容積、掘削工事物量及び山留工事物量の削減を考慮したメーカー試算）
- 二重管破断時のコンファインメント圧力は200kPa（耐圧要求）以下で、健全性の見通しを得た

燃料設計上の要求事項を満足しつつ、従来設計から建設コストを約30%削減可能なコンファインメント概念を提示





②コンファインメント容積削減

①二重管破断時の空気侵入量の抑制
- ➢ 逆流を防止するグラビティダンパー

②コンファインメント容積の削減
- ➢ 重要度の低い機器をコンファインメント外に移動
- ➢ 対象機器：
  - 1次ヘリウム純化設備
  - 1次ヘリウムサンプリング設備
  - 燃料破損検出装置

③二重管破断時の圧力上昇の緩和
- ➢ 機器等の配置調整による気流制御

※ 逆向きの流れが生じないように、羽根が自重で閉じられる構造を有する

10

令和2年度研究実績の評価

水素製造研究開発の成果

1. 令和2年度研究成果

11

令和2年度の年度計画

1. 熱化学水素製造法であるISプロセスの連続水素製造プラントの自動組成制御に向け、連続水素製造試験等を行い、長期的組成変動の制御パラメータを抽出するとともに、取得したデータから多成分系溶液の物性データを整備する。
2. ISプロセス技術の民間移転等を目指した実用水素製造システムの経済性向上に向けて、硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能及び機械特性を評価する。
3. また、ガスタービンへの核分裂生成物の沈着低減技術について、選定した候補合金を用いたガスタービンへの核分裂生成物の沈着量を評価結果に基づき、候補合金のガスタービン翼設計への適用性を評価する。

令和2年度研究成果

1. ISプロセスの主要反応器において、運転中に組成を調整するための制御パラメータを抽出した。連続水素製造試験を実施して溶液組成予測に用いるための物性データを取得し、物性データベースを作成した。さらに、これらを組み合わせて自動組成制御を実現するため、制御に必要な溶液組成情報をオンラインかつ連続的に入手するための溶液組成計算法を提示し、取得したデータからの溶液組成計算値と滴定による溶液組成実測値を比較して、妥当性を検証した。

自己評価： A

連続水素製造試験を実施し、計画通り自動組成制御に向けた制御パラメータ及び物性データを取得した。加えて、これらを組み合わせて組成制御に必要な組成のフィードバックに適用するため、オンラインかつ迅速に計算できる新たな溶液組成計算法を提示して妥当性を検証し、年度計画を上回る成果を達成した。また、耐食性定量ポンプの固着防止技術など関連する要素技術については、JST新技術説明会等での民間への技術紹介等を通じて社会に情報発信するとともに、大学及びメーカと共同で特許取得（1件）及び審査請求（2件）し、化学産業分野への応用など将来的な社会・経済の活性化への貢献が期待される。

令和3年度の年度計画

熱化学水素製造法であるISプロセスの連続水素製造プラントの自動組成制御に向け、物性データベースを解析評価へ組込むとともに、各反応器の制御を連動させた長期的組成変動制御技術を開発し、連続水素製造試験等により検証する。

1. 自動組成制御に向けた物性データ整備(1/2)

12

目的: ISプロセスプラントの自動制御に向けた長期的組成変動の制御(以下、組成制御)のため、連続水素製造試験の結果から、長期的組成変動の制御パラメータを抽出するとともに、多成分系溶液の物性データを整備。

内容: (1)運転中に取得可能なパラメータから組成制御に関係する制御パラメータ*1を抽出
(2)連続水素製造試験により、組成予測に用いる多成分溶液の物性データ*2を取得
(3)組成制御に必要な溶液組成計算法を作成

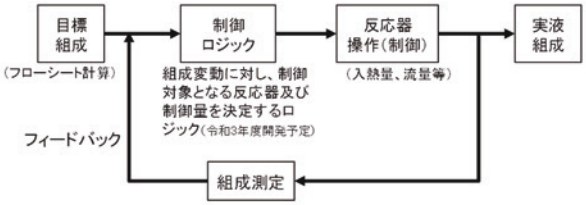
*1:制御の目標値及び操作に用いるパラメータ
*2:組成と温度、圧力、密度の関係

長期的組成変動抑制の概略

長期的組成変動の抑制・調整には、運転中の溶液組成を把握し、制御へフィードバックする必要がある。

現状の制御:事前に計算したフローシートの溶液組成とサンプリング溶液の滴定から得られた溶液組成を比較し、組成のずれに応じて反応器の運転条件を変更

課題:迅速かつ連続的な組成情報の入手
解決法:オンライン計測可能なパラメータを用いた組成計算法の開発及び計算に必要な物性データの入手



現状:サンプリング→溶液滴定
(オンライン不可)(測定に時間を要する)
開発手法:オンライン計測→溶液組成計算法

(令和2年度成果(1):組成計算に利用可能な制御パラメータを抽出
(2)組成と温度、圧力、密度の関係(物性データ)を取得)

(令和2年度成果(3):組成計算法を開発)

組成制御に向けた制御パラメータ抽出及び物性データ整備

(1)制御パラメータ抽出

現状:オンラインでの組成計測ができないため、組成を直接パラメータとした組成制御ができない。

成果(1) 間接的に組成予測できる制御変数を各反応器で抽出し、これを制御するための操作変数を決定

制御変数:この値が目標値となるように制御する(組成と関係する変数)
操作変数:制御変数の制御のために操作する変数

工程	反応器	制御変数(測定値)	操作変数(運転条件)
硫酸分解工程	硫酸分解器	酸素製造量	硫酸供給量
	硫酸濃縮器	溶液密度・沸点	入熱量
HI分解工程	HI分解器	水素製造量	HIガス流量
HI蒸留工程	HI蒸留塔	溶液密度・沸点	入熱量
HI濃縮工程	電解電気透析器	溶液密度	電流
ブンゼン反応工程	ブンゼン反応器	溶液密度	SO_2供給量
	精製塔	溶液密度・沸点	入熱量

自動組成制御に必要な制御変数の要件	・組成との相関関係がある ・計測器(オンライン)で連続的に計測可能

1. 自動組成制御に向けた物性データ整備(2/2)

13

(2)物性データ取得

- 組成に関係しオンライン計測できる値として圧力、沸点、密度、密度計温度を選定
- それぞれの相関関係を評価し、溶液密度と沸点の相関関係データを新たに取得することで、多成分系溶液の組成予測が可能となることを見出した。

成果(2) 以下の①と②の取得データを整理し、溶液物性間の相関関係ならびに溶液物性と組成の相関関係を溶液組成計算に適用できるようにデータベース化

① 物性間の相関データ取得

以下の溶液物性の相関データを取得

溶液密度 ⇔ 溶液温度
沸点 ⇔ 圧力
← 密度計、圧力計、温度計により、運転中にオンラインで連続的に計測可能

② 溶液組成の測定

①で溶液物性の相関データを取得した溶液をサンプリングし、滴定により溶液組成を実測

溶液密度 ⇔ 溶液温度
沸点 ⇔ 圧力
⇔ 溶液組成
← 同一溶液でのデータ取得により、溶液物性と組成の相関関係を溶液組成計算に適用可能とした

取得データ点数

【密度】ブンゼン反応工程(HI-I2-H2O-H2SO4(4成分)):56点
HI濃縮、蒸留、分解工程(HI-I2-H2O(3成分)):79点

【沸点】ブンゼン反応工程(HI-I2-H2O-H2SO4(4成分):113点
HI蒸留工程(HI-I2-H2O(3成分):18点

- ✓ 硫酸工程は2成分(H_2SO_4-H_2O)であり、既存の物性データ(密度⇔組成、沸点の関係)が適用できることをこれまでの試験で確認済み
- ✓ 沸点については、令和元年以前の試験データを基にした解析により追加したデータ点数を含む

成果(3) オンラインで取得可能なデータから組成を予測する溶液組成計算法を提示し、組成変動の傾向把握に十分な精度であることを確認

溶液組成計算法の開発

(2)で取得したデータにより、オンライン取得できるデータを用いた多成分溶液の溶液組成計算法を提示した。

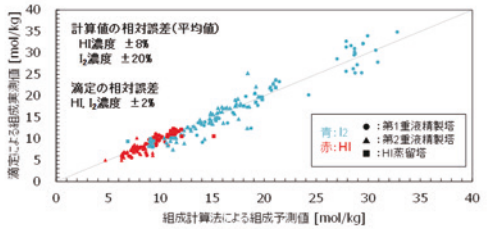
- 溶液組成と物性の関係を含む関係式を作成

例)密度(ρ)の関係式

$$\rho=\sum_{j=0}^{2}\sum_{i=0}^{2}c_{ij}T^{i}x_{Iotom}^{j}\quad[g/cm^3]\qquad x_{Iotom}\equiv\frac{x_{HI}+2x_{I_2}}{x_{HI}+2x_{I_2}+x_{H_2O}}=\frac{x_{HI}+2x_{I_2}}{1+x_{I_2}}$$

T:温度 x_i:成分iの組成 c_{ij}:定数

- 関係式を組み合わせた連立方程式を求解して組成を予測
- 溶液密度と沸点が制御変数となる反応器について溶液組成を計算
- 滴定による組成実測値と計算値を比較し、溶液組成計算法を検証



連続水素製造試験中の溶液組成実測値と計算値の比較

制御ロジックへの反映及び必要な予測精度の検証
予測精度向上に向けた追加データ取得及び関係式の改良
(R3年度開発予定)

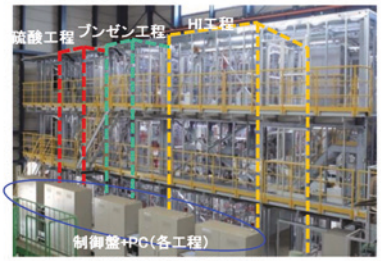
ISプロセス水素製造試験

14

HTTR熱利用試験に向けて、工業材料製の連続水素製造試験設備によるプラント全系の耐食機器技術（耐食性、機器性能）及び運転技術を確立

目的
- 実用工業材料製の連続水素製造試験装置による技術・信頼性確証

内容
- これまでの機器開発技術を統合し，連続水素製造試験装置を製作
- 連続水素製造試験によるプラント全系の信頼性確証，連続水素製造性能の検証
- 工程別試験により装置性能を確認後，工程連結試験を実施



連続水素製造試験装置

・温度：850℃（最高）
・水素製造規模：0.1m³/h（定格）
・電気加熱
・機器は，全面をパネルで覆った鉄骨製架台に配置

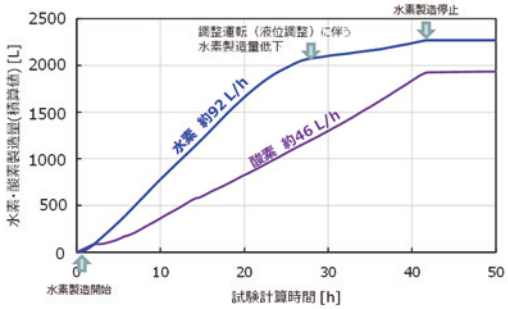
装置材料
液相 ・フッ素樹脂ライニング
・ガラスライニング
・炭化ケイ素（SiC）セラミックス
・不浸透黒鉛
気相 ・ハステロイC-276

令和2年度の試験結果概要

試験実施期間
- 令和2年10月12日～16日

水素及び酸素製造量
- 水素製造量：約92 L/h*
- 酸素製造量：約46 L/h
- 水素製造時間：約28時間（調整運転まで）

*HI蒸留塔の液位低下を回復のための液位調整のため、試験途中で流量調整により水素製造量を低下させた。



連続水素製造試験における水素・酸素製造量（積算値）

成果（4）組成変動データ及び多成分溶液の物性データ取得を完了。ループ運転*による安定した水素製造開始に成功し、有効性を確認。試験後の点検による機器信頼性評価を実施中。

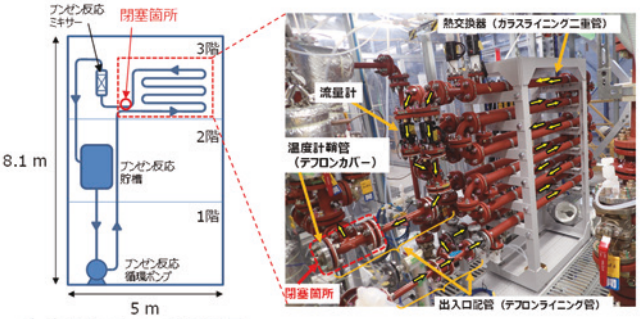
*ループ運転：工程ごとに独立した閉ループを構築して起動運転（昇温、圧力・流量調整）を行い、起動時の過渡変化が安定した後にループ間を接続して水素製造を開始する方法。起動運転時の組成の過渡変化が次の工程に波及することを防止できる。

ISプロセス水素製造試験における課題と対策

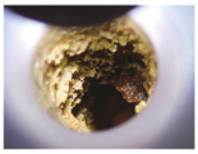
15

発生した課題と対策

連続水素製造試験中にブンゼン反応工程のブンゼン反応熱交換器において硫黄による閉塞が発生。原因究明及び対策立案を年度内に完了予定。



ブンゼン反応循環ラインの配置概略図



閉塞箇所配管内部の硫黄堆積状況

再発防止対策及び水平展開
- 硫黄生成メカニズムを検証し、高温蒸気や硫酸、SO_2ガスの合流部での温度、組成の変動による副反応発生が原因と推定。
- ブンゼン反応溶液中での副反応による硫黄生成条件（組成、温度の影響）のデータ拡充のため、ビーカー試験を実施中。
- 今後、硫黄生成条件を基に運転中の硫黄生成リスクを評価して対策を立案し、解析あるいは要素試験により硫黄生成リスクの低減効果を検証
- 硫黄による閉塞事象への対策を全系統に実装し、連続水素製造試験を再開する。

2. 令和2年度研究成果

16

令和2年度の年度計画

1. 熱化学水素製造法であるISプロセスの連続水素製造プラントの自動組成制御に向け、連続水素製造試験等を行い、長期的組成変動の制御パラメータを抽出するとともに、取得したデータから多成分系溶液の物性データを整備する。
2. IS プロセス技術の民間移転等を目指した実用水素製造システムの経済性向上に向けて、硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能及び機械特性を評価する。
3. また、ガスタービンへの核分裂生成物の沈着低減技術について、選定した候補合金を用いたガスタービンへの核分裂生成物の沈着量の評価結果に基づき、候補合金のガスタービン翼設計への適用性を評価する。

令和2年度研究成果

2. ISプロセスの硫酸分解器に適用する新規耐食合金に対して、耐食性評価試験及び高温引張試験を行い、優れた耐食性能及び高温引張特性を明らかにした。

自己評価：B　計画通り、年度計画を達成した。新規耐熱耐食合金の開発においては、民間企業と共同で特許を出願しており、将来的な社会・経済の活性化への貢献が期待される。また、本合金は、他分野における硫酸などの硫黄酸化物またはハロゲン化水素等を含む高温過酷環境への用途にも適用可能と考えられる。

令和3年度の年度計画

ISプロセス技術の民間移転等を目指した実用水素製造システムの経済性向上に向けて、硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能と機械特性の長時間安定性に係るデータを取得する。

2. ISプロセス硫酸分解器の経済性向上

17

【全体概要】

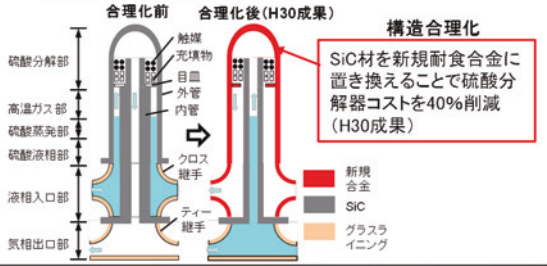
目的：水素製造コスト目標の達成。

課題：水素製造コスト目標達成に必要な経済性を向上させた硫酸分解器の提示。

解決法：

① 経済性を向上させた硫酸分解器の概念設計（H30完了）

② 経済性を向上させた硫酸分解器へ適用する材料の耐食性能の確認（H29～R3）



No.1の高強度化合金の腐食試験及び高温引張試験結果

種類	脱スケール後平均腐食速度	常温			850℃		
		0.2%耐力	引張強さ	伸び	0.2%耐力	引張強さ	伸び
	mm/year	MPa	MPa	%	MPa	MPa	%
No.2	0.25	298	688	43	81	142	100
No.3	0.07	413	803	36	65	125	123
No.4	0.32	402	775	35	89	146	76

【令和2年度】

目的：新規合金の高温硫酸分解ガス環境下での耐食性能や高温強度特性を明らかにする。

内容：腐食試験、高温引張試験及び靭性評価試験の実施。

成果：・新規合金の優れた耐食性能及び高温引張特性を明らかにした。

・新規合金の酸化皮膜が従来材にAl_2O_3液を塗布した材料と異なる皮膜構造となることを見出すとともに耐食性向上を可能とする皮膜構造を明らかにした。

腐食試験及び皮膜解析

400時間腐食試験において、昨年度最も優れた耐食性を示した合金No.1が目標腐食速度0.2mm/y以下を達成（平均腐食速度：0.01mm/y）。

合金No.1とAl_2O_3液を塗布した材料の酸化皮膜分析結果を比較した結果、同類のAl_2O_3皮膜が形成されていたものの、その結晶構造が両者で全く異なることを明らかにした。

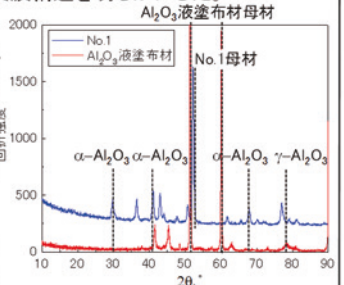


図1 No.1及び表面処理材表面のX線回折結果

No.1を高強度化した3つの合金（No.2～4）の腐食試験及び高温引張試験において、合金No.3が目標腐食速度0.2mm/y以下と目標高温引張強さ 100MPa以上を達成

一方、850℃の長時間熱時効後のシャルピー衝撃試験にてNo.3の靭性低下を確認。

今後は、靭性改善のための成分改良を行うともに、耐食性能、機械特性の長時間安定性を確認する。

1. 令和2年度研究成果

18

令和2年度の年度計画

1. 熱化学水素製造法であるISプロセスの連続水素製造プラントの自動組成制御に向け、連続水素製造試験等を行い、長期的組成変動の制御パラメータを抽出するとともに、取得したデータから多成分系溶液の物性データを整備する。
2. ISプロセス技術の民間移転等を目指した実用水素製造システムの経済性向上に向けて、硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能及び機械特性を評価する。
3. また、ガスタービンへの核分裂生成物の沈着低減技術について、選定した候補合金を用いたガスタービンへの核分裂生成物の沈着量を評価結果に基づき、候補合金のガスタービン翼設計への適用性を評価する。

令和2年度研究成果

3-1　令和元年度に選定した候補合金を用いたガスタービンへの核分裂生成物の沈着量の評価結果に基づきガスタービン保守時の被ばく線量率を評価し、制限値を満足することを確認して、候補合金のガスタービン翼設計への適用性評価を完了。

3-2　学術的貢献として、最新の手法でNi中のAg固溶限濃度の測定を行い、既存の日本学術振興会（JSPS）のNi-Ag合金状態図を修正すべき測定結果が得られる見込み。

自己評価：A

年度計画の達成に加え、JSPS合金状態図委員会に提案可能なNi-Ag固溶濃度（800～1200℃）に関するデータを最新の手法で取得し、年度計画を上回る成果を達成の見込み。

令和3年度の年度計画

（令和2年度で核分裂生成物の沈着低減技術の要素技術開発は完了）

3-1　核分裂生成物（FP）沈着低減技術

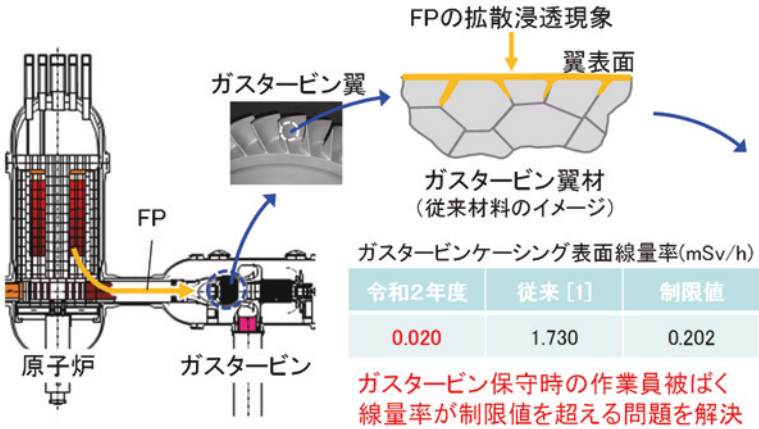
19

目標　選定した候補合金のガスタービン翼設計への適用性の評価

課題　ガスタービン保守時の作業員の被ばく線量率を明らかにする

解決策　選定した候補合金を用いたガスタービン翼へのFP（放射性Ag）沈着量の評価結果を用い、ガスタービン点検時の作業員の被ばく線量率を計算して制限値と比較

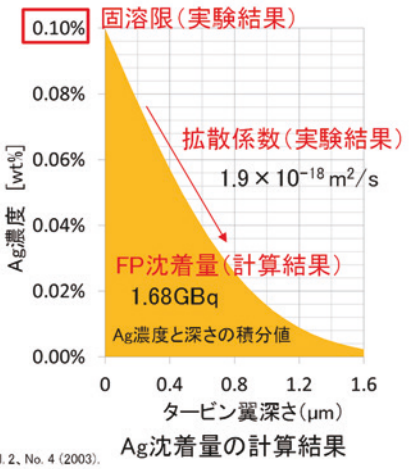
成果　ガスタービン保守時の作業員被ばく線量率は、候補合金を用いた場合0.020mSv/h。これは、従来設計値の約1/100、制限値の約1/10であり、選定した候補合金のガスタービン翼設計への適用性を確認



ガスタービンケーシング表面線量率(mSv/h)

令和2年度	従来 [1]	制限値
0.020	1.730	0.202

ガスタービン保守時の作業員被ばく線量率が制限値を超える問題を解決



Ag沈着量の計算結果

[1] 小杉山　他、高温ガス炉ガスタービン発電システム（GTHTR300）発電系設備の点検方法・手順、日本原子力学会和文論文誌、Vol. 2、No. 4 (2003).

3-2 核分裂生成物(FP)沈着低減技術

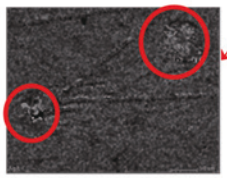
20

課題 候補合金主成分NiへのAg固溶限の従来文献値[1]が、候補合金のAg沈着量測定値と矛盾
(従来文献値は108年前に取得されたデータに基づく推定値)

解決策 Ni中にAgをアーク溶解後、圧延・熱処理・急冷して標準試料を製作し、最新の手法(EDXによる析出検出)でAg固溶限を測定

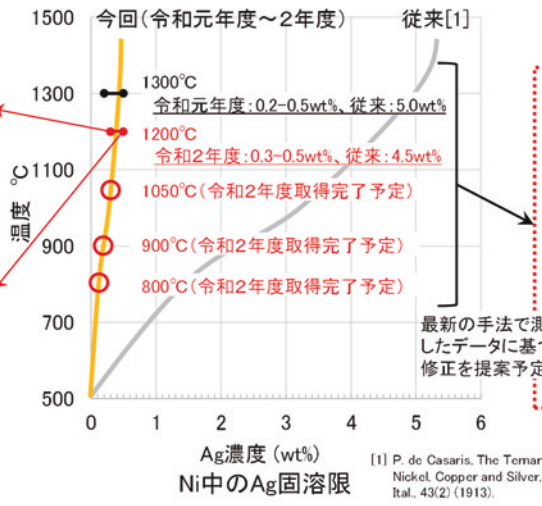
成果 昨年度の1300℃に加え、**1200℃のNi-Ag固溶限を測定した結果、従来(Ni-Ag合金状態図)より低いことを確認(1/10程度)**。令和2年度内に800、900及び1050°Cの測定を完了し、令和3年度にデータを取り纏めて、JSPS合金状態図委員会にNi-Ag合金状態図の修正を提案予定

0.3wt%: Ag未析出



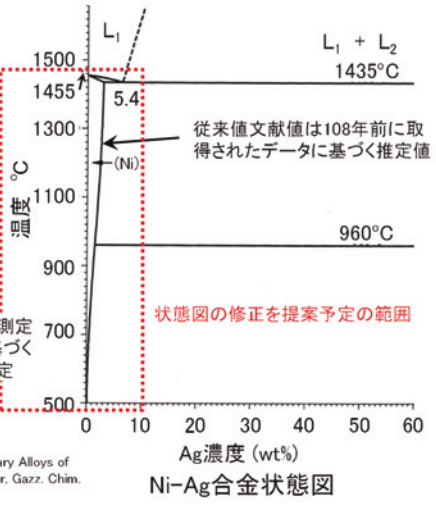
0.5wt%: Ag析出

EDXによる析出検出
倍率:250倍



Ni中のAg固溶限

[1] P. de Casaris, The Ternary Alloys of Nickel, Copper and Silver, Gazz. Chim. Ital., 43(2) (1913).



Ni-Ag合金状態図

21

令和2年度研究実績の評価

人材育成

1. 令和2年度研究成果

22

令和2年度の年度計画

1. HTTRを活用した人材育成として、HTTRに研究者等を受け入れ、HTTRの燃焼解析等を実施し、高温ガス炉に関する知識を習得させる。

令和2年度成果

1. 高温ガス炉技術及び熱利用技術の研究成果の発信の一環として、人材育成活動を継続的に実施している。夏期休暇実習生12名、学生実習生2名を受け入れて、熱流動、炉物理、燃料健全性、耐食材料等に関する演習等を実施し、高温ガス炉技術の知識を習得させ、若手研究者の育成に努めている。さらに、成果を基に学会発表等に繋げた。
2. また、ポーランドの高温ガス炉開発を担う人材育成を目的とした第3回高温ガス炉セミナーをWeb会議形式で開催し、高温ガス炉技術に関する理解向上に繋げた。

自己評価：A　5名以上の受け入れ目標に対し、夏期休暇実習生12名、学生実習生2名を受け入れた。また、ポーランドNCBJと共催で、文科省及びポーランド気候環境省の後援を受け、第3回高温ガス炉セミナーを開催し、2日間で延べ180人が参加した。**若手職員を指導員・講師に起用し、国内外の研究者・技術者を育成する人材育成活動を通して、高温ガス炉技術の継承・普及を図るとともに、職員採用にも貢献している。**以上により、年度計画上回る成果を達成した。

令和3年度の計画

HTTRを活用した人材育成として、HTTRに研究者等を受け入れ、HTTRの燃焼解析等を実施し、高温ガス炉に関する知識を習得させる。

1. HTTRを活用した人材育成

23

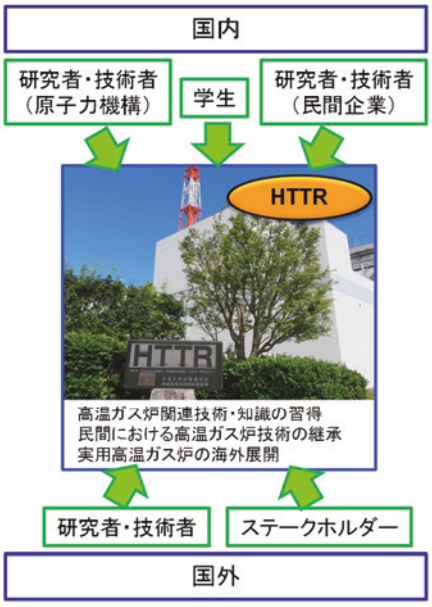
目的

- 第4世代炉である高温ガス炉HTTRを人材育成の場として利用し、学生等に高温ガス炉技術を広めるとともに、HTTR試験を通して高温ガス炉の優れた安全性に関する知識を習得させる。
- 国際協力の下、国外の研究者等をHTTRに受け入れ、高温ガス炉技術の理解促進を図り、実用高温ガス炉の海外展開に貢献する。

対象者

国内：民間技術者・研究者、学生、等

国外：高温ガス炉輸出相手国の研究者・技術者、ステークホルダー、等



1. HTTRを活用した人材育成

24

夏期休暇実習生

テーマ	高温ガス炉の熱流動シミュレーション実習（3名受入）
課題	汎用原子力システム解析コードを用いた高温ガス炉炉心熱流動特性評価
成果	高温ガス炉の特長や原子炉動特性評価の概要を理解した。国内で広く原子力システムの安全解析に用いられているシステム解析コードRELAP5の使い方を習得した。
テーマ	高温ガス炉用被覆燃料粒子の評価モデルに関する研究（1名受入）
課題	被覆燃料粒子の内圧破損評価モデルを用いた照射試験の再現解析
成果	高温ガス炉用被覆燃料粒子の概要を理解した。被覆燃料粒子内圧破損評価モデルの使い方を習得した。 原子力学会2021年春の年会「高温ガス炉用被覆燃料粒子の高燃焼度化における破損率評価」を発表（予定）
テーマ	硫酸環境下での耐食金属材料に関する研究（1名受入）
課題	腐食後の金属材料等の表面近傍のミクロ組織観察
成果	高温ガス炉やIS水素製造法の特長を理解した。腐食後の金属材料の分析手法として、試験片研磨や電子顕微鏡を用いた表面観察方法について理解した。
テーマ	HTTRに関する技術開発（3名受入）
課題	燃焼解析等を実施することで高温ガス炉の核的な特徴を理解する。
成果	炉心サイズ、燃焼度をパラメータとした核計算を実施し、反応度等への影響を評価した。
テーマ	HTTRに関する技術開発（1名受入）
課題	炉容器周辺部の温度解析
成果	FLUENT3次元軸対称1/2モデルの数値解析モデルを構築した。

1. HTTRを活用した人材育成

25

夏期休暇実習生

テーマ	被覆燃料粒子に起因する二重非均質性が増倍率に及ぼす影響の検討（1名受入）
課題	非均質燃料及び均質燃料の増倍率をそれぞれ4因子に分解し、二重非均質性が4因子に及ぼす影響を調べる。
成果	二重非均質性が増倍率に及ぼす影響のメカニズムを理解した。国内で広く核特性解析に用いられているモンテカルロコードMVPの使い方を習得した。
テーマ	環境負荷低減技術研究開発のための社会的合意形成プロセスモデルの開発（1名受入）
課題	水素貯蔵・輸送の安全性に関する社会受容を考慮して、高温ガス炉水素製造の導入を検討する。
成果	水素ステーションに対する市民のニーズ・イメージのデータベースを作成した。
テーマ	減速材対燃料比が高温ガス炉の核的特性に及ぼす影響の評価（1名受入）
課題	減速材対燃料比をパラメータとして、その違いが炉内の中性子スペクトル及び増倍率に及ぼす影響を調べる。
成果	減速材対燃料比が中性子スペクトル及び増倍率に及ぼす影響のメカニズムを理解した。国内で広く核特性解析に用いられているモンテカルロコードMVPの使い方を習得した。

学生実習生

テーマ	HTTRに関する技術開発（1名受入）
課題	炉容器周辺部の温度解析
成果	FLUENT3次元軸対称1/2モデルに支持脚を追加した数値解析モデルを構築した。
テーマ	高温ガス炉内の炉内流量配分評価に関する研究（1名受入）
課題	汎用原子力システム解析コードを用いた高温ガス炉炉内流量配分評価モデルの構築及び定常状態解析
成果	RELAP5を用いて燃料ブロックのカラム間流れやクロス流れを考慮可能な高温ガス炉炉内流量配分評価モデルを構築するとともに定常解析を実施した。

第3回高温ガス炉セミナー

26

目的

ポーランドの高温ガス炉開発を担う人材を育成し、ポーランド高温ガス炉計画の推進に貢献するため、Web会議形式で第3回高温ガス炉セミナーを開催

概要

3rd Seminar on Development of HTGR Technology for Cogeneration and Heat Applications

開催日時	2020年10月22日～23日
開催方法	Web会議形式
主催	JAEA、NCBJ
後援	文科省、ポーランド気候環境省
講義内容	核設計、燃料設計、燃料サイクル 熱利用技術、水素製造技術
参加者	2日間で延べ180名 （NCBJ研究員、民間企業技術者、学生、等）

NCBJホームページにおける会議開催案内

成果

ポーランドNCBJの職員を中心に、毎回多数の研究者・技術者が参加し、高温ガス炉の設計・評価技術を習得

政府間の合意に基づく日本の協力に対して、ポーランド側から大きな期待が示されている

今後の計画

2021年度以降は内容を詳細化して継続

（アドバンスコース、解析手法トレーニングコース、等）

27

令和2年度研究実績の評価

産業界との連携

1. 令和2年度研究成果

28

令和2年度の年度計画

1. 国や産業界との協議を継続し、日本の高温ガス炉技術の国際展開を実現するための検討を進める。
2. また、蒸気供給高温ガス炉システムの設計・成立性評価を行いつつ、国や産業界等と連携し、ポーランド高温ガス炉計画への協力体制、スキーム及びビジネスモデル等を検討する。
3. また、英国新型モジュール式原子炉計画等に協力するとともに既存の二国間協力及び多国間協力を着実に進める。

令和2年度研究成果

海外のプロジェクトへの参画を通して、産業界と協力して高温ガス炉の社会実装を目指し、以下の活動を実施。

1 高温ガス炉産学官協議会の第8回会合を開催。HTTR熱利用試験の必要性の合意を得るとともに、2050年カーボンニュートラル実現に向け、高温ガス炉実用化や国際協力の在り方等について継続議論し、実用化に向けた政策の立案等に貢献していくことが決定した。また、昨年に引き続き、電力業界(四電、北海道電、電事連)等のステークホルダーとの意見交換を実施した。

2 原子力機構内に設置した機構職員や民間企業所属の委員で構成される高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチームの下で、ポーランド高温ガス炉計画への日本企業の参画方針案を作成した。

3-1 ポーランドNCBJとの定期的な打ち合わせを実施するとともに、第3回高温ガス炉セミナーをWeb会議形式で開催。

3-2 日英政府間レベルでの高温ガス炉開発の協力を進めることで基本合意を得るとともに、令和2年10月に英国国立原子力研究所(NNL)との既存の技術協力取決めを改定して高温ガス炉技術分野の協力を追加するとともに、11月に英国原子力規制局(ONR)と高温ガス炉の安全性に関する情報交換取決めを締結し、技術開発と規制の両面からの協力体制を構築した。これらの取決め締結にあたってはプレス発表を実施。また、英国Penultimate Power社との協力に向けた定期的なWeb会議を実施。

3-3 ISTCプロジェクトとしてカザフスタン核物理研究所とSiC燃料コンパクトの照射特性評価に関する新しい協力を本年度から開始した。OECD/NEAの国際共同試験(HTTR-LOFC試験)の再開に向けた事前調整をNEA事務局と開始した。また、IAEAやGIFの各種会合に参加して多国間協力を着実に進めた。

自己評価: S 本年度は、ポーランドNCBJとの実施取決めに基づく技術会合及びセミナーを計画通りに開催し、良好な協力関係を維持している。さらに、日英政府間レベルで協力推進が合意され国際協力の下で高温ガス炉開発を進めるという国の政策に着実に応えるための枠組みが構築され、英国NNL及びONRとの協力の取決めを新たに締結し、英国AMR計画への日本の技術展開に向けた活動の土台を構築した。また、カザフスタンとの二国間協力、IAEAやGIFの多国間協力を着実に進めた。協議会等を通して産業界との連携を図り、海外プロジェクトを活用した高温ガス炉の社会実装を目指した活動の基本方針を構築した。また、多国間協力等を通して日本のコンセンサスを示す活動、成果発表も積極的に実施した。

令和3年度の年度計画 蒸気供給高温ガス炉システムの設計・評価を行いつつ、国や産業界との協議を継続し、高温ガス炉の実用化、国産技術の海外展開を実現するための戦略を検討し、ポーランド高温ガス炉計画や英国新型モジュール式原子炉計画等への協力体制、スキーム及びビジネスモデル等を具体化する。さらに、既存の二国間協力及び多国間協力を通して、研究開発の効果的な遂行や成果発信に努める。

1. 高温ガス炉産学官協議会

29

高温ガス炉産学官協議会 第8回会合 (令和3年1月14日)

議題: 高温ガス炉開発の位置づけとカーボンニュートラルにおける高温ガス炉の位置づけ
高温ガス炉技術開発の現状
高温ガス炉技術開発に係るの海外との協力の状況

結論: HTTR熱利用試験の必要性をメンバー間で合意。2050年カーボンニュートラルの実現に向け、高温ガス炉の実用化や国際協力の在り方等について継続議論し、高温ガス炉の実用化に向けた政策の立案等に貢献していく。

主な発言:

・高温ガス炉は安全で発電・熱利用もでき、実用化スケールで進めていくことに期待している。水素製造法としてISは選択肢の一つ、加速的に実用化研究を進めて欲しい。(日本製鉄)

・水素利用側の立場として、実証に向け進捗がわかり期待を持った。(日産自動車)

高温ガス炉産学官協議会メンバー

原子炉メーカー	東芝エネルギーシステムズ、日立・GEニュークリアエナジー、富士電機、三菱重工業
燃料・材料メーカー	原子燃料工業、東洋炭素
水素・熱利用メーカー	岩谷産業、千代田化工建設、東洋エンジニアリング、トヨタ自動車、日揮、日産自動車、日本製鉄、日立造船、本田技研工業
ゼネコン	大林組、清水建設
シンクタンク・商社	キヤノングローバル戦略研究所、丸紅ユティリティ・サービス
大学	東京大学、東京工業大学、東京都市大学
国等	文部科学省、経済産業省、日本原子力研究開発機構
オブザーバー	電気事業連合会、日本原子力発電、日本電機工業会、エネルギー総合工学研究所、伊藤忠商事

1. 産業界との連携

30

- 高温ガス炉技術の研究開発において、産業界との連携を継続
- 高温ガス炉の実用化に向けて、経団連、電力業界との意見交換を継続

三菱重工（連携センター*1） 2009年度～

- HTTRで培った技術を活かし、実用先行炉を想定した自社製の高温ガス炉システムMHRの概念設計を実施。原子力機構は、炉心設計を協力。
- 商用化に向け、実用先行炉の建設に集中することを提案。高温ガス炉の商用化に向けて自社技術で貢献すると表明。

遠山眞（三菱重工）
"Expectations to HTGR", HTR2012国際会議より

TOSHIBA 東芝エネルギーシステムズ

2007年度～（連携センター*1 2018年度～）

- 原子力機構が提案する小型高温ガス炉の概念構築に、国内企業6社をとりまとめ、協力。（2007～）
- 蒸気供給用高温ガス炉システムの設計において、国内企業をとりまとめ、協力。（2018～）
- 実用高温ガス炉の経済性向上などを目指し、連携センターに特別グループを設置（2018年12月）

共同で開発した小型高温ガス炉の概念

電力業界との協力

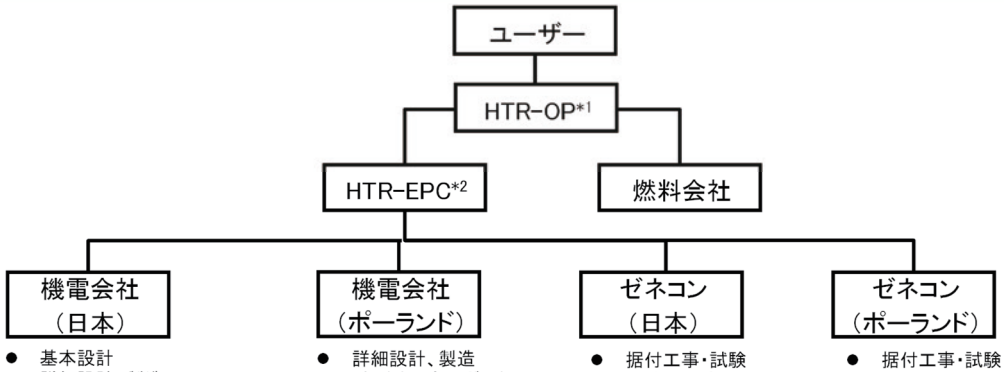
- 高温ガス炉の実用化には民間企業が主導して、国（経産省）の支援の下で開発を進める体制が必要
- JAEAは開発を担う民間企業（ユーザー）獲得に向けて、電力業界との意見交換を継続
  - 令和2年7月、9月及び10月　四国電力との意見交換
  - 令和2年8月　北海道電力との意見交換
  - 令和2年9月　電事連との意見交換
  - 令和2年10月及び12月　四国電力へHTGR技術の説明

＊1 原子力機構の原子力エネルギー基盤連携センター

2 ポーランド高温ガス炉計画への日本企業の参画方針案

31

- 「高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチーム」を設置し（令和2年1月1日）、民間企業委員の意見を反映して、高温ガス炉実用化ビジネスモデルや高温ガス炉事業化に係る原子力機構発ベンチャー事業化構想案、ポーランド高温ガス炉計画への日本機電企業の参画形態案を決定
- ポーランドエネルギー政策「原子力プロジェクト国産化率60%への期待」を満足しつつ、プロジェクトのリスクやコスト低減化を図るため、HTTR建設経験を最大限活用しつつ、大型軽水炉との共通部分については詳細設計以降、ポーランド企業を利用する参画シナリオ及びスキームを決定
- 今後、高温ガス炉産学官協議会及びその下の海外戦略検討ワーキンググループへ当該案を提案し、方針を決定予定。



- 基本設計
- 詳細設計、製造（高温ガス炉特有機器）
- 据付工事・試験の技術指導

- 詳細設計、製造（軽水炉・高温ガス炉共通部分）
- 据付工事・試験

- 据付工事・試験の技術派遣

- 据付工事・試験

*1: Operator
*2: Engineering, Procurement, Construction

3-1 ポーランドとの協力

32

■ 実施取決めに基づき以下の活動を実施し、ポーランド高温ガス炉開発計画の加速を期待。
- NCBJと定期的な技術会合を開催。国内高温ガス炉技術のポーランドでの展開等を目的に協力を推進
- 日本の高温ガス炉技術を講義するセミナーをWeb会議形式で開催し、ポーランド高温ガス炉開発を担う人材（研究者、技術者、学生等）の育成に貢献。

情報交換

NCBJとWeb会議にて情報交換 （6月、9月）
- ポーランド実験炉の体制、スケジュール等
- HTGR開発予算（設計、許認可、建設）

技術会合

タスク1（材料・燃料）に関するWeb会議（5月、12月）
- MARIA炉を活用したSiC/C試料の照射試験の実施可能性の検討
- 機械特性試験に必要な試験機、試験方法、試験条件等

全体会合（3月）
- タスク1（材料・燃料）、タスク2（安全）、タスク3設計）について、JAEA及びNCBJの双方から進捗状況を協議予定

第3回高温ガス炉セミナー
3nd Seminar on Development of HTGR Technology for Cogeneration and Heat Applications

開催日時	2020年10月22日～23日
開催方法	Web会議形式
主催	JAEA、NCBJ
後援	文科省、ポーランド気候環境省
講義内容	核設計、燃料設計、燃料サイクル 熱利用技術、水素製造技術
参加者	2日間で延べ180名

今後の計画

2021年度以降は内容を詳細化して継続する
（アドバンスコース、解析手法トレーニングコース等）

3-2 英国との協力

33

■ 経産省、文科省と連携して、英国政府と高温ガス炉開発の協力を推進する体制を構築
■ 日本の高温ガス炉技術の国際展開を目的とし、英国原子力研究所（NNL）と既存の技術協力取決めを改定し、高温ガス炉技術分野を追加し、協力を開始
■ 英国原子力規制局（ONR)と安全性に関する情報交換取決めを新たに締結
■ 英国の高温ガス炉開発と規制整備の両面から支援する体制を構築

- 資源エネルギー庁と英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS)との会合（2020年12月）
  - ✓ 原子力機構とNNLの協力を推進するための具体的計画を議論
  - ✓ 2021年初めにワークショップを開催
  - ✓ 2021年3月までにアクションプランを作成
- 英国原子力研究所（National Nuclear Laboratory：NNL)との協議（2020年5月、7月、8月）
  - ✓ 協力内容に関する協議（NNLの関心事項に関してJAEAから回答）
  - ✓ 既存の技術協力取決め改定に関する調整
  - ✓ 高温ガス炉技術分野を追加した取決め改定(2020年10月）
- 英国原子力規制局（Office for Nuclear Regulation：ONR）と高温ガス炉の安全性に関する情報交換取決め締結（2020年11月）
- Penultimate Power UK社とWeb会議（2020年6月）及びE-mailでの情報交換
  - ✓ 英国における高温ガス炉開発計画の状況及びニーズ調査

3-3 その他の国際協力（令和2年度）

34

米国

- ○ 米国エネルギー省（DOE）／アイダホ国立研究所（INL）と研究協力を実施。
  - ✓ プロジェクト取決めの改定（期間満了により）
  - ✓ タスクを整理し、高温ガス炉と再生可能エネルギーとのハイブリットシステムの設計、モデリング、解析を中心とした研究内容に変更
- ○ Ultra Safe Nuclear Corporationとの協力に向けた協議
  - ✓ Web会議による定期的な打合せ

カザフスタン

- ○ SiC母材燃料コンパクトの照射試験への協力（試料提供、研究指導）

韓国(KAERI)

- ○ 公開情報に基づく情報交換会合の開催調整

中国(INET)

- ○ 公開情報に基づく情報交換会合の開催調整
- ○ 覚書を5年間延長

国際原子力機関（IAEA）

- ○ CRP「原子力水素製造技術の評価及び展開の見通し」（～2021年4月）
- ○ CRP「SMRの経済性評価手法と適用」（2020年12月～）
- ○ 専門家会合（TWG-SMR）、各種技術会合（安全基準、等）に参加
- ○ IAEA-GIFインターフェイス会合（7月）
- ○ IAEA Scientific Forumで講演（9月）
  「水素の経済性と原子力の役割」

第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF）

日 米 仏 韓 加 スイス 中 EU 豪 英

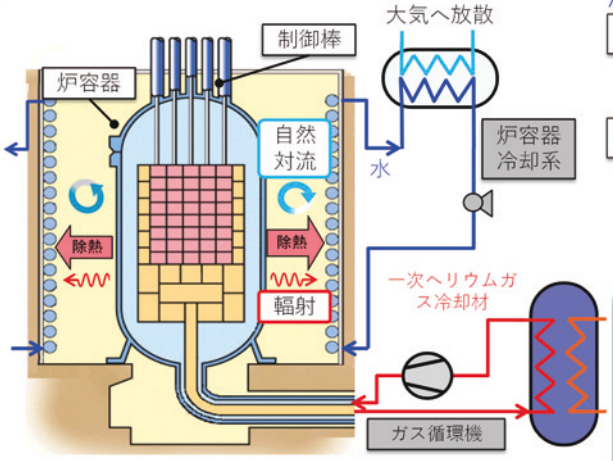
- ○ 専門家グループ会合（5月、10月）
- ○ VHTRシステム運営委員会（6月、10月）
- ○ 燃料・燃料サイクルプロジェクト（9月）
- ○ 材料プロジェクト（4月、5月、6月、9月）
- ○ 水素製造プロジェクト（9月）
- ○ 計算手法検証・ベンチマーク暫定プロジェクト（10月）

3-3 OECD/NEA LOFCプロジェクト（安全性実証試験）

35

OECD/NEA LOFCで実施する安全性実証試験の内容

- ☑ 低出力（30%(9MW)）**炉心流量喪失試験（Run1）**
  （ガス循環機停止）・・・ **完了**（平成22年度）
- ☐ 高出力（定格：30MW）**炉心流量喪失試験（Run2）**
  （ガス循環機停止）・・・・・ 令和3年度実施予定
- ☐ 低出力（30%(9MW)）**炉心冷却喪失試験（Run3）**
  （ガス循環機+炉容器冷却系停止） 令和3年度実施予定



参加国：チェコ、仏、独、ハンガリー、韓、米

炉心流量喪失試験（Run1）：完了

- 初期出力30%（9MW）
- 炉心冷却流量の停止
- 炉容器冷却系の運転継続
- 停止操作（制御棒挿入）なし

制御棒挿入なし冷却なしでも、物理現象のみで、原子炉が自然に静定・冷却されることを確証

炉心流量喪失試験（Run2）：予定

Run1で確証した高温ガス炉の固有安全性を定格出力（30MW）で実施

炉心冷却喪失試験（Run3）：予定

炉心の強制冷却に加え、残留熱除去のための炉容器冷却系も停止し、すべての冷却機能が喪失した場合の安全性をRun1と同じ出力（9MW）で実施

LOFCプロジェクトの再開に向け、HTTRの設置変更許可取得、設工認に関する審査状況等について参加機関にプログレスレポートを2回発出（7月、12月）。LOFC運営委員会の開催に向け、NEA担当者、委員会議長と議題や全体スケジュール等について協議し、準備を進めた。

【参考】 優先的に取組む国際協力（令和3年度）

36

ポーランド：国立原子力センター（NCBJ）

- 輸出許可を取得し、NCBJと設計情報、試験データの交換を伴う協力を実施
- 第4回高温ガス炉セミナー開催、短期研修のJAEAへの受入れによる人材育成

英国：原子力研究所（NNL）、URENCO社、Penultimate Power UK社

- NNLとの技術協力及びONRとの安全性に関する情報交換の実施
- 両国政府と連携し、英国AMR計画等への協力

米国：エネルギー省（DOE）

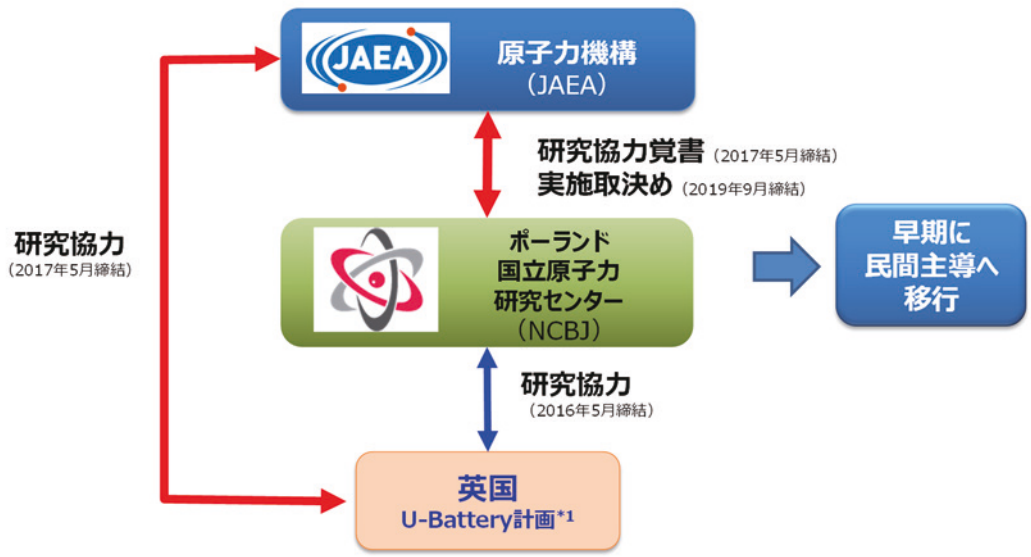
- CNWGの枠組みの下でアイダホ国立研究所と高温ガス炉再生可能エネルギーハイブリットシステムの検討を実施

国際原子力機関（IAEA）

- SMRのEPZ決定手法の開発（CRP）
- SMRの経済性評価（CRP）
- 原子力水素製造技術の評価及び展開の見通し（CRP）
- SMRと高温ガス炉の競争性と早期導入（CRP（予定））
- 専門家会合、各種技術会合（安全基準、等）に参加

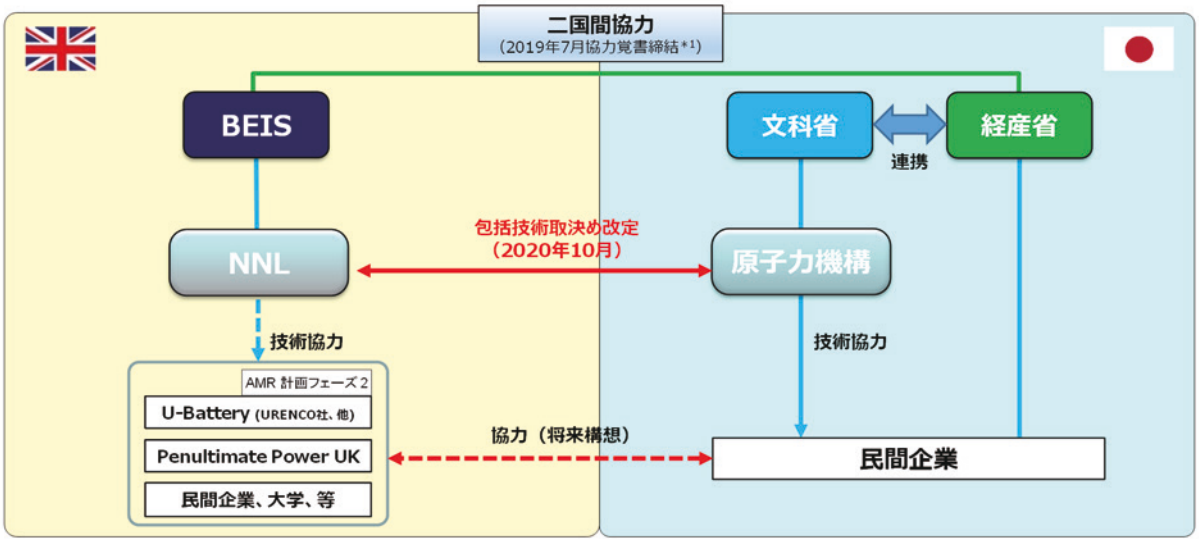
【参考】 ポーランドとの協力スキーム

37



【参考】 英国との協力スキーム

38



*1) Memorandum of Cooperation Between the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan and the Department for Business, Energy and Industrial Strategy of the UK on Clean Energy Innovation

【参考】 英国の原子力開発

39

2050年までに炭酸ガス排出ネットゼロを法制化しており、大型軽水炉、小型軽水炉、高温ガス炉の開発を重点化。

- 大型軽水炉
  - ✓ EDFエナジー社が、英国南西部のサマセット州でヒンクリーポイントC原子力発電所（160万kWのPWR×2基）を建設中。2025年末に1号機で送電開始予定
- 小型軽水炉（SMR）
  - ✓ 大型軽水炉のための許認可を得ているサイトを小型炉に転用
  - ✓ ロールスロイス社が包括的設計審査GDA（Generic Design Assessment）準備等のため、UK Research and Innovation（UKRI）から£18Mを受領（2019年11月）
- 次世代モジュラー炉（AMR）
  - ✓ 民間企業からの提案を受けてビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS：Department for Business Energy and Industry Strategy）が競争的に研究開発を推進
  - ✓ 21件の応募から8件のプロジェクトを選定（うち高温ガス炉は3社）、総額£4M（平均£0.2M）を配賦し、成立性評価を実施（Phase 1）
  - ✓ 設計手法開発（Phase 2、総額£40M／2年）として、U-Battery Development Ltd.（高温ガス炉）、Tokamak Energy Ltd.、Westinghouse Electric Company UKの3件を選定（2020年7月）
  - ✓ 包括的設計審査GDA（Generic Design Assessment）のためのデータ取得などを支援

【参考】英国政府発表「グリーン産業革命のための10要点計画」 (The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution, 2020.11.18)

40

要点1： 洋上風力の推進（2030までに40GW）

要点2： **水素による低炭素化の推進**（2030までに5GW。2023水素地区、2025水素村→水素町。£240M）

要点3： **次世代原子力の実現**

要点4： ゼロエミ自動車へのシフトを加速

要点5： 公共交通機関（2030までにガソリン車、ディーゼル車の廃止）

要点6： 航空・輸送（ゼロエミ化）

要点7： 公共施設

要点8： CCSへの投資

要点9： 自然環境の保護

要点10： イノベーションと金融

www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution

概要： 800℃以上の熱による**水素製造**と**合成燃料生産**。水素及び洋上風力の補完。
（注：高温ガス炉と明確には記載されていないが、高温ガス炉と推察）

予算： **£385M**（先進原子力基金の創設）
（539億円、内SMRに£215M、AMR研究開発費に£170M）
£40M（56億円、規制枠組み、サプライチェーン）
（1£＝140円で換算）
2020年12月14日発表のエネルギー白書でも同様の記載

政策による影響：
再エネ等とともに、電力における脱炭素化（発電）
英国全土における雇用創出
AMRによる工業、輸送等における脱炭素化（熱利用）

スケジュール：

2020	エネルギー白書刊行
2021	英国SMR設計開発フェーズ2の開始
2020年代半ば	ヒンクレーポイントCのグリッド接続
2030年代初頭	SMR初号機導入、AMR実証炉設置

※大型軽水炉に関しては、ヒンクレーポイントCの建設において約10,000人の雇用をピークに創出、等の記述がある。

【参考】英国政府発表「エネルギー白書」 (Energy White Paper Powering our Net Zero Future, 2020.12.14)

41

タイトル **The Energy White Paper : Powering our Net Zero Future**
（エネルギー白書：ネットゼロ未来の原動力）

目次
1．消費者
2．電力
3．エネルギーシステム
4．建物
5．産業エネルギー
6．石油とガス

エネルギー白書の概要

- 英国政府（BEIS）は2020年12月14日、同年11月18日に発表した「グリーン産業革命のための10要点計画」に基づく**エネルギー白書：ネットゼロ未来の原動力**を発表(1)。
- 本白書は、2050年までに温室効果ガス純排出ゼロの目標実現に至るためのエネルギーシステムに関する長期戦略ビジョン。
- 今後10年で産業、運輸及び建物の分野で二酸化炭素換算で2億3,000万トンの排出量を削減するための方針や施策を記載。グリーンに関連する雇用を支援することで、最大22万人の雇用を創出。
- SMR及びAMRに関しては、第2章「電力」において、10要点計画と同様の以下が記載：
  - **最大£385M**（539億円）**の先進原子力基金の創設、2030年代初頭のSMR・AMR導入**
    （国内SMR設計に最大£215M、AMR研究開発費に最大£170M）
  - **£40M**（56億円）**の規制枠組み及びサプライチェーンへの投資**

(1) https://www.gov.uk/government/publications/energy-white-paper-powering-our-net-zero-future

42

令和2年度研究実績の評価

社会的貢献の評価

1. 令和2年度社会的貢献の評価(1/3)

43

評価内容:科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性

社会的貢献(社会実装)に向けた課題

- 実用高温ガス炉の安全基準整備
- 水素社会実現に向けたカーボンフリー水素製造法の開発
- 高温ガス炉水素製造技術が他の水素製造技術に対して経済的に競合できることを示す
- 高温ガス炉ガスタービン発電システムのガスタービン保守時における作業員の被ばく線量率の抑制

令和2年度成果(自己評価:A)

- 実用高温ガス炉の安全基準整備は、国際原子力機関(IAEA)における重要課題の一つである。実用高温ガス炉の安全基準として安全上の要求事項を網羅しつつ、合理的な燃料破損率を考慮可能な燃料設計限度の考え方の適用性を提示した。これにより、実用高温ガス炉の安全基準整備に大きく貢献した。
- 水素社会の実現に向けた水素製造法の開発は、国内外のニーズに適合している。特に、炭酸ガスを排出しない水素製造法であるISプロセスは「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」にカーボンフリー水素製造法として記載され、その研究開発は世界的な脱炭素への社会的ニーズに適合している。
- ISプロセスの硫酸分解器に適用する新規耐食合金に対して、耐食性評価試験及び高温引張試験を行い、優れた耐食性能及び高温引張特性を明らかにした。新規耐食合金の開発は、他分野における硫酸などの硫黄酸化物またはハロゲン化水素等を含む高温過酷環境への用途としても適用可能と考えられ、将来的な社会・経済の活性化への波及効果が期待できる。
- ガスタービン翼材料として選定した候補合金を用いた場合のガスタービン保守時における作業員被ばく線量率(計算結果)は、制限値の約1/10であることを見出した。候補合金のガスタービン翼設計への適用性を示したことは、作業員被ばく線量率抑制に寄与した。これにより高温ガス炉ガスタービン発電システムの実用化に大きく貢献した。

1. 令和2年度社会的貢献の評価(2/3)

44

評価内容:研究開発課題／成果の社会的受容性

社会的貢献(社会実装)に向けた課題
- 高温ガス炉の安全性、利便性を世間へ発信し、国民の理解を広める。
- ISプロセス技術を民間へと発信し、関連する産業界へ情報を提供し、理解を広める。
- 高温ガス炉の安全性、利便性を世間へ発信し、国民の理解を広める。

令和2年度成果(自己評価:A)
- 設置変更許可取得に関し、HTTRの優れた安全性が認められたことを広く発信(JAEAプレス発表(令和2年6月)、新聞報道等)したことは妥当である。今後は、運転再開後にHTTRを用いた事故を模擬した試験により高温ガス炉の安全性を確証し、これを発信していく。
- 連続水素製造試験におけるISプロセス要素技術に関し、プレス発表や民間への技術紹介(JST新技術説明会、JAEA技術サロン*等)を通して社会に情報発信しており、情報発信は妥当である。また、技術紹介後に民間からの問合せを受けるなど、発信した成果が社会的に理解・受容されている。(*産業界で応用可能なJAEAの技術を民間に紹介し意見交換するためにJAEAが主催する技術サロン)
- 高温ガス炉技術及び熱利用技術の研究成果の発信の一環として、人材育成活動を継続的に実施。夏期休暇実習生12名、学生実習生2名を受け入れた。

評価内容:成果の波及効果を十分に見極めるなど、長期的・文化的な観点に立った評価

社会的貢献(社会実装)に向けた課題
- 産業界等と連携した体制、スキーム、ビジネスモデル等の構築
- 化学産業分野への応用など将来的な社会・経済の活性化への貢献
- 高温ガス炉技術開発、熱利用技術開発のための長期的な人材育成、人材確保
- 海外プロジェクト参画を通した国産技術の国際展開を通じた技術力維持、成果寄与

令和2年度成果(自己評価:A)
- 「高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチーム」を設置し(令和2年1月)、民間企業委員の意見を反映して、高温ガス炉実用化ビジネスモデル等を検討し、ポーランド高温ガス炉計画へ向けた産業界との連携構築へ貢献。
- ISプロセス要素技術に関し、大学と共同での特許取得(1件)及びメーカと共同で出願した特許の審査請求(2件)し、将来的な社会・経済の活性化へ貢献した。また、ISプロセスの技術開発は、分離膜の開発等、一般化学プラントに応用可能な技術が含まれ、化学産業分野への波及効果が期待できる。
- ポーランドNCBJとの共催で、第3回高温ガス炉セミナーを開催し、2日間で延べ180人が参加した。若手職員を指導員・講師に起用し、国内外の研究者・技術者を育成する人材育成活動を通して、高温ガス炉技術の継承・普及を図るとともに、高温ガス炉人材育成に貢献した。
- ポーランド、英国等の海外プロジェクトの参画検討を通して、人材育成のみならず国内高温ガス炉の技術力維持、成果寄与に有効利用している。

1. 令和2年度社会的貢献の評価(3/3)

45

評価内容:新規科学技術の研究開発や利活用におけるリスク発生の可能性

社会的貢献(社会実装)に向けた課題
- 高温ガス炉の安全性、利便性を世間へ発信し、国民の理解を広める。

令和2年度成果(自己評価:A)
- 蒸気供給用高温ガス炉システム等、高温ガス炉の社会実装にあたっては、安全基準が必要であり、実用高温ガス炉の安全基準の整備を推進した。HTTRの許可取得は安全基準の構築に寄与する成果であり、高温ガス炉の社会実装におけるリスク発生の回避につながる。

評価内容:国内外他機関、産業界との連携の妥当性

社会的貢献(社会実装)に向けた課題
- 実用高温ガス炉システムの安全基準の整備における国内外他機関、産業界との連携
- 高温ガス炉ガスタービン発電システムの研究開発における国内他機関、産業界との連携
- 海外プロジェクトへの参画を通した国産技術の国際展開を通じた技術力維持
- 国、産業界等と連携した体制、スキーム、ビジネスモデル等の構築
- 国際的なネットワークの構築、協働による高温ガス炉技術開発の推進

令和2年度成果(自己評価:A)
- 実用高温ガス炉システムの安全基準整備は、IAEAの枠組みにおいてIAEAや各国専門家と連携し推進した。
- ガスタービン保守時における作業員被ばく線量率の計算に必要なデータ取得及び試験片製作を、ガスタービンの製造能力を有する国内メーカーと連携して進めた。
- ポーランド、英国等の海外プロジェクトの参画検討を通して、人材育成のみならず国内高温ガス炉の技術力維持、成果寄与に有効利用している。
- 我が国の高温ガス炉技術の国際展開に向けて、高温ガス炉実用化研究協力推進プロジェクトチームを設置し、実用化ビジネスモデル、事業化構想当を検討した。また、高温ガス炉産学官協議会(第8回)開催する等、国や産業界との議論を深めた。
- ポーランドNCBJとの実施取決めに基づく技術会合及びセミナーを計画通りに開催し、良好な協力関係を維持した。さらに、日英政府間レベルで協力推進が合意され「国際協力の下で高温ガス炉開発を進める(エネルギー基本計画)」とした国の政策に応えるための枠組みを構築した。さらに、英国NNL及びONRとの協力取決めを新たに締結し、英国の高温ガス炉計画に対して我が国の技術展開に向けた土台を構築した。加えて、カザフスタンとの二国間協力、IAEAやGIFの多国間協力を着実に進めた。協議会等を通して産業界との連携を図り、海外プロジェクトを活用した高温ガス炉の社会実装を目指した活動の基本方針を定め、国、産業界と合意した。

46

令和3年度の研究計画（案）

令和3年度の業務運営に関する計画（年度計画）

47

令和2年度の年度計画

1）高温ガス炉技術研究開発
高温工学試験研究炉（HTTR）については、安全の確保を最優先とした上で運転再開までの間における維持管理経費の削減に努める。また、速やかな運転再開に向けて新規制基準への適合性確認対応を進め、設置変更許可を取得し、設工認の取得を目指すとともに使用前事業者検査の準備を行う。さらに、実用高温ガス炉システムの安全基準の整備に向けて、安全要件を達成するための安全設計における燃料設計限度の適用性を確認する。

2）熱利用技術研究開発
熱化学水素製造法であるISプロセスの連続水素製造プラントの自動組成制御に向け、連続水素製造試験等を行い、長期的組成変動の制御パラメータを抽出するとともに、取得したデータから多成分系溶液の物性データを整備する。ISプロセス技術の民間移転等を目指した実用水素製造システムの経済性向上に向けて、硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能及び機械特性を評価する。
また、ガスタービンへの核分裂生成物の沈着低減技術について、選定した候補合金を用いたガスタービンへの核分裂生成物の沈着量を評価結果に基づき、候補合金のガスタービン翼設計への適用性を評価する。

3）人材育成
HTTRを活用した人材育成として、HTTRに研究者等を受け入れ、HTTRの燃焼解析等を実施し、高温ガス炉に関する知識を習得させる。

4）産業界との連携
国や産業界との協議を継続し、日本の高温ガス炉技術の国際展開を実現するための検討を進める。また、蒸気供給高温ガス炉システムの設計・成立性評価を行いつつ、国や産業界等と連携し、ポーランド高温ガス炉計画への協力体制、スキーム及びビジネスモデル等を検討する。また、英国新型モジュール式原子炉計画等に協力するとともに既存の二国間協力及び多国間協力を着実に進める。

令和3年度の年度計画

1）高温ガス炉技術研究開発
高温工学試験研究炉（HTTR）については、安全の確保を最優先とした上で**安全対策工事、使用前事業者検査及び定期事業者検査を進め、運転再開を果たす。また、蒸気供給用高温ガス炉システムの設計・評価により、熱利用施設の非原子力施設化に係る安全要件の適用性を確認する。**

2）熱利用技術研究開発
熱化学水素製造法であるISプロセスの連続水素製造プラントの自動組成制御に向け、**物性データを解析評価へ組み込むとともに、各反応器の制御を連動させた長期的組成変動制御技術を開発し、連続水素製造試験等により検証する。**ISプロセス技術の民間移転等を目指した実用水素製造システムの経済性向上に向けて、硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能と機械特性の**長時間安定性に係るデータを取得する。**

3）人材育成
HTTRを活用した人材育成として、HTTRに研究者等を受け入れ、HTTRの燃焼解析等を実施し、高温ガス炉に関する知識を習得させる。

4）産業界との連携
蒸気供給高温ガス炉システムの設計・評価を行いつつ、国や産業界との協議を継続し、**高温ガス炉の実用化**、国産技術の海外展開を実現するための**戦略を検討し**、ポーランド高温ガス炉計画や英国新型モジュール式原子炉計画等への協力体制、スキーム及びビジネスモデル等を**具体化する。**さらに、既存の二国間協力及び多国間協力を通して、**研究開発の効果的な遂行や成果発信に努める。**

付録３

第3期中長期計画の見込評価

令和3年1月27日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門

2）高温ガス炉技術の研究開発 1/2

1

第3期中長期計画

高温工学試験研究炉（HTTR）について、安全の確保を最優先とした上で再稼働するまでの間における維持管理費の削減に努め、新規制基準への適合性確認を受けて速やかに再稼働を果たす。

高温ガス炉の安全性の確証及び固有の技術の確立については、炉心冷却喪失試験、熱負荷変動試験等の異常時を模擬した試験を実施し、高温ガス炉の固有の安全性を検証する。また、HTTRを用いて運転データを取得し、国際協力の下、実用高温ガス炉システムの安全基準の整備を進めるとともに、将来の実用化に向けた高燃焼度化・高出力密度化のための燃料要素開発を進める。

H27（総合評価B）	H28（A）中間評価	H29（A）	H30（A）	H31/R1 中間評価	R2 見込評価	R3 事後・事前評価	達成度（見込評価）
《新規制基準への適合性確認を受けて速やかに再稼働》			**《炉心冷却喪失試験、熱負荷変動試験等の異常時を模擬した試験》**				
・適合性確認審査対応 ・起動用中性子源交換を完遂 ・HTTRを用いた熱利用系異常模擬試験（コールド試験）を実施 評価：B	・適合性確認審査対応 ・ガス循環機用ガスケット交換を完遂 ・HTTRを用いた崩壊熱評価の適用性確認試験（コールド試験）を実施 評価：B	・重要度分類等を適切に見直し耐震補強を不要とした。 ・信頼性を向上させた改良型中性子検出器の製作を実施	・BDBAにおいて燃料溶融しないことを示し、大規模補強がなく簡易な対策で対応できることを示した。 ・非常用発電機設備ガスタービンエンジンのオーバーホールを実施。 評価：A	・設置変更許可に関する審査を終了させた。高温ガス炉が炉心溶融を起こさず、固有の安全性を有することが認められ、設置変更許可取得の目途が得られた。 ・非常用発電機設備ガスタービンエンジンのオーバーホールを完了させた。 評価：S	・設置許可取得 ・設工認審査対応 ・使用前事業者検査 ・定期事業者検査 自己評価：S	・使用前事業者検査 ・定期事業者検査 ・安全性実証試験、熱負荷変動試験等を実施	《新規制基準対応》 **自己評価：S** ・**達成**：設置変更許可を取得。高温ガス炉が炉心溶融を起こさないことが認められ、HTTR施設のEALを抜本的に見直しした。GEは想定をはるかに超える自然現象等による閉じ込め機能の喪失のみとなった。
《実用高温ガス炉システムの安全基準の整備》 評価：S							
・設計基準事象選定の基本的な考え方を提案 ・実用高温ガス炉の設計基準事象選定を完了 評価：B	・安全要件を達成するために炉心及び燃料の安全設計において評価すべき設計事項を設定 評価：A	・安全要件を達成するために原子炉冷却設備及び格納施設の安全設計において評価すべき設計事項を設定 評価：A	・IAEA CRPにおいて安全要件の国際標準案の原案を作成 ・蒸気供給用高温ガス炉システムを設計し、安全評価により安全要件の適用性を確認 評価：A	・安全要件を達成するための安全設計における燃料設計限度の考え方を提示 評価：A	・安全要件を達成するための安全設計における燃料設計限度の適用性を確認 自己評価：A	・蒸気供給用高温ガス炉システムの設計・評価により、熱利用施設の非原子力施設化に係る安全要件の適用性を確認	《安全基準の整備》 **自己評価：A** ・**達成**：HTTRデータに基づく安全要件原案がIAEA技術報告書として刊行され、実用高温ガス炉システムの安全基準の整備を進めることができた。
《高燃焼度化・高出力密度化のための燃料要素開発》							
・高燃焼度SiC-TRISO燃料粒子の設計手法の妥当性を確認 ・オーバーコート法の改良、燃料要素の試作に成功 評価：A	・高燃焼度化・高出力密度化のため充填率を高めた燃料コンパクトを試作し、性能評価を完了 評価：A	・充填率を更に高めた燃料コンパクト（36%）を試作し、性能評価を完了 ・開発した被覆粒子のFP保持能力に関する解析評価手法の妥当性を確認 評価：B	・カザフスタンISTCプロジェクトで取得した100GWd/t照射燃料データを活用し、燃料要素の成立性を確認 評価：B				《燃料要素開発》 **自己評価：A** ・**達成**：高燃焼度燃料の設計手法の妥当性を確認し、高充填率燃料コンパクトの性能評価を完了した。

2）高温ガス炉技術の研究開発 2/2

2

第3期中長期計画

熱利用系の接続に関する技術の確立については、HTTRと熱利用施設を接続して総合性能を検証するためのHTTR-熱利用試験施設のシステム設計、安全評価等を進める。なお、当該施設の建設段階に進むに当たり、平成28年度を目安に、研究開発の進捗状況について、外部委員会の評価を受け、その建設に向けての判断を得る。

H27（総合評価B）	H28（A）中間評価	H29（A）	H30（A）	H31/R1 中間評価	R2 見込評価	R3 事後・事前評価	達成度（見込評価）
《HTTR-熱利用試験施設のシステム設計、安全評価》							
・実用高温ガス炉の運転制御方式確立に必要な試験を実施可能な全体系統構成及び熱物質収支を定めた。 ・実用高温ガス炉において建設コストを20%削減しつつ、HTTR熱利用システムの熱供給配管温度低下量を 系統設計要求15℃以下に抑制可能な熱供給配管仕様を決定した。 評価：A	・実用高温ガス炉において目標冷却材漏えい量達成を見通せるヘリウムガスタービン軸封システムの概念を考案するとともにHTTR熱利用システム適用時の仕様を定めた。 ・実用高温ガス炉において大型化を実現可能及び建設コストを25%削減が見通せる水平型中間熱交換器（IHX）の構造概念を提案するとともにHTTR熱利用システム適用時の仕様を定めた。 ・安全評価により、実用高温ガス炉と同じ緩和設備や運転方法を適用した場合のHTTR熱利用システムの技術的成立性を確認 評価：S 《外部委員会の評価》	《軸封システム設計、試験》 ・許容漏洩値目標を満足する機器仕様およびシステム系統構成の策定構築により、ヘリウムガスタービン軸封システムの基本設計を完了するとともに、課題抽出により性能確認に向けた要素試験計画を策定 評価：B	・試験条件を決定し、ヘリウムガスタービン軸封システムの要素試験装置の設計を完了 評価：A	《外部委員会の評価》 ・建設段階に進むか技術的な判断を受ける			《HTTR-熱利用試験施設のシステム設計、安全評価》 自己評価：S ・達成：HTTR熱利用システムの安全評価を完了した。 《軸封システム設計》 自己評価：B ・達成：HTTRに接続する熱利用システムの全ての機器仕様の設定を完了

3）熱利用技術の研究開発 1/2

3

第3期中長期計画

水の熱分解による革新的水素製造技術（熱化学法ISプロセス）については、耐食性を有する工業材料製の連続水素製造試験装置による運転制御技術及び信頼性等を目標期間半ばを目途に確証し、セラミックス製機器の高圧運転に必要なセラミックス構造体の強度評価法を作成することにより、工学的な研究開発を完了する。これに加えて、経済性の観点も踏まえつつ将来の実用化や技術の民間移転等に向けた研究目標を早期に明確化し、これらの成果を取りまとめて、水素社会の実現に貢献する。
また、ガスタービン高効率発電システムにおける核分裂生成物の沈着低減技術等の要素技術開発を完了する。

H27（総合評価B）	H28（A）中間評価	H29（A）	H30（A）	H31/R1 中間評価	R2 見込評価	R3 事後・事前評価	達成度（見込評価）
《連続水素製造試験装置による運転制御技術及び信頼性等の確証》				《連続水素製造における組成変動制御技術開発》			連続水素製造試験装置による運転制御技術及び信頼性等の確証》 自己評価：A ・達成：連続水素製造150hを達成（世界初）して、運転技術及び機器信頼性を確証するとともに、安定した長時間運転に向けた組成変動制御技術の基盤を完成。
・反応器の処理速度を調整するための物質収支データを取得 ・処理速度調整方法の確証を完了し、工程統合試験へ移行 評価：B	・連続水素製造31h達成（20NL/h） ・HI濃縮器について、電流制御におけるI_2濃度データ取得。I_2析出温度の明確化 ・HI溶液ポンプ用軸封システム開発 評価：B	・プロセス溶液濃度安定化のため循環する水の蒸発量適正化技術の開発 ・HI溶液の漏えい対策 評価：B	・起動停止などプラント運転手順の確立 ・運転安定性確証 ・漏えい対策の妥当性検証 ・運転中の性能低下要因への対策 評価：S	・HTTRとの接続に向けた起動・停止などの運転手順の検証 ・設備点検による腐食、劣化データ取得 評価：A	・長期的組成変動の制御パラメータ抽出 ・多成分系溶液の物性データベース整備 ・オンライン計測値を用いた溶液組成計算法作成 自己評価：A	・長期的組成変動制御技術の開発 ・解析評価への物性データベースの組込	
《セラミックス構造体の強度評価法の作成》							《セラミックス構造体の強度評価法の作成》 自己評価：B ・達成：セラミックス製機器の高圧運転に必要なセラミックス構造体の強度評価法を作成。
・試験方法を選定し、破壊試験の準備完了 評価：B	・強度データ（破壊応力とワイブル係数）の取得 評価：B	・強度データにおける体積効果データ取得 評価：B	・セラミック構造体の強度評価法作成 評価：B				

3）熱利用技術の研究開発 2/2

4

第3期中長期計画

水の熱分解による革新的水素製造技術（熱化学法ISプロセス）については、耐食性を有する工業材料製の連続水素製造試験装置による運転制御技術及び信頼性等を目標期間半ばを目途に確証し、セラミックス製機器の高圧運転に必要なセラミックス構造体の強度評価法を作成することにより、工学的な研究開発を完了する。これに加えて、経済性の観点も踏まえつつ将来の実用化や技術の民間移転等に向けた研究目標を早期に明確化し、これらの成果を取りまとめて、水素社会の実現に貢献する。
また、ガスタービン高効率発電システムにおける核分裂生成物の沈着低減技術等の要素技術開発を完了する。

H27（総合評価B）	H28（A）中間評価	H29（A）	H30（A）	H31/R1 中間評価	R2 見込評価	R3 事後・事前評価	達成度（見込評価）
《将来の実用化や技術の民間移転等に向けた研究目標の明確化》							《将来の実用化や技術の民間移転等に向けた研究目標の明確化》 自己評価：B ・達成：競争力のある水素製造コストを示し、コスト削減につながる研究目標を提示。
・約10%効率改善した実用システム概念を提案 評価：B	・水素製造コスト25円/Nm³に対し、研究目標を明確化 評価：A	・研究目標について民間知見も取り入れ、技術概念検討 評価：B	・民間移転等を目指した実用水素製造システムの経済性向上に向けて、耐食合金を適用した硫酸分解器の概念設計を完了 評価：B	・硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能評価 評価：B	・硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能・機械特性評価 自己評価：B	・硫酸分解器に適用する新規耐食合金の耐食性能と機械特性の長時間安定性データ取得	
《核分裂生成物の沈着低減技術等の要素技術開発》							《核分裂生成物の沈着低減技術等の要素技術開発》 自己評価：A ・達成：選定した候補合金のガスタービン翼設計への適用性を示し、要素技術開発を完了。
・拡散試験を実施（2,000h） ・結晶構造と拡散挙動のデータ取得 評価：B	・拡散試験結果の解析・シミュレーション ・化学組成と拡散挙動データ取得 評価：A	・長期拡散試験の実施及び解析 ・粒界拡散シミュレーション 評価：A	・長期拡散試験の結果に基づき候補合金を選定 評価：A	・選定した候補合金を用いたガスタービンへの核分裂生成物の沈着量評価 評価：A	・ガスタービン翼設計への適用性評価 自己評価：A		

3）人材育成及び産業界との連携等

5

第3期中長期計画

さらに、HTTRを人材育成の場として活用し、国内外の研究者等に高温ガス炉の安全性に関する知識を習得させ、高温ガス炉に関する優秀な人材を育成し、技術の継承を図る。
実施に当たっては、国の方針等に基づき、産学官と協議して、具体的な実用化像、高温ガス炉及び熱利用技術の将来的な実用化に向けた課題や得られる成果、実用化の可能性、研究開発の方向性、産業界との協力、産業界への技術移転の項目及び時期等を明確にしつつ研究開発や国際協力を進める。

H27（総合評価B）	H28（A）中間評価	H29（A）	H30（A）	H31/R1 中間評価	R2 見込評価	R3 事後・事前評価	達成度（見込評価）
《HTTRを活用した人材育成》							《人材育成》 自己評価：A ・達成：多数の学生を受け入れ、計画的に人材育成を実施した。
・特別研究生1名、夏期実習生4名を受け入れた。 ・海外若手研究者15名、国内学生2名に対して高温ガス炉の基盤技術に関する講義を行った。 評価：B	・学生実習生1名、夏期実習生10名を受け入れた。 評価：A	・学生実習生4名、夏期実習生9名及び博士研究員1名を受け入れた。 ・海外研究者・技術者に対して、高温ガス炉の基盤技術に関する講義を行った。 評価：A	・夏期実習生12名及び博士研究員1名を受け入。 評価：A	・夏期実習生10名、外来研究員1名、学生実習生1名を受入れ。 ・ポーランドで第2回高温ガス炉セミナーを開催。 評価：A	・学生等を受け入れ、研究開発現場における実習を通じて、高温ガス炉研究者の裾野拡大に努める。 ・ポーランドNCBJと第3回高温ガス炉セミナーをWeb開催。 自己評価：A	・学生等を受け入れ、研究開発現場における実習を通じて、高温ガス炉研究者の裾野拡大に努める。	
《産業界との連携及び国際協力》							《産業界との連携及び国際協力》 自己評価：S ・達成：産学官協議会での議論を通じて産業界のニーズを聞き取り、社会実装に向けた体制を構築しプロジェクトを大きく前進させた。 ・達成：日波、日英の政府間レベルでの協力推進の合意を得て、関係機関と協力取決めを締結、国際協力の下での高温ガス炉開発の推進に大きく貢献した。
・高温ガス炉産学官協議会を設立し、会合を2回実施 ・米国等との二国間協力、IAEA、GIFにおける多国間協力を活用し、研究開発を推進 評価：B	・高温ガス炉産学官協議会の会合を2回実施 ・米国等との二国間協力、IAEA、GIFにおける多国間協力を活用し、研究開発を推進 ・英国等との新たな協力を調整 評価：B	・高温ガス炉産学官協議会の会合を1回実施、海外戦略検討WG会合を2回実施。 ・ポーランドNCBJ及び英国との研究協力覚書を締結 ・米国等との二国間協力、IAEA、GIFにおける多国間協力を活用し、研究開発を推進 評価：S	・高温ガス炉産学官協議会の会合を1回実施。 ・英国との協力を強化。 ・米国等との二国間協力、IAEA、GIFにおける多国間協力を活用し、研究開発を推進 評価：A	・高温ガス炉産学官協議会の会合を1回実施、海外戦略検討WG会合を1回実施 ・ポーランドNCBJと研究実施取決め締結。 ・英国NNLと高温ガス炉に係る協力を介することで合意。 評価：S	・グリーン成長戦略に応えるためHTTR熱利用試験の実施に向けた産学官協議会の検討 ・産業界と新たな連携の枠組みを構築 ・英国と政府間レベルでの協力推進、AMR計画への協力に向けてNNL及びONRと取決め締結 ・カザフスタンINPと燃料開発に係る新たな協力を開始 自己評価：S	・高温ガス炉技術の社会実装に向けたJAEA発ベンチャーの設立検討 ・政府レベルでの高温ガス炉計画及び英国AMR計画等への協力推進	

4）社会的貢献の評価 1/2

6

H27	H28	H29	H30	H31/R1	R2 見込評価	R3 事後・事前評価	達成度（見込評価）
《科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性》							
					・HTTR設置許可取得 ・SMR安全基準整備 ・水素製造法（ISプロセス）の研究開発 ・水素製造コスト削減を目的とした新規耐食合金開発 自己評価：A		《科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性》 自己評価：A ・達成：設置変更許可を取得、SMR安全基準整備により、実用高温ガス炉の安全基準構築に貢献した。 ・達成：水素製造に関する研究開発を通じて、世界的な脱炭素への社会的ニーズに貢献した。
《研究開発課題/成果の社会的受容性》							
・オーバーコート法の改良を進め、燃料要素の試作に成功	・実用高温ガス炉システムによる競争力のある水素製造コストを提示 ・Mo粒内化合物がFP安定同位体（Ag）を選択的に捕獲することを発見、FP拡散に寄与することを解明	・原子炉への化学プラント接続に係る安全基準の早期確立のために合理的なシステムを提示 ・FP沈着低減効果のメカニズム解明	・世界で初めて実用工業材料で製作したISプロセス水素製造試験装置で150時間の連続運転を達成	・経済性に優れた蒸気供給用高温ガス炉システムの炉心設計を提示 ・Ni-Ag固溶濃度を測定した結果、従来値より1桁程度低いことを発見	・HTTR設置許可取得 ・蒸気供給用高温ガス炉システムの設計 ・連続水素製造試験の要素技術 自己評価：B		《研究開発課題/成果の社会的受容性》 自己評価：B ・達成：設置変更許可取得や連続水素製造試験の要素技術等に関して、プレス発表し広く社会へ情報発信している。
《成果の波及効果を十分に見極めるなど、長期的・文化的な観点に立った評価》							
・高燃焼度SiC-TRISO燃料粒子の設計手法の妥当性を確認 ・実用高温ガス炉の運転制御方式確立試験のパラメーター決定 ・実用高温ガス炉の建設コストを20%削減し、HTTR熱利用システム熱供給配管仕様を決定	・耐酸化燃料要素を試作、有効性を確認 ・HTTRに接続する熱利用システムの全ての機器仕様の設定完了		・蒸気供給用高温ガス炉システム設計においてHTTRから炉心を高性能化 ・要素試験項目検討において解析を活用して要素試験装置の構成を合理化	・高温ガス炉を構成する設備機器合計コストをHTTRから55%削減可能な炉内構造物及びヘリウム循環機の仕様を決定	・SMR安全基準整備 ・水素製造法（ISプロセス）の研究開発 ・連続水素製造試験の要素技術 ・水素製造コスト削減を目的とした新規耐食合金開発 ・ガスタービン保守時の作業員の被ばく線量率の評価値 自己評価：A		《成果の波及効果を十分に見極めるなど、長期的・文化的な観点に立った評価》 自己評価：A ・達成：水素製造研究に関する特許取得、耐食合金開発は、他分野への応用も期待でき、将来的な社会・経済性の活性化へ貢献。

4）社会的貢献の評価 2/2

7

H27	H28	H29	H30	H31/R1	R2 見込評価	R3 事後・事前評価	達成度（見込評価）
《新規科学技術の研究開発や利活用におけるリスク発生の可能性》							
		・HTTR施設の重要度分類等を適切に見直し、耐震補強不要が規制庁にて了承	・BDBAにおいて燃料溶融しないこと及び黒鉛ブロックの不燃性が規制庁にて了承	・高温ガス炉が炉心溶融を起こさず、固有の安全性を有することが規制庁にて了承 ・水素製造実用プラントで重要となる締結部劣化に係る知見を収集、対策改善箇所を抽出し、強化策を立案し対処を完了	・SMR安全基準の整備 ・蒸気供給用高温ガス炉システムの設計 ・ガスタービン保守時の作業員の被ばく線量率の評価値 自己評価：A		《新規科学技術の研究開発や利活用におけるリスク発生の可能性》 自己評価：A ・達成：高温ガス炉実用化に向けて、SMR安全基準の整備、蒸気供給用高温ガス炉システムの設計により、実用高温ガス炉の安全基準構築に貢献した。
《国内外他機関、産業界との連携の妥当性》							
	・IAEA CRPにおける安全要件の国際標準の検討を主導	・ポーランドとの協力において、高温ガス炉建設のFS実施に向けた産学官連携による国内体制を決定	・日本の高温ガス炉技術の国際展開に向けた協議を進め、英国の高温ガス炉開発への協力可能性が前進	・ポーランド高温ガス炉計画への協力を推進し、NCBJと2019年9月に研究協力実施取決めを締結 ・2019年12月に英国NNLと既存の取決めを改定して協力を開始することを合意 ・2019年9月のIAEA総会のサイドイベントやIAEA国際会議において、日本の高温ガス炉開発の成果を積極的に発信	・グリーン成長戦略に応えるためHTTR熱利用試験の実施に向けた産学官協議会の検討 ・産業界と新たな連携の枠組みを構築 ・英国と政府間レベルでの協力推進、AMR計画への協力に向けてNNL及びONRと取決め締結 ・カザフスタンINPと燃料開発に係る新たな協力を開始 自己評価：A		《国内外他機関、産業界との連携の妥当性》 自己評価：A ・達成：産学官協議会での議論を通じて産業界のニーズを聞き取り、社会実装に向けた体制を構築しプロジェクトを大きく前進させた。 ・達成：日波、日英の政府間レベルでの協力推進の合意を得て、関係機関と協力取決めを締結し、国際協力の下での高温ガス炉開発の推進に大きく貢献した。

（参考）令和2年度までの実施項目

8

【中長期計画】
①新規制基準への適合性確認を受けて速やかに再稼働を果たす
②実用高温ガス炉の安全基準の整備を進める
③HTTR－熱利用試験施設のシステム設計等を進める
④熱化学法ISプロセス開発を進め、水素社会の実現に貢献する
⑤産業界との連携及び国際協力を着実に進める

①新規制基準への適合性確認対応

- 重要度分類を見直し、炉心溶融がないこと等が規制庁に認められたことにより、対策に要する期間と費用を大幅に削減できる見通しを得た
- 設置変更許可を取得（2020年6月）。高温ガス炉が炉心溶融を起こさないことが認められ、HTTR施設のEALを抜本的に見直しした

⇨ 実用高温ガス炉の設備の簡素化による経済性向上が実現可能

②実用高温ガス炉の安全基準整備

- HTTRデータに基づく安全要件原案がIAEA技術報告書として刊行され、実用高温ガス炉システムの安全基準の整備を進めることができた

⇨ 日本の技術の国際標準化に向けて大きく前進

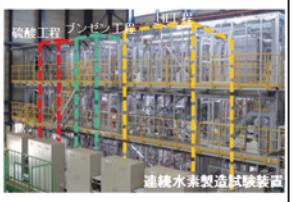
③HTTR－熱利用試験施設のシステム設計

- 新規概念に基づくヘリウムガスタービン軸封システムの提案及び第2中間熱交換器等のHTTRに接続する熱利用システムを含む全ての機器仕様を定め、安全評価により技術的成立性を確認した

⇨ HTTR－熱利用試験施設の建設段階へ進むための判断に必要な技術要件のひとつを達成

④ISプロセスの開発による水素社会の実現

- 世界で初めて実用工業材料で製作したISプロセス水素製造試験装置による連続運転に成功（30L/h、150時間（2019年1月））（92L/h、28時間（2020年10月））運転手順の有効性を確認



⇨ 運転技術及び機器信頼性を確証するとともに、安定した長時間運転に向けた組成変動制御技術の基盤を完成

⑤産業界との連携及び国際協力

- 「日・ポーランド戦略的パートナーシップの実施のための行動計画（2017-2020）」に基づき、NCBJと研究協力覚書を締結（2017年5月）
- 海外戦略検討WGを設置し、ポーランドへの高温ガス炉導入戦略、ポーランドとの協力内容及び成立性評価（FS）実施に向けた産学官連携による国内体制を構築（2017年8月）

- 「高温ガス炉技術分野における研究開発協力のための実施取決め」を締結（2019年9月）
- ポーランド国内の研究者等の人材育成のため、高温ガス炉セミナーをポーランドで計3回開催（2019年1月、2019年7月、2020年10月）
- 英国のURENCO社と覚書を締結し、高温ガス炉の設計、材料、安全評価等に関する技術の協力を開始）2017年5月）
- 英国国立原子力研究所と高温ガス炉技術分野での協力に向けて既存の取決めを改定（2020年10月）
- 英国原子力規制局と安全性に関する情報交換取決めを締結（2020年11月）

⇨ 日波、日英の政府間レベルでの協力推進の合意を得て、関係機関と協力取決めを締結し、国際協力の下での高温ガス炉開発の推進に大きく貢献

付録４

参 考 資 料

令和３年１月２７日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門

目 次

1

1. 成果の発信等
2. 国内の委員会
3. 共同研究
4. 国際協定／取決め等に基づく活動

1. 成果の発信等(1/9)

2

			戦略・計画室、国際・社会環境室、炉設計部、水素・熱利用研究開発部（旧高温ガス炉水素・熱利用研究センター）	高温工学試験研究炉部	合計（達成目標：査読付論文20報）	
平成27年度	査読付き論文		12	9	21	
	査読無し論文		3	0	3	
	報告書		7	1	8	
平成28年度	査読付き論文		24	10	34	
	査読無し論文		1	2	3	
	報告書		7	5	12	
平成29年度	査読付き論文		11	9	20	
	査読無し論文		0	0	0	
	報告書		4	2	6	
平成30年度	査読付論文	（和）	1	0	1	31
		（欧）	7	2	9	
	査読付会議論文	（和）	0	0	0	
		（欧）	17	4	21	
	査読無し論文		0	0	0	
	報告書		1	1	2	
令和元年度	査読付論文	（和）	2	0	2	20
		（欧）	12	2	14	
	査読付会議論文	（和）	0	0	0	
		（欧）	3	1	4	
	査読無し論文		2	0	2	
	報告書		1	2	3	
令和２年度[*1)]	査読付論文	（和）	0	0	0	21
		（欧）	16	0	16	
	査読付会議論文	（和）	0	0	0	
		（欧）	5	0	5	
	査読無し論文		1	0	1	
	報告書		2	4	6	
	その他[*2)]		0	4	4	

*1) 令和3年1月1日の時点のデータ
*2) 官公庁に許可(認可)された申請書

1. 成果の発信等(2/9)

3

○ 特許(R2.4.1～R3.1.1)

※特許登録・出願実績（参考）
H27年度：1件、H28年度：1件、H29年度：6件、H30年度：2件、H31年度(令和元年度)：0件

登録(1件)

- ヨウ化水素分解触媒及び水素製造方法(登録番号:2687870、令和2年10月)

審査請求(2件)

- 触媒充填方法(出願番号:特願2017-83523)
- 強腐食性溶液の漏えい予兆検知方法(出願番号:特願2017-243626)

出願(1件)

- 鋼材(特願2020-182368)

○ 表彰 （3件）

- 熱化学水素製造法IS プロセスの工業材料性反応器開発と長時間水素製造達成
  (日本原子力学会北関東支部技術功労賞(団体)、令和2年4月)
- 実用高温ガス炉における革新的冷却設備を開発
  (一般社団法人日本機械学会関東支部茨城ブロック表彰 技術賞、令和2年9月)
- Cs捕獲機能を有する高温ガス炉燃料被覆層の開発
  (日本原子力学会北関東支部優秀発表賞、令和2年10月)

○ 外部資金の獲得

単位:百万円

	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度
外部資金(受託)	95(4件)	93(4件)	58(3件)	0(0件)	0(0件)	0(0件)
外部資金(科研費)	4(2件)	3(2件)	1(2件)	3.8(2件)	3.3(2件)	2.7(3件)

令和2年度科研費

・イオン飛跡グラフト法によるHI濃縮用カチオン交換膜の創出(文科省)
・メルトダウンが起こりえない受動的放射冷却を用いた原子炉圧力容器の革新的冷却設備(文科省)
・核融合炉のためのトリチウム製造実証試験の検討とHTTR用トリチウム装荷ロッドの設計(学振)

1. 成果の発信等(3/9)

4

○ プレス発表 （5件）

・プレス発表（令和2年4月17日）：熱利用水素製造の主反応の大幅な小エネルギー化に成功　ー国家プロジェクトの目標値である水素製造効率40%の達成に見通しー
・プレス発表（令和2年6月3日）：HTTR（高温工学試験研究炉）の新規制基準適合性に係る原子炉設置変更許可の取得について
・プレス発表（令和2年10月16日）：日本の高温ガス炉技術の高度化、国際標準化に向けて　ー英国国立原子力研究所と高温ガス炉技術の研究開発協力を開始ー
・プレス発表（令和2年11月6日）：高温工学試験研究炉（HTTR）の「運転再開想定スケジュール」の変更（機構週報）
・プレス発表（令和2年11月27日）：高温ガス炉の実用化に向けて英国との協力体制をさらに強化　ー英国原子力規制局と高温ガス炉の安全性に関する情報交換のための取決めを締結ー

○ 新聞等掲載 （52件）

題名	日付	新聞社
高温ガス炉再稼働「合格」	令和2年4月3日	日経産業新聞
2020年3月 国内外の主な動きと運転実績	令和2年4月13日	原子力産業新聞
水素で延命？原子力業界 大洗 高温ガス炉運転再開へ 大量生産目指す	令和2年4月16日	東京新聞
原子力委 研究炉HTTR審査書案を確認 書面持ち回りで	令和2年4月16日	電気新聞
熱利用水素製造7割省エネ　量研機構など　膜透過抵抗を低減	令和2年4月17日	日刊工業新聞

1. 成果の発信等(4/9)

5

題名	日付	新聞社
水を熱分解し水素製造　大幅な省エネ化成功　量研機構など、部材改良で	令和2年4月17日	電気新聞
太陽熱で高効率に水素　量研など　ベンチ設備で実証へ	令和2年4月17日	化学工業日報
量研機構他、熱利用による水素製造の大幅な省エネ化を達成	令和2年4月17日	原子力産業新聞
高温ガス炉合格　中国に先手を取られるな	令和2年4月20日	産経新聞
HTTR審査案全会一致で妥当 原子力委	令和2年4月22日	電気新聞
熱利用水素製造の主反応　消費エネ約7割削減	令和2年5月1日	科学新聞
高温ガス炉実証炉 中国で冷態試験へ 建設ヤマ場越える	令和2年5月7日	電気新聞
2020年4月　国内外の主な動きと運転実績	令和2年5月12日	原子力産業新聞
繰り返される審査長期化 重大事故の相場観難しく	令和2年5月14日	電気新聞
「HTTR」正式合格 原子力機構大洗研 来年3月の再開目指す	令和2年6月4日	茨城新聞
大洗の高温ガス炉「適合」 新規制基準 原子力規制委が決定	令和2年6月4日	東京新聞
高温ガス炉 安全審査書	令和2年6月4日	読売新聞
高温ガス炉に合格の審査書 規制委	令和2年6月4日	読売新聞

1. 成果の発信等(5/9)

6

題名	日付	新聞社
高温ガス研究炉が合格	令和2年6月4日	河北新報
規制委、新規制基準でHTTRの原子炉設置変更許可	令和2年6月4日	原子力産業新聞
高温ガス炉が再開審査合格 原子力機構	令和2年6月4日	宮崎日日新聞
大洗 高温ガス研究炉「適合」 原子力機構 来春運転再開目指す	令和2年6月5日	朝日新聞
高温ガス研究炉 正式合格 原子力規制委「審査書」を決定	令和2年6月5日	産経新聞
原子力機構・高温ガス研究炉 運転再開へ審査合格	令和2年6月5日	毎日新聞
原子力機構HTTR 設置変更許可を交付 規制委 ガス冷却炉で初めて	令和2年6月5日	電気新聞
規制委、新規制基準でHTTRの原子炉設置変更許可	令和2年6月4日	原子力産業新聞
補正書 追加事項を整理 RFS審査会合 記載拡充要求踏まえ	令和2年6月9日	電気新聞
次々 再開の動き 県内・研究用原子炉	令和2年6月30日	茨城新聞
HTTR設工認審査 健全性評価 ほぼ了承 補正申請の確認作業へ	令和2年7月7日	電気新聞
2020年6月 国内外の主な動きと運転実績	令和2年7月10日	原子力産業新聞
HTTR審査会合 設工認の議論を継続 耐震性など追加指摘で	令和2年8月4日	電気新聞

1. 成果の発信等(6/9)

7

題名	日付	新聞社
HTTR設工認、4分割申請の第2回申請認可	令和2年9月15日	電気新聞
審査会合 HTTR設工認 4分割目 特段の論点はなく	令和2年9月29日	電気新聞
重大事故対策など説明 規制委「常陽」半年ぶり審査	令和2年9月30日	電気新聞
2021年度の政府概算要求が出そろう	令和2年10月1日	原子力産業新聞
高温ガス炉 実用化へ英国と連携 原子力機構「業界の延命策」批判も	令和2年10月17日	東京新聞
政府予算概算要求 高温ガス炉に15億円 再処理施設には121億円	令和2年10月17日	東京新聞
原子力機構とNNLが既存の技術協力取決めを改正し、高温ガス炉技術分野での協力を開始	令和2年10月17日	World Nuclear News デイリーニュース
高温ガス炉　技術開発協力　日英原子力研究機構　高度・国際標準化を推進	令和2年10月19日	日刊工業新聞
高温ガス炉　技術高度化　原子力機構　英国立研究所と協力	令和2年10月19日	電気新聞
NNL and JAEA to co-operate on HTGRs	令和2年10月20日	Nuclear Engineering International
「JRR-3」「HTTR」保安規定 今後は面談で事実確認	令和2年10月28日	電気新聞

1. 成果の発信等(7/9)

8

題名	日付	新聞社
HTTR 運転再開、来年7月に 原子力機構 安全対策工事遅れ	令和2年11月7日	茨城新聞
ガス炉再開 来年7月に	令和2年11月7日	朝日新聞
高温ガス研究炉 来年7月に再開 コロナう禍工期遅れ	令和2年11月7日	毎日新聞
高温ガス炉再開 来年7月に延期	令和2年11月7日	読売新聞
高温ガス炉 来年7月頃に再稼働延期 原子力機構「温暖化対策に不可欠」	令和2年11月7日	東京新聞
原子力の日ー初心省みて	令和2年11月9日	電気新聞
2020年10月 国内外の主な動きと運転実績	令和2年11月13日	原子力産業新聞
高温ガス炉 英規制局とも協力へ 原子力機構 実用化へ情報交換	令和2年11月28日	東京新聞
高温ガス炉 英の規制当局と連携 原子力機構 安全面で情報交換	令和2年12月1日	電気新聞
2020年11月 国内外の主な動きと運転実績	令和2年12月8日	原子力産業新聞
ポーランド脱炭素へ本腰 「出遅れ」から転換 洋上風力や原発導入	令和2年12月20日	朝日新聞
次世代蓄電池や高温ガス炉推進 萩生田文科相	令和2年12月22日	電気新聞

1. 成果の発信等(8/9)

9

○ 取材 （2件）

題名	日付	新聞社
HTTR（高温工学試験研究炉）の新規制基準対応と高温ガス炉技術開発の概要	令和2年6月3日	産経新聞
HTTR（高温工学試験研究炉）の新規制基準対応及び高温ガス炉の国際協力の現状（ポーランド、英国）	令和2年11月4日	産経新聞

○ 講演 （19件）

題名	日付	講演先
Optimization of HTGR fuel cycle to solve nuclear waste problem	令和2年6月4日	ポーランド夏期セミナー
凝固性のある流体を移送可能な定量ポンプ	令和2年9月1日	JST新技術説明会
The Coming Hydrogen Economy: The Key Role of Nuclear Energy	令和2年9月22日	IAEA Scientific Forum 2020
析出物を生じやすい溶液を安定供給可能な耐食定量ポンプ	令和2年10月7日	第3回JAEA技術サロン
太陽熱と水からの熱化学法ISプロセスによる水素製造	令和2年10月20日	CSJ化学フェスタ2020
R&D Activities in JAEA for HTGR Developments	令和2年10月21日	Fourth Symposium on US-Japan Nuclear Energy Research Cooperation（ワシントン事務所シンポジウム）
Japan's HTGR development	令和2年10月22日	第3回高温ガス炉セミナー
Nuclear design of HTGR using HTR50S as an example	令和2年10月22日	第3回高温ガス炉セミナー
Design of high burnup fuel for HTGR	令和2年10月22日	第3回高温ガス炉セミナー

1. 成果の発信等(9/9)

10

題名	日付	講演先
Optimization of HTGR fuel cycle to solve nuclear waste problem	令和2年10月23日	第3回高温ガス炉セミナー
Process heat coupling technology & HTGR gas turbine power conversion systems	令和2年10月23日	第3回高温ガス炉セミナー
R&D of hydrogen production technology for heat application of HTGR	令和2年10月23日	第3回高温ガス炉セミナー
Nuclear energy for hydrogen production	令和2年11月9日	欧州原子力学会高等科学評議会
Japanese Development on HTGR Hydrogen & Heat Generation	令和2年11月19日	G4SR-2
Safety design and analysis of HTGR	令和2年11月24日	8th Follow-up Training Course on Reactor Engineering
Nuclear design of HTGR	令和2年11月24日	8th Follow-up Training Course on Reactor Engineering
高温ガス炉とこれによる水素製造技術に関する実用化研究の最新動向	令和2年12月5日	日本原子力学会九州支部第39回研究発表講演会
Present Status of HTGR Development in Japan	令和2年12月17日	2nd Webinar towards HTR2021
Nuclear energy for hydrogen production	令和2年12月21日	スロベニア共和国リュブリャナ大学

参考）令和3年1月18日 高温ガス炉プラント研究会 第15回定期公演会 高温ガス炉に関する原子力機構の取組

2. 国内の委員会

11

委員会等の名称	構成	実施期間	概要
いばらき水素利用促進協議会（茨城県）	運営幹事会会長：石田政義（筑波大学教授） 幹事：日本自動車研究所、茨城トヨタ自動車、茨城トヨペット、岩谷産業、日立製作所、産総研、JXTGエネルギー、関彰商事、東京ガス、日本エア・リキッド、原子力機構 事務局：茨城県	平成28年度～	平成28年3月に策定した「いばらき水素戦略」に基づき、具体的な取り組みを進める。 いばらき水素普及促進シンポジウム （令和2年11月9日～12月7日：Web配信）
グリーンエネルギーフォーラム（日本鉄鋼協会）	座長：粕谷悦章（京都大学准教授） 幹事：日本製鉄、ＪＦＥスチール、東工大、東北大、北大他 委員：神戸製鋼、原子力機構、東北大、東大、阪大、九大他	平成24年度～	高温ガス炉等を用いた水素還元製鉄プロセスにおける要素技術、システムに関する検討を行う。
高温ガス炉プラント研究会（産業界の有志）	会長：　岡本孝司（東京大学教授） 会員：　東芝、三菱重工、富士電機、原燃工、大林組 オブザーバー：　原子力機構等、原電 事務局：高温ガス炉プラント研究会、東京大学	平成12年度～	高温ガス炉プラントの実用化に関する技術調査・研究・評価（経済性、市場性、開発戦略等を含む）を行う。 第15回高温ガス炉プラント研究会 （令和3年1月）

3. 共同研究

12

令和3年1月1日現在

No.	テーマ	相手方	実施期間
1	ISプロセス環境での耐食性能を向上させた新規合金開発の研究	日本製鉄㈱	令和元年度～ 令和2年度
2	高燃焼度下における高温ガス炉用被覆燃料粒子の挙動に関する研究	北海道大学	令和元年度～ 令和2年度
3	熱化学水素製造法ISプロセス用ヨウ化水素濃縮器用陽イオン交換膜の開発	量研機構	令和2年度～ 令和3年度
4	HTTRの使用済み燃料を用いたNTD-Si製造用原子炉概念の研究	九州大学	平成30年度～ 令和2年度
5	高温ガス炉材料のFP拡散に関する研究	福井大学	令和2年度
6	SiC母材燃料コンパクトに関する研究	東京工業大学	令和2年度

4. 国際協定／取決め等に基づく活動(1/4)

13

○ 多国間協定

機関／国等	協定／取決め等の名称	相手方	実施期間	実施内容	担当
IAEA	CRP「原子力水素製造技術の評価及び展望の見通し」	国際原子力機関（IAEA）	2018.4.16～ 2021.4.11	各国の原子力水素製造技術（安全性、経済性）の評価、HTTR接続試験の提案を行う。	炉設計部 高温ガス炉設計 Gr
	CRP「小型モジュラー高温ガス炉の緊急時計画区域を決定するための手法及び方法論の開発」	国際原子力機関（IAEA）	2020.2.4～ 2021.2.8 (延長予定)	小型モジュール炉に関して、①高温ガス炉の安全上の特徴を考慮した合理的な緊急時計画区域（EPZ）の設定の考え方及び基準の検討、 ②EPZの評価を行う。	炉設計部 高温ガス炉設計 Gr
	CRP「SMRの経済性評価手法と適用」	国際原子力機関（IAEA）	2020.12.7～ 2024.12.31	機構の設計している高温ガス炉、高速炉（SMR）について、経済性評価手法と結果を提示し、国際的な理解を得る。	国際・社会環境室 国際Gr 炉設計部 高温ガス炉設計 Gr
Generation IV(GIF)	超高温ガス炉システムの国際研究開発のためのシステム取決め	米国エネルギー省、仏国原子力・代替エネルギー庁、スイスポールシェラー研究所、韓国原子力研究所、EURATOM欧州委員会共同研究センター、中国国家原子能機構、豪国原子力科学技術機構、英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省	2006.11.30～ 2026.11.29	超高温ガス炉に対し、①材料の開発と基準化、②水素製造技術の開発と原子炉接続技術の開発、③被覆燃料粒子の仕様決定、基準化、性能向上、④超高温ガス炉に関する数値解析手法の開発と検証、⑤主冷却系機器に関する主要技術と実験施設の開発、⑥発電、熱利用及びコジェネレーションシステムに適した発電システムの主要機器の開発を進める。	国際・社会環境室 炉設計部 高温ガス炉設計 Gr

4. 国際協定／取決め等に基づく活動(2/4)

14

機関／国等	協定／取決め等の名称	相手方	実施期間	実施内容	担当
Generation IV(GIF)	超高温ガス炉システムの国際研究開発に係る燃料・燃料サイクルに関するプロジェクト取決め	米国エネルギー省、仏国原子力・代替エネルギー庁、韓国原子力研究所、EURATOM欧州委員会共同研究センター、中国	2008.1.30～2028.1.29	超高温ガス炉燃料に関し、①照射試験、照射後試験、②燃料物性試験、③安全性試験、④新型燃料、⑤廃棄物処理の協力研究を進める。	炉設計部 高温ガス炉設計Gr
	超高温ガス炉システムの国際研究開発に係る水素製造に関するプロジェクト取決め	米国エネルギー省、仏国原子力・代替エネルギー庁、カナダ天然資源省、韓国原子力研究所、EURATOM欧州委員会共同研究センター	2008.3.19～2028.3.18	国際協力により高温ガス炉による水素製造技術開発を促進する観点から、①ISプロセス、②他の熱化学プロセス、③原子炉接続技術の各分野において共同研究を進める。	高温ガス炉研究開発センター 水素・熱利用研究開発部　ISプロセス試験Gr
	超高温ガス炉システムの国際研究開発に係る材料に関するプロジェクト取決め	米国エネルギー省、仏国原子力・代替エネルギー庁、スイスポールシェラー研究所、韓国原子力研究所、EURATOM欧州委員会共同研究センター、オーストラリア原子力科学技術機構	2010.4.30～2030.4.30	超高温ガス炉材料に関し、①黒鉛、②金属材料、③複合材料の分野において、照射試験、材料挙動モデリング、材料データベース等の協力研究を進める。	炉設計部 高温ガス炉設計Gr

4. 国際協定／取決め等に基づく活動(3/4)

15

○ 二国間協定

機関／国等	協定／取決め等の名称	相手方	実施期間	実施内容	担当
ポーランド	高温ガス炉技術に関する協力のための覚書	ポーランド国立原子力研究センター（NCBJ）	2017.5.18～2022.5.17	高温ガス炉の設計、材料及び被覆粒子燃料の研究開発、安全解析、人材育成等に関する協力。	国際・社会環境室 国際Gr
	高温ガス炉技術分野における研究開発協力のための実施取決め	ポーランド国立原子力研究センター（NCBJ）	2019.9.20～2024.9.19	高温ガス炉の高度化シミュレーションのための材料及び被覆粒子燃料の研究、設計研究による高温ガス炉の高度化に関するシミュレーション、確率論的リスク評価、人材育成を実施中。	国際・社会環境室 国際Gr 炉設計部 高温ガス炉設計Gr
英国	高温ガス炉技術に関する協力のための覚書	URENCO	2017.5.18～2022.5.17	小型高温ガス炉の早期実用化に向けた高温ガス炉技術、建設リスク軽減及び経済性向上に関する検討に関する協力。	国際・社会環境室 国際Gr
	技術協力取決め	英国国立原子力研究所（NNL）	2020.10.16～2023.4.22	既存の「技術協力取決め」に高温ガス炉技術分野を追加。先進燃料開発や安全性研究等に関する協力を進める。	国際・社会環境室 国際Gr
	高温ガス炉の安全性に関する情報交換及びその他の協力のための取決め	英国原子力規制局（ONR）	2020.11.27～2025.11.26	公開情報に基づく高温ガス炉の安全性に関する情報交換を実施する。	炉設計部 高温ガス炉設計Gr
米国	高温ガス炉研究開発に関する協力のためのプロジェクト取決め	米国エネルギー省	2014.6.12～2023.6.11	HTTR及びエネルギー省/アイダホ国立研究所のコード・施設を相互に利用し、協力を実施中。	炉設計部 高温ガス炉設計Gr
インドネシア	原子力の平和利用分野における取決め（2014.8付属書締結）	インドネシア原子力庁	2014.8.4～2017.5.24 2018.4.2～2023.4.1	当面は公開情報に基づく情報交換を行い、原子力庁の高温ガス炉（試験炉・実証炉）計画の進捗に応じて、概念検討等への協力を実施する。	国際・社会環境室 国際Gr

4. 国際協定／取決め等に基づく活動(4/4)

16

機関／国等	協定／取決め等の名称	相手方	実施期間	実施内容	担当
カザフスタン	原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め	カザフスタン共和国国立原子力センター	2009.2.2～2019.6.3 2019.12.3～2024.12.2	高温ガス炉技術、試験研究炉技術に関する情報交換を実施中。	炉設計部 高温ガス炉設計Gr
	高温ガス炉の安全研究協力に関する取決め	カザフスタン原子力技術安全センター	2012.6.8～2021.6.7	高温ガス炉の安全研究に関する情報交換、研究協力を実施中。	炉設計部 高温ガス炉設計Gr
	原子力エネルギー技術に係る研究協力に関する取決め	アルファラビカザフ国立大学	2012.12.4～2022.12.3	高温ガス炉技術、試験研究炉技術、人材育成に関する情報交換を実施中。	炉設計部 高温ガス炉設計Gr
	原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め	カザフスタン共和国核物理研究所	2014.5.7～2029.5.6	高温ガス炉技術、試験研究炉技術に関する情報交換を実施中。	炉設計部 高温ガス炉設計Gr
韓国	原子力の平和利用分野における研究協力のための取決め	韓国原子力研究所	1994.6.10～2023.9.3	本取決めの中で高温ガス炉及び水素製造技術に関する情報交換を実施中。	国際・社会環境室 国際Gr
中国	高温ガス炉技術情報交換協力に関する覚書	中国清華大学核能及び新能源技術研究院	1986.6.20～2025.6.19	高温ガス炉及び水素製造技術に関する情報交換を実施中。	国際・社会環境室 国際Gr

西暦/和暦 読替表

西暦	和暦	西暦	和暦	西暦	和暦	西暦	和暦	西暦	和暦
2006	平成18年	2011	平成23年	2016	平成28年	2021	令和3年	2026	令和8年
2007	平成19年	2012	平成24年	2017	平成29年	2022	令和4年	2027	令和9年
2008	平成20年	2013	平成25年	2018	平成30年	2023	令和5年	2028	令和10年
2009	平成21年	2014	平成26年	2019	令和元年/平成31年	2024	令和6年	2029	令和11年
2010	平成22年	2015	平成27年	2020	令和2年	2025	令和7年	2030	令和12年