

JAERI-Review
2000-020



JP0050841



高温工学専門部会評価結果報告書

2000 年 9 月

研究評価委員会

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公開している研究報告書です。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibarakiken 319-1195, Japan.

高温工学専門部会評価結果報告書

日本原子力研究所
研究評価委員会

(2000年9月22日受理)

研究評価委員会は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、高温工学専門部会を設置し、高温工学試験研究炉及び核熱利用研究部の研究開発課題について、平成12年度からの5年間の計画の事前評価を実施した。同専門部会は9名の専門家で構成された。

高温工学専門部会は平成11年12月27日に開催された。評価は、事前に提出された評価用資料及び専門部会における被評価者の説明に基づき、研究評価委員会によって定められた評価項目、評価の視点、評価の基準に従って行われた。同専門部会が取りまとめた評価結果報告書は研究評価委員会に提出され、平成12年8月31日に審議された。研究評価委員会はこの評価結果を妥当と判断した。本報告書はその評価結果である。

Report of the Review Committee on Evaluation of the R&D Subjects
In the field of High-Temperature Engineering and Research

The Research Evaluation Committee

Japan Atomic Energy Research Institute
Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo-to

(Received September 22, 2000)

On the basis of the JAERI's Basic Guidelines for the Research Evaluation Methods and the Practices Manuals of the Institution Evaluation Committee and Research Evaluation Committee, the Ad Hoc Review Committee on High-Temperature Engineering and Research composed of nine experts was set up under the Research Evaluation Committee of the JAERI in order to review the R&D subjects to be implemented for five years starting in FY2000 in the Departments of HTTR Project and Advanced Nuclear Heat Technology. The Ad Hoc Review Committee meeting was held on December 27, 1999. According to the review methods including review items, points of review and review criteria, determined by the Research Evaluation Committee, the review was conducted based on the research plan documents submitted in advance and presentations by the Department Directors. The review report was submitted to the Research Evaluation Committee for further review and discussions in its meeting held on August 31, 2000. The Research Evaluation Committee recognized the review results as appropriate. This report describes the review results.

Keywords: Research Evaluation, R&D Subjects Evaluation, High-Temperature Engineering Reactor, Advanced Nuclear Heat Technology

評価の経緯について

研究評価委員会事務局
(企画室 研究評価推進室)

研究評価委員会は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」（平成 10 年 4 月 1 日策定）及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」（平成 10 年 4 月 1 日策定、平成 11 年 4 月改正）に基づき、高温工学試験研究炉及び核熱利用研究部の研究科発課題について、平成 12 年度からの 5 年間の計画の事前評価を実施するため、「高温工学専門部会」を平成 11 年 10 月 30 日に設置した。

高温工学専門部会は 9 名の専門家で構成され、平成 11 年 12 月 27 日に開催された。評価は研究評価委員会によって定められた事前評価の方法に従って行われた。同専門部会は評価結果を取りまとめ、平成 12 年 8 月 17 日に近藤部会長が「高温工学専門部会評価結果報告書」を研究評価委員会委員長に提出した。研究評価委員会は平成 12 年 8 月 31 日に第 5 回研究評価委員会を開催し、同専門部会の近藤部会長（代理で岡田研究評価委員）から「高温工学専門部会評価結果報告書」の説明を受け、審議を行った。審議の結果、本専門部会評価結果は妥当なものと判断し、研究評価委員長は同報告書を 9 月 5 日付けにて日本原子力研究所理事長に答申した。

平成 12 年度研究評価委員会委員(13 名)

西澤 潤一	岩手県立大学長
(委員長)	(財)半導体研究振興会半導体研究所長 (半導体工学)
秋山 守	(財)エネルギー総合工学研究所理事長
(委員長代理)	埼玉工業大学学長 (原子炉熱設計、熱流体工学、安全工学、エネルギー変換)
秋元 勇巳	三菱マテリアル(株)取締役社長 (物理化学、核化学)
石樽 顕吉	埼玉工業大学先端科学研究所教授 (原子炉化学、放射線化学)
井上 信	京都大学原子炉実験所長 (加速器科学、原子核物理学)
岡田 雅年	金属材料技術研究所長 (金属材料・工学、金属科学、原子炉材料)
菊田 惺志	(財)高輝度光科学研究センター理事、放射光研究所副所長 (X 線光学、X 線量子光学)
草間 朋子	大分県立看護科学大学長 (放射線防護、胎児の放射線影響)
友野 勝也	東京電力株式会社フェロー (原子力発電)
藤原 正巳	核融合科学研究所長 (プラズマ物理、核融合)
宮 健三	東京大学大学院工学系研究科教授 (核融合工学、電磁現象工学)
矢川 元基	東京大学大学院工学系研究科教授 (計算科学、原子力工学(構造設計))
山崎 敏光	大阪大学名誉教授 (原子核物理学、素粒子ビーム科学)

高温工学専門部会評価結果報告書

平成 12 年 8 月

日本原子力研究所
研究評価委員会
高温工学専門部会

This is a blank page.

目次

はじめに

総合所見

1. 専門部会の設置	1
2. 評価方法	1
2.1 専門部会の構成	1
2.2 事前評価対象研究開発課題	1
2.3 専門部会の開催	1
2.4 事前評価項目及び評価基準	2
3. 事前評価対象研究開発課題の評価結果	4
3.1 高温工学試験研究開発の基本方針	4
3.1.1 高温工学試験研究開発の基本方針の概要	4
3.1.2 所見	6
3.2 高温工学試験研究炉開発部の研究開発課題	10
3.2.1 高温工学試験研究炉開発部の研究計画の概要	10
3.2.2 評価結果	12
3.2.2.1 項目別評価	12
3.2.2.2 その他の全般的所見	15
3.3 核熱利用研究部の研究開発課題	18
3.3.1 核熱利用研究部の研究計画の概要	18
3.3.2 評価結果	22
3.3.2.1 項目別評価	22
3.3.2.2 その他の全般的所見	26

Contents

Introduction

Executive Summary

1 . Establishment of the Review Committee	1
2 . Review Methods	1
2.1 Constitution of the Ad Hoc Review Committee	1
2.2 Research and Development Subjects for Review	1
2.3 Agenda of the Review Committee Meeting	1
2.4 Points of Pre-review	2
3 . Pre-review Results of Planned R&D Subjects	4
3.1 Basic Project Plan in High-Temperature Engineering and Research	4
3.1.1 Overview of Basic Project Plan	4
3.1.2 Review Comments	6
3.2 R&D Subjects in the Department of HTTR Project	10
3.2.1 Overview of Planned R&D Subjects	10
3.2.2 Review Results	12
3.2.2.1 Items Review	12
3.2.2.2 Overall Comments	15
3.3 R&D Subjects in the Department of Advanced Nuclear Heat Technology	18
3.3.1 Overview of Planned R&D Subjects	18
3.3.2 Review Results	22
3.3.2.1 Items Review	22
3.3.2.2 Overall Comments	26

はじめに

研究評価委員会高温工学専門部会は、大洗研究所高温工学試験研究炉開発部及び核熱利用研究部の平成12年度からの5カ年の研究開発計画を事前評価するために研究評価委員会により設置されたものであり、同委員会の定めた基本的要領に則って平成11年12月から平成12年7月にかけてこの研究評価活動を実施した。

原研の高温ガス炉研究開発活動は既に約30年の歴史を有している。これまでの活動の中心は高温工学試験研究炉（HTTR）の建設に必要な技術開発にあったが、この炉が平成3年に着工され、平成10年11月には初臨界を達成し、出力上昇試験中にある今日では、この炉を使用前検査に合格させること、及びこれを用いての高温ガス炉技術及びその利用技術に係る研究開発活動の準備に活動の中心が移行してきている。HTTRは原研が開発中の唯一の試験研究用原子炉であるが、世界的に原子力研究開発が停滞気味であるところから、この開発活動は、我が国のみならず世界的に見ても数少ない、次世代を展望した原子炉研究開発活動のひとつである。

高温工学試験研究部門は平成10年に研究評価委員会の総括的研究評価を受け、この研究開発プロジェクトの国の施策としての意義付けを明確にしていくこと、高温ガス炉の新しい概念や価値観、安全論理を生み出す研究開発課題を取り上げて世界でこの分野における主導的立場に立つことを目指すべきことが提言された。また、限られた研究資源を最も効果的に利用するために、研究課題を短期的緊急性及び長期的展開の視点から厳選する必要性も指摘された。

今回の研究評価はこれとは違って大洗研究所全体に係る高温工学試験研究炉開発部及び核熱利用研究部の詳細な研究開発計画を対象とする事前評価であるから、本専門部会は研究開発担当部署より提出された事前評価用資料に基づき各実施責任者により計画の内容について説明を受けて質疑を行い、その後、それに基づく各委員による個別評価を得た。ついで、それらを集約整理して高温工学試験研究の基本方針、高温工学試験研究炉開発部及び核熱利用研究部の研究開発課題に対する評価の全体的な論調を定め、最後に、それに添いつつも多様な意見、提言をできるだけ取り入れて本報告書本文を作成した。なお本文の概要を最初に総合所見として記した。本専門部会としては、この評価が今後のHTTR及びこれに関連する研究開発活動の運営に少しでもお役に立てば幸いである。

終わりに、専門部会委員各位には予定外の長期間の専門部会活動となったことをお詫びし、それにも関わらず終始真摯かつ熱意溢れるご協力を賜ったことを記し、そのことに対してここに深甚なる謝意を表したい。

平成12年8月17日
高温工学専門部会
部会長 近藤 駿介

総合所見

1. 「高温工学試験研究開発の基本方針」について

(1) 高温ガス炉は軽水炉では到達し難い高温の利用が可能で、軽水炉と比べて高い熱効率が実現でき、発電のみならず熱利用、水素製造などの多様な用途にも適している。一方、事業規制の緩和によりエネルギー産業における競争が激化し、新型火力や分散電源の技術開発が進んでいるので、原子力もこれらとの競争と協調を念頭に様々な技術革新を試み、新しいニッチを開発しなければ市場におけるシェアの拡大は望めない状況に至りつつある。具体的には、我が国の原子力利用は軽水炉を大型化しつつ発電用に供して進められてきたが、他のエネルギー供給技術と競争するためには供給技術を多様化し、立地の自由度を増大して新たな需要を開拓しなければならないのである。この点で、中小出力の高温ガス炉は上に述べた特性から判断して、そうした市場開拓能力が軽水炉に比して高いとされている。これらのことを踏まえれば、高温工学試験研究開発を次世代の原子力利用技術を開拓する先導的、基盤的研究と位置づけ、HTTRの運転管理に習熟し、経験を蓄積しながら、次世代に向けた高温ガス炉技術の高度化と核熱利用技術の開拓を目指すという、日本原子力研究所の課題設定は適切と考える。

(2) 主要研究開発課題を「高温ガス炉原子炉技術開発」、「核熱利用技術開発」、「高温工学に関する先端的基礎研究」の三つとし、まずは「HTTRの試験運転の推進」(定常運転による信頼性実証、安全性実証試験)を重点的に進め、並行して高温発電システムと水素製造システムの開発を目指す「核熱利用技術開発」を行う一方、「高温工学に関する先端的基礎研究」として先端的かつ基盤的な研究開発活動を行うという課題の編成方針は適切である。そして、今後15～20年で核熱利用技術を開発し実証までもって行くというこの原研における高温工学試験研究開発の推進計画は、次世代のエネルギー市場において原子力の貢献の新たな選択肢を用意しようとする長期的視点に立った活動として計画されており、原研に相応しい進め方になっていると考える。

(3) HTTRの試験・運転の達成が当面の優先課題であるから、限られた資源を考えれば、予算の約80%がHTTRの運転、保守費となっている計画は妥当と評価する。なお、大洗研究所は当面HTTR試験運転と核熱利用技術の開発に焦点を絞って進め、関連事項及び他に専門家のいる分野については他の部の協力を得つつ行うという方針は適切である。現状では、核熱利用技術の開発などを本格的に行なうには技術者、研究者が不足していると感じられるので、これらの研究が本格化するに従い、適切に増員を図り、企業に研究の実質を任してしまうようなことにはならないように配慮されたい。

さらに、原研の研究資源の現状に鑑みれば、この計画を進めるにあたって産業界はじめ各界との協力・連携に努めるとの基本方針は妥当である。主要プロジェクトを推進する側は心理的、戦略的に保守的になりがちであるが、高温ガス炉や核熱利用技術の実用化にはな

お技術的な飛躍であること、真の技術革新は他分野や境界分野で生まれることが多いことから、外部機関との協力・連携は重視すべきであり、これらの連携・協力が単に協力のための協力にならず、具体的な原子炉や原子炉システムを実現していく上での有益な協力・連携となるよう、研究計画の立案、研究成果の評価等についてより具体的な成果を得るよう工夫すべきである。

2. 高温工学試験研究炉開発部の研究開発課題

(1) HTTR試験・運転において、平成12年度熱出力30MW、原子炉出口ガス温度850℃運転、13年度に950℃運転を達成し、引き続き定常運転により試験・運転データを蓄積し、HTTRの優れた特性を明らかにし(高温ガス炉技術基盤の確立)、その後に安全性実証試験等を実施(高温ガス炉技術の高度化)するという取り組み方は着実に妥当である。これらは経済性向上、利用分野の拡大等この研究開発活動全体の礎を提供するもので確実に実施されねばならない。

(2) HTTRの運転管理の定常化が短期活動の最優先課題であるから、定常運転を慎重に行い、各試験計画を慎重に検討すること、定期自主検査等の経験を活かしてHTTRの運転保守管理技術の確立と最適化を図るという課題設定は妥当である。HTTRの出力上昇、定格運転によって得られる技術的経験こそ最も重要であり将来の発展の礎であることを強く認識したい。細かいトラブルは新技術開発には付きものであり、その克服こそ技術開発の本質である。HTTRをとりまく研究所内外の関係者もこの点を肝に銘じ、計画を支援されるよう希望する。更に、安全性実証試験により高温ガス炉の固有の安全性を示すことが重要で、本研究開発プロジェクト全体の試金石となる意味を持っている。

(3) さらに、運転特性の分析評価を通じてHTTRの機能、性能、容易な運転特性等を明らかにし、ついで、設計技術の高度化を行うこと、安全性実証試験及びその評価を通して高温ガス炉の利点を活かした安全論理を構築し、実用高温ガス炉システムの国際的な安全基準の策定に貢献すること、そして燃料、構造材、さらには新しいシステム技術の開発を目指すという目的設定はこの研究開発の使命に鑑みて妥当である。HTTRの特性評価と設計高度化の研究は最も重要であり、それがまず第一の目標に挙げられているのは妥当である。経済性向上の視点から、是非、設計裕度の見直し、設備の合理化等の知見をまとめてほしい。また、安全性実証試験とその評価は、「実用システム」の意味が将来の高温ガス炉安全設計の簡素化に繋がる知見の摘出を目標にしていることを意味するならば、適切である。

(4) 実用高温ガス炉システムの技術開発では、革新的な安全論理の構築や要素技術の開発において、核熱利用研究部との共同作業は勿論であるが、人的資源の確保の観点からも、国内の民間企業との情報交換、人事交流を含めた協力・連携をより積極的に追求すること

が望まれる。また、高温ガス炉はエネルギー供給方式や立地の面で軽水炉より柔軟性が高いから、原子力のもつ供給安定性、環境負荷の低いことといった特徴に鑑みれば、国がこれにより新しい市場を開拓できる可能性の探索を進めることは妥当であるが、特に、この数十年間は新しい市場において天然ガスとの競争が厳しいことが予想されているから、この時間スケールでこれに勝ることのできる新しい可能性を明らかにすることが求められる。この競争の本質は経済性であり、経済性向上には単純化と量産化が重要である。この点で発電炉以外で量産を可能にする需要を見いだす努力を産業界と力を合わせて行うこと、ライフサイクル全般にわたる単純化の可能性を追求するべく高温ガス炉の他の炉型との比較、我が国の軽水炉に適用されている世界的には少数派に属する燃料サイクル方式にとらわれない燃料サイクル方式の採用の検討を行うなど、方針の具体化にあたって柔軟な発想を忘れてはならない。

3. 核熱利用研究部の研究開発課題

(1) 高温ガス炉からの熱を利用した高温発電システム及び水素製造システムに関する研究開発を行い、並行して行う実用高温ガス炉システムの設計とあわせて、高温ガス炉の特徴を最大限発揮できる高温ガス炉システム技術の確立を図ること、及び、大きな照射体積を利用でき、高温環境下で均一な中性子束分布が得られる HTTR 等を用いて照射試験を実施し、高温工学に関する先端的基礎研究分野での新たな展開、進展を図ることという目的、方向性は妥当である。ただし、こうした研究開発路線を原子力長期計画の基本的考え方に則って進めていくとしているが、今後の原子力長期計画は個別の研究開発戦略をリードするものではなく、むしろ、個別研究において研究開発主体が独自の課題と方針を設定して、そのメリットや結果の有用性に対して評価を得て投資を招くことが必要になってきていることを指摘しておきたい。

(2) この実証試験は高温ガス炉の核熱利用実証のために長年にわたって準備されてきており、今後5年間はHTTRと水素製造システムを接続する前段階として水素製造、取扱いシステムの主要機器要素の炉外試験を行う。この活動はエネルギー供給の多様化、環境負荷低減の観点から、将来の経済的な水素製造システム実用化への貢献を目指す核熱利用の実験基盤整備に一步近づくものとして意義深い。ただ、原子炉水素製造システムが社会的意味を持つのは明らかに遠い将来であるから、今大事なことはいかに革新的な技術を探索するかであって、何かを実証することではない。天然ガス改質技術は大型、小型ともに多くのところで開発中であり、原理あるいは技術的なことはほとんど明らかであるから、明確な改質水素の用途がないと単に原子炉と結びつけただけになる。原子力分野では取り組む必要は未利用化石燃料、あるいは重質油を改質するといった自家熱源の確保に困難がある場合に限られよう。したがって、この活動は今後より具体的で挑戦的なもの、高い目標を目指す探索活動の基盤整備とし、これと並行して、プロセス熱利用に関してどの産業でいかなる温度、形態でどの程度の量の熱利用を目指すのかなど、もっと具体的な目標を設

定して新しい技術・可能性の探索を行っていく必要がある。

4. その他

これまで我が国の原子力エネルギー利用は発電用軽水炉の大型化を計りつつ進められているが、近年に至り、エネルギー供給市場の自由化が始められ、エネルギー供給技術間の供給シェアの拡大を目指す競争が激しさを増してきており、原子力も立地や供給技術・方式等の多様化により新規市場を開拓して行かなければ、供給シェアの拡大が困難になる状況が生まれつつある。また、高温ガス炉は世界的に見れば概念として経験として少なからぬ歴史と現状が存在する。このため産業界なり、公衆にはこれを踏まえた評価を有しているから、上に述べた競争的状況を踏まえてこのプロジェクトが目指すところを、そうしたものと異なる違いがあるかを含めてわかりやすく説明して理解を得ること、進んでこのプロジェクトに共感し共同してくれる人々・組織とネットワークを通じて学ぶべく、その仕組みを整備していくことも重要である。

This is a blank page.

1. 専門部会の設置

「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、高温工学試験研究炉開発部及び核熱利用研究部（並びに関連部）の研究開発課題について、平成 12 年度からの 5 年間の計画の事前評価のため、平成 11 年 11 月 30 日、研究評価委員会の下に高温工学専門部会が設置された。

2. 評価方法

2.1 専門部会の構成

部会長：	近藤 駿介	東京大学大学院工学研究科教授
評価委員：	岡田 雅年	金属材料技術研究所所長
専門委員：	井関 孝善	東京工業大学工学部教授
	太田健一郎	横浜国立大学工学部教授
	岡 芳明	東京大学大学院工学研究科教授
	関本 博	東京工業大学原子炉研究所教授
	成合 英樹	筑波大学構造工学系教授
	古屋 廣高	九州大学工学部教授
	山崎 亮吉	日本原子力発電（株）常務取締役

2.2 事前評価対象研究開発課題

大洗研究所の高温工学試験研究炉開発部と核熱利用研究部の平成 12 年度から平成 16 年度における研究開発計画の主要課題領域（担当課室）は、以下の通りである。

（1）高温工学試験研究炉開発部

- 1) HTTR 試験・運転の計画的推進（HTTR 計画管理室、＊）
- 2) HTTR の運転、保守管理（HTTR 試験室、＊）
- 3) HTTR の試験に関する技術開発（HTTR 技術開発室）

（2）核熱利用研究部

- 1) 実用高温ガス炉システムの設計、核熱要素技術の研究開発（熱利用システム研究室）
- 2) HTTR 接続水素製造システムの研究開発（高温機器開発試験室）
- 3) 熱化学法 I S プロセスの研究開発（熱利用技術研究室）
- 4) 高温工学に関する先端的基礎研究（高温照射研究室）

（＊業務テーマ）

2.3 専門部会の開催

- (1) 開催日時 ： 平成 11 年 12 月 27 日（月） 13：30～17：30
- (2) 開催場所 ： 原研本部 第 6 会議室
- (3) 議事次第 ：

- 1) 専門部会の審議について
(部会長挨拶、委員紹介、審議の進め方)
- 2) 全体研究開発計画の基本方針 (説明及び質疑)
(説明者：田中利幸大洗研究所長)
- 3) 高温工学試験研究炉開発部の研究開発課題 (説明及び質疑)
(説明者：馬場 治高温工学試験研究炉開発部長)
- 4) 核熱利用研究部の研究開発課題 (説明及び質疑)
(説明者：宮本喜晟核熱利用研究部長)
- 5) 審議結果について
(説明結果について、今後の取りまとめについて)

2. 4 事前評価項目及び評価基準

事前に提出される評価用資料及び専門部会における説明に基づき、下記の評価項目、評価の視点、評価の基準に従って、評価を実施する。

2. 4. 1 原研における高温工学試験研究開発の基本方針

研究開発の全体目標、主要な研究開発、研究・業務課題の全体構成、資源計画とスケジュール、原研内他部門との協力・連携、外部機関との協力・連携等に対する所見 (提言、所感等) を述べる。

2. 4. 2 事前評価対象研究開発課題

1) 項目別評価

(1) 評価項目及び評価の視点 (「 」は評価の視点)

(a) 当該部の基本的考え方

(「研究開発課題の設定 (方向性・目的・目標等) の妥当性」)

(b) 主要課題領域 (主要課題領域毎に (i) ~ (ii) を評価する。)

(i) 目的・意義

(「研究展望及び達成目標 (5 年間の展望の中での具体的な達成目標の妥当性)」)

(ii) 進め方 (含むテーマ構成と各テーマの位置付け)

(「研究開発スケジュール・研究開発手法の妥当性」)

(iii) 予想される成果の波及効果 (「波及効果の期待度」)

(c) 資源配分

(「①研究開発資金、人員の配分の妥当性、及び②主要課題領域、テーマに対する予算・人員等の効率的配分の妥当性」)

(d) 原研他部門との協力・連携 (「協力・連携の妥当性」)

(e) 外部機関との協力・連携 (「協力・連携の妥当性」)

(f) 人材養成の施策 (「施策の妥当性」、及び研究支援業務については「担当者の士気確保の施策の妥当性」を含む)

なお、研究支援業務の評価については、上記 (b) において、下記の評価項目及び評価の視点を考慮する。

- (イ)業務の方向性・目的・目標等（「これらの妥当性」）
- (ロ)主要業務内容（「これらの適切性」）
- (ハ)業務スケジュール（「その妥当性」）
- (ニ)他部門・分野への予想される貢献及び波及効果（「貢献等の期待度」）

(2)評価の基準

上記の1)項目別評価に対して、5段階評価（5：最高、3：普通、1：最低）を行う。

2) 総合評価（所感、問題点、提言等）

上記の項目別評価等を基にして、当該部に対する総合評価(所感、問題点、提言等)を記す。

3. 事前評価対象研究開発課題の評価結果

3. 1 高温工学試験研究開発の基本方針

3. 1. 1 高温工学試験研究開発の基本方針の概要

1) 全体目標

大洗研究所では、高温工学試験研究開発を次世代の原子力利用を開拓する先導的・基盤的研究と位置づけ、この研究開発の中核施設である高温工学試験研究炉（HTTR）の試験・運転を行うとともに、安全性実証試験、燃料等の原子炉要素技術に関する原子炉技術開発、核熱による水素製造等を目指した核熱利用技術開発を通して、高温ガス炉技術の基盤の確立及び高度化を図り、原子炉系と核熱利用系を合わせた全体システム（以下「高温ガス炉システム」という。）の実用化に貢献する。また、HTTRでは、高温での照射及び照射体積が大きいという特長を生かした高温工学に関する先端的基礎研究を行う。

2) 主な研究開発・業務課題の編成とスケジュール

(1) 高温ガス炉原子炉技術開発

平成11年9月から開始したHTTRの出力上昇試験を平成13年度中頃までに終了する。平成13年度後半からは定常運転に移行し、安全を確保しつつ安定に運転できるよう保守管理を行い、HTTRの長時間にわたる安定な定格運転を通じ、高温ガス炉の高い安全性と信頼性を実証しつつ、高温ガス炉の技術基盤を確立する。これらのHTTRの試験・運転については、確実な品質保証計画に基づき計画的、効率的な推進を図る。（主要課題領域「HTTR試験・運転の計画的推進」及び「HTTRの運転、保守管理」）

また、HTTRの試験・運転の結果に基づき、HTTRの特性評価及び設計基準事象に限らずより広い範囲での安全性実証試験を行い、実用高温ガス炉システムを対象とする安全理論の構築を行う。さらに、燃料等原子炉要素技術に関する研究開発を行い、高温ガス炉技術の高度化に貢献する。これらの運転データ、経験及び研究開発の成果を反映し、安全裕度の見直し、設備の合理化等の経済性向上に関する検討を行い、実用高温ガス炉システムの原子炉系の設計を進める。（主要課題領域「HTTRの試験に関する技術開発」）

(2) 核熱利用技術開発

我が国のエネルギー供給の多様化及び環境負荷低減を目指し、HTTRを用いた核熱による世界初の水素製造に関する試験を進め、原子炉系と核熱利用系の接続技術を実証する。（主要課題領域「HTTR接続水素製造システムの研究開発」）

また、高温ガス炉からの熱を利用した高温発電、水素製造システム等のプロセス熱利用に関する核熱要素技術の研究開発を行い、並行して行う実用高温ガス炉システムの設計と合せて、将来の実用化に備える。（主要課題領域「実用高温ガス炉システムの設計、核熱要素技術の研究開発」及び「熱化学法ISプロセスの研究開発」）

実用高温ガス炉システムの設計では、(1)の原子炉系の設計の成果を取り入れ、さらに、

核熱利用系の一部の非原子力級化、最適化等を行うことによって、従来システムと同等以上の経済性を有する実用高温ガス炉システム概念を構築し、安全性を損なうことなく核熱利用の経済性向上を図る。

(3) 高温工学に関する先端的基礎研究

これまで、HTTRで照射試験を行うことが有効と思われる新素材、材料の創製や高温炉内計装技術開発等の研究課題を摘出し、これらについて予備試験を実施して、成果を挙げてきた。今後は、平成14年度後半にHTTRを用いた予備試験開始、平成15年度本試験開始を照準に、炉外試験、他炉を用いた試験を継続して進める。併せて、さらに長期的な視野に立った先端的基礎研究を炉外或いは他炉で実施する。

3) 原研内他部門との協力・連携

HTTR試験・運転において、ホットラボ施設の利用に関し材料試験炉部と密接な協力、連携を図り、試験計画の立案、実施、評価を進める。さらに、高温工学に関する先端的基礎研究に関しては、研究テーマの一部実施及び照射技術に関し、材料開発部、材料試験炉部等の協力を仰ぐ。また、ISプロセスの材料開発に関しては、エネルギーシステム研究部と共同で研究開発を進める。

4) 外部機関との協力・連携

国内外機関との協力・連携については、高温ガス炉の開発において、産業界の理解が得られることが計画の推進には不可欠である。このため、ガスタービン発電に関しては、原電との共同研究、産業界の同種の活動グループとの連携を一層強める。プロセス熱利用に関しては、産業界への原子力の利用に関する理解を求めべく対話を強化して継続するとともに、核熱要素技術の開発に関し、大学等との共同研究、協力研究の他、NEDO等の協力を得て、関連技術開発の効率化を図る。さらに、高温工学に関する先端的基礎研究においては、従来通り、外部の有識者、研究者を含めた「HTTR利用研究委員会」を軸に、幅広く国内の知恵と技術を取入れ、研究計画の立案、実施を進める。このため、大学、国立研究機関との共同研究等を積極的に行う。

国際協力については、高温工学試験研究開発に関する世界のCOEを目指す。即ち、高温ガス炉の開発に関し、IAEAを中心とした世界的なR&Dネットワークが出来つつあるので、我が国が中心になって、関係機関との共同研究、情報交換を行うとともに、米国MIT、南アESKOM社等との国際協力に努める。さらに、高温工学に関する先端的基礎研究分野では、OECD/NEA/Nuclear Science Committee 等による国際共同研究を視野に入れ、国外関連研究者、機関との連携を深める。

3. 1. 2 所見

1) 「全体目標」について

高温ガス炉は軽水炉では到達し難い高温の利用が可能で、軽水炉と比べて高い熱効率が実現でき、発電のみならず熱利用、水素製造などの多様な用途にも適している。一方、事業規制の緩和によりエネルギー産業における競争が激化し、新型火力や分散電源の技術開発が進んでいるので、原子力もこれらとの競争と協調を念頭に様々な技術革新を試み、新しいニッチを開発しなければ市場におけるシェアの拡大は望めない状況に至りつつある。我が国の原子力利用は軽水炉を大型化しつつ発電用に供して進められてきたが、この状況においては、供給技術を多様化し、立地の自由度を増大して新たな需要を開拓しなければ成長は望めない。この点、中小出力の高温ガス炉は、上に述べた特性から判断して新規市場開拓能力が軽水炉に比して高いので、高温工学試験研究開発を次世代の原子力利用技術を開拓する先導的、基盤的研究と位置づけ、HTTRの運転管理に習熟し、経験を蓄積しながら、次世代に向けた高温ガス炉技術の高度化と核熱利用技術の開拓を目指すことは時宜を得た目標設定と考える。

2) 「研究開発・業務課題の全体編成とスケジュール」について

主要研究開発課題を「高温ガス炉原子炉技術開発」、「核熱利用技術開発」、「高温工学に関する先端的基礎研究」の三つとし、「HTTRの試験運転の推進」（定常運転による信頼性実証、安全性実証試験）を重点的に進めつつ、高温発電システムと水素製造システムの開発を目指す「核熱利用技術開発」を行い、併せて「高温工学に関する先端的基礎研究」として先端的かつ基盤的な研究開発活動を行うという課題の編成方針は適切である。

また、次世代のエネルギー市場における原子力の貢献の新たな選択肢を用意しようとする長期的視点に立って、今後15～20年で核熱利用技術を開発し実証までもって行くという方針は、原研に相応しい研究開発の進め方であると考ええる。

3) 「資源計画」について

HTTRの試験・運転の達成が当面の優先課題であるから、限られた資源を考えれば、予算の約80%がHTTRの運転、保守費となっているのは妥当と考える。なお、現状では、核熱利用技術の開発などを本格的に行なうには技術者、研究者が不足していると見受けられる。今後、これらの研究が本格化するに従い、適切に増員を図り、企業に研究の実質を任してしまうようなことにならないようにすべきと考える。

4) 「原研内他部門との協力・連携」について

大洗研究所は当面、HTTR試験運転と核熱利用技術の開発に焦点を絞って進め、関連事項及び他に専門家のいる分野については他の部の協力を得つつ行うという方針は適切である。なお、念のため、高温材料、耐食材料、水素吸蔵合金、高燃焼度被覆粒子燃料粒子燃料等の開発及び照射試験の設計、照射後材料の挙動の解析等に関して物質科学研究部と、

使用済燃料の保管、処理及び再処理等に関して燃料サイクル安全工学部と、将来のデコミッショニングを考えた原子炉設計への考慮等についてバックエンド技術部との連携協力を強化していくことが重要であると考ええる。

5) 「外部機関との協力・連携」について

原研の研究資源の現状に鑑みれば、この計画を進めるにあたって産業界はじめ各界との協力・連携に努めるとの基本方針は妥当である。また、主要プロジェクトを推進する側は心理的、戦略的に保守的になりがちであるが、高温ガス炉や核熱利用技術の実用化にはなお技術的な飛躍であること、真の技術革新は他分野や境界分野で生まれることが多いことから外部機関との協力・連携は重視すべきである。この点で、これらの連携・協力が単に協力のための協力にならず、具体的な原子炉や原子炉システムを実現していく上での有益な協力・連携となるよう工夫すべきである。例えば、経済性評価には電力会社の協力を活用し、耐熱材料の開発、実用化に関しては民間企業との連携、民間の有能な研究員等を長期にわたって受け入れるべきであろう。さらに、国際交流を重視し、国外情報も適確に分析、評価することが必要で、IAEA や外国機関と協力・連携しつつ進めて行くことを大いに奨励したい。また、これらの連携・協力は外部機関における高温ガス炉関連技術の能力維持の観点からも設計されるべきで、この点から大学との協力では若手研究者、大学院学生を長期間受け入れることを考えるべきであろう。

6) その他の意見

(1) HTTR 自身がいまだ使用前検査に合格していない段階であり、2回程度の定期検査を経験しないとプラント特性の全貌を把握したことになるから、この5年間はHTTRの運転管理に重点を置くことが重要である。この段階で誤りを犯すと、計画全体が雲散霧消する可能性が大きいからである。

(2) 市場において競争を勝ち抜いていくための要件は経済性にあり、軽水炉の大型化もまさしく経済性の要請に従った結果であることを踏まえれば、中小型高温ガス炉の経済性をいかに達成するか、ライフサイクル全般を見通しての経済性向上策の検討が重要である。常識的には単純化と量産化、燃料サイクルについては燃料の高燃焼度化をはかり、使い捨て方式を採用するのが常識であるが、いずれにしても基本方針にこの問題意識が十分強く反映されることが必要であろう。この観点から、高温ガス炉型の代替案であるペブルベッド炉との比較検討も必要である。

(3) 高温ガス炉は軽水炉ほどではないが固有の開発利用の歴史と現状を有しているのであって、炉概念自体は革新的と呼べるものではない。従って、このプロジェクトが革新的な成果を生み出すかどうかは、今後この原子炉を改良・利用する革新的アイデアを様々な探索し、そのうちから将来において新たな市場を生み出すものを得てその実用化に挑戦し

ていくことができるかどうかにかかっていると考える。たとえば、水素製造に関しては、当面、経済性や供給力から考えて天然ガス改質が市場を制覇しよう。このような状況で新たな供給者として参入するためには、研究開発においては初期投資を含めても経済的に競争可能な高い目標設定が重要である。

(4) 新たな市場のアイデアは産業家とのコミュニケーションによって生み出されることが多いが、現在のところ産業界は、内外の事例によって高温ガス炉は経済性が悪いという認識を有しており、運転経験に接する機会も少ないので、高温ガス炉への支持は弱い。しかしながら、当面の基盤技術の研究開発は国の機関としての原研の役割であるとしても、将来、この研究成果を活用するのは産業界であり、原研の開発した基盤技術を実用化する意欲をもって投資を行う産業家が現れない限り、産業化に向けての国の投資も行われない。したがって、先ずHTTRの安定運転によって信頼性を実証するとともに、安全性実証試験等の成果を活かして安全システムの簡素化、合理的な安全裕度の在り方に関して議論を喚起し、高温ガス炉の将来性に対する産業界のコンセンサス、共感を高めていくことが必要である。

(5) これからの研究開発活動の推進にあたっては、基礎的知見を発信する基礎研究組織は勿論、エネルギーに掛かる新しいニーズ情報を発信する産業界、そして批判的意見の発信者までを含む市民と連携し、アイデアの評価、取り入れが短時間で可能な相互学習ネットワークの整備が肝要である。この点で大学、産業界等との協力強化やIAEA等との国際協力の一層の促進は当然である。また、このネットワークに他の原子力関係者及び一般社会から認知、支援を得ていく機能を整備することも怠ってはならない。

(6) 技術開発は実用化されてこそ成功であるから、それぞれの研究開発課題を進めるに当たっては、この目標に向かってそれぞれのマイルストーンにおける達成目標を明確にするべきである。一方、今後5年間には競合技術の進歩や変化もある可能性があるもので、それらにも配慮しつつ適宜に計画を見直し、目標達成の観点から効果的な運営に徹するべきである。例えば、高温発電、水素製造とも工学、産業面から容易な課題ではない。そこで、高温の有用性を生かすには現在はこれらを押し進めるとしても、今後とも他の熱利用の在り方の検討を進め、内容によっては取り入れていくべきである。

(7) 当面の早期に成果が期待される仕事は、予算獲得の上で極めて重要であるが、ややもするとそのためにデータを出すことが優先され、研究開発を広範囲かつ長期的な視点で見たり、その成果を基礎的に理解し、さらに発展させる作業が不足し、その結果、新たな展開、転身に抵抗感を感じるような人材が育成されてしまう懸念がある。国の研究開発には将来の可能性の探求を重視する姿勢を失ってほしくないので、資源計画の実際の執行にあたっては、例えば全体の数パーセントを技術的、経済的飛躍が可能な創意工夫をより刺激するように使うなど、創造性の面からの活性の維持に気を配るべきである。

(8) 先端的基礎研究については大学などとの協力が図られているようである。今後の人員増加が予想できない状況で、大学の学生を長期にわたって受け入れるなどの人事上の施策は研究開発の進展に効果的であるが、具体的な内容が肝心である。共同研究、情報交換が計画されているが、現在のところ、これらの内容と計画目標との関係がそれほどはっきりしていない。実施するに当たってはきちんとした評価の上で労力に見合う成果が上がるようにすべきである。

3. 2 高温工学試験研究炉開発部の研究開発課題

3. 2. 1 高温工学試験研究炉開発部の研究計画の概要

1) 目的

高温工学試験研究開発は、次世代の原子力利用分野の拡大に関する研究開発として位置付けている。HTTRの建設は平成10年度前半に終了し、平成10年11月10日には初臨界を達成し、平成11年9月からは出力上昇試験を開始している。引き続いて、熱出力30MW、原子炉出口ガス温度950℃の達成により高温ガス炉技術基盤を確立し、その後のHTTRを用いた試験研究及び原子炉要素技術の研究開発により、高温ガス炉技術の高度化を図る。また、HTTRを高温工学試験研究開発の中心的組織(COE)と位置付け、IAEA、関係国との国際協力、電力との共同研究等を通して、国内外の研究者、技術者と情報交換を密に行い、産業界のニーズ、諸外国の情勢を十分に考慮しつつ、高温ガス炉システムの実用化に貢献する。

2) 達成目標及び進め方

まず、平成12年度中に熱出力30MW、原子炉出口ガス温度850℃、平成13年度中頃には、原子炉出口ガス温度950℃を達成し、原子炉施設の合格証を取得する。平成13年度後半は、定常運転により各種の試験・運転データを蓄積し、HTTRの機能・性能、容易な運転特性、保守管理の容易性等の優れた特性を明らかにする。

平成14年度から15年度の間は、安全性実証試験、高温工学に関する先端的基礎研究のための運転を開始する。これらの試験・運転の実績を基に設置許可の変更申請を行い、2次燃料の装荷後は、設計基準事象に限らずより広い範囲での安全性実証試験を行うとともに、核熱利用研究部が行う核熱要素技術に関するHTTR実証試験に協力する。

安全性実証試験に基づき高温ガス炉の優れた安全性を生かした安全論理の構築を平成16年度までに終了し、核熱利用研究部と協力して実用高温ガス炉システムの設計を行う。

また、原子炉要素技術の研究開発としては、耐熱性の優れたC/Cコンポジットを被覆管に用いた制御棒の研究開発、耐熱、耐酸化燃料の研究開発、主に解析手法の開発を中心とした受動的炉心間接冷却設備の研究開発を進める。これら原子炉要素技術の研究開発の成果は、高温ガス炉の安全論理の構築の中にも取り入れるとともに、実用高温ガス炉システムの原子炉系の設計に反映する。

研究開発の実施に当たっては、核熱利用研究部で行う研究開発との整合性を取りながら進める。また、国内の電力、メーカ、大学等と密接に情報交換を図り、その成果が高温ガス炉システムの実用化に役立つものとする。さらに、高温工学試験研究開発のCOEとして、HTTRのデータを基に、高温ガス炉システムの開発を進めている南アフリカ、中国、米国、露国等との情報交換を行い、海外技術を入手し、高温ガス炉技術の高度化を効率的に進める。

なお、核熱利用研究部が行う高温工学に関する先端的基礎研究及び核熱要素技術に関す

るHTTR実証試験については、当部がHTTRに係わる業務を担当する。

3) 主要課題領域

(1) HTTR試験・運転の計画的推進（主要課題領域1）

- ① 高温工学試験研究開発を円滑、着実に進めるため、HTTRの試験・運転計画、HTTRの試験に関する技術開発計画、HTTR利用研究計画を統合してHTTRの全体計画を立案する。また、品質保証活動の実施する。
- ② HTTRの試験・運転に関する資料を整理、管理し、電子文書（データベース）化する。
- ③ 高温ガス炉技術開発研究委員会、高温ガス炉研究会及び国際シンポジウム等を開催し、HTTRを中心とする高温工学試験研究開発の効率的、効果的な推進を図る。
- ④ IAEA、中国、ドイツとの国際協力を進め、高温工学試験研究開発の効率的な推進を図る。また、新たに南アフリカ、米国との国際協力を開始する。

(2) HTTRの運転、保守管理（主要課題領域2）

- ① 出力上昇試験を行い、平成12年度に原子炉出口ガス温度850℃を達成する。また、平成13年度中頃には原子炉出口ガス温度950℃の運転を行い原子炉施設の合格証を取得する。この間のHTTRの試験・運転を、安全に、かつ、安定して行い、HTTRの運転・保守管理技術を確立する。その後、HTTRを用いた試験研究のための運転を実施する。
- ② この後、安全性実証試験、高温工学に関する先端的基礎研究のため、HTTRの運転・保守管理技術の最適化を図る。
- ③ 先端的基礎研究における照射試験に備え、炉内への照射物の装荷・取出しが確実にできるようにする。また、核熱要素技術に関するHTTR実証試験の準備を行う。

(3) HTTRの試験に関する技術開発（主要課題領域3）

- ① HTTRの出力上昇試験、定常運転から得られる高温運転時の核特性、燃焼特性、炉心の動特性等の核特性評価、燃料温度評価等の炉心熱流動特性評価、燃料の健全性評価、プラントの制御特性評価、熱交換器の伝熱特性評価等を行い、HTTRの機能・性能、安全性、容易な運転特性を明らかにする。さらに、核設計、炉心伝熱流動設計、プラント制御設計、高温構造設計、高温機器の耐震設計等の高度化を図る。
- ② 1次ヘリウム循環機の停止（強制冷却）喪失模擬試験、制御棒の引き抜き（反応度添加）試験等の安全性実証試験を実施し、優れた固有の安全性を実証する。実用高温ガス炉システムの安全論理を構築し、IAEAの国際協力を通して、安全基準の策定に貢献する。また、HTTR運転・試験の結果を基に、高温ガス炉特性評価コードシステムを検証し、実用高温ガス炉システムの性能評価、安全性評価にも利用できるようにする。
- ③ C/C コンポジット製制御棒被覆管の開発では、構造設計法の検討を行い、指針の策定に貢献する。また、制御棒被覆管の試作を行い、実用炉システムへの適応の準備を進める。
- ④ 耐熱、耐酸化燃料の研究開発では、実用炉向きの耐熱、耐酸化性燃料の検討を行う。受動的炉心間接冷却設備の開発では、伝熱解析コードを高精度化するとともに、自然循環、水の蒸発等を利用する新しい事故時間接冷却システムの設計研究を行う。

3. 2. 2 評価結果

3. 2. 2. 1 項目別評価

a) 部の基本的考え方 (評価点 4.3。 5点満点の平均点。以下同じ)

平成 11 年 9 月から出力上昇試験を開始し、平成 12 年度熱出力 30 MW、原子炉出口ガス温度 850℃運転、13 年度に 950℃運転を達成し、引き続き定常運転により試験・運転データを蓄積し、HTTR の優れた特性を明らかにし(高温ガス炉技術基盤の確立)、その後安全性実証試験等を実施(高温ガス炉技術の高度化)するという取り組み方は着実に妥当である。これらは経済性向上、利用分野の拡大等この研究開発活動全体の礎を提供するので確実に実施されねばならない。

b-1) HTTR 試験・運転の計画的推進 (主要課題領域 1、業務テーマ)

(i) 業務の方向性・目的・目標等 (4.0)

HTTR の試験・運転計画、試験に関する技術開発計画、HTTR 利用研究計画を統合して HTTR の全体計画を立案し、計画的にこれを推進することは、高温工学試験研究開発を円滑、着実に進めるために重要であり、この業務の方向と目標は妥当である。

(ii) 主要業務の内容 (3.9)

主要業務として、HTTR 試験・運転の全体計画を立案し、HTTR の安定運転、高い稼動実績を達成し、その試験・運転に関する資料を電子文書としてデータベース化するとともに、品質保証活動、各種委員会活動、国際協力などが適切に計画されており、内容は妥当である。運転保守における安全管理は試験・研究に優先する最重要事項であり、運転保守部門が独自性を維持できる組織運営が望まれる。また、高温原子炉運転試験技術は他分野(FBR)で既に進んでいる面もあるので、それらの機関との交流も考慮されてよい。

(iii) 業務スケジュール (3.9)

HTTR の試験運転、その他の活動の統合計画、データベース、委員会の開催など情報交流活動が適宜に用意されるスケジュールになっており、妥当である。

(iv) 他部門・分野への予想される貢献及び波及効果 (3.7)

本業務計画に沿ってデータベースの整備、委員会活動、国際協力が行われると、産業界の実用化意欲を刺激し、他の原子力科学技術活動に貢献できる可能性が高い。特に HTTR の高温機器設計技術とその技術指針を実施検証することは、多くの高温構造設計を必要とする分野に貢献することになる。なお、HTTR の試験運転等にメーカーの技術者を参画させる等の方策により、技術的経験が産業界へ移転される方策を工夫する必要がある。

b-2) HTTR の運転、保守管理 (主要課題領域 2、業務テーマ)

(i) 業務の方向性・目的・目標等 (4.3)

当面、使用前検査合格を目指し、ついで、各種試験のための運転保守管理技術の確立と

最適化を図るという方向性は妥当である。

(D)主要業務の内容 (4.3)

出力上昇試験を完了して使用前検査に合格し、着実にHTTRの運転保守管理技術を確立し、試験のための運転を実施すること、先端的基礎研究のための照射試験に備えるという業務内容は適切である。コンクリート温度対策の早期実施、高温機器検査手法の早期開発等のこれまでの業務の取組状況も評価できる。こうして運転を確実にやり、運転データ分析を実施させて人材を養成するという業務の設計も妥当である。

(H)業務スケジュール (4.1)

950℃の冷却ガスをまず定常的に供給できることが大切であり、平成13年度の合格証取得を当面の目標として運転・保守管理を行うというスケジュールは妥当である。その後のスケジュールが必ずしも具体的でないが、現段階ではやむを得ない。高温運転によって起きる問題を予測し、トラブルがあっても速やかに対応できるようにしておくことが肝要である。

(ニ)他部門・分野への予想される貢献及び波及効果 (3.7)

運転保守の過程での経験、高温機器材料に関する技術は、他分野への波及が期待される。

b-3)HTTRの試験に関する技術開発 (主要課題領域3)

(イ)目的・意義 (4.0)

まず運転特性の分析評価を通じてHTTRの機能、性能、容易な運転特性等を明らかにし、ついで、設計技術の高度化を行うこと、安全性実証試験及びその評価を通して高温ガス炉の利点を活かした安全論理を構築し、実用高温ガス炉システムの国際的な安全基準の策定に貢献すること、そして燃料、構造材、さらには新しいシステム技術の開発を目指すという目的設定はこの研究開発の使命に鑑みて妥当である。

(ロ)5力年の研究の展望及び達成目標 (4.1)

HTTRの特性評価と設計高度化の研究は最も重要であり、それが第一の目標に挙げられているのは妥当である。経済性向上に有用な設計裕度の見直し、設備の合理化等の知見を是非まとめてほしい。また、安全性実証試験とその評価は、「実用システム」の意味が将来の高温ガス炉安全設計の簡素化に繋がる知見の抽出を目標にしているならば、適切である。

なお、次のような意見も提出された。感想に近いが、参考のために記す。

・安全評価は、評価の目標と枠組みに基づき包括的に、しかも淡々となされるものであって、安全性実証試験を行うと新しい安全論理が構築できるという議論は、LMFBR開発の歴史の経験を踏まえても、ナイーブに過ぎる。ここでは、淡々と、しかし、確実に特徴

を実証し、解析ツールの性能を確認し、他の設計の評価に使える可能性と限界を明らかにするとすべきである。そうした意味でP S Aを実施するとの記述がないのは意外である。

- ・要素技術あるいはその基盤技術の開発について計画されている課題は、現在の実用高温ガス炉向けの短期的課題になっているようであるが、長期的視点に立って、超高温原子炉への挑戦という観点を明確にして課題の選定を行うことが大切である。

- ・材料にとって850℃、950℃の環境は耐熱、耐酸化性の点で極めて過酷な状態であり、燃料・材料については新素材、方式の探索研究は欠かすことは出来ないと思料するところ、制御棒や燃料について、具体的な研究課題が書かれてはいるが、それ程新鮮さは感じられない。

(ハ) 研究開発スケジュール・研究開発手法 (3.7)

HTTR試験を慎重に着実に進める点から、これらの技術位階発を提案のスケジュールで進めることは妥当である。なお、今後計画を実際に進めていく段階では、システム研究、要素技術開発の両者の研究課題と展開の相互関係をより明確にして、効果的な原子炉利用が進められることが望ましい。

(ニ) 予想される成果の波及効果 (3.9)

高温ガス炉システムの安全論理、高温機器要素技術の開発などは波及効果が大きいと予想される。このため、成果については適時適切に公表することが肝要である。その上で、国内外へのPRや活用、広報活動を行うことが望まれる。今後の世界の動きによっては、貢献要請が寄せられる可能性もあり、その場合に適宜に成果を上げることができれば、さらに貢献度が大きくなると考えられる。

ｃ) 資源配分 (3.6)

HTTRの運転保守管理に多くの予算と人員を配しているのは現段階では基本的には妥当と考える。運転保守管理に関わる必要な予算、人員は、プラントの運転状況によって変動し得るので、柔軟に計画調整できることが必要である。

一方で、研究・技術開発での人員が少ないのが気になる。状況に応じて部内の流動的な予算、人員配分が必要となろう。また、民間との協力強化の点からも、外部からの派遣研究員、出向者等も人員配分に入れるべきである。

ｄ) 原研他部門との協力・連携 (3.7)

核熱利用研究部との連携は当然かつ適切である。その他について特段の記載、説明がなかったが、C/C コンポジット製制御材の開発では材料試験部のみならず、物質科学研究部、ホット試験室等との協力・連携も必要であろう。

e) 外部機関との協力・連携 (3.6)

実用炉設計に関して実施機関と連携するとしているところ、原電など既存の発電事業者との連携協力は当然で適切。ただし、発電事業の将来には様々な業態が考えられるので、それが高温ガス炉を活かすためにベストであるとの保証はないことを認識し、他のエネルギー産業との連携・協力の可能性についても検討すべきである。また、特に将来の技術選択枠の選択にあたっては営利を離れてメーカーの素直な意見を聴取し、参考にしたり反映したりすることが望まれる。

大学は独立法人化を前提に来年度から急激に変化して行く。そうした流れを良く把握し、上手く協力・連携していくことが重要である。この場合、研究協力の成果を充分評価し、続行すべきかうち切るべきかを決定すべきである。

外国の関係者との意見交換も積極的に進めるのは結構である。海外との協力・連携は相互裨益の原則に立ってお互いに力を合わせて学習のネットワークを形成する共同意志を持つことが重要である。

f) 人材養成の施策 (3.2)

運転を確実に行わせ、運転データ分析を行うなどして人材を養成するという考え方は妥当である。ただ、いつまでに何人を養成するか、それにはオンザジョブトレーニングで行うとか座学で行うか、といった目標の明確化が不足している。

なお、原子力を取り巻く状況、高温ガス炉の将来性の不確実な状況の中で人員の確保と担当者のモラル向上は極めて難しい問題であると予想されるので、運転保守員の生きがい、処遇にも注意する必要がある。また、研究テーマが挑戦的でないと、士気確保も困難になるであろうし、優秀な人材も育ちにくい。基礎技術を鍛えた、将来の見通しを立てることが出来る人材を養成することが職場の活性化につながることに配慮すべきである。加えて、各種の開発成果、研究成果を各界に分かり易く効果的に発表することなども重要である。また、内部の研究者、技術者の活性化のために外部機関との人的交流が重要である。

外国との関係においても相互裨益の観点から人材養成という役割を忘れないでほしい。

3. 2. 2. 2 その他の全般的所見

以上に記した評価項目別の評価コメントに加えて、本研究計画に関連して、専門委員より多くの共通した或いは個別の意見等が述べられた。これらを下記のようにまとめて記す。

(1) 高温ガス炉開発の一つのステップであるHTTR計画を慎重に進めている点を高く評価できる。安全を確保しつつ安定に運転できるよう保守管理を行い、長時間にわたる安定な定格運転を行うこと、さらに広い範囲での安全性実証試験を行うことにより、高温ガス炉の固有の安全性を示すことが、次の核熱利用技術への道を開くHTTRの基盤となる。一見新規性に欠けるかもしれないが、計画の大部分はこの成果に左右されるので、目標を一層明確化し、それに基づく自己評価を適宜適切に実施して、効果的かつ効率的に業務が

実施されることを期待する。

(2) 安全性実証試験は、一定の事故状態の模擬試験であるが、“事故は進歩の肥料”という言葉通り得るものが非常に大きいと考えられるので、その意義は大きい。ただ、これらの活動には、その成果として経済性向上のポテンシャルが見出されなければ、HTTRに関わる殆どの研究成果が将来活用されなくなる、という意識で取り組むべきである。この点で、HTTR 制御室等で受ける印象は先端的というより守旧的であるところ、今後の活動も先端性を欠くものだとすると、他部門からあまり期待されないようになるので、注意が必要であろう。

(3) HTTRの出力上昇と定格運転によって得られる技術的経験こそ最も重要であり将来の発展の礎である。日本は欧米に比べて技術開発におけるトラブルの発生自体を大騒ぎしがちである。「もんじゅ」のような失敗は許されないが、細かいトラブルは新技術開発にはつきものであり、その克服こそ技術開発の本質である。この点で、HTTRの試験・運転ですぐ起こりそうな事故が発生したときの対応、特にヘリウムが漏洩したときの、周辺住民やマスコミに対する対応を十分に確立しておくべきである。なお、臨界近接で臨界値を計算で正しく予想できなかったことに関して反省するのはよいが、今後の対応があまり消極的にならないようにしてほしい。臨界近接で変わった方法を採用したことは問題ではなく、そのような過去とはかなり違う方法を採用に際して、十分な検討がなされたかどうかの問題。今後とも十分な検討のもと失敗を恐れず、果敢に高い目標に向かって大いに新しいことにチャレンジしてほしい。進んでほしい。HTTRをとりまく研究所内外の関係者は、こうした姿勢の重要性を十分認識して、計画を支援されるよう希望する。

(4) HTTR運転の第1の目標は安全性の実証であろう。850℃という温度は材料面から考えて、安易に捉えるべきではないと思料する。非定常時、想定される事故時以外にも、常に事故は起こりうるとの認識のもとに、対応をどうするか考えておく必要がある。HTTRの運転の成功と関連技術開発はそれ自身意義があるのみならず、日本における新原子力技術開発の試金石でもあり、前途に様々な困難が予測されるが、それらを克服されることを期待する。わが国では原子力国産化のフェーズは終了しつつあり、世界最先端の技術開発を進めることが求められる時代になっている。この場合、すべてが成功するとは限らないので、資金計画や目標についても成功を助け失敗を問わないやり方で前向きに計画すべきと考える。また失敗こそ貴重であり、様々な技術選択枠について失敗の経験も含めて傳承されることを望みたい。それが真の技術開発力を高めると信じる。

(5) 研究開発の全体的な目標がよく認識されなければならない。短期活動はHTTRの運転管理の定常化が第一の最優先課題であること、その他の課題はボトムアップアプローチ（優れた要素技術の追求）とトップダウンアプローチ（優れた設計の実現を追求）が混在していると理解するが、海外ですでに実用段階のHTGRを高度化して、新しい市場環

境において比較優位を実現する試みがなされている現在、長期的観点から革新的な応用を開発するのが合理的な選択肢ではないか。つまり、世に既に言われているアイデアを試したところでは成果とはならないから、核熱利用研究部と連携して30MWの試験研究炉として利用系を組んだシステムの評価を早く出し、それを踏み台として革新的な技術の探索に挑戦する段階に早期に移行することが必要である。

(6) 高温ガス炉の高度化の開発課題をより広く考えれば、① 安全性、経済性に優れた原子炉の小型化と設計、② 燃料の高燃焼度化、one through 方式のシステム導入、③ 余剰プルトニウムの処理処分のために、プルトニウム入り被覆粒子燃料の開発、使用済燃料の直接処分、④バックエンド関係の課題（デコミッショニング）を考慮した原子炉開発、などもある。こうした観点からすると、率直に言って提出された評価用資料は形式的な記述が多く、研究開発を行うことに対する情熱が感じられなかった。杞憂であれば良いが、推進者が失敗を恐れ及び腰になっていることをおそれる。

高温工学試験研究炉開発部の本評価結果における各評価項目別の評価点数（評価者の平均）を表1にまとめて示す。

表1 高温工学試験研究炉開発部の研究開発課題の事前評価の結果

評価項目	評価結果
a) 部の基本的考え方	4.3
b-1) H T T R試験・運転の計画的推進（主要課題領域1、業務テーマ）	4.0
(i)業務の方向性・目的・目標等	
(ii)主要業務の内容	4.1
(iii)業務スケジュール	3.9
(iv)他部門・分野への予想される貢献及び波及効果	3.7
b-2) H T T Rの運転、保守管理（主要課題領域2、業務テーマ）	4.3
(i)業務の方向性・目的・目標等	
(ii)主要業務の内容	4.3
(iii)業務スケジュール	4.1
(iv)他部門・分野への予想される貢献及び波及効果	3.7
b-3) H T T Rの試験に関する技術開発（主要課題領域3）	4.0
(i)目的・意義	
(ii)5カ年の研究の展望及び達成目標	4.1
(iii)進め方（研究開発スケジュール・研究開発手法）	3.7
(iv)予想される成果の波及効果	3.9
c)資源配分（予算、人員等）	3.6
d)原研他部門との協力・連携	3.7
e)外部機関との協力・連携	3.6
f)人材養成の施策	3.2

3. 3 核熱利用研究部の研究開発課題

3. 3. 1 核熱利用研究部の研究計画の概要

1) 目的

高温ガス炉システムに関する研究開発においては、我が国のエネルギー供給の多様化及び環境負荷低減を目指し、高温ガス炉からの熱を利用した高温発電、水素製造システムに関する核熱要素技術の研究開発を行い、並行して行う実用高温ガス炉システムの設計と合せて、高温ガス炉の特徴を最大限発揮できる高温ガス炉システム技術の確立を図り、同システムの実用化に貢献することを目的とする。

高温工学に関する先端的基础研究においては、大きな照射体積を利用でき、高温環境下で均一な中性子束分布が得られる HTTR 等を用いて照射試験を実施し、基礎研究分野での新たな展開、進展を図ることとする。当部のみならず所内外の専門家による幅広い HTTR の共同利用を目指している。

2) 達成目標及び進め方

(1) 実用高温ガス炉システムの設計、核熱要素技術の研究開発（主要課題領域 1）

(i) 実用高温ガス炉システムの設計

① ガスタービン発電高温ガス炉システム

現在実施中の「ガスタービン発電システムのフィージビリティスタディ」においては、一部機器・系統の非原子炉級化及び最適化の検討を加え、3 種類の候補プラントの発電コスト算出を主とした総合評価により完成させる。それらの成果を踏まえて、平成 13 年度より、要素技術開発の成果を取り入れつつ有力プラントについて試設計を行い、その仕様の詳細化を図る。

② プロセス熱利用高温ガス炉システム

中長期的展望に立ち、内外のニーズにあった革新的なプロセス熱利用高温ガス炉システムの検討を行い、具体的提案を行うとともに、経済性の向上等に必要な革新的技術の開発課題を明確にする。

(ii) 核熱要素技術の研究開発

③ ガスタービン発電高温ガス炉システム

ヘリウムガスタービン空力特性、横置き磁気軸受ロータの回転制御特性、高温 FP フィルタ性能を明らかにするためのガスタービン要素技術試験を行う。また、将来の高性能化を目指して、ガスタービン材料開発試験を行う。

④ プロセス熱利用高温ガス炉システム

熱効率向上を目指した研究開発として、a) 新プロセスの研究開発では、発電と水素生産を同時に行うことのできる高効率複合変換技術の研究開発を行う。ここでは複合変換の機構を検討し、特殊な化学反応を用いた反応器要素を試作すること等により高効率の水素及び電力発生を目指す。b) 伝熱管性能向上技術の研究開発では、金属繊維体等を挿入する伝

行う。

熱利用系の非原子力級化のために、熱負荷変動吸収技術及び非常時の熱源としての高温蓄熱技術の研究開発を行う。本研究では大きな融解熱を有する相変化蓄熱体の高温化、高熱応答化を図り、総合性能試験を行うことにより熱利用系に適用可能であることを示す。また、高温フィン構造を用いて熱交換器のコンパクト化を目指す高温熱交換技術の研究開発を行う。

以上の研究開発の総合計画策定、調整は、核熱利用研究部が行う。この内、原子炉の要素技術開発に関しては、高温工学試験研究炉開発部が行い、同部の成果を実用高温ガス炉システムの設計に反映するとともに、原子炉系の設計では同部の成果を活用する。また、産業界のニーズ、要求を計画に反映する。さらに、国際協力の成果も利用する。

(2) HTTR水素製造システムの研究開発(主要課題領域2)

HTTR核熱利用プラントでは、水蒸気改質による水素製造システムを選定し、安全論理の構築を含む概念設計を終了した。現在、HTTRへの接続に炉外試験の準備を行っている。今後5年間では、炉外試験及び機器要素試験を終了させ、HTTR水素製造システムの製作設計・安全審査に着手する。HTTR実証試験は、平成20年度頃の開始を目指す。

(i) HTTR水素製造システムの実証試験

HTTR水素製造システム実証試験では、安全評価・設計方法の確立、運転・制御技術及び安全技術(温度・圧力境界健全性確保、可燃性ガスからの原子炉隔離技術等)を実証することを目標とし、今後5年間では、平成17年度の装置製作開始を目指す。

(ii) HTTR水素製造システムの炉外試験

平成13年度完成予定のHTTR水素製造システムの炉外試験装置を用いて、平成16年度まで試験を行い、得られたデータと計算結果とを合わせてHTTR水素製造システムの実証試験の設計・安全審査・建設に反映させる。

(iii) 機器要素試験

(iii)-1 水素透過試験

水素透過量低減のため、ハステロイXR等表面に酸化膜を設けた場合、並びに、水素/重水素を用いて金属壁内における水素と重水素の同位体対向拡散がある場合の水素透過速度を測定する。また、触媒管健全性試験結果と合わせて酸化膜の耐久性を評価する。これらの結果を水素/トリチウム透過量評価用計算コードへ反映させる。

(iii)-2 触媒管健全性試験

腐食性ガスの混合割合をパラメータとした触媒管の腐食試験を行い、触媒管の構造強度に関する設計の妥当性を確認するための腐食等に関するデータを取得する。

(iii)-3 高温遮断弁耐久性試験

弁座部分の熱疲労、時効等を調べる材料試験を行った後、平成14年度から16年度まで高温遮断弁模擬試験体による性能確認試験を行い、弁締め切り時のヘリウムガスリーク率、熱変形、弁座融着性等の性能・信頼性データを取得し、HTTR水素製造システム実証試験装置用高温遮断弁の設計・許認可に反映させ、平成17年度の製作を目途に進める。

(3) ISプロセスの研究開発(主要課題領域3)

I Sプロセスの実験室規模の48時間連続水素製造の実績を踏まえ、今後は、スケールアップ装置等を用いて、運転制御技術の確立、水素製造効率の向上等を目指すとともに高温耐食材料の開発を継続して進める。本装置等での試験、評価、材料開発試験は、平成16年度までに終了する。

(i)閉サイクルプロセスの開発

I Sプロセスの安定性を実証するとともに、実用化を見通し得る閉サイクル運転制御方法の開発を目指す。具体的には、 $0.05\text{Nm}^3\text{H}_2/\text{h}$ 規模の連続水素製造試験にて、約50サイクル（ヨウ素や硫黄の化合物がプロセス内を循環する回数）の運転における二液相分離溶液の組成変動を±1%以下に押さえることを目標とする。また、定常時の運転方法、プロセス変動時や外乱時の運転方法に関する基本データを取得する。

要素試験では、高性能反応器、流量等の計測及び制御機器、伝熱・流動に関する試験を実施して、成果を閉サイクル試験の効率的な遂行に役立てるとともにベンチ規模試験計画に反映させる。

実用システム概念構築では、プロセス解析コード開発によりプロセスの静及び動特性を明らかにして運転制御方法の開発の促進とプロセス改良を可能にし、(ii)、(iii)の成果と併せてI Sプロセスによる実用高温ガス炉システムの概念を構築する。

(ii)プロセス高効率化の研究

45%以上の水素製造の熱効率の達成を目指して、ポリヨウ化水素酸の濃縮によるヨウ化水素蒸留分離の高効率化、及び、水素分離膜を用いた膜反応器によるヨウ化水素分解の高効率化に関する研究を継続して進める。

(iii)高温耐食材料の開発

各腐食環境毎に選定した候補材料の耐食データ整備等を継続して進める。「硫酸沸騰環境」では、鉄ケイ素合金等の耐食データを整備の上、実用反応容器として機能分離型あるいは機能傾斜型容器を念頭に置いた材料・構造要素（鉄ケイ素合金の複合化技術及び繊維強化ケイ素含浸型炭化ケイ素）の開発を行う。「硫酸分解環境」では、アロイ800H、ハステロイXR等について、腐食の強度特性に及ぼす影響を明らかにするとともに、長時間腐食試験により候補材料を絞り込む。「ヨウ化水素蒸留分離環境」では、ガラスライニング材等の腐食試験、熱サイクル試験を実施し、耐食性及び力学特性（強度、熱サイクル特性、熱衝撃特性）に優れた材料を選び出す。「ヨウ化水素分解環境」では、ハステロイC276、チタン、ガラスライニング材等について水素脆化を含めた耐食データを整備するとともに、必要に応じて材料の改良・開発を行う。

(4)高温工学に関する先端的基礎研究(主要課題領域4)

これまでHTTRで照射試験を行うことが有効と思われる研究課題の摘出を行い、予備試験を実施してきた。今後は、平成14年度後半にHTTRを用いた予備照射試験開始、15年度本照射試験開始を照準に、炉外試験、他炉を用いた試験を継続して進める。併せて、さらに長期的な視野に立った先端的基礎研究も実施する。

(i)新素材・材料開発分野

SiC半導体の開発については、HTTR照射試験を行って有効性を実証する。さらに、低放

射化技術の開発を進め、民生利用を含めて実用化への見通しをつける。研究の進展に応じて、実用化（企業化）に向けた技術移転について検討する。

超伝導材料の研究については、HTTR照射試験等により、従来から進めてきた高速中性子の照射損傷効果による特性向上の技術について、最適照射条件の確立を目指す。さらに、ウランを添加して核分裂片による照射損傷効果を利用する新技術についても、JMTR 基礎照射試験等を行い、その有効性の確認、高速中性子損傷効果との比較等を行う。

複合材料の照射損傷研究では、従来からの炭素系及びSiC系複合材料の研究を継続し、物性変化予測モデルの適用性を調べて結果を総括するほか、新たに開始したジルコニア系等の超塑性セラミックス材料の照射挙動研究を進める。後者では、炉外、JMTR等の基礎実験を開始し、物性測定手法の開発、HTTR照射試験等によるスクリーニング試験、JMTRによる高照射量の照射試験等を進めることにより、研究の有望性を見極めを行う。

(ii)高温炉内計測技術開発分野

耐熱・耐放射線性光ファイバーの先端に発光用センサー（添加物入り高純度アルミナ等）を用いるシステムをHTTR照射キャプセルに接続し、その性能を実証する。さらに発光用センサー材料の開発を進めて、新たな照射誘起発光を探索する基礎実験を行う。これにより高温等に起因する消光（クエンチ）現象の問題を解決し、炉内使用可能期間を現在の1ヶ月程度から、数倍以上に延長することを目指す。また、高温・放射線下での多重計装性能の向上（応力測定技術の確立、中性子スペクトル評価等）を図る。

(iii)放射線化学・核融合分野

有機化合物等を対象とする高温放射線化学反応及びトリチウム増殖材の照射研究については、HTTRの低温熱（排熱）と放射線の同時利用、JMTRへの照射ループ設備の設置等を含めて、研究開発内容の見直しを行い、適切な研究及び利用の方向を明らかにする。以上の検討を進めつつ、予備的な基礎的研究を進める。

この研究開発は所内外の研究者を結集して行うが、核熱利用研究部が中心となって、計画の立案、実務を行う。この場合、外部の有識者、研究者を含めた「HTTR利用研究委員会」の審議、評価を受け、その結果を最大限尊重する。HTTR照射の実務は高温工学試験研究炉開発部が当該部と協力して行う。また、材料試験炉等他炉との相互照射による比較研究に関しては、材料試験炉部等の協力を得て核熱利用研究部が主体的に進める。

3. 3. 2 評価結果

3. 3. 2. 1 項目別評価

a) 部の基本的考え方 (4.0)

高温ガス炉からの熱を利用した高温発電システム及び水素製造システムに関する研究開発を行い、並行して行う実用高温ガス炉システムの設計とあわせて、高温ガス炉の特徴を最大限発揮できる高温ガス炉システム技術の確立を図ること、及び、大きな照射体積を利用でき、高温環境下で均一な中性子束分布が得られる HTTR 等を用いて照射試験を実施し、高温工学に関する先端的基礎研究分野での新たな展開、進展を図ることという目的、方向性は妥当である。ただし、こうした研究開発路線を原子力長期計画の基本的考え方に則って進めていくとしているが、今後の原子力長期計画は個別の研究開発戦略をリードするものではなく、むしろ、個別研究において研究開発主体が独自の課題と方針を設定して、そのメリットや結果の有用性に対して評価を得て投資を招くことが必要になってきていることを指摘しておきたい。

この点で例えば、ガスタービン発電システムの開発にあたっては、どの程度の容量をもつ発電システムを目指すのかを明確にしないと、経済性評価が出来ず、成果を他の発電システムと比較できない。また、原子炉水素製造システムが社会的意味を持つのは明らかに遠い将来であるから、今大事なことはいかに革新的な技術を探索するかであって、何かを実証することではない。例えば、天然ガス改質技術は大型、小型ともに多くのところで開発中であり、原子力分野では取り組む必要は未利用化石燃料、あるいは重質油を改質するといった自家熱源の確保に困難がある場合に限られよう。原理あるいは技術的なことはほとんど明らかであるから、明確な改質水素の用途がないと単に原子炉と結びつけただけになる。したがって、この活動は今後より具体的で挑戦的なもの、高い目標を目指す探索活動の基盤整備として評価すべきものである。そこで、プロセス熱利用に関しても、これらの基盤整備と並行して、どの産業でいかなる温度、形態でどの程度の量の熱利用を目指すのかなど、もっと具体的な目標を設定していく必要がある。

また、限られた研究開発資源を効果的に使用する観点から、専門的能力のネットワークをできるだけ整備して活用することが重要である。実用高温ガス炉システムの設計、ガスタービン等の核熱要素技術の開発についてはメーカ主体で研究を行い、要素技術開発、実証データ取得などの分野で原研が協力する研究開発体制の方が望ましいのではないかという意見や、原子力の本来の用途である発電用により指向したテーマ設定とし、化学的熱利用に関しては、燃料電池 (SOFC) による電力と水素の併産等の新規テーマへの取り組みとして整合化すべしという意見、先端基礎研究でも、SiC 半導体がどの分野でどの程度の実用化をするのか具体的な裏付けとなるネットワークのイメージがほしいという意見が提出されているのはこの所以である。

b-1) 実用高温ガス炉システムの設計、核熱要素技術の研究開発 (主要課題領域 1)

(i) 目的・意義 (3.9)

高温ガスタービン発電、水素製造用の高温ガス炉システムの設計を行い、これに有用な

核熱要素技術として高温ガスタービン発電、水素製造に関する研究開発を進めることは、原子炉利用分野の拡大に資する技術の可能性を探索することの重要性に鑑みれば、時宜を得ており、妥当である。

(ロ) 五カ年の研究の展望及び達成目標 (3.4)

ここでは5年後の達成目標として研究の見通しをつけるシステム研究と要素技術の開発試験をいくつか完了しているとしているのは、概ね妥当である。ただし、システム研究においては、この技術の実用化可能性は競合する技術の経済性や使いやすさ、地球温暖化問題の動向等とも関係し、市場における比較優位性の大きさに依存するとの視点を持って進められることが重要である。その結果、要素技術試験における目標設定や、課題設定において、ここで取り上げている以外にも多くの課題があると思われるし、ガスタービン発電システムの研究にしても、ここでとりあげている課題は机上設計の範囲でそれなりの成果は期待できるものであるとしても、システムの実用化という点では、産業界が中心となって進めるべき課題が少なくないと考えられる。

(ハ) 進め方(研究開発スケジュール・研究開発手法の妥当性) (3.3)

ガスタービン発電システムとプロセス熱利用システムのそれぞれのシステムについて、高温ガス炉システム設計と核熱要素技術開発というアプローチで研究開発を進めるとしている。2兎を追って一兎をも得ずとならないように注意する必要があると思われる。また、要素技術開発とシステム設計の展開への反映、対応が必ずしもクリアではないが、例えば、各要素技術の実用化システムにおけるウェイト(例えばコスト低減可能性の大小)を技術開発に伴うその技術的不確定さの縮小を考慮して評価しつつ、毎年フレキシブルに資源配分を考えるようにしても良いのではないかと考える。

高温ガス炉システムに関する研究開発の進め方として産業界の協力を得て行うとあるのは適切と考えられる。発電に関しては経済性を重視した研究開発を行う必要がある。ユーザー要求条件については電力の意見を考慮する必要がある。ガスタービン材料開発試験などはNEDOの300kW コージェネCGT等でかなりのものができている。水素製造については自動車業界等の利用者集団及びWENET等の積極的な参加を得るのもよい。

なお、研究途中で適時、成果を評価し、方向性を確認あるいは必要に応じて修正するプロセスが必要と考える。

(ニ) 予想される成果の波及効果 (3.4)

要素技術の研究開発成果が5年後に直ちに他の分野に現れることはないであろうが、ガスタービンの進歩にはインパクトを有するであろう。

また、システム設計・評価活動の成果については、公衆の実質的な安全を確保しつつ、合理化と経済性向上を達成することは今後の原子力開発の共通課題であるから、それが高温ガス炉の安全上の特徴を生かした合理化の在り方を示す成果は別として、プラントシステムの品質管理、耐震の考え方、放射線管理区域のとり方などの合理化により革新的に合

理化した原子力プラントシステムの姿が示されるならば、それは単に高温ガス炉にとどまらず、広く波及効果が期待できる。

b-2)HTTR水素製造システムの研究開発（主要課題領域 2）

(イ) 目的・意義 （3.9）

この実証試験は高温ガス炉の核熱利用実証のために長年にわたって準備されてきており、今後5年間はHTTRと水素製造システムを接続する前段階として水素製造、取扱いシステムの主要機器要素の炉外試験を行う。この活動はエネルギー供給の多様化、環境負荷低減の観点から、将来の経済的な水素製造システム実用化への貢献を目指す核熱利用の実験基盤整備に一步近づくものとして意義深い。

(ロ) 5カ年の研究の展望及び達成目標 （3.8）

システム実証試験のための炉外試験、機器要素試験を体系的に実施するもので妥当である。達成目標は内容的にもスケジュール的にもきついに思えるので、HTTRの試験運転、定常運転達成の動向と整合性をとり、研究計画のチェックアンドレビューを行いつつ、着実に実施することが肝要である。

(ハ) 進め方（研究開発スケジュール・研究開発手法） （3.9）

水素製造システムへの取り組みについては、原研としては初めての試みであるから、炉外試験を十分に行うことは実証試験を安全、着実に進める観点から妥当である。また、この実証試験を成功させるために重要な機器要素の試験を行うことも適切である。

(ニ) 予想される成果の波及効果 （3.6）

世界初めての高温核熱プロセス利用の実現のための前段階の整備活動であるが、そのプロセス自体は新しいものとは言えないから、これ自体に波及効果を期待するのは酷であろう。むしろ、担当者が実用的な水素製造の難しさを確認することが今後最も重要な意味をもつことになるであろう。

b-3)IS プロセスの研究開発（主要課題領域 3）

(イ) 目的・意義 （3.3）

IS法の研究を継続して小規模ながら連続運転できたことは重要な成果である。これを土台に、ISプロセスの閉サイクル運転制御方式を開発し、その技術的見通しを得るとともに、プロセス高効率化、所要高温耐食材料の開発を行うことは適切である。ただし、本法の研究開発継続の妥当性は常に確認しながら進めるべきであろう。

(ロ) 5カ年の研究の展望及び達成目標 （3.2）

実用化を目指す研究開発の基盤となるベンチスケール設備を実現するための課題を抽出すること、高効率化を目指してのアイデアを探索するという今後5年間の目標は適切である。

計画で考えられているように、ヨウ素、硫黄は腐食性の高い元素なので、高温耐食性材料の開発は非常に重要である。構造材として最も厳しい環境はハロゲン－水－酸素の共存する領域である。このための材料開発方針を十分詰めておく必要がある。

(ハ) 進め方（研究開発スケジュール・研究開発手法） (3.3)

目標を達成するためのアプローチとして提案されている方法は、当面は要素技術、基礎データの取得を進めることとしているが、研究開発の現状から見て、妥当と評価する。

なお、今後は、閉サイクル試験の達成など試験条件的にもシステムのにも格段と難しい段階になるが、水素の熱化学法としては、生成物の分離と効率良い熱回収が大切であるので、全体の効率を左右する熱回収、熱交換に関する研究は、ソフト面からでも良いので実施すべきであろう。そして、これらの多くの解決すべき課題について段階的、具体的目標を明確にすることを期待する。

高温耐食性材料の研究開発では他の産業での成果も調べる必要がある。また、所内の人材、設備などの研究資源を円滑に活用する方策を考えるべきであろう。大学、他の研究機関の資源も活用すべきである。高温腐食については全国的に研究者が少なくなっており、このプロジェクトが刺激となることを願う。

(ニ) 予想される成果の波及効果 (3.5)

効率良い熱交換システム、ハロゲン共存下での安定な材料が開発されれば、技術的な成果として素晴らしく、関連産業にも応用範囲は広い。勿論、実用プロセスとしての評価は、他の手段による水素製造との比較、経済性評価を踏まえるべきことは当然である。

b-4) 高温工学に関する先端的基础研究（主要課題領域 4）

(イ) 目的・意義 (4.0)

HTTRの特徴を生かして、高温での中性子照射を中心に先端的な基盤研究を展開することには意義があり、妥当である。ただし、研究課題については、HTTR照射実験の特徴を踏まえて、大きな照射体積と高温環境下で均一な中性子束分布、かつ比較的低照射量で成果が期待できるものを最優先にすべきこと、高温炉内計装技術開発の意義は高いこと、核融合分野での研究は、他にもっと適切な手段（FBR、JMTR、加速器）があること、などに留意すべきである。

(ロ) 5カ年の研究の展望及び達成目標 (3.9)

5カ年の展望として、5テーマ程度の研究課題を取り上げ、高温技術研究の場と資源を提供することは妥当である。課題の選定については、いずれも重要な研究項目であることが認められる。ただ実用指向のSiC半導体の開発から、全く未知のセラミックス超塑性までであるが、最終課題としてはHTTRでなければ、或いはHTTR向きというものに絞るべきであろう。

(ハ) 進め方（研究開発スケジュール・研究開発手法） (4.0)

テーマの選定過程、実施者が担当者として最も相応しいことの確認を含む計画の事前評価、中間評価が透明性高くなされることが肝要であるところ、このことがH T T R利用研究委員会の審議のもとに実施されているので妥当である。これを円滑に運営することを期待する。海外も含めた広い研究者の参加を計画していることも評価できる。ただし、この制度がH T T Rを用いて独自の研究を行いたい研究者の利用を妨げることにならないよう、大学共同利用などのシステムに適当なマシンタイムが提供されることも重要である。

(ニ) 予想される成果の波及効果 (3.9)

各研究項目はそれぞれ重要なものであり、その成果には波及効果が期待できる。

c) 資源配分（資金、人員） (3.1)

難しい課題を進めつつあるところ、予算人員とも十分とはいえないが、現状では提案されている資源配分は概ね妥当である。特別会計予算の比率が大きいので、増額の努力と柔軟な活用が求められる。人員では所内努力、諸制度活用による外部からの補給努力が必要である。何れも最大の難関である。

d) 原研他部門との協力・連携 (3.9)

資源の少なさを多くの関連部門と協力して進めようとする方針は妥当である。また、原研内他部門との密接な協力のもとに成立するテーマは、狭い部門で独善的になることを避ける意味でも重要である。

e) 外部機関との協力・連携 (3.7)

研究機関、大学、産業界また国内外との連携を積極的に行うとする方針は妥当である。

f) 人材養成の施策 (3.4)

提案されている方針は妥当である。原研で研究者・技術者の共同作業を推進することがうまくいけば、我が国の研究体制のいい面が出る。先ず、管理者が仕事に魅力を持ち士気に溢れていることが第一である。魅力があるところに人材は集まり育つ。士気も同様である。現状がそうではないと言うことでなく、それが本来のあり方であると考ええる。なお、現在の原子力を取り巻く状況、高温ガス炉の将来性の不確実な状況の中で、人員の確保、担当者のモラルの向上は難しいが、原子力技術は必ず見直されるとの確信を捨てずに頑張ることを期待する。

3. 3. 2. 2 その他の全般的所見

以上に記した評価項目別の評価コメントに加えて、本研究計画に関連して、専門委員より多くの共通した或いは個別の意見等が述べられた。これらを下記のようにまとめて記す。

(1) 核熱利用研究部の課題は、高温ガス炉の核熱利用とHTTRを使った照射研究で、本来2つの部に分けてやるに値するほど大きな課題である。全般的な研究推進については、予算、人員、HTTR施設の稼動状況にも左右されるとの判断は、本音であろう。強いて言えば管理者が頑張るしかないのではないかと。予算の制約上、部を2つ作ることができないためと推察するが、一方で、外部要因もあって一部を中止あるいは縮小しなければならない場合、どう対応すべきか迅速な判断ができるようにしておく必要がある。

(2) これまで開発されたあるいはこれから開発する個別の技術が、どういう理由でどのような選択枠の中から選ばれたかを明らかにし、継承することも開発そのものとともに重要と思われる。技術開発におけるある技術の選択はもっとも重要な決定であり、それを合理的に行うシステムを開発プログラムに内蔵することが望ましい。この点では今後は特に産業界(メーカ)との連携、そして、産業界とも考えを共有する必要がある。そのためにもある技術を選択した理由について十分整理の上、共有されることを希望する。

(3) もんじゅ事故、アスファルト事故、JCO 事故等で、原子力界に対する一般社会の視線は非常に厳しい。そうした環境下で原子力の研究開発を進める場合、よほど原子力の特徴、長所を出さないと、なかなか容認されない。ここで開発を進めている水素製造でも、他に水素製造方法があるのに何故原子力を利用するのかと言った疑問を抱く人も出てくる可能性がある。したがって、バックエンド分野も含めて、経済的に有利である、資源が豊富である、地球環境に有利である、等の長所が強調できるようにしておく必要がある。

例えば、水蒸気改質法による水素製造では15円/m³という期待を持ち得る水素単価を示しているが、この評価では核熱以外を天然ガスでの評価値を使っている。しかし、市場獲得となれば、民間の開発研究に原研がどこまで踏み込むか、また、原研が民間からどれだけ期待されるのかに依存するであろう。この分野での産業界への働きかけが今後も大切である。

(4) 「実用高温ガス炉システムの設計、ガスタービン発電システムの研究開発」においては、これまでの研究の知見をベースに産業界とも研究の方向性について意思疎通を図ることが重要である。高温ガス炉の実用化(先ずは発電)には経済性が重要であり、この場合、新しい高性能材料の開発よりも、現在適用されている軽水炉の安全論理が適切なものであるかの検討が重要である。特に核熱利用等の一部の非原子力級化、最適化によって安全性を損なうことなく経済性向上を図るとの目標は現在の原子力技術が目指すべき方向とも一致しており、成果に期待したい。それとともに新たな安全論理を支える実験的検証(安全性実証試験)の成果にも期待したい。また、ガスタービン発電を進めていくためには実証試験をどうするかが大きな問題であるが、これに対する展望が見られない。これに関しては、企業の積極的な参加が不可欠であるが、計画としては将来の不安要因である。

核熱利用研究部の本評価結果における各評価項目別の評価点数（評価者の平均）を表2にまとめて示す。

表2 核熱利用研究部の研究開発課題の事前評価の結果

評価項目	評価結果
a) 部の基本的考え方	4.0
b-1) 実用高温ガス炉システムの設計、核熱要素技術の研究開発 (主要課題領域 1)	
(イ) 目的・意義	3.9
(ロ) 5カ年研究の展望及び達成目標	3.4
(ハ) 進め方（研究開発スケジュール・研究開発手法）	3.3
(ニ) 予想される成果の波及効果	3.4
b-2) H T T R 水素製造システムの研究開発（主要課題領域 2）	
(イ) 目的・意義	3.9
(ロ) 5カ年の研究の展望及び達成目標	3.8
(ハ) 進め方（研究開発スケジュール・研究開発手法）	3.9
(ニ) 予想される成果の波及効果	3.6
b-3) IS プロセスの研究開発（主要課題領域 3）	
(イ) 目的・意義	3.3
(ロ) 5カ年の研究の展望及び達成目標	3.2
(ハ) 進め方（研究開発スケジュール・研究開発手法）	3.3
(ニ) 予想される成果の波及効果	3.5
b-4) 高温工学に関する先端的基礎研究（主要課題領域 4）	
(イ) 目的・意義	4.0
(ロ) 5カ年の研究の展望及び達成目標	3.9
(ハ) 進め方（研究開発スケジュール・研究開発手法）	4.0
(ニ) 予想される成果の波及効果	3.9
c) 資源配分（予算、人員等）	3.1
d) 原研他部門との協力・連携	3.9
e) 外部機関との協力・連携	3.7
f) 人材養成の施策	3.4

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位 による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ	b
バール	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1 5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} (\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2) = 10 \text{ P (ポアズ)} (\text{g} / (\text{cm} \cdot \text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2 / \text{s} = 10^4 \text{ St (ストークス)} (\text{cm}^2 / \text{s})$$

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1

$$1 \text{ cal} = 4.18605 \text{ J (計量法)}$$

$$= 4.184 \text{ J (熱化学)}$$

$$= 4.1855 \text{ J (15 °C)}$$

$$= 4.1868 \text{ J (国際蒸気表)}$$

$$\text{仕事率 } 1 \text{ PS (仏馬力)}$$

$$= 75 \text{ kgf} \cdot \text{m/s}$$

$$= 735.499 \text{ W}$$

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

