

HTTR（高温工学試験研究炉）の 試験・運転と技術開発 （2018年度）

Operation, Test, Research and Development of
the High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)
(FY2018)

（編）高温工学試験研究炉部

(Ed.) Department of HTTR

高速炉・新型炉研究開発部門

大洗研究所

高温ガス炉研究開発センター

HTGR Research and Development Center

Oarai Research and Development Institute

Sector of Fast Reactor and Advanced Research and Development

March 2020

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

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。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<https://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒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.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
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, 2020

HTTR（高温工学試験研究炉）の試験・運転と技術開発
(2018 年度)

日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門
大洗研究所 高温ガス炉研究開発センター
(編) 高温工学試験研究炉部

(2019 年 12 月 20 日受理)

HTTR（高温工学試験研究炉）は、黒鉛減速ヘリウムガス冷却型、熱出力 30MW、原子炉出口冷却材温度 950°Cの日本原子力研究開発機構大洗研究所で建設された我が国初の高温ガス炉である。

HTTR の目的は高温ガス炉技術の基盤の確立及び高度化のための試験研究であり、現在まで、定常運転、安全性実証試験、長期連続運転、高温ガス炉の研究開発に関する各種実証試験を実施しており、高温ガス炉の運転・保守経験を蓄積している。2018 年度は、昨年度に引き続き、2013 年 12 月に施行された試験研究用等原子炉施設に対する新規制基準への適合確認のための原子炉設置変更許可申請に対する審査対応等を行い、2011 年東北地方太平洋沖地震以来運転停止している HTTR の運転再開に向けての活動を継続している。

本報告書は、2018 年度に実施された新規制基準への対応、HTTR の運転・保守管理状況、及び、実用高温ガス炉に向けた研究開発、高温ガス炉関係の国際協力の状況等についてまとめたものである。

Operation, Test, Research and Development of
the High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)
(FY2018)

(Ed.) Department of HTTR

HTGR Research and Development Center
Oarai Research and Development Institute
Sector of Fast Reactor and Advanced Research and Development
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received December 20, 2019)

The High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR), a graphite-moderated and helium gas-cooled reactor being able to get 950 °C temperature of the outlet coolant with 30MW of thermal power, constructed at the Oarai Research and Development Institute of the Japan Atomic Energy Agency is the first High-Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) in Japan.

The purpose of the HTTR is to establish and upgrade basic technologies for HTGRs. The HTTR has accumulated a lot of experience of HTGRs' operation and maintenance up to the present time throughout rated power operations, safety demonstration tests, long-term high temperature operations and demonstration tests relevant to HTGRs' R&Ds. In the fiscal year 2018, we made effort to pass the inspection of application document for the HTTR licensing to prove conformity with the new regulatory requirements for research reactors that took effect since December 2013 in order to restart operations of the HTTR that stopped since the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

This report summarizes the activities carried out in the 2018 fiscal year, which were the situation of the new regulatory requirements screening of the HTTR, the operation and maintenance of the HTTR, R&Ds relevant to commercial-scale HTGRs, the international cooperation on HTGRs and so on.

Keywords: HTGR, HTTR, Operation, Test, Maintenance, New Regulatory Requirements for Research Reactors

目 次

1. 概要	1
1.1 運転・保守・放射線管理の状況	3
1.2 技術開発等の状況	4
1.3 品質保証活動の状況	4
1.4 高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発の状況	4
2. 運転・保守	7
2.1 原子炉の運転管理	9
2.2 動的機器健全性確認運転（コールド試験）	9
2.3 装置・設備の保守管理	11
2.4 非常用発電機ガスタービンエンジンの分解点検	11
2.5 換気空調設備自動制御装置の更新	16
3. 試験研究用等原子炉施設の新規制基準への対応	19
3.1 概要	21
3.2 新規制基準適合に係る設計及び工事の方法の認可申請の内容	21
3.3 新規制基準適合に係る原子炉施設保安規定の変更認可申請の内容	23
4. 放射線管理	31
4.1 放射線作業時の管理	33
4.2 個人被ばく管理	33
4.3 排気及び排水の管理	33
4.4 放射線管理設備に係る保守管理	33
5. 技術開発	37
5.1 黒鉛ブロックからの反跳トリチウムの計算	39
5.2 HTTR 炉心を用いた原子力電池に関する予備的検討	41
6. 人材育成	43
6.1 人材育成の実績	45
7. 品質保証活動の実施状況	47
7.1 概要	49
7.2 品質保証活動の実績	49

8. 所外の専門部会等での審議	63
8.1 高温ガス炉産学官協議会	65
8.2 高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会	65
9. 実用高温ガス炉に向けた取組み	67
9.1 安全要件の国際標準案作成、安全要件の適用性確認	69
9.2 高燃焼度化・高出力密度化のための燃料要素開発	70
9.3 ヘリウムガスタービン軸封システム要素試験装置の設計	71
9.4 硫酸分解器の概念設計	71
9.5 ガスタービンへの核分裂生成物の沈着低減技術の開発	72
10. 高温ガス炉開発に関する国際協力	75
10.1 ポーランドとの国際協力.....	77
10.2 米国との国際協力.....	77
10.3 英国との国際協力.....	78
10.4 国際原子力機関（IAEA）を通じた国際協力.....	78
10.5 第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF）を通じた国際協力.....	78
10.6 OECD/NEA を通じた国際協力.....	79
10.7 韓国との国際協力.....	80
10.8 中国との国際協力.....	80
10.9 カザフスタンとの国際協力.....	80
11. あとがき.....	81
参考文献	81
付録	83
付録1 2018年度高温工学試験研究関連研究発表.....	85
付録2 2018年度高温工学試験研究関係主要事項.....	86
付録3 2018年度高温工学試験研究関連審査会合及び審査ヒアリング開催履歴.....	92

Contents

1. Outline of Activities	1
1.1 Activities of Operation, Maintenance and Radiation Control	3
1.2 Activities of Research and Development	4
1.3 Activities of Quality Assurance	4
1.4 Activities of Research and Development on HTGR and Related Heat Application Technology	4
2. Operation and Maintenance	7
2.1 Operation of HTTR	9
2.2 Maintenance Operation for HTTRs' Cooling System Integrity (Non-nuclear Heating Test)	9
2.3 Maintenance of HTTR	11
2.4 Overhaul Work of Gas Turbine Generators Feeding Emergency Power	11
2.5 Updating of Automatic Controller of Ventilation and Air Conditioning System	16
3. Conformity with New Regulatory Requirements for Research Reactors	19
3.1 Outline	21
3.2 Approval of the Design and Construction Method on New Regulatory Requirements	21
3.3 Application for Approval for Changes of the HTTR's Operational Safety program on New Regulatory Requirements	23
4. Radiation Control	31
4.1 Radiation Monitoring and Control	33
4.2 Control of Personal Exposure	33
4.3 Monitoring of Exhaust Gas and Drainage	33
4.4 Maintenance of Radiation Monitoring System	33
5. Research and Development	37
5.1 Calculation of Tritium Recoil from Graphite Block	39
5.2 Feasibility Study on Nuclear Battery using HTTR Core	41
6. Human Resource Development	43
6.1 Performance of Human Resource Development	45
7. Activities of Quality Assurance System	47
7.1 Outline	49
7.2 Performance of Quality Assurance System	49

8. Deliberations in Specialist’s Committees	63
8.1 High-temperature Gas-cooled Reactor Industry, Academia and Government Councils	65
8.2 Evaluation Committee of Research Activities for High Temperature Gas-cooled Reactor and Related Hydrogen Production Technology	65
9. Development for Commercial-scale High-temperature Gas-cooled Reactor	67
9.1 Outline	69
9.2 Development for High Burn-up and High Output Density Fuel Elements	70
9.3 Basic Design of Testing Device for Shaft Seal System of Helium-gas Turbine	71
9.4 Conceptual Design of Sulfuric Acid Decomposition Section	71
9.5 Development for Technique of Reducing FP plate-out to Gas Turbine	72
10. International Cooperation on HTGR Development	75
10.1 Poland	77
10.2 U.S.A	77
10.3 England	78
10.4 International Atomic Energy Agency (IAEA)	78
10.5 Generation IV International Forum (GIF)	78
10.6 OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA)	79
10.7 Korea	80
10.8 China	80
10.9 Kazakhstan	80
11. Postscript	81
References	81
Appendixes	83
Appendix 1 Publication and Presentations on High Temperature Engineering Research in 2018	85
Appendix 2 Essential Particular on High Temperature Engineering Research in 2018	86
Appendix 3 Information of the Examination Meeting and Hearing of the NRA in 2018	92

1. 概要

Outline of Activities

This is a blank page.

高温工学試験研究炉（HTTR：High Temperature engineering Test Reactor）は、日本初の高温ガス炉として、日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構という。）が大洗研究所（茨城県大洗町）に建設した原子炉熱出力 30MW、最高原子炉出口冷却材温度 950°Cの原子炉である。HTTR は 1991 年から建設を開始し、1998 年 11 月 10 日に初臨界、2001 年 12 月に原子炉出口冷却材温度 850°C、2004 年 4 月に原子炉出口冷却材温度 950°Cを達成した。表 1.1 に HTTR の建設から現在までの軌跡を示す。

高温ガス炉は、炉心の主な構成材兼減速材に耐熱性の高い黒鉛を用い、冷却材に化学反応性の低いヘリウムガスを用いた原子炉である。高温ガス炉の燃料に用いられている被覆燃料粒子はきわめて耐熱性が高く、冷却材温度として 1000°C程度の高温を取り出せる。安全性については、燃料、構成材、冷却材等の性能及び炉心特性と相まって、配管が破損して冷却材のヘリウムガスがなくなるような冷却材喪失事故等においても炉心熔融事故の生じない極めて高い安全性を有する原子炉である。

HTTR の目的は高温ガス炉技術の開発に加え、高温の冷却材温度を利用した原子力の多目的利用の一つである熱利用水素製造技術の開発である。震災の影響により原子炉の運転を停止しているが、高温ガス炉の実用化を目指したデータ取得のための長期連続運転、優れた安全性を実証するための安全性実証試験等を進める計画である。

1.1 運転・保守・放射線管理の状況

HTTR は、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震以降から運転を停止している。原子炉施設の状況については震災直後に点検等を実施し、異常のないことを確認しているが、震災後の 2013 年 12 月 18 日に施行された試験研究用等原子炉施設に対する新規制基準の適合性確認する必要があるため、原子力規制委員会の許認可を得るまで施設定期検査を継続して原子炉施設の保守管理を実施している。

保守管理の一環として、動的機器の健全性確認及び運転員の力量向上を目的として原子炉を起動しない状態での動的機器健全性確認運転（コールド試験）及び、若手運転員及び訓練員による設備点検の技能向上のために動的機器の振動測定及びガス循環機等のシールオイル補給作業を実施した。

2018 年度に実施した主要な機器の製作、工事は、非常用発電機ガスタービンエンジンの分解点検、換気空調設備自動制御装置の更新である。保守管理の詳細については第 2 章に示す。

1.1.1 運転再開に向けた検討

HTTR は、2011 年 3 月 11 日の震災後の 2013 年 12 月 18 日に施行された試験研究用等原子炉施設に対する新規制基準の適合性確認のため、2014 年 11 月 26 日に原子炉設置変更許可申請を実施している。2018 年度は、昨年度に引き続き 2014 年度に申請した原子炉設置変更許可申請等について、原子力規制委員による新規制基準適合性に係る審査を継続して受けており、HTTR の運転再開に向けた活動を継続して実施している。

詳細については第 3 章に示す。

1.1.2 放射線管理の状況

2018年度は、原子炉停止中の機能維持に係る定期検査等が主な作業であり、2011年から継続している施設定期自主検査に係る作業、原子炉冷却系統施設等安全弁の取付・取外及びラプチャーディスクの定期交換作業が行われた。これらの作業を含め作業中の放射線管理、個人被ばく管理並びにHTTR施設における排気及び排水の管理等において、放射線管理上問題となる事象はなかった。HTTRにおける2018年度の放射線管理の状況を第4章に示す。

1.2 技術開発等の状況

将来の核融合原型炉に必要なトリチウムの高温ガス炉での製造のために、HTTRでの照射試験が検討されているが、その際あらかじめトリチウム挙動の把握が必要である。2018年度はHTTRにおけるトリチウム放出源の一つとされている黒鉛中のLi不純物に関してトリチウムの反跳放出について検討した(5.1黒鉛ブロックからの反跳トリチウムの計算)。また、2018年度の夏期休暇実習のテーマとして、高温ガス炉の幅広い利用の可能性を示す熱電変換素子等を用いた原子力電池に関する予備検討を優れた安全性を有するHTTRの炉心をベースに実施した(5.2HTTR炉心を用いた原子力電池に関する予備的検討)。

2018年度に実施した主要な技術開発の詳細については第5章に示す。

1.2.1 人材育成

原子力機構の「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の平成30年度の業務運営に関する計画(年度計画)」において、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こととしている。2018年度の人材育成の活動の詳細については第6章に示す。

1.3 品質保証活動の状況

HTTRにおける品質保証活動は、原子力施設の安全を達成・維持・向上することを目的として、大洗研究所(北地区)の保安規定に基づき実施している。具体的にはJEAC4111を参考に原子力機構において確立された品質マネジメントシステムに基づき、保安活動を実施し、評価確認し、継続的に改善することによりHTTR原子炉施設及び核燃料物質使用施設等の保安活動の維持・向上を図っている。HTTRにおける2018年度の品質保証活動の詳細については第7章に示す。

1.4 高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発の状況

高温ガスを利用した水素製造技術については、2018年7月3日に閣議決定されたエネルギー基本計画の取り組むべき課題とされており、水素製造や熱利用といった多様な社会的要請の高まりも見据えた原子力関連技術のイノベーションを促進するという観点から、水素製造を含めた多様な産業利用が見込まれ固有の安全性を有する高温ガス炉について安全性の高度化に貢献する技術開発を、海外市場の動向を見据えつつ国際協力の下で推進することが明記されている。

1.4.1 所外の専門部会等での審議

文部科学省の「高温ガス炉技術研究開発作業部会」の中間取りまとめを受け、産学官で国の政策に提言することを目的にした「高温ガス炉産学官協議会」の2018年度の活動及び原子力機構における今後の高温ガス炉及び水素製造技術の研究開発の在り方について評価する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」による2018年度の研究成果の進捗状況の評価結果については第8章に示す。

1.4.2 実用高温ガス炉に向けた取組み

HTTRの試験データや開発した燃料等の要素技術に基づき、実用化を目指した高温ガス炉の研究開発を進めている。また、HTTRの接続試験を見据えたヘリウムガスタービン技術や水素製造技術の研究開発を進めている。

高温ガス炉の安全基準の国際標準化を目指し、国際原子力機関（IAEA）協力研究計画（CRP）において、実用高温ガス炉システム安全要件の国際標準案の作成及び設計・評価による安全要件の適用性確認を行った（9.1 安全要件の国際標準案作成、安全要件の適用性確認）。

実用高温ガス炉燃料に求められる高燃焼度化（最高160GWd/t）及び高出力密度化（6MW/m³）に向けた基盤技術の確立のため、海外の照射データ等を活用し、100GWd/t照射データを用いて評価した（9.2 高燃焼度化・高出力密度化のための燃料要素開発）。

実用高温ガス炉の軸封システムの性能確認に向けた要素試験項目及び試験条件の検討及び要素試験装置の設計を行った（9.3 ヘリウムガスタービン軸封システム要素試験装置の設計）。

熱化学法ISプロセスによる実用水素製造システムにおける低コスト化を期待し、耐食性新規合金を適用した硫酸分解器の概念設計を行った（9.4 硫酸分解器の概念設計）。

それぞれの詳細については第9章に示す。

1.4.3 高温ガス炉開発に関する国際協力

原子力機構では、HTTRの建設・運転を通じて培った高温ガス炉技術を基にした国際協力を推進している。

原子力機構は、ポーランドにおける高温ガス炉（実験炉及び商用炉）開発を支援すると共に高温ガス炉技術の研究開発を共同実施することを目的とした高温ガス炉技術分野における研究協力覚書（期間：2017年5月18日～2022年5月17日）をポーランド国立原子力研究センター（NCBJ）との間で締結している。覚書締結後、NCBJと定期的な技術会合として2018年度には計4回の技術会合を行った。また、人材育成の一環として、第1回高温ガス炉セミナーを2019年1月にポーランドで開催し、NCBJの研究員、民間企業の技術者及び学生等、2日間で延べ200名以上が参加した。

また、その他の高温ガス炉開発に関する国際協力として、米国との国際協力、英国との国際協力、国際原子力機関（IAEA）を通じた国際協力、第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF）を通じた国際協力、OECD/NEAを通じた国際協力、韓国との国際協力、中国との国際協力、カザフスタンとの国際協力を実施している。詳細については第10章に示す。

表 1.1 高温工学試験研究炉（HTTR）の軌跡

1989.2	原子炉設置許可申請
1990.11	原子炉設置許可
1991～1997	建設
1997.9.5	原子炉施設保安規定の認可
1998.11.10	初臨界
1999.11	出力上昇試験開始
2001.12.7	定格出力 30MW、原子炉出口冷却材温度 850°C達成
2002.3.6	使用前検査合格証取得（30MW、850°C）
2002.6	安全性実証試験（第 1 期）の開始
2004.4.19	定格出力 30MW、原子炉出口冷却材温度 950°C達成
2004.6.24	使用前検査合格証取得（30MW、950°C）
2005.10.1～	第 1 期中期計画*1 開始（2005.10 日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構が統合され、日本原子力研究開発機構が設立）
2006	JEAC4111 に準拠した品質保証活動及び環境管理活動の開始
2006.9.27	原子炉設置変更許可（HTTR 原子炉保護設備等の改造）
2007.3.27～4.26	定格 30 日連続運転の達成
2007.7	定期的な評価*2 の実施
2010.1.22～3.13	高温 50 日連続運転の達成
2010.4.1～	第 2 期中期計画*1 開始
2010.12.22	安全性実証試験（第 2 期）の開始
2011.2.1～	第 5 回施設定期検査
2013.12.18	試験研究用等原子炉施設に関する新規制基準施行
2014.11.26	新規制基準適応に係る原子炉設置変更許可申請
2015.4.1～	第 3 期中期計画*3 開始（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構に名称変更）
2017.8	定期的な評価（第 2 回）*2 の実施
2018.4.1	原子力機構組織改正（高温ガス炉研究開発センターの設置、大洗研究所への名称変更等）
2018.12.25	廃止措置実施方針の公開*4

*1：独立行政法人通則法に基づく中期目標を達成するための計画

*2：試験炉規則に基づく運転開始から 10 年を超えない期間毎に行う保安活動等に関する評価

*3：独立行政法人通則法（平成二六年六月十三日改正）に基づく中期目標を達成するための計画

*4：原子炉等規制法改正により 2019 年 1 月 1 日までに公表が義務付けられた廃止措置実施方針

2. 運転・保守

Operation and Maintenance

This is a blank page.

2.1 原子炉の運転管理

2018年度は、2013年12月に施行された試験研究用等原子炉施設に対する新規規制基準への適合確認に係る審査が継続中であったことから原子炉運転は行わなかった。

2.2 動的機器健全性確認運転（コールド試験）

2.2.1 概要

原子炉を起動しない状態での動的機器の健全性確認及び運転員の力量向上を目的として、2019年3月11日から3月20日にかけて、動的機器健全性確認運転（コールド試験）を実施した。

本年度の動的機器健全性確認運転（コールド試験）は、2017年度の実績と課題を踏まえ、ヘリウム系ガス循環機、水系循環ポンプの振動特性基礎データを取得・整理し、動的機器の健全性を確認した。また、原子炉運転時に必要となる操作について、若手運転員及び訓練員の実践教育も同時に行うことで、運転技術の向上に主眼を置いて行った。

試験は、1次系圧力約0.9 MPaにおいて、補助ヘリウム循環機、ヘリウム純化設備、ヘリウムサンプリング設備、加圧水冷却設備、補助冷却設備及び炉容器冷却設備を起動し、動的機器の振動測定に加え、実機を用いたガス循環機等のシールオイル補給作業を行い、運転技術の向上及びそれらの健全性を確認した。

2.2.2 動的機器の振動測定及びガス循環機等のシールオイル補給作業

若手運転員及び訓練員による設備点検の技能向上のため、2019年3月に実施したコールド試験において、1次ヘリウム純化設備、1次ヘリウムサンプリング設備、加圧水冷却設備、補助冷却設備及び炉容器冷却設備の振動測定を実施した。振動測定結果の一例として、1次ヘリウム純化設備に設置されているガス循環機の電動機部分の振動測定データを図2.2.1に示す。今回取得した振動データは、設備が正常に機能している場合に相当するものであることから、今後の点検時と比較することによって、設備の異常の有無を確認することができる。また、原子炉運転時に必要な操作として、シールオイル補給作業の実践教育を実施した。シールオイル補給作業時の様子を図2.2.2に示す。

シールオイル補給作業は、原子炉運転で重要な操作となるため、シールオイル補給機の取扱いや、操作方法について実践教育をすることで、迅速な補給対応が可能である。

今回の振動測定及びシールオイル補給作業には、12人の訓練員が参加し、測定器の取扱いや測定方法、補給機の取扱い、操作方法を習得することにより、訓練員の技能の向上につながった。

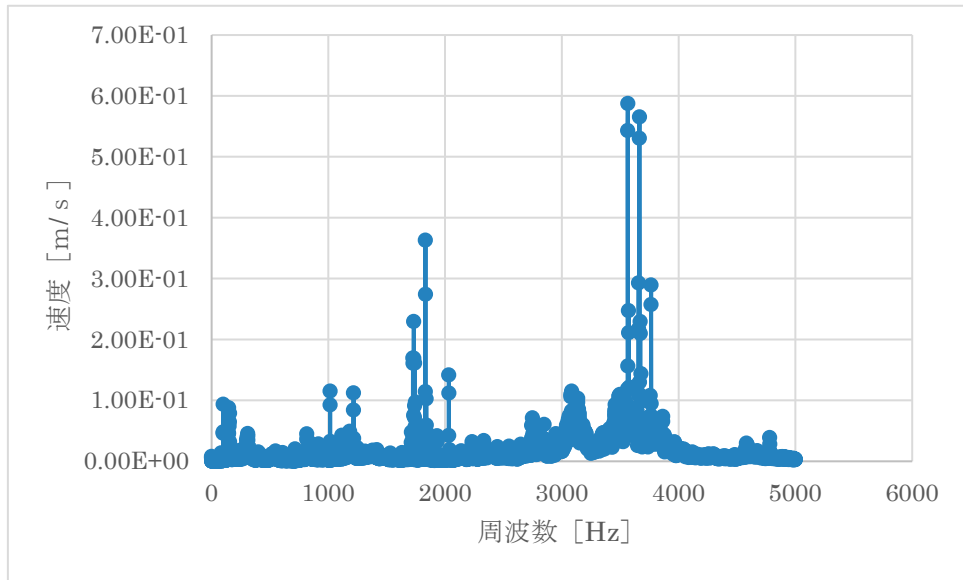


図 2.2.1 振動測定結果 (例)



図 2.2.2 シールオイル補給作業中の様子

2.3 装置・設備の保守管理

2.3.1 施設定期検査

HTTR は、2011 年 2 月より第 5 回施設定期検査を実施しているが、東北地方太平洋沖地震の影響による設備・機器の点検作業及び新規規制基準への適合確認のための審査が継続していることに伴い、施設定期検査が継続している。このため本年度においても昨年度と同様に、原子炉停止中において継続的に機能が維持されていなければならない施設の検査について受検することとなった。

第 5 回施設定期検査計画書（2010 年 12 月 20 日初版策定）及び要領書（2010 年 12 月 27 日初版策定）については、東北地方太平洋沖地震に伴い、従来、書類検査（又は一部書類検査）で実施していた一部の検査項目について、原則として立会検査とする改定（2011 年 11 月 16 日改定 4）が行われた。その後、立会区分の変更後に検査を受検した項目については、従前の立会区分に戻す改定（2012 年 11 月 5 日改定 5）が行われた。

本年度は昨年度と同じく、機能維持に係る施設定期検査を 2018 年 10 月 30 日、2018 年 11 月 16 日及び 2018 年 11 月 30 日にそれぞれ受検し合格した。

2.3.2 施設定期自主検査

(1) 原子炉施設保安規定に基づく施設定期自主検査

HTTR では、原子炉施設保安規定に基づく HTTR 本体施設等施設定期自主検査を 2011 年 2 月 1 日から実施している。本年度は、新規規制基準施行に伴い、適合確認のための審査が継続していることから、施設定期自主検査期間を延長することにした。このため、原子炉長期停止中においても、保安に直接関連を有する設備及び計器について、施設定期自主検査を実施し所定の性能を満足していることを確認した。

(2) 核燃料物質使用施設等保安規定に基づく施設定期自主検査

核燃料物質使用施設等に係る施設定期自主検査（放射線測定器を含む。）を 2018 年 5 月 22 日から 2019 年 3 月 28 日の期間で実施し、保安に直接関連を有する設備及び計器について、所定の性能を満足していることを確認した。

2.4 非常用発電機ガスタービンエンジンの分解点検

2.4.1 概要

HTTR は、炉心の出力密度が小さく、炉心構成要素及び炉内構造物の熱容量が大きいため、全交流動力電源が長時間喪失した場合であっても、炉心、炉内構造物及び原子炉冷却材圧力バウンダリの温度上昇並びに 1 次冷却材の圧力上昇が緩慢であり、かつ、変化が小さいという高温ガス炉固有の安全性を有しているため、商用電源が喪失した場合等の非常用発電機の起動時間に対する規制上の制約が軽水炉に比べて厳しくない。このため、HTTR では、通常の原子炉施設で採用されているディーゼル発電機よりも小型・軽量であり、冷却水が不要等の利点を有しているガスタービン発電機を採用している。図 2.4.1 にガスタービンエンジンの構造図を示す。HTTR の非常用発電機は、商用電源の喪失時等で非常用低圧母線電圧が低下した場

合に原子炉を安全に停止するために必要な負荷へ電源を供給するものであり、多重性を考慮して必要な容量の発電機2台(A号機及びB号機)をHTTRの安全設計方針に従い原子炉建家内の独立した場所に設け、各々の非常用低圧母線に接続している。

分解点検はこれまでに2007年度にB号機、2008年度にA号機を実施している^りが、B号機については分解点検実施の目安となる等価運転時間の1000時間に到達していたことと、2017年度の定期点検時においてボアスコープにより内部を確認した結果、B号機の1段タービンノズルに26箇所のクラック(0.5~4.1mm)が確認された。現状で継続運用は可能とメーカーにより判断されたものの、2018年度にガスタービンエンジンの分解点検を計画・実施することとした。

2.4.2 分解点検

ガスタービンの分解点検については、分解点検の対象部品40品目について、外観検査、寸法検査、磁粉探傷検査、蛍光浸透探傷検査、流量検査の中から必要とする検査を実施した。交換部品の選定については、分解点検の結果から、再使用可能な部品、修理により再使用可能な部品、再使用不可能な部品及び分解点検時に計画的に交換する部品を選定した。

分解点検の工程を以下に示す。なお、ガスタービンエンジンはツインエンジンであるため、分解点検を実施するエンジンはNo.1エンジン及びNo.2エンジン(以下、「両エンジン」という。)の2台となる。

- i. 2018年7月31日：ガスタービンエンジン取外し・HTTRから搬出
- ii. 2018年8月1日：メーカー工場へガスタービンエンジンを搬入
- iii. 2018年8月1日~9月21日：分解点検実施
- iv. 2018年7月30日：分解状況の立会を実施
- v. 2018年9月14日、9月21日：工場での運転試験立会検査を実施
- vi. 2018年9月28日：ガスタービンエンジンをメーカー工場から搬出
- vii. 2018年10月1日~10月2日：ガスタービンエンジンをHTTRへ搬入取付け・試運転

2007年度の分解点検において、B号機の空気圧縮機部分である1段インペラ及び2段インペラについては、HTTRが海に近いこともあり、塩害による腐食が発生していたため、船用として実績・信頼性が高いサーメタルコーティングされた部品に改良し、燃焼器ライナについては、HTTRでの運用上、非常用発電機としては起動回数に対して運転時間が長いという特徴から、スカート部に燃焼による焼損が確認されていたため、耐運転時間性に優れたセラミックコーティングされた部品に改良し、それぞれの部品の寿命を高める改善策を図っている。当該部品について分解点検を実施したところ、両エンジンの1段インペラ前縁にサーメタルコーティングの剥離が確認され、更に翼部に腐食が確認されたことから、修理による再使用は不可と判断し、当該部品を交換することとした。サーメタルコーティングの剥離の原因については、給気ダクト内の錆がエンジン内に吸い込まれ、1段インペラ前縁に接触したことによるものと推測した。サーメタルコーティングの剥離が起らなかった場合は、腐食部を修理することにより再使用できた可能性が高いことから、サーメタルコーティングされた部品に改良した成果は得られていると評価した。両エンジンの2段インペラに関しては異常は確認され

なかったものの、計画交換部品に設定されているため交換した。2 段インペラは 2007 年度の分解点検において、流路部腐食のため交換と判断していたことから、サーメタルコーティングされた部品に改良した成果は得られていると評価した。両エンジンの燃焼器ライナについては、スクロール嵌め合い部にフレッティング摩耗が確認されたものの、軽微なため No.1 エンジンの燃焼器ライナについては現状のまま使用可能と判断し、No.2 エンジンの燃焼器ライナについては修理により再使用可能と判断した。2007 年度の分解点検において、両エンジンの燃焼器ライナはフレッティング摩耗及び焼損が確認されたため交換と判断していたが、セラミックコーティングされた部品に改良したことにより、耐久性が向上したものと評価した。

上記部品以外の分解点検対象品目についても、適宜分解点検を実施し、その結果から部品修理、部品交換を選定した。表 2.4.1 に 2018 年度分解点検結果を示す。

ガスタービンエンジンの組立て後、工場において試運転を実施し、振動・燃焼温度・燃費等に異常のないことを確認し、HTTR へ搬入した。搬入後試運転を実施し異常のないことを確認した。

2.4.3 今後の計画

A 号機については 2018 年度の定期点検において、メーカー判断で設備運用の継続は可能と判断されているものの、等価運転時間が 1000 時間を超えて(2018 年 10 月 11 日時点で 1,076 時間) あり、1 段タービンノズルのクラックに進行 (No.1 エンジンで 1.5~10mm のクラックが 30 箇所、No.2 エンジンで 4~8mm のクラックが 5 箇所) が確認されたことから、2019 年度に A 号機の分解点検を計画する。

表 2.4.1 2018 年度分解点検結果

No	部品名称	No.1 エンジン	No.2 エンジン
		分解点検の判定	分解点検の判定
1	メインシャフト	③	②
2	1 段インペラ	③	③
3	2 段インペラ	④	④
4	カップリングロータ	②	②
5	1 段タービンプレード	④	④
6	2 段タービンプレード	①	①
7	3 段タービンプレード	①	①
8	1 段タービンディスク	①	①
9	2 段タービンディスク	①	①
10	3 段タービンディスク	③	③
11	No.2 ベアリングシャフト	②	②
12	インレットハウジング	②	②
13	ベルマウス	②	②
14	クロスオーバーダクト	①	①
15	2 段ディフューザー	④	④
16	2 段シュラウド	②	②
17	コンプレッサーリヤシール	②	②
18	中間ハウジング	②	②
19	メインハウジング	②	②
20	コンバスターケース	②	②
21	燃焼器ライナ	①	②
22	スクロール	③	②
23	ディフレクタ	③	②
24	1 段タービンノズル	④	④
25	2 段タービンノズル	④	④
26	3 段タービンノズル	②	②
27	タービンノズルサポート	②	②
28	2 段タービンシール	①	①
29	3 段タービンシール	①	①
30	1 段タービンロータシュラウド	④	④
31	2 段タービンロータシュラウド	④	④
32	排気ディフューザ	④	④
33	No.1 ベアリングハウジング	①	③
34	No.2 ベアリングハウジング	①	③
35	No.2 ベアリングカバー	①	①
36	No.1 ベアリング	④	①
37	No.2 ベアリング	④	①
38	アダプタープレート	①	①
39	1 段ノズルバップル	①	③
40	燃料ノズル	③	③

【判定の区分】

- ①：再使用可能な部品 ②：修理して再使用可能な部品
 ③：再使用不可能な部品 ④：計画的に交換する部品

No	部品名称
1	メインシャフト
2	1段インペラ
3	2段インペラ
4	カップリングロータ
5	1段タービンブレード
6	2段タービンブレード
7	3段タービンブレード
8	1段タービンディスク
9	2段タービンディスク
10	3段タービンディスク
11	No.2ベアリングシャフト
12	インレットハウジング
13	ベルマウス
14	クロスオーバーダクト
15	2段ディフューザ
16	2段シュラウド
17	コンプレッサリヤシール
18	中間ハウジング
19	メインハウジング
20	コンバスターケース
21	燃焼器ライナ
22	スクロール
23	ディフレクタ
24	1段タービンノズル
25	2段タービンノズル
26	3段タービンノズル
27	タービンノズルサポート
28	2段タービンシール
29	3段タービンシール
30	1段タービンロータシュラウド
31	2段タービンロータシュラウド
32	排気ディフューザ
33	No.1ベアリングハウジング
34	No.2ベアリングハウジング
35	No.2ベアリングカバ
36	No.1ベアリング
37	No.2ベアリング
38	アダプタープレート
39	1段ノズルバツフル
40	燃料ノズル

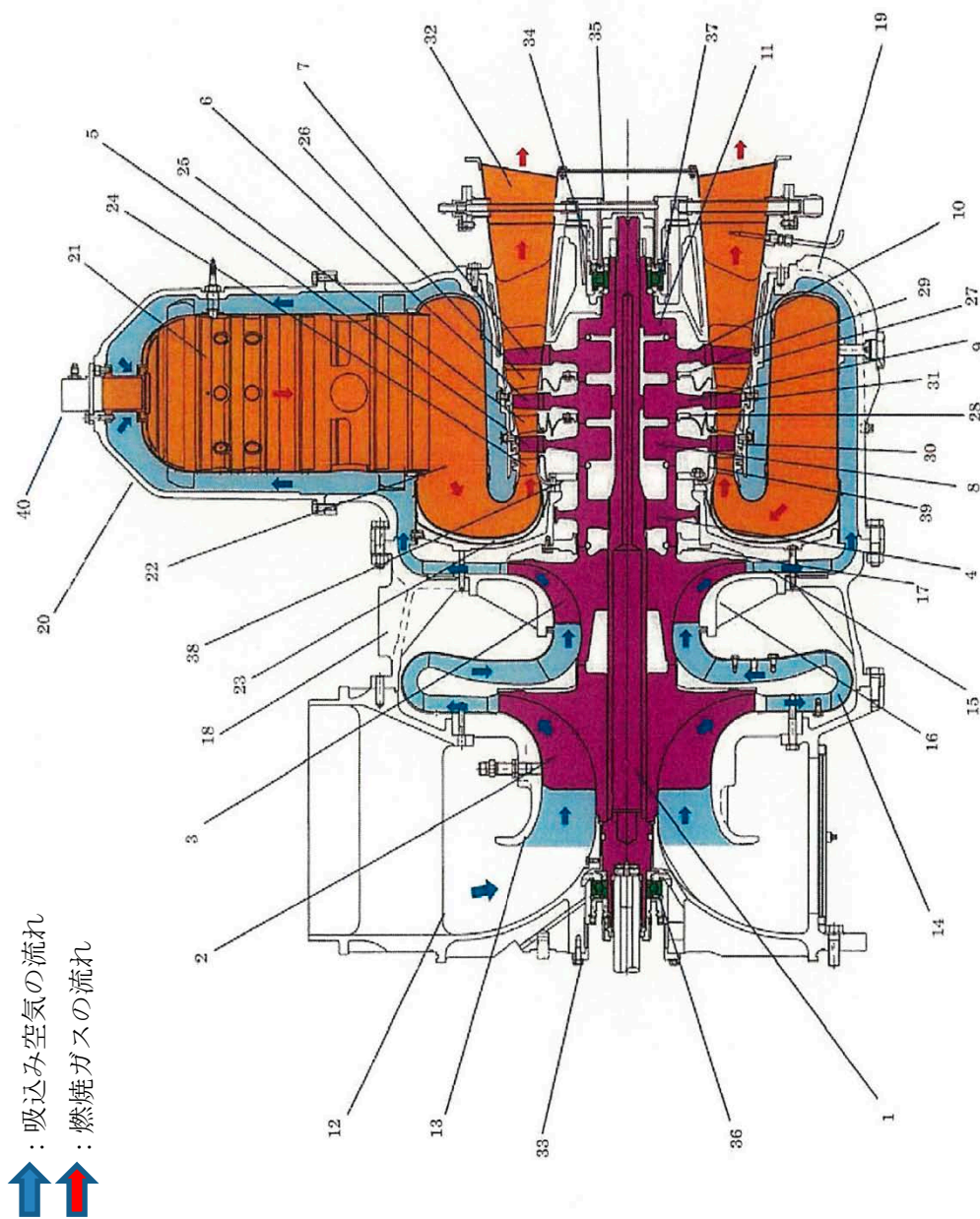


図 2.4.1 ガスタービンエンジンの構造図

2.5 換気空調設備自動制御装置の更新

2.5.1 概要

HTTR の原子炉建家 I 系換気空調装置及び放射能測定室系換気空調装置は管理区域内の換気を行う設備である。これらの設備の制御装置の一部については既に入手不可能なものもあり、既設の機器では不具合等が発生した場合に対応できないことが考えられるため、原子炉建家 I 系換気空調装置及び放射能測定室系換気空調装置の自動制御装置について更新を行うこととした。

機器の更新にあたっては以下の方針に基づいて更新計画を立案した。

- ① 更新する機器は、動作が多い以下の機器とする。更新にあたっては、動作の頻度を考慮し、更新対象範囲を定めた。
 - ・原子炉建家 I 系換気空調装置の給気側自動負圧制御ダンパ（ダンパ全体）
 - ・原子炉建家 I 系換気空調装置の排気側の自動制御ダンパ（ダンパ付属機器のみ）
 - ・原子炉建家 I 系換気空調装置及び放射能測定室系換気空調装置の温度及び湿度を制御する電動弁
 - ・原子炉建家 I 系換気空調装置（排気 B 系統を除く）、放射能測定室系換気空調装置の電気計装品
- ② 更新に係る工程は、以下を考慮して立案した。
 - ・原子炉建家 I 系換気空調装置を全停止すると、管理区域内の換気空調ができず、管理区域内の作業が大幅に制限される。このため、原子炉建家 I 系換気空調装置の全停止期間を極力短くする必要がある。ただし、原子炉建家 I 系換気空調装置は片系統運転も可能であることから、片系統運転で更新可能な機器については、片系統運転期間中に更新するものとし、両系統停止の期間を極力短くした。
 - ・放射能測定室系換気空調装置は、放射能測定等の期間を避けて機器を更新するものとし、系統停止の期間を極力短くした。

2.5.2 設備更新作業

上記更新計画に基づき作業を行うことによって、原子炉建家 I 系換気空調装置の全停止期間を最短の 6 日間とすることができ、他の管理区域内での作業に影響を及ぼすことなく作業を完遂できた。図 2.5.1 に原子炉建家 I 系換気空調装置の給気側自動負圧制御ダンパの更新の作業風景を、原子炉建家 I 系換気空調装置の加熱二方弁の更新の作業風景を図 2.5.2 に示す。

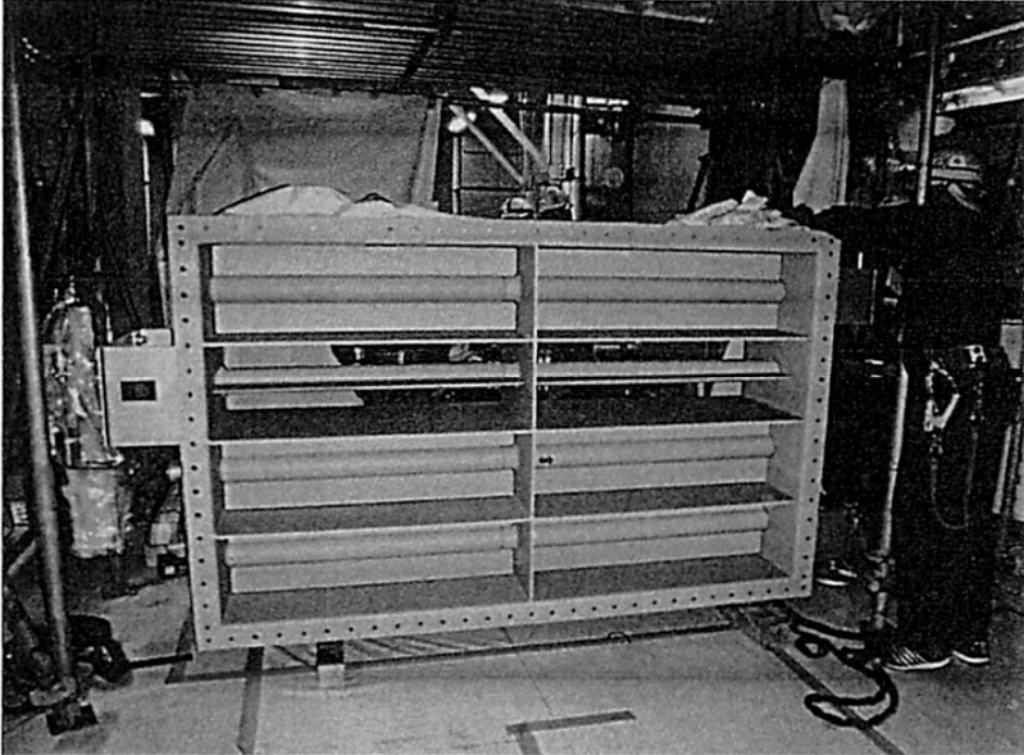


図 2.5.1 原子炉建家 I 系換気空調装置の給気側自動負圧制御ダンパの更新の作業風景

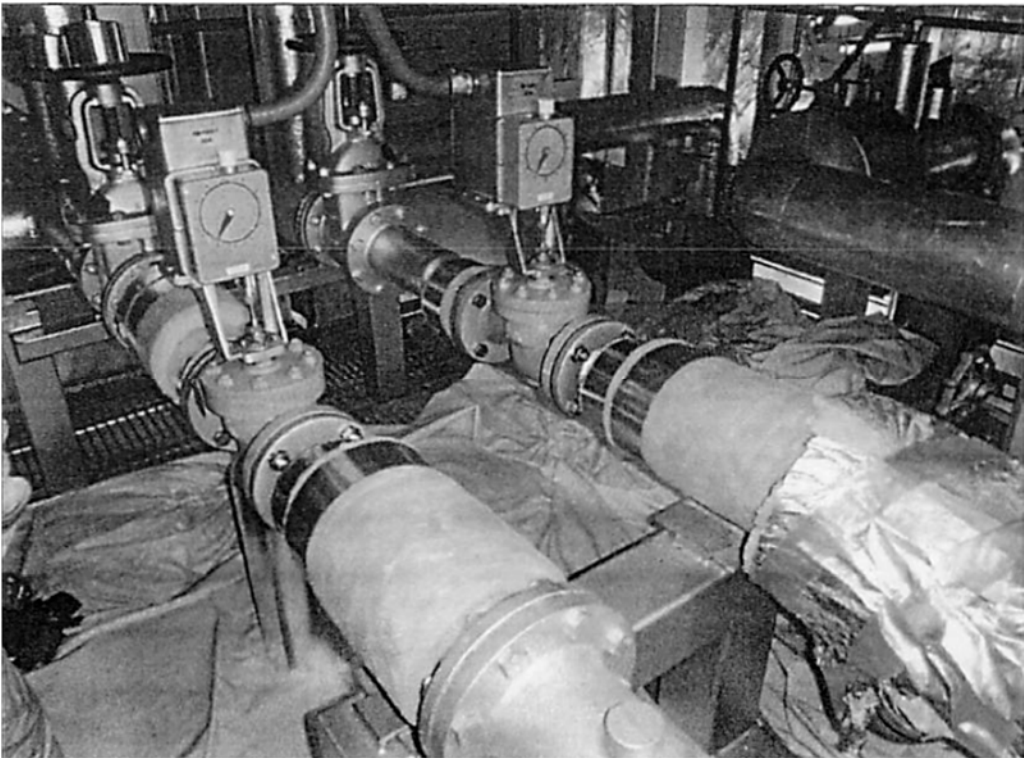


図 2.5.2 原子炉建家 I 系換気空調装置の加熱二方弁の更新の作業風景

This is a blank page.

3. 試験研究用等原子炉施設の新規制 基準への対応

Conformity with New Regulatory Requirements for Research Reactors

This is a blank page.

3.1 概要

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、東京電力福島第一原子力発電所では津波被害等により大きな事故が起きた。当該被害を踏まえ、特に自然現象に対する対策が不十分であること等の問題点を解消することを目的に、2013年12月18日に試験研究用等原子炉施設を含む核燃料使用施設等の新規規制基準が定められた。表3.1に試験研究用等原子炉施設に関する新たに制定・改定された規則類を示す。

HTRRでは、東北地方太平洋沖地震直後から地震の影響の有無に関する点検を実施し、原子炉施設の機器・建家等の健全性確認を終了した。新規規制基準施行後、当該基準適合確認のため2014年11月26日に原子力規制委員会へ原子炉設置変更許可申請を行った。表3.2に申請時の原子炉設置変更許可申請書の概要を示す。その後、審査の進捗に合わせ補正申請を実施した。これまでの変更申請の主な内容は概ね以下のとおりであり、2018年度は審査会合9回、審査ヒアリング39回（設工認・保安規定に関する審査ヒアリングを含む）を実施し審査を継続している。

平成28年10月27日（第1回補正）

- ・重要安全施設の選定方針（重要度分類の修正）
- ・平常時被ばく線量における実効線量の修正
- ・BDBA時の被ばく線量の再評価

平成29年6月29日（第2回補正）

- ・重要度分類の修正（保管廃棄施設の追加）
- ・外部事象及び内部事象に対する防護対象施設の追加
- ・対象等の変更に伴う航空機落下確率の再評価
- ・BDBA事象選定の考え方の変更（原子力規制庁指示によるもの）

平成29年12月21日（第3回補正）

- ・可燃物の管理方法や竜巻発生時の対応等に関する追記
- ・保安規定変更に伴う変更（理事長トップマネジメント等）

平成30年2月23日（第4回補正）

- ・火山灰密度の追記
- ・基準地震動の追加

平成30年7月11日（第5回補正）

- ・地震・津波・火山に関する表現の修正
- ・「可能な限り」という表現の原則使用禁止に伴う対応（原子力規制庁指示によるもの）
- ・組織改正に伴う変更

平成30年10月17日（第6回補正）

- ・共用施設の位置付けの明確化

3.2 新規規制基準適合に係る設計及び工事の方法の認可申請の内容

新規規制基準への適合に関する原子炉施設の設計及び工事の方法の認可申請（以下「設工認」という。）は、工事に要する期間等を考慮し、分割（全6回）して行うこととしている。表3.3

に設工認申請対象の施設区分、項目及び分割申請回を示す。このうち、2018年度は、第1回申請（平成30年2月9日申請）の補正（平成30年7月30日補正）、第2回申請（平成30年7月11日申請）及び補正（平成31年3月26日補正）、第3回申請（平成30年11月16日申請）及び第4回申請（平成31年3月26日申請）を行った。以下にそれぞれの申請の概要を示す。

(1) 第1回申請（固定モニタリング設備、安全避難通路等）

第1回申請は、放射線管理施設のうち固定モニタリング設備のデータ送信システムの多様化及びその他試験研究用等原子炉の附属施設のうち安全避難通路等について申請している。

データ送信システムの多様化は、固定モニタリング設備の14基のモニタリングポストのうち、設計基準事故時における迅速な対応に必要な6基について、既存の有線方式による伝送に加えて、無線によるデータ送受信を行うための装置を設置するための工事を行うものである。

安全避難通路等は、安全避難通路、避難用照明及び設計基準事故が発生した場合に用いる照明について、既設の安全避難通路及び誘導標識、非常用照明及び誘導灯並びに保安灯、蓄電池内蔵照明及び携帯用照明を申請するものである。

(2) 第2回申請（外部事象に対する評価、火災対策機器）

第2回申請は、その他試験研究用等原子炉の附属施設のうち原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造（外部事象に対する健全性評価）として、外部火災、火山事象及び竜巻に対する原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の健全性評価、並びに火災対策機器（火災感知器、消火器、消火栓等）について申請している。

外部事象に対する健全性評価のうち、外部火災については、想定される森林火災、近隣の産業施設等の火災・爆発及び航空機墜落による火災に対して、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等のコンクリート表面温度が許容温度の200℃を超えないことを評価することにより、構造健全性に影響がないことを確認する。火山事象については、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家が、想定する降下火砕物の層厚50cm（湿潤密度1.5g/cm³）の荷重に加え、常時作用する荷重及び自然現象（積雪、風）の荷重を適切に組み合わせた荷重に対して、構造強度を有するものであることを評価により確認する。竜巻については、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家が、設計竜巻（最大風速100m/s）の風圧力及び気圧差による荷重、設計飛来物（鋼製材（135kg、4.2m×0.3m×0.2m）及び鋼製パイプ（8.4kg、2m×φ0.05m））による衝撃荷重、常時作用する荷重を適切に組み合わせた荷重に対して、構造強度を有するものであることを評価により確認する。

火災対策機器については、①火災の発生防止に係るケーブル等の不燃性又は難燃性の材料、②火災の感知及び消火に係る火災受信機盤、熱感知器、煙感知器、消火器、屋内消火栓、二酸化炭素消火設備及び屋外消火栓、並びに③火災の影響軽減に係る金属製キャビネット、排煙設備、非常発電機の燃料地下タンク排気用ベント管等について申請するものである。上記のうち、③火災の影響軽減に係る金属製キャビネットは、可燃物を保管する場合、原則とし

て金属製キャビネット等に収納するよう管理を厳格化したことに伴い、新たに設置したものである。

(3) 第3回申請（通信連絡設備等）

第3回申請は、その他試験研究用等原子炉の附属施設のうち通信連絡設備等について申請している。

通信連絡設備等は、①設計基準事故が発生した場合において、大洗研究所（北地区）内にいる人に対して、必要な指示をするための通信連絡設備として、大洗研究所（北地区）の構内一斉放送設備及びHTTRの非常用放送設備、②関係官庁等の異常時通報連絡先機関等への通信連絡を行うため、多様性を確保した通信回線を有する通信連絡設備として、現地対策本部に設けられている固定電話（一般電話回線）、携帯電話（災害時優先回線）、ファクシミリ（災害時優先回線）等、並びに③HTTRの現場指揮所と現地対策本部との間で通信連絡を行うため、多様性を確保した通信回線を有する通信連絡設備として、HTTRの現場指揮所と現地対策本部に設けられている固定電話（一般電話回線）、携帯電話（災害時優先回線）、ファクシミリ（一般電話回線）等を申請するものである。上記のうち、①大洗研究所（北地区）の構内一斉放送設備は、新規制基準に伴い新たに設置するための工事を行うものである。

(4) 第4回申請（耐震評価）

第4回申請は、原子炉施設の耐震性評価について申請している。HTTRでは、一部の建物・構築物及び機器・配管系について、耐震重要度によるクラス別分類（耐震クラス）を表3.4のとおり見直している。その上で、耐震性評価では、表3.5に示す建物・構築物及び機器・配管系に対して、耐震クラスに応じた地震力、運転状態応じて発生する荷重等を適切に組み合わせた荷重に対する評価を行い、耐震余裕を有することを確認する。また、表3.6に示す波及的影響評価を実施する建物・構築物及び機器・配管系に対して、基準地震動 S_s による評価を行い、耐震 S クラスの建物・構築物及び機器・配管系に波及的影響を及ぼさないことを確認する。さらに、使用済燃料貯蔵建家に対して、基準地震動 S_s による評価を行い、建家躯体が耐震余裕を有することを確認する。なお、HTTRでは、耐震工事の計画はない。

3.3 新規制基準適合に係る原子炉施設保安規定の変更認可申請の内容

新規制基準対応として、多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止への対応等について記載した原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）の変更認可申請は、原子炉設置変更許可申請書の申請と同日付けの平成26年11月26日に申請していた。しかし、適合性審査が進み、原子炉設置変更許可申請の記載内容が申請当時から大幅に変更になったことから、保安規定は平成30年10月17日付けで取下げ、同日付で新たに原子炉設置変更許可申請の記載内容との整合性を確保した上で再申請を行った。再申請した保安規定では、消防設備や通信連絡設備等の資機材及び管理、外部事象に対する措置、多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止の措置等を追加した。

表 3.1 試験研究用等原子炉施設に関する新たに制定・改正された規則類

規則名	分類
核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律	(改正)
試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則	(改正)
試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則	(改正)
試験研究の用に供する原子炉等の溶接の技術基準に関する規則	(改正)
試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則	(制定)
試験研究の用に供する原子炉等に係る試験研究用等原子炉設置者の設計及び工事に係る品質管理の方法及びその検査のための組織の技術基準に関する規則	(制定)
試験研究の用に供する原子炉等の性能に係る技術基準に関する規則	(制定)
試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈	(内規)
試験研究の用に供する原子炉等に係る試験研究用等原子炉設置者の設計及び工事に係る品質管理の方法及びその検査のための組織の技術基準に関する規則の解釈	(内規)
試験研究の用に供する原子炉等における保安規定の審査基準	(内規)

表 3.2 新規制基準の適合に関する HTR 原子炉施設原子炉設置変更許可申請の概要
(2014 年 11 月 26 日申請時)

項目	要求事項	原子炉設置変更許可申請書の内容
安全設計の基本方針	試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下、「許可基準規則」という。）への適合	許可基準規則において示された「安全機能上の重要度分類の考え方」及び「耐震重要分類の考え方」に基づき、安全機能上の重要度分類及び耐震重要度分類について、HTR の安全上の特徴を踏まえて分類。
地盤・地震・津波	耐震設計上重要な建物等は、活断層の露頭がない地盤に設置すること。	敷地内における地質調査結果から活断層が無いことを確認。
	耐震設計上重要な建物等は、基準地震動による地震力が作用した場合においても、当該施設を十分に支持することができる地盤に設けること。 耐震重要施設は、基準地震動による地震力に対して安全機能が損なわれないこと。	2011 年東北地方太平洋沖地震及びその後の知見を反映して検討用地震とその評価を見直し、基準地震動 S_g を策定（最大加速度：水平 700 ガル、鉛直 400 ガル） 重要な安全機能を有する施設は、基準地震動による地震力に対して、その安全機能が損なわれないよう設計する。
	基準津波に対して安全機能が損なわれないこと。	基準津波を策定し、敷地での遡上高さ（T.P+16.9m）を考慮しても、原子炉施設は、津波による遡上波が到達しない標高（T.P+36.5m）に設置してあるため、安全性が損なわれることはない。
外部からの損傷	自然現象	竜巻、火山、森林火災等による影響に対して、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。
	外部人為事象	航空機落下、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害等の事象に対して、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。
火災防護	内部火災により原子炉施設の安全性が損なわれないこと。	火災により原子炉施設の安全性を損なわないよう、火災発生防止、火災感知及び消火、火災の影響軽減を適切に組み合わせた措置を講じる。
溢水防護	内部溢水により安全施設の安全機能が損なわれないこと。	溢水が生じた場合においても、原子炉を停止し、放射性物質の閉じ込め機能を維持できる設計とする。 また、使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プールの冷却水が喪失することにより、使用済燃料を冷却する機能を損なわないように設計する。
通信連絡	外部との通信連絡の強化	設計基準事故が発生した場合の必要箇所との間の通信連絡設備は、多様性を確保した設計とする。
外部電源喪失	全交流動力電源喪失時の措置	全交流動力電源が喪失した場合に、原子炉は安全に停止できる。停止後の監視に必要な電源を一定時間確保するため蓄電池等の直流電源設備を設ける設計とする。
監視設備	放射線管理モニタリングの強化	周辺環境モニタリング設備である固定モニタリング設備は、無停電電源装置等に接続するとともに、伝送系は多様性を確保する設計とする。
多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止	設計基準事故を超えた事象を想定し、発生防止対策と影響緩和対策の有効性を評価	設計基準事故より発生頻度は低いが、敷地周辺一般公衆に対して過度の放射線被ばく（実効線量の評価値が発生事故当たり 5mSv を超えるもの）を与えるおそれがある事故について評価し、そのおそれがある場合には、事故の拡大を防止するために必要な措置を講じる設計とする。

表 3.3 設工認申請対象の施設区分、項目及び分割申請回※1

施設区分		項目	分割申請回数	備考	
設工認申請	設置許可申請				
イ 原子炉本体	ロ 試験研究用等原子炉施設の一般構造	(1)耐震構造	第4回	評価	
ロ 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	ロ 試験研究用等原子炉施設の一般構造	(1)耐震構造		評価	
ハ 原子炉冷却系統施設	ロ 試験研究用等原子炉施設の一般構造	(1)耐震構造		評価	
ニ 計測制御系統施設	ロ 試験研究用等原子炉施設の一般構造	(1)耐震構造		評価	
ホ 放射性廃棄物の廃棄施設	ロ 試験研究用等原子炉施設の一般構造	(1)耐震構造		評価	
	ト 放射性廃棄物の廃棄施設の構造及び設備	(3)固体廃棄物の廃棄設備	第5回	既設	
ヘ 放射線管理施設	ロ 試験研究用等原子炉施設の一般構造	(1)耐震構造	第4回	評価	
	チ 放射線管理施設の構造及び設備	(2)屋外管理用の主要な設備の種類	第1回	改造	
ト 原子炉格納施設	ロ 試験研究用等原子炉施設の一般構造	(1)耐震構造	第4回	評価	
チ その他試験研究用等原子炉の附属施設	ロ 試験研究用等原子炉施設の一般構造	(1)耐震構造		プラント補助施設、建家・構築物等の構造（耐震性・波及的影響）	評価
		(3)その他の主要な構造	原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家等の構造 （外部事象に対する健全性評価）	第2回	評価
			溢水対策機器（漏水検知器等）	第5回	既設
			火災対策機器（火災感知器、消火器、消火栓等）	第2回	既設 新設
			安全避難通路等	第1回	既設
			通信連絡設備等	第3回	既設 新設
	ヌ その他試験研究用等原子炉の附属施設の構造及び設備	(3)その他の主要な事項	第6回	既設 新設	

※1：今後の進捗に応じて、項目や分割内容を変更する可能性がある。

表 3.4 耐震クラスを変更した建物・構築物及び機器・配管系

名称	変更前の耐震クラス	変更後の耐震クラス
原子炉圧力容器	As	S
原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器・配管・循環機・弁	As	S
隔離弁を閉とするのに必要な電気計装設備	As	S
使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール	As	S
原子炉建家内の使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック（上蓋を除く）	As	S
制御棒及び制御棒駆動装置（スクラム機能に関するもの）	As	S
制御棒案内管	As	S
炉心支持鋼構造物（拘束バンドは除く）	As	S
炉心支持黒鉛構造物（サポートポストの支持機能）	As	S
電気計装設備（安全保護系（原子炉の停止系）に関するもの）	As	S
1次ヘリウム純化設備（原子炉格納容器内のもの）	A	S
燃料破損検出装置（原子炉格納容器内のもの）	A	S
1次ヘリウムサンプリング設備（原子炉格納内のもの）	A	S
原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁（1次冷却材を含むもの）	As	S
補助冷却設備（原子炉冷却材圧力バウンダリに属するものは除く）	As	B
補機冷却水設備	As	B
炉心支持鋼構造物の拘束バンド及び炉心支持黒鉛構造物（サポートポストの支持機能を除く）	As	B
非常用発電機及びその計装設備	As	B
制御用圧縮空気設備	As	B
炉容器冷却設備	As	B
原子炉格納容器	As	B
原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁（1次冷却材を含むものを除く）及びこれに属する隔離弁を閉とするのに必要な電気計装設備	As	B
非常用空気浄化設備	A	B
非常用発電機及びその計装設備	As	B
使用済燃料貯蔵建家内の使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック（上蓋を除く）	As	B
炉内構造物（上部遮へい体ブロック、側部遮へい体ブロック）	As、A	B
後備停止系	A	B
後備停止系案内管	A	B
原子炉建家サービスエリア	A	B

表 3.5 耐震性評価を実施する建物・構築物及び機器・配管系(1/2)

耐震クラス	名称
S	制御棒案内ブロック
S	原子炉圧力容器
S	スタンドパイプ
S	圧力容器スカート
S	圧力容器基礎ボルト
S	サポートポスト（支持機能のみ）
S	炉心拘束機構（拘束バンドを除く）
S	原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック
S	中間熱交換器
S	1次加圧水冷却器
S	1次ヘリウム循環機
S	1次ヘリウム配管（二重管）
S	1次ヘリウム主配管（単管）
S	一次冷却設備の主要弁
S	補助ヘリウム冷却系（原子炉冷却材圧力バウンダリに属するもの）
S	原子炉冷却材圧力バウンダリに接続している配管（原子炉格納容器内のもの）
S	制御棒
S	制御棒駆動装置
S	中央制御室
S	放射能検出器容器（1次冷却材放射能検出器容器）
S	Sクラス設備の補助設備となる電気計装設備
S	原子炉格納容器附属設備の1次冷却材を内包する配管貫通部
S	原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール
B	燃料体の黒鉛ブロック
B	可動反射体ブロック
B	固定反射体ブロック
B	高温プレナムブロック
B	サポートポスト（支持機能を除く）
B	炉床部断熱層
B	炉心支持板
B	炉心支持格子
B	炉心拘束機構の拘束バンド
B	燃料交換機
B	燃料出入機
B	プール水冷却浄化設備（プール水冷却に関する部分）
B	使用済燃料貯蔵建家内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック（上蓋を除く）
B	原子炉建家内附属機器

表 3.5 耐震性評価を実施する建物・構築物及び機器・配管系(2/2)

耐震クラス	名称
B	使用済燃料貯蔵建家内附属機器
B	補助ヘリウム冷却系（原子炉冷却材圧力バウンダリ、Cクラスに属するものを除く）
B	補助冷却水系
B	炉容器冷却設備（Cクラスに属するものは除く）
B	補機冷却水設備（崩壊熱除去の主要設備に係わるもの）
B	1次ヘリウム純化設備（S,Cクラスに属する設備を除く）
B	試料採取設備（S,Cクラスに属する設備を除く）
B	後備停止系駆動装置
B	放射能検出器容器（Sクラスを除く）
B	Bクラス設備の補助設備となる電気計装設備
B	気体廃棄物処理系
B	洗浄廃液ドレン系
B	機器ドレン系
B	床ドレン系
B	使用済燃料貯蔵建家ドレン系
B	線量当量率モニタリング設備
B	原子炉格納容器
B	サービスエリア
B	非常用空気浄化設備
B	非常用発電機
B	蓄電池
B	圧縮空気設備
B	制御棒交換機
B	原子炉建家天井クレーン
B	使用済燃料貯蔵建家天井クレーン
B	原子炉建家
B	原子炉建家基礎版

表 3.6 波及的影響評価を実施する建物・構築物及び機器・配管系

耐震クラス	名称
B	原子炉建家屋根トラス
B	原子炉格納容器
B	原子炉建家天井クレーン
B	排気筒

This is a blank page.

4. 放射線管理

Radiation Control

This is a blank page.

4.1 放射線作業時の管理

(1) 施設定期自主検査作業中の管理

本年度は、2011年から継続している施設定期自主検査として、計測制御設備、気体廃棄物処理設備等の対応作業が行われた。作業期間中、放射線モニタリングなどを実施した結果、放射線管理上問題となる事象はなかった。

(2) 原子炉冷却系統施設等安全弁の取付・取外及びラプチャーディスクの定期交換作業

原子炉冷却系統施設等安全弁の取付・取外及びラプチャーディスクの定期交換作業が2018年10月1日から12月27日にかけて行われた。本作業は、1次冷却設備及び1次ヘリウム純化設備の安全弁を取り外し、分解点検後に再び取り付ける作業である。また、1次ヘリウム純化設備のラプチャーディスクの交換も併せて行われた。

本作業において、線量当量率及び表面密度の確認を随時行い実施した結果放射線管理上の問題はなかった。

(3) その他の作業

上記以外の施設の放射線管理として、管理区域内及び放出放射性物質の定期的な放射線モニタリングを実施した結果、放射線管理上問題となる事象はなかった。

4.2 個人被ばく管理

放射線業務従事者の被ばく結果を表4.1に示す。本年度における職員等及び請負業者については、0.1mSvを超える被ばくはなく、放射線業務従事者に係る線量限度を十分に下回っていた。また、内部被ばくについては、バイオアッセイ法及び体外計測法による定期的に行う確認検査を実施した結果、全て検出下限値未満であり、内部被ばくもないことを確認した。

4.3 排気及び排水の管理

(1) 排気中の放射性塵埃及び放射性ガスの管理

排気筒から放出された放射性塵埃及び放射性ガスの測定結果を表4.2に示す。放射性塵埃及び放射性ガスの最大濃度は、全て検出下限濃度未満であり排気筒からの有意な放出はなかった。

(2) 放射性廃液の管理

放射性廃液貯槽から放出された放射性廃液の最大濃度及び年間放出量を表4.3に示す。有意に検出された核種は ^3H のみで、それ以外の核種は年間を通して全て検出下限濃度未満であった。 ^3H の最大濃度は $2.3 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^3$ 、年間放出量は $2.3 \times 10^6 \text{ Bq/年}$ であった。 ^3H の年間放出量は、大洗研究所の放出管理目標値に比べて十分低い値であった。また、廃棄物管理施設に引渡した放射性液体廃棄物は $^3\text{H} : 1.7 \times 10^7 \text{ Bq}$ 、 $4.7 \times 10^0 \text{ m}^3$ であった。

4.4 放射線管理設備に係る保守管理

(1) 施設定期自主検査

原子炉施設保安規定第 2 編 36 条及び核燃料物質使用施設等保安規定第 2 編第 33 条に基づき、2018 年 4 月 13 日から 10 月 23 日にかけて放射線測定機器の施設定期自主検査を実施した結果、所定の性能が維持されていることを確認した。結果については、放射線管理部長に報告するとともに HTTR 運転管理課長に通知した。

(2) 修理及び改造

本年度における放射線管理設備における修理、及び放射線管理設備に係る保安規定における改造計画の提出に該当する改造はなかった。

表 4.1 放射線業務従事者の実効線量の状況

作業区分	放射線業務従事者 (人)	実効線量分布 (人)					平均線量 (mSv)	最大線量 (mSv)	集団線量 (人・mSv)
		検出下限 線量未満	0.1mSv 以上 1.0mSv 以下	1.0mSv 超え 5.0mSv 以下	5.0mSv 超え 15mSv 以下	15mSv を 超える者			
職員等	54	54	0	0	0	0	0.00	0.0	0.0
外来研究員等	0	0	0	0	0	0	0.00	0.0	0.0
請負業者	218	218	0	0	0	0	0.00	0.0	0.0
全作業員	272	272	0	0	0	0	0.00	0.0	0.0

(注) 職員等：職員、出向職員をいう。外来研究員等：外来研究員、共同利用研究者をいう。

表 4.2 HTTR から放出された放射性気体廃棄物

種類	測定線種 及び核種	最大濃度 (Bq/cm ³)	年間放出量*1 (Bq/年)
放射性塵埃	全α	<5.6×10 ⁻¹¹	—
	全β	<1.1×10 ⁻¹⁰	—
	¹³⁷ Cs	<2.9×10 ⁻¹⁰	0
	¹³¹ I	<2.0×10 ⁻⁹	0
放射性ガス	³ H	<2.7×10 ⁻⁵	0
	⁸⁸ Kr、 ¹³⁸ Xe 等	<2.0×10 ⁻³	0

(注) 年間放出量は、最大濃度が検出下限濃度未満の場合放出量を“0”として集計した。

*1：HTTR の放出管理目標値 (気体廃棄物)

種類	核種	放出管理目標値 (Bq/年)
放射性希ガス	⁸⁸ Kr、 ¹³⁸ Xe 等	3.7×10 ¹³
放射性ヨウ素	¹³¹ I	3.2×10 ⁹
トリチウム	³ H	1.1×10 ¹³

表 4.3 HTTR から放出された放射性液体廃棄物

主な核種	最大濃度 (Bq/cm ³)	年間放出量*2 (Bq/年)	廃液量 (m ³)
³ H	2.3×10 ⁻¹	2.3×10 ⁶	2.3×10 ¹
⁶⁰ Co	<2.3×10 ⁻³	0	
¹³⁷ Cs	<2.8×10 ⁻³	0	
その他	<1.4×10 ⁻²	0	

(注) 年間放出量は、最大濃度が検出下限濃度未満の場合放出量を“0”として集計した。

*2：大洗研究所の放出管理目標値（液体廃棄物）

核 種		放出管理目標値(Bq/年)
³ H		3.7×10 ¹²
³ H 以外	総量	2.2×10 ⁹
	⁶⁰ Co	2.2×10 ⁸
	¹³⁷ Cs	1.8×10 ⁹

5. 技術開発

Research and Development

This is a blank page.

5.1 黒鉛ブロックからの反跳トリチウムの計算

(1) 概要

将来の核融合原型炉に必要な初装荷燃料となるトリチウムを高温ガス炉で製造する検討が行われている。高温ガス炉では可燃性吸収体としてホウ素を用いているが、ホウ素の代わりにトリチウム使用すれば、これまでの炉設計に大きな影響を与えずにトリチウムを製造できると考えられている²⁾。この方法を立証するため、HTTRでの照射試験が検討されているが、照射キャプセルからトリチウムがHTTRの一次系に拡散放出されることが懸念されるため、あらかじめHTTRにおけるトリチウム挙動を把握しておく必要がある。HTTRにおけるトリチウム放出源としては、一次冷却材中の³He、燃料の三体核分裂、黒鉛中のLi不純物等が検討されている³⁾が、今年度は黒鉛中のLi不純物に起因するトリチウムの反跳放出について、より詳細に検討した。

(2) 計算

黒鉛からのトリチウムの反跳放出計算モデルを図5.1に示す。トリチウムの反跳放出率の計算にはPHITSを用い、計算時間を短縮するため⁶Li(n,α)³H反応を直接計算せず、2.73MeVのトリトン線源を用いて計算した^{4,5)}。また、トリチウムの反跳放出率は、S(黒鉛の表面積cm²)/V(黒鉛の体積cm³)に比例するため、黒鉛球の大きさを0.1mmから0.5mに変えることでS/Vを可変させて計算し、比例係数kを求めた。

(3) 計算結果

黒鉛の形状とトリチウムの反跳放出率(生成量P反跳放出量Rの比)の計算結果を図5.2に示す。この直線の傾きから比例係数kを求めると 2.0×10^{-3} (cm)となった。この比例係数kを用いてトリチウムの反跳放出量を求める際は下記の式から求めることができる。トリチウムの反跳放出は、高温時の拡散放出より小さいと考えられるため、HTTR起動の低温照射時に観測できる可能性がある。

$$\text{トリチウムの反跳放出量 (Bq)} = \text{トリチウム生成量 (Bq)} \cdot k \cdot S/V$$

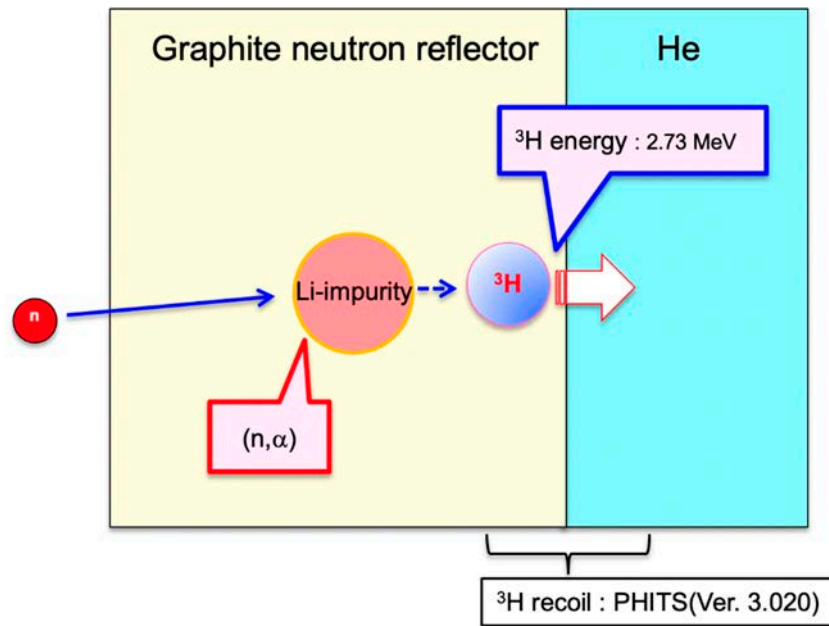


図 5.1 反跳トリチウムの計算モデル

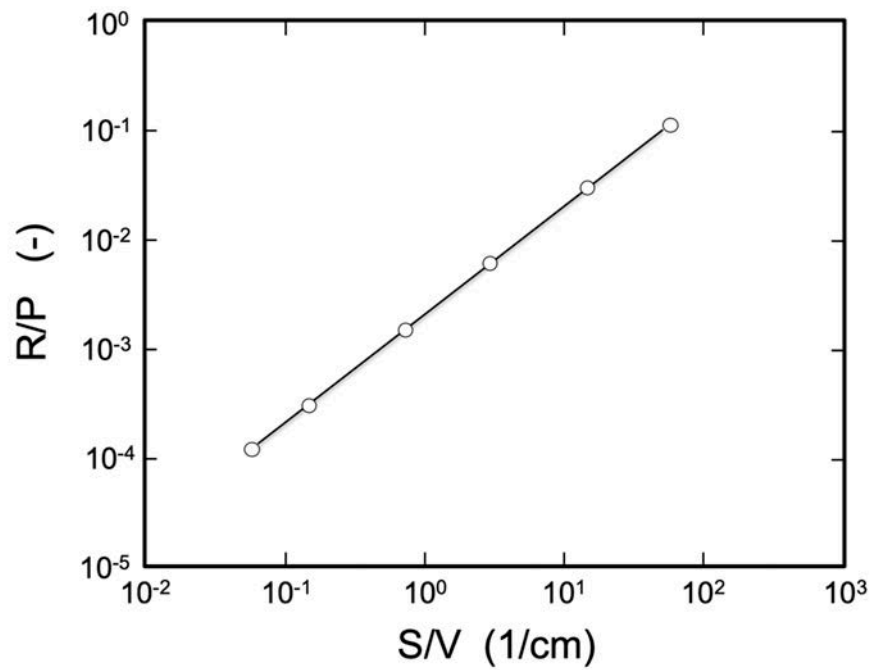


図 5.2 黒鉛の形状と反跳放出率の関係

5.2 HTTR 炉心を用いた原子力電池に関する予備的検討

(1) 概要

2018 年度の夏期休暇実習のテーマとして、優れた安全性を有する HTTR の炉心をベースとした原子力電池に関する予備検討を実施した。このテーマを選定した理由は、将来的に技術の進展が期待できる熱電変換素子等の機械的な可動構造を有しない発電機構に着目することによって、高温ガス炉の幅広い利用の可能性を示せること、また、原子力の若手研究者が将来に夢を持てるようなテーマになりうると考えたためである。加えて、HTTR 炉心の核計算モデルが既に完成しているため短時間で検討できること、設備が単純であるため原子炉設計に必要な核熱特性を容易に理解できることから夏期休暇実習のテーマとして相応しいと考えたためである⁶⁾。

(2) 計算

核的検討は、HTTR 炉心を用いて「熱出力」及び「燃料温度」をパラメータとし、モンテカルロ計算コード (MVP-BURN) で実効増倍率 (k_{eff}) を計算して運転可能な時間を推定することで行った。

(3) 計算結果

熱出力を 2 MW とし、燃料温度を 500、700、1000 及び 1200 K とした場合の運転時間と実効増倍率の関係を図 5.3 に示す。この図から、実効増倍率が 1 以上であれば運転を継続できることから、いずれの燃料温度においても 30 年以上の運転が可能であることが明らかとなった。燃料温度が上昇するにつれて実効増倍率が低下する理由としては、温度の上昇に伴い ^{238}U の共鳴吸収が増えて ^{235}U の核分裂に寄与する中性子が減少するためである。また、燃料温度 500 K における ^{235}U の減少割合に関し、熱出力をパラメータとした場合の計算結果を図 5.4 に示す。

計算結果から、熱出力 3 MW で運転できる期間は 25 年程度、4 MW で 18 年程度、5 MW で 15 年程度であることが明らかとなった。以上の結果から、現状の HTTR 炉心では 5 MW、30 年の運転ができないことが明らかとなったが、 ^{235}U の装荷量を増やすことによって対応できるものと考えられるため、次年度に検討する予定である。

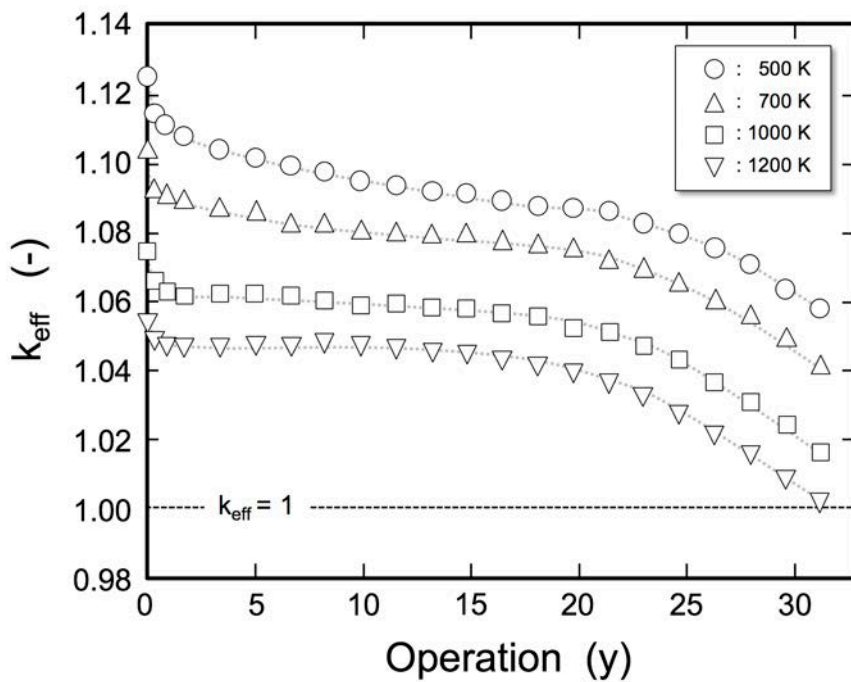


図 5.3 2 MW 運転時の K_{eff} の変化

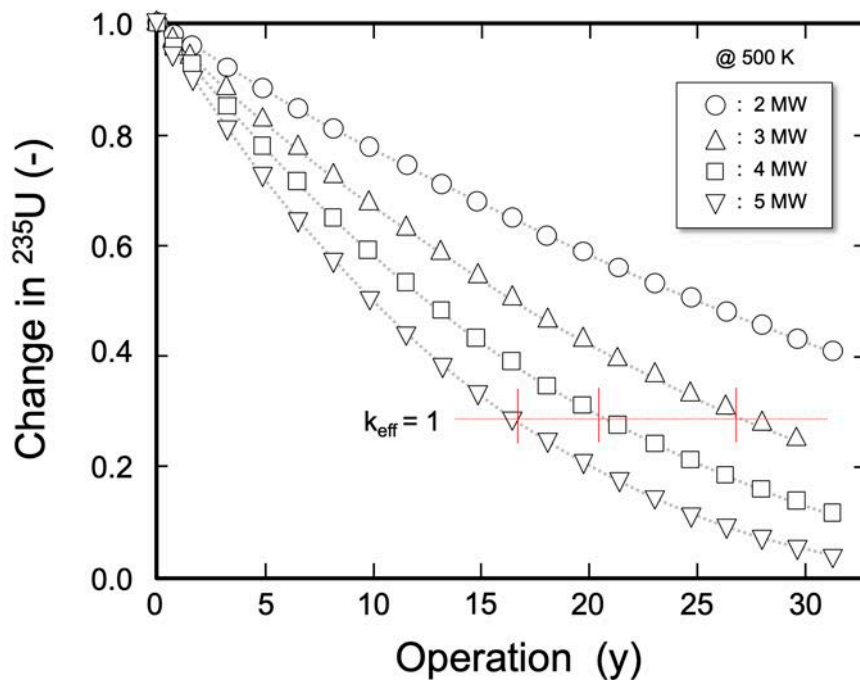


図 5.4 500 K 運転時の ^{235}U の変化

6. 人材育成

Human Resource Development

This is a blank page.

6.1 人材育成の実績

高温工学試験研究炉部では、HTTR を活用した人材育成として、研究者等を受け入れ、高温ガス炉に関する知識を習得のための実習等を実施している。2018 年度は、夏期実習生 4 名を受け入れ、HTTR の炉容器冷却設備の温度解析等を実施した。

2014 年度から 2017 年度までの博士研究員、特別研究生、夏期休暇実習生の受入れ状況を表 6.1 に、2018 年度の受入れ状況を表 6.2 に示す。

表 6.1 2017 年度までの博士研究員、特別研究生、夏期休暇実習生の受入れ状況

受入れ年度	身分	テーマ	受入課	受入期間
2014	夏期休暇実習生 (2 名)	HTTR の一次系配管内の伝熱流動評価	HTTR 技術課	2014.9.1～ 2014.9.30
		高温ガス炉の燃焼特性と崩壊熱の評価	HTTR 技術課	2014.8.12～ 2014.9.9
2015	特別研究生 (1 名)	高温ガス炉の燃焼特性と崩壊熱の評価	HTTR 技術課	2015.5.7～ 2015.8.7
	夏期休暇実習生 (1 名)	MVP コードを用いた HTTR の制御棒詳細モデルの検討	HTTR 技術課	2015.8.17～ 2015.9.17
2016	博士研究員 (1 名)	高温ガス炉の燃焼を通じた核特性、炉内熱流動挙動、及び燃料温度挙動の解明	HTTR 技術課	2016.4.1～ 2017.3.31
	夏期休暇実習生 (2 名)	HTTR 炉心冷却喪失試験に向けた炉容器冷却設備の温度解析モデルの構築	HTTR 技術課	2016.7.19～ 2016.8.12
		MVP-BURN コードによる HTTR の全炉心計算	HTTR 技術課	2016.8.18～ 2016.9.16
2017	夏期休暇実習生 (3 名)	HTTR を用いた核解析評価	HTTR 技術課	2017.8.21～ 2017.9.8
		新規制基準対応を見据えた高温ガス炉 HTTR の事故時被ばく評価用等ツールの設計・開発	HTTR 技術課	2017.9.11～ 2017.9.29
		HTTR を用いた核解析評価	HTTR 技術課	2017.8.21～ 2017.9.11

表 6.2 2018 年度の博士研究員、特別研究生、夏期休暇実習生等の受入れ状況

身分	テーマ	受入課	受入期間
夏期休暇 実習生 (4名)	HTTR 炉心冷却喪失試験に向けた炉容器冷却設備の温度解析モデルの構築	HTTR 計画課	2018.8.16～ 2018.9.28
	HTTR 炉心冷却喪失試験に向けた炉容器冷却設備の温度解析モデルの構築	HTTR 計画課	2018.9.10～ 2018.9.21
	HTTR を用いた医療用 RI 製造の概念検討	HTTR 技術課	2018.8.20～ 2018.9.14
	HTTR を用いた核解析評価	HTTR 技術課	2018.9.3～ 2018.9.28

7. 品質保証活動の実施状況

Activities of Quality Assurance System

This is a blank page.

7.1 概要

2018 年度における高温工学試験研究炉部の主な活動は、HTTR の運転再開のために、2013 年 12 月 18 日から施行された核燃料施設等の新規規制基準に対する原子力規制庁の許認可取得に必要な以下の業務を進めた。

- ①2014 年 11 月 26 日付で申請した新規規制基準適合性に係る原子炉設置変更許可申請（設計及び工事の方法の認可申請も含む）に係る審査ヒアリング（実施回数 54 回）及び審査会合（実施回数 9 回）への対応。なお、詳細な日程については、「付録 3 2018 年度高温工学試験研究関連審査会合及び審査ヒアリング開催履歴」に示す。
- ②同許可申請に対して第 5 回補正（2018 年 7 月 11 日）及び第 6 回補正（2018 年 10 月 17 日）を実施
- ③新規規制基準適合性に係る設計及び工事の方法の認可申請として、第 2 回分割申請（2018 年 7 月 11 日）、第 1 回分割申請の補正（2018 年 7 月 30 日）、第 3 回分割申請（2019 年 11 月 16 日）、第 2 回分割申請の補正（2019 年 3 月 26 日）及び第 4 回分割申請（2019 年 3 月 26 日）を実施
また、長期停止中の施設に対する安全確認として施設定期自主検査等の保守管理、長期間の運転停止による運転員の力量低下の防止のためコールド試験による再教育等を実施し、運転再開への準備を進めたことである。

大洗研究所全体としては、2017 年 6 月 6 日に発生した燃料研究棟の汚染事故（以下、燃研棟汚染事故という。）に対する 2017 年度以来取り組んできた再発防止に向けた是正処置対策を実施している。さらに、2018 年度に発生した大洗研究所でのトラブル（タンクヤード廃液配管及び廃液タンクの一部取り換えに係る負傷事故（2018.6.21）、JWTF ランドリー室における作業者の負傷事象（2018.9.10）等）に対する是正処置対策を実施している。高温工学試験研究炉部においても原子力機構及び大洗研究所からの改善指示等の水平展開に従い、グリーンハウス設置及び身体除染訓練、作業現場の環境、作業管理等の教育等の改善活動を実施した。

なお、平成 30 年 4 月 1 日に大洗研究所の組織改正が実施されており、高温工学試験研究炉部は新設された高温ガス炉研究開発センターの下に置かれることとなった。組織改正前後の組織図の比較を図 7.1 に示す。

7.2 品質保証活動の実績

(1) 原子力安全等の達成に関する外部機関への対応

1) 原子炉施設保安検査及び核燃料使用施設等保安検査に係る対応

第 1 回保安検査（炉：2018.5.29～5.31、使：2018.5.29～6.5）は、原子炉施設と核燃料物質使用施設の保安検査が一部合同で行われ、指摘事項はなかった。コメントとして、理解度の確認として講師から質問して理解度を把握する等の工夫をしてほしい旨（保安教育の実施状況）、業者との契約範囲が品証上の管理としてより明確になるように修正した方がよい旨（常駐業者の管理の状況）の 2 件を受けている。

第 2 回保安検査（炉：2018.8.21～8.23、使：2018.8.21～8.27）は、原子炉施設と核燃料物質使用施設の保安検査が一部合同で行われ、指摘事項はなかった。コメントとして、コールド試験運転の点検について定期保守に位置付ける検討、レビュー記録について用語の使い分け

の整理、新しく製作した中性子検出器の慎重な運用について3件受けている。

第3回保安検査(炉：2018.11.20～11.22、使：2018.11.20～11.27)及び第4回保安検査(炉：2019.2.19～2.21、使：2019.2.21～2.26)は、原子炉施設と核燃料物質使用施設の保安検査が一部合同で行われ、コメント及び指摘事項はなかった。

2) その他

新規規制基準適合性に係る原子炉設置変更許可申請に対してヒアリング及び審査会合に対する対応業務(HTTRでの原子力規制委員の現地調査、許可申請書の補正及び設工認申請を含む)、IAEAの査察、施設定期検査、保安検査官の巡視、運転計画の届出において監督官庁からの高温工学試験研究炉部に対する直接の指摘事項等はなかった。また、茨城県から原子力安全協定に基づく平常時立入調査が2018年3月7日に実施された。HTTRが対象施設の1つに指定され、現地調査が実施されたが指摘事項等はなかった。

2018年度の原子力安全等の達成に関する外部機関への対応状況を表7.1に示す。

(2) プロセスの実施状況及び検査・試験

本年度のプロセスの実施状況及び検査・試験の結果は以下のとおりである。

1) 品質目標

2018年度の高温工学試験研究炉部の品質目標の達成状況に関しては、品質目標を全て達成することができた。

2018年度の品質目標における主な活動は、原子力安全に対する自らの活動の意味及び重要性の認識をさらに浸透させるため部長及び課長による設備保安に関するメッセージの発信、予防処置活動、遵守意識の醸成教育、法令等に関する習熟教育、品質マネジメントシステムの更なる改善として継続的改善が定着する活動(部長による作業計画書、作業手順書等の確認活動の実施)等である。2018年度の品質目標の概要を表7.2に示す。

2) 不適合管理

不適合管理は「大洗研究所品質保証に係る不適合管理並びに是正処置及び予防処置要領(大洗QAM-03)」に基づき実施している。2018年度の不適合事象の発生は以下に示す2件あり、内訳はランクA及びBは0件、全てランクCであった。2018年度に発生した2件の不適合事象の概要を表7.3に示す。

- ① 一般冷却水設備の運転に係る誤操作(不適合管理番号：H運(21)、発生日：2018.9.23
ランクC)
- ② 「文書回覧による周知記録」の様式の誤使用(不適合管理番号：H計(7)、発生日：2019.3.12
ランクC)

3) 原子炉施設の検査・試験の結果

施設の定期的な自主検査及び施設検査に関しては、以下の通り実施した。

- ・ HTTR 本体施設等施設定期自主検査実施計画及び HTTR 核燃料物質使用実施計画に従

って、施設・設備の再稼働前の安全確認を計画的に実施した。

- ・第5回施設定期検査実施計画に基づき施設定期検査を受検し、原子炉停止中において継続的に機能を維持する必要がある施設について、機能が維持されていることの確認を受けた（官庁立会検査：2018.10.30、2018.11.16、2018.11.30）。

(3) 是正処置及び予防処置

1) 是正処置

是正処置は「大洗研究所品質保証に係る不適合管理並びに是正処置及び予防処置要領（大洗 QAM-03）」に基づき実施している。2018 年度は以下 3 件の是正処置を実施した（是正処置の実施は是正処置報告が終了したものとす）。なお、①及び②は 2017 年度に発生した不適合事象であり、③は 2018 年度発生した不適合事象に対する是正処置である。2018 年度に実施した是正処置の概要を表 7.4 に示す。

- ① 原子炉設置変更許可申請の第 3 回補正における誤記（不適合管理番号：H 計(5)、発生日：2017.12.26 ランク C)
- ② グリーンハウス設置訓練及び身体除染訓練における自主的改善（不適合管理番号：H 計(6)、発生日：2017.11.21 ランク C)
- ③ 一般冷却水設備の運転に係る誤操作（不適合管理番号：H 運(21)、発生日：2018.9.23 ランク C)

2) 予防処置

予防処置に関しては、「不適合事項等水平展開実施規則（大洗 QAM-06）」に基づき安全・核セキュリティ統括部から提供された原子力機構内外からの安全情報（水平展開管理票）、過去のセンター内で発生した不適合情報及び不具合情報等から以下の 2 件の予防処置を実施した。2018 年度に実施した予防処置を表 7.5 に示す。

- ① 『「ふげんにおける品質記録等の管理上の不備に関する根本原因分析を踏まえた改善」に対する水平展開』
- ② 「保安規定変更認可申請書等の誤記」

(4) 安全文化醸成及び関係法令の遵守状況

安全文化醸成及び関係法令の遵守については、理事長の定める「平成 30 年度原子力施設における安全文化の醸成及び法令等の遵守に係る活動方針」に基づき、HTTR において「平成 30 年度安全衛生活動基本方針に基づく実施計画（安全文化の醸成及び法令等の遵守活動計画）」を定め、教育の実施等の安全文化の醸成及び法令等の遵守に努めた。

(5) 品質マネジメントシステムに影響を及ぼす可能性のある変更

1) 原子炉等規制法等の改正に係る変更

① 廃止措置実施方針の作成

2017 年 4 月に原子炉等規制法の改正（2017 年 4 月 14 日公布、2018 年 10 月 1 日施行）が

あり、各原子力施設の稼働停止から廃止への円滑な移行を目的として、廃止措置を講ずる前の早期の段階（事業・運転・使用の開始前）から、各施設についての廃止措置実施方針の作成及び公表が必要となった。本法令の対象は炉規法対象のほぼすべての施設が対象であり、運用中の施設は施行から3か月以内の公表が義務付けられている。HTTRにおいても原子力機構全体で取りまとめた実施要領に基づき廃止措置実施方針を作成し、2018年12月に原子力機構のHP上にて公表した。

なお、廃止措置実施方針は少なくとも5年ごとに見直しを行い、必要があると認められた場合には変更を行うことが求められている。

2) 保安規定の改正に係る変更

HTTRの品質保証活動に影響する保安規定の改定は以下のとおりである。

原子炉施設保安規定

①2018年7月2日改正（2018年8月29日施行）

- ・ホットラボの排気筒取替え完了に伴う変更
ホットラボの排気筒の取替え工事が完了したことから、「第5編 JMTRの管理」について排気筒の取替えが完了するまでの間における保安に関する記載事項を削除する。
- ・予防処置の強化に関する変更
第1編第19条の予防処置に関して、他の組織から得られた技術情報を自らの施設の保安にいかす措置を追加する。

核燃料使用施設等保安規定

①2018年5月10日改正（2018年6月12日施行）

- ・「使用施設等における保安規定の審査基準」の改正に係る変更：第1編第18条の予防処置に関して、他の組織から得られた技術情報を自らの施設の保安にいかす措置を追加する。
- ・燃料研究棟の法令報告で示した再発防止対策に関する変更

②2018年7月2日改正（2018年8月29日施行）

- ・ホットラボの排気筒取替え完了に伴う変更：ホットラボの排気筒の取替え工事が完了したことから、「第5編 JMTRの管理」及び「第6編 ホットラボの管理」について排気筒の取替えが完了するまでの間の措置に関する記載事項を削除する。その他、必要な項目を追加する。

③2018年10月2日改正（2018年10月19日施行）

- ・使用を終了した核燃料物質の取扱いに係る変更：「第8編 HTTRの管理」第5条第1項について、使用実施計画の記載事項に使用を終了した核燃料物質の貯蔵又は廃棄に関する事項及び核燃料物質の処理に関する事項を追加する。
- ・一時的な保管状態にある核燃料物質の管理の追加：「第7編 燃料研究棟」にグローブボックスに一時的な保管状態にある核燃料物質の管理に係る記載を追加する。

3) 組織体制の変更等に関する情報

2018年度(2018年4月1日)から原子力機構全体の組織改正が実施されており、HTTRの保安活動に係る品質保証活動体制の変更は図7.1に示すとおりである。本組織改正は大洗研究所燃料研究棟汚染事故等のトラブルを踏まえ、内部統制を強化するための変更である。

施設・設備の変更に関しては、品質マネジメントシステムに影響を及ぼす可能性のある、施設・設備の変更はなかった。

(6) 品質マネジメントシステムの継続的な改善

高温工学試験研究炉部の品質マネジメントシステムの継続的な改善については、部の品質管理要領に基づき、業務に対するレビュー(日常的レビュー及び定期的レビュー)による各課の業務の改善、または定期文書レビュー等に基づく品質保証管理要領等の改定を主として改善に取り組んだ。

その他の改善として、原子力機構及び大洗研究所において発生したトラブル等への対応として発災施設以外への他施設での未然防止を目的とした水平展開を実施している。今年度は部で「不適合事項等水平展開実施規則(大洗 QAM-06)」に基づく水平展開を18件実施した。

HTTR品質保証管理要領の主な改定及びを以下に示す。制改定後のHTTR品質保証管理要領の文書体系を図7.2に示す。

1) HTTR 品質保証管理要領の主な改定

- ・ 2018年4月1日施行の大洗研究所の組織改正に伴い、高温工学試験研究炉部内での要領の改定を実施した。なお、改定する部分は多岐にわたるため、今年1年を期限に事業所名称の読み替えを部長通達で出していたが、2018年度中に改定は完了した。
- ・ 2017年6月6日に燃料研究棟で発生した汚染事故に関する要因分析等を踏まえた水平展開の対応として、2017年度に「総則」、「業務の管理要領」等の改定を実施した(2017年3月30日改定及び2017年4月1日施行)。これらの要領の改定は、潜在リスクの抽出の確実な実施(部長確認)及び部における是正処置プログラム(CAP)の実施が目的である。これらの活動は2018年度から実施し、それぞれの活動状況の確認、レビュー等を行っており、改善活動を継続している。
- ・ 2017年度の原子力安全監査のコメント(文書レビューの視点の追記)に係る対応として「文書及び記録の管理要領」を改定した(2018年6月5日施行)。また、原科研頭部負傷に係る水平展開指示及びふげん品証記録不備に係る予防処置の対応に係る対応として「教育・訓練管理要領」の改定を実施した(2018年9月12日施行)。
- ・ 2018年度の品質月間の活動計画に基づき、部において文書レビューWGを設置し、品質保証に係る文書の定期的なレビューを実施した。レビューは今年度作成した文書レビューWGの作業手順書を用いた。2017年度の原子力安全監査の意見に対応して各課の教育訓練管理マニュアルを部の品質保証関連文書として位置付け直した。

2) 大洗研究所における主な水平展開

- ・ 原子力機構において従業員の負傷災害が頻発したことから、①作業環境(立入を制限し

ている場所等を除く)の確認、②現場での作業の安全対策の実施状況の確認、③リスクアセスメントの再確認の水平展開指示があり、高温工学試験研究炉部では、①の結果、原子炉建家で2件、搬出入建家で1件、合計3件の被災の危険源を確認し、対策を完了した。②の結果、対象期間中の作業4件のうち1件について、安全対策はなされているものの、より明確にするため要領書等に反映する改訂を実施した。③の結果、作業件数19件のうち、3件の作業のリスクアセスメントシートを見直した(水平展開2018内008緊急現場点検の実施について(改善指示))。

- ・2018年6月21日に発生したJMTRタンクヤード(管理区域)における作業者の負傷(はしごからの飛び降りによる右足のかかとの負傷)に係る水平展開として、高温工学試験研究炉部において、①作業現場の環境、②作業管理、③「作業の安全管理要領」等の更なる改善についての教育を実施した(水平展開2018(JMTR)003「JMTRタンクヤード(管理区域)における作業者の負傷について」に係る水平展開について(品質保証に係る水平展開))。
- ・2019年1月30日に核燃料サイクル工学研究所プルトニウム燃料第二開発室の粉末調整室(管理区域内)において、プルトニウムとウランの入った貯蔵容器をグローブボックスからバックアウトする作業を行っていたところ汚染事象が発生した。そこで、①バックアウトした貯蔵容器表面が汚れていたことに対する対策、②一重目の樹脂製の袋の梱包物に穴が開いたことに対する対策③汚染を拡大させたことに対する対策について水平展開がされた。高温工学試験研究炉部においては、対象施設を有していない旨を回答した(水平展開2018内022、024「核燃料サイクル工学研究所プルトニウム燃料第二開発室の管理区域内における汚染について」に基づく水平展開(改善指示))。

なお、本汚染事象は、法令報告事象に該当するため、原因分析後に機構として重点的に水平展開による改善指示が実施されている。

なお、2017年6月6日に燃料研究棟で発生した汚染事故の反省を踏まえて、緊急時災害等に対する対応能力の向上として、作業者の早期退出、内部被ばくの防止のために技術力を向上させることを目的に、グリーンハウス(以下、「GH」という。)の設置及び身体除染訓練を大洗研究所として各部において計画的に実施することとした(6.1(3)1)是正処置②に関連)。高温工学試験研究炉部においても四半期毎にGH設置及び身体除染訓練を実施及び他部署による訓練の評価を行っている。

2020年4月から開始される新検査制度については原子力機構として試運用に向けた準備作業を実施しており、高温工学試験研究炉部においても原子力機構が主催する検討会等へ参加し、情報を共有しながら、保全計画、独立検査制度、フリーアクセス対応、PI設定評価、CAP活動等の新検査制度実施に向けた準備活動を開始している。

表 7.1 2018 年度の原子力安全等の達成に関する外部機関への対応状況

月	検査・調査関係	届出・申請関係
2018年 4月		4.19 施設定期検査の変更届（組織改正に伴う事業所名称の変更のため）
5月	5.29～5.31 炉施設保安検査 5.29～6.5 使用施設等保安検査	
6月		
7月		7.11 原子炉設置変更許可申請（新規制基準対応）の第5回補正 7.11 設計及び工事の方法の認可申請（新規制基準対応）の第2回 7.30 設計及び工事の方法の認可申請（新規制基準対応）の第1回の補正
8月	8.21～8.23 炉施設保安検査 8.21～8.27 使用施設等保安検査 8.30 田中原子力規制委員のHTTR施設現地調査	
9月		9.19 施設定期検査の変更届
10月	10.30 施設定期検査（規制庁立会）	10.17 原子炉設置変更許可申請（新規制基準対応）の第6回補正
11月	11.16 施設定期検査（規制庁立会） 11.20～11.22 炉施設保安検査 11.20～11.27 使用施設等保安検査 11.30 施設定期検査（規制庁立会）	11.16 設計及び工事の方法の認可申請（新規制基準対応）の第3回
12月	12.27 更田原子力規制委員長のHTTR施設現地調査	
2019年 1月		1.31 運転計画の届出
2月	2.19～2.21 炉施設保安検査 2.21～2.26 使用施設等保安検査	
3月	3.7 原子力安全協定に基づく平常時立入調査	3.26 設計及び工事の方法の認可申請（新規制基準対応）の第2回の補正 3.26 設計及び工事の方法の認可申請（新規制基準対応）の第4回

表 7.2 2018 年度の品質目標の概要

品質目標（実施方策）*	達成状況及び評価（概略）
<p>1. 原子力安全に対する自らの活動のもつ意味及び重要性の認識を更に浸透させる。</p> <p>(1)設備の保安に関するメッセージの発信（異常を異常と認識すること、異常の兆候を放置しないことの周知を含む。）</p> <p>(2)関係法令及び規則・要領等の遵守意識の醸成教育の実施</p> <p>(3)担当業務に係る法令等に関する習熟教育（新規制基準の教育を含む。）の実施</p>	<p>(1) 設備の保安に関するメッセージ（異常を異常と認識すること、異常の兆候を放置しないことの周知を含む。）を各四半期に部長から発信があり、各課は部長メッセージに基づき訓示を実施した。訓示後に実施したアンケートにより評価した結果、自らの活動の重要性等についての認識が深まっていると評価した。</p> <p>(2) 醸成教育は 2017 年 6 月に発生した燃料研究棟の汚染事故に係る事例教育を実施した。燃研棟の汚染事故に関する情報を改めて共有することにより安全意識の向上が図られていると評価した。</p> <p>(3) 習熟教育は、BDBA（多量の放射性物質等を放出する事故）に係る教育を実施した。新規制基準の要求事項である BDBA の HTTR における審査状況等について情報の共有が図られたと評価した。</p>
<p>2. 高経年化施設に対する適切な保守管理の実施</p> <p>(1)施設・設備の高経年化を考慮した保全活動の実施</p> <p>(2)不適合事象等を活用した予防処置活動の推進</p> <p>(3)経年劣化現象や健全性判断に関する検討及び教育</p>	<p>(1) 常時稼働している特定施設等の設備、機器について経年劣化の兆候を見逃さないよう保守マニュアルの見直しを検討した。HTTR 機械棟設備要領、別添-3 HTTR 機械棟ボイラー運転日誌を直し、中圧環水槽の温度を記入するように改定し、蒸気トラップの劣化の兆候を確認できるようにした。</p> <p>(2) 『「ふげんにおける品質記録等の管理上の不備に関する根本原因分析を踏まえた改善」に対する水平展開（ランク C）』と「保安規定変更認可申請書等の誤記（ランク C）」の 2 件の予防処置を実施した。</p> <p>(3) コンクリート、鋼材等の劣化、補修等についての教育を実施した。教育後実施したアンケートにより理解度、有効性等を評価した結果、経年劣化に対する理解を深められたことを確認した。</p>
<p>4. 品質マネジメントシステムの更なる改善</p> <p>(4)継続的改善が定着する活動の実施</p> <p>(5)安全情報等を各部の要領等へ反映する仕組みの運用・改善</p>	<p>(4) 部長による作業計画書、作業手順書等の確認活動は年度を通して年間 144 件実施していることから活動が定着しているものと評価する。また、課題及び改善事項の整理に基づき、現場で安全対策の実施状況の確認を部長が確認できるようにする様式-3 の改定等の改善を実施した。</p> <p>(5) 是正処置プログラム（CAP）活動について年度を通して部内で実施し、同活動に関してレビューした結果、指示内容を明確にするために CAP 活動記録の様式を改定した。今年度の活動を通して、情報の収集は図られたが、収集した情報を予防処置につなげる仕組みが十分でないという反省が得られた。</p>
<p>5 その他各部の取組み状況</p> <p>(1) HTTR 第5回施設定期検査を確実に進める。</p> <p>(2) HTTR の新規制基準への適合性確認を受ける。</p>	<p>(1) 計画に基づき施設定期検査を受検し、検査結果はすべて良と判定された。施設定期検査計画に基づき 2018 年度に実施する施設定期検査を確実に完了するという目標を達成した。</p> <p>(2) 審査ヒアリング及び審査会合に迅速に対応することにより、運転再開に向けた準備が進めることができたと評価する。今年度は、設置変更許可申請の第 5 回補正、設工認第 2 回申請、設工認第 1 回申請の補正、設置変更許可申請の第 6 回補正、設工認第 3 回申請、設工認第 2 回申請の補正、設工認第 4 回申請を実施している。</p>

*品質目標の高温工学試験研究炉部が実施する項目のみを記載したため、項番号は連続していない。

表 7.3 2018 年度 不適合管理状況一覧

名 称	内 容
<p>①一般冷却水設備の運転に係る誤操作【H 運(21)】(発生日：2018.9.23 ランク C)</p>	<p>2018 年 9 月 23 日 16 時 51 分、一般冷却水設備運転中の監視業務において、特定施設運転員 X が冷却水温度を調整するため冷却ファン A の停止操作を実施するところ、誤って循環ポンプ A を停止した。その後 X は、「一般冷却水母管供給圧力低」警報の発報により誤操作したことに気づき、当該ポンプを再起動させた。循環ポンプ A の停止に伴い「一般冷却水母管戻り流量低」警報が発報したことにより予備機の循環ポンプ B が自動起動した。あわせて、空調用冷水装置IIが「冷却水流量減」警報発報により自動停止した。本事象による施設の保安に影響は認められなかった。また、X は、一般冷却水設備の循環ポンプ A を誤って停止したこと及び空調用冷水装置IIが自動停止したことを HTTR 運転管理課長に報告したが、当該循環ポンプ A を再起動したことを報告しなかった。なお、循環ポンプ A を再起動したことについては 2018 年 9 月 25 日に報告された。</p>
<p>②「文書回覧による周知記録」の様式の誤使用【H 計(7)】(発生日：2019.3.12 ランク C)</p>	<p>高温工学試験研究炉部の「教育・訓練管理要領 (HTTR-QAS-02)」にて定められている周知教育に使用する様式-4「文書回覧による周知記録」について、2019年3月12日にHTTR計画課及びHTTR部付の記録が旧様式を使用していたことが、別の課の担当者の指摘により判明した。当該様式は備考欄を追記するように変更し、2018年9月12日に施行されている。施行後その様式が使われてなく、誤使用は平成30年9月から約半年間で13件の記録について誤使用があることを確認した。</p>

表 7.4 2018 年度 是正処置実施状況一覧 (1/2)

名称	内容	原因	是正処置
①原子炉設置変更許可申請の第3回補正における誤記(不適合管理番号:H計(5)、発生日:2017.12.26 ランクC)	2017年12月21日付けにて原子力規制委員会に提出した新規規制基準対応の原子炉設置変更許可申請の第3回補正において誤記があることが判明した。誤記は組織図(添付書類五)に2件。さらに検証を実施したが、安全に係るものでない3件。第4回補正についても確認を実施して、これらの誤記は第4回補正に反映させた。しかし、第1回補正の申請書からあった添付書類十の既許可部分の一部記載漏れが判明した。	今回の誤記の不適合の原因を以下のように推定した。 1. 新旧対照表との不整合原因は、部内審査等は新旧対照表を基に実施していたため、申請書本体の確認がおろそかになったためと考えられる。 2. 申請書の既許可部分の一部記載漏れ 該当する新旧対照表を確認した結果、変更がない箇所については、「変更後」の欄に「変更なし」と記載すべきところ空欄となっていた。このため、「変更前」の記述が削除されたものと勘違いしたことも確認が抜けた一因と推測される。	①申請書本体に変更すべき点が反映されるため及び変更部分の誤記を防止するために、新旧対照表と申請書本体の突合せ確認を申請先への提出の最終確認として実施するように「許認可申請書作成時の体制、確認等に係る要領」(HTTR-QAS-42)を2018年5月31日に改定した(2018年6月5日施行)。 ②現在保有している最新の申請書完本について誤記の総チェックを実施し、確認された誤記については、第5回補正にて対応した。
②グリーンハウス設置訓練及び身体除染訓練における自主的改善(不適合管理番号:H計(6)、発生日:2017.11.21 ランクC)	燃料研究棟の汚染事故において不適合報告が行われ、各部署においても以下の点で自ら不適合事象とした。 (1)グリーンハウス設置訓練 ⑦汚染事故を想定する実験室等でグリーンハウスの設置を必要とするかの評価結果について、記録として残されていない。 ⑩当該施設の放射線業務従事者(従業員)の全員はグリーンハウスの設置を経験していない。 ⑪グリーンハウス設置訓練時の作業者の装備について、事故対応を想定したものになっていなかった(一部の施設)。 (2)身体除染訓練 ①身体除染訓練として燃料研究棟での事象(半面マスク内部の汚染)を踏まえた、顔面汚染時の除染訓練の想定がなされていない(一部の施設)。 ②負傷を伴った除染訓練が実施されていない(一部の施設)。	(1)グリーンハウス設置訓練について、以下の対応が不十分であった。 ⑦汚染事故発生時のグリーンハウス設置の必要性は認識していたが、必要性の評価結果の記録までは残さなかった。 ⑩緊急時のグリーンハウス設置に従事する要員を明確にしていなかった。 ⑪グリーンハウスは汚染のないところに設置するのが基本であるため、半面マスクの着用までは想定していなかった。 (2)身体除染訓練に関連し、以下の事項が不十分であった。 ①顔面汚染を想定した除染訓練は一部実施済である。ただし、継続的な実施を図る観点から、不適合管理を行う。 ②皮ふ除染等を想定した除染訓練は実施したが、燃研棟事故では負傷者がなかったため、負傷を伴った除染訓練までは実施しなかった。	(1)-⑦ 施設において汚染事故想定とグリーンハウス設置の必要性の評価を行った。(2017.12.28に評価。総合訓練時のコメントを受け2018.2.14に再評価した。) (1)-⑩ 当該施設の放射線業務従事者(従業員)の全員にグリーンハウスの設置を体験させる訓練について、訓練の実施状況を確認し、訓練を追加実施した。(2018.1.17に全員の訓練を終了した。) (1)-⑪、(2)-①、(2)-② グリーンハウス設置時の作業者の装備、顔面汚染を想定した除染訓練、負傷を伴った除染訓練等について、事故の想定を含め、総合的な訓練計画を策定した。(2018.3.28作成。)

表 7.4 2018 年度 是正処置実施状況一覧 (2/2)

名 称	内 容	原 因	是正処置
③一般冷却水設備の運転に係る誤操作 (不適合管理番号：H 運(21)、発生日：2018.9.23 ランク C)	<p>2018 年 9 月 23 日 16 時 51 分、一般冷却水設備運転中の監視業務において、特定施設運転員 X が冷却水温度を調整するため冷却ファン A の停止操作を実施すると、誤って循環ポンプ A を停止した。その後 X は、「一般冷却水母管供給圧力低」警報の発報により誤操作したことに気付き、当該ポンプを再起動させた。循環ポンプ A の停止に伴い「一般冷却水母管戻り流量低」警報が発報したことにより予備機の循環ポンプ B が自動起動した。あわせて、空調用冷水装置Ⅱが「冷却水流量減」警報発報により自動停止した。本事象による施設の保安に影響は認められなかった。</p> <p>また、X は、一般冷却水設備の循環ポンプ A を誤って停止したこと及び空調用冷水装置Ⅱが自動停止したことを HTTR 運転管理課長に報告したが、当該循環ポンプ A を再起動したことを報告しなかった。なお、循環ポンプ A を再起動したことについては 9 月 25 日に報告された。</p>	<p>本事象の不適切な対応の原因は、特定施設運転員への聞き取り調査により以下のとおり特定した。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 機器操作時に他の機器を停止させた原因は、機器操作時に指差呼称による確認を怠ったこと及び当該操作を 1 人で行ったことによる。 2. 計画外操作を実施した原因は、計画外の操作を行わないことについての認識不足による。 3. 報告が適切にされなかったことについては、操作対象機器とは違う他の機器を停止させたことにより気が動転し正確な報告ができなかった。 	<p>特定施設運転委託業者が特定施設運転員に対してヒューマンエラー防止に係る教育を実施し、教育訓練記録にて確認した。また、特定施設運転員各班にて行ったグループ討議において対策の検討等について検討していることを討議記録にて確認した。</p> <p>さらに、特定施設の運転操作において指差呼称で相互確認を実施していることを確認した。特定施設運転委託業者内の通報連絡系統を見直し、通報訓練を実施し、適切に情報が伝えられていることを確認した。</p> <p>HTTR 部内においては本件の事例を用いたヒューマンエラー防止に係る教育を実施した。</p>

表 7.5 2018 年度 予防処置実施状況一覧

名 称	起こり得る不適合及びその原因特定	不適合の発生を予防するための処置の必要性の評価	予防処置の計画
『「ふげんにおける品質記録等の管理上の不備に関する根本原因分析を踏まえた改善」に対する水平展開』（ランク C)	<p>①「文書レビューが適切に行われるような仕組みが構築されていなかった。（組織要因⑤）」という報告書による組織要因に対して、当部において文書レビューの具体的な方法については文書及び記録の管理要領（HTTR-QAS-01）にて明確化されているが、実際に行われているWGを設置する等までは明文化されていない点が懸念される。</p> <p>②「QMSの理解教育が十分でなかった。（組織要因⑧）」という報告書による組織要因に対して、当部において記録の修正方法に関する理解が不十分なため、記録の不適切な修正をしてしまう点が懸念される。</p>	<p>ふげんにおける品質記録上の管理上の不備に関する根本原因分析の報告書による組織の要因に基づき、当部に起こり得る不適合を検討した結果、同様の不適合の未然防止及び当部におけるQMSの改善のために予防処置の実施が適切であると評価する。</p>	<p>①文書レビューWGの運営要領を作成し、レビューの視点の明確化等の文書レビューの充実を図る。</p> <p>②教育・訓練管理要領（HTTR-QAS-02）に基づき実施している、誤記等の発生防止に係る事例教育に記録の修正に係る教育を追加するように要領書の改定を行う。</p>
「保安規定変更認可申請書等の誤記」	<p>保安規定の変更箇所について、当該条文を修正したが、関連する条文を全て確認していなかったため、関連する条文間の条項番号等に不整合が生じる。また、要領に基づきチェックはしていても、確認時の着眼点（全ての条文、図、表の確認）が不明確であるため原因となりうる事が考えられる。</p>	<p>当部における保安規定変更申請等の許認可申請書作成の際に、関連する条文の誤記は発生が考えられる事象であり、予防処置の実施が適切であると評価する。</p>	<p>許認可申請書の作成に使用する「許認可申請書作成時の体制、確認等に係る要領（HTTR-QAS-42）」のチェックシートに関連する条文についてチェックするように着眼点を追加する。</p>

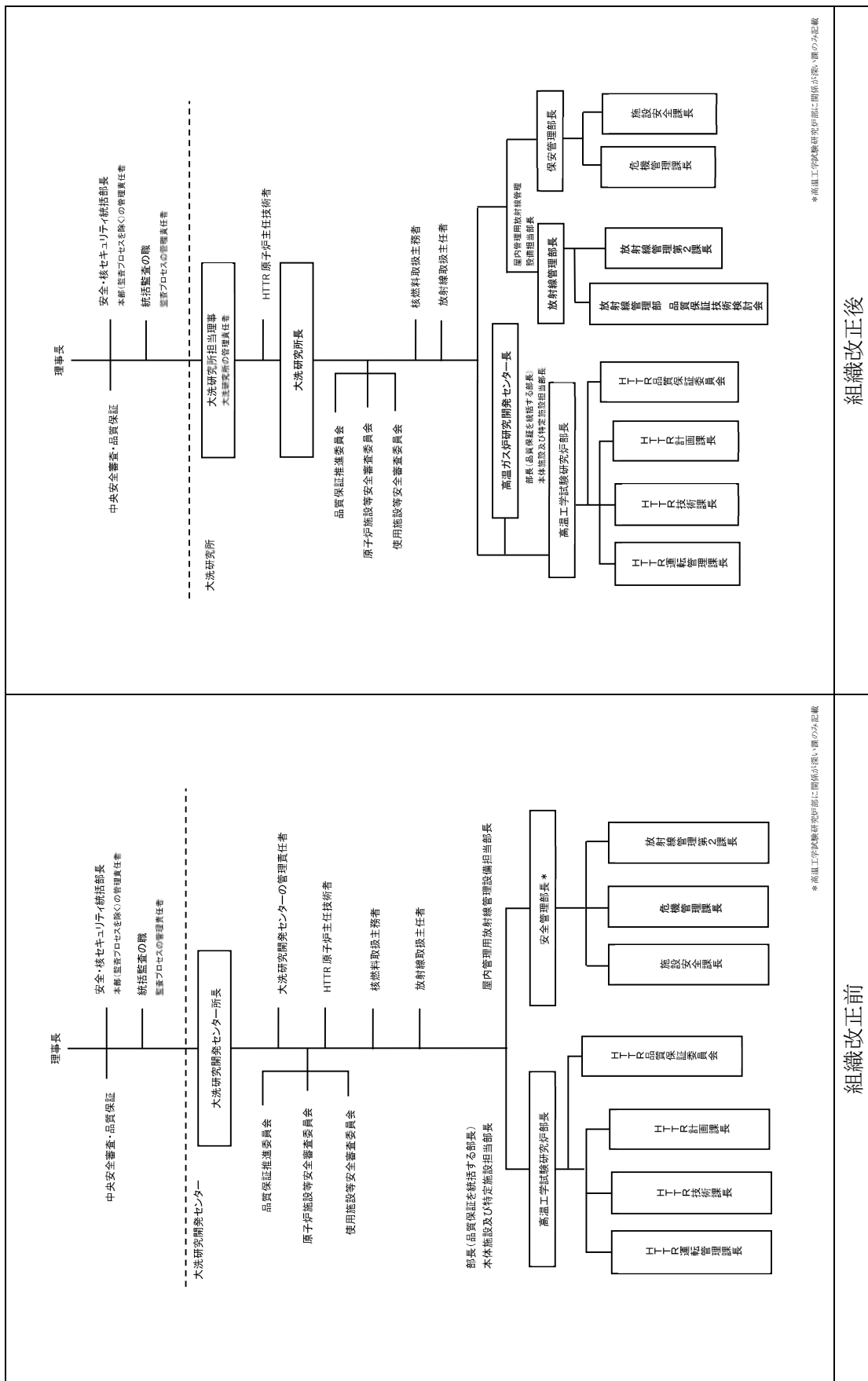


図 7.1 HTTR の保安活動に係る品質保証活動体制図 (2017 年度までの組織図と 2018 年度からの体制図の比較)

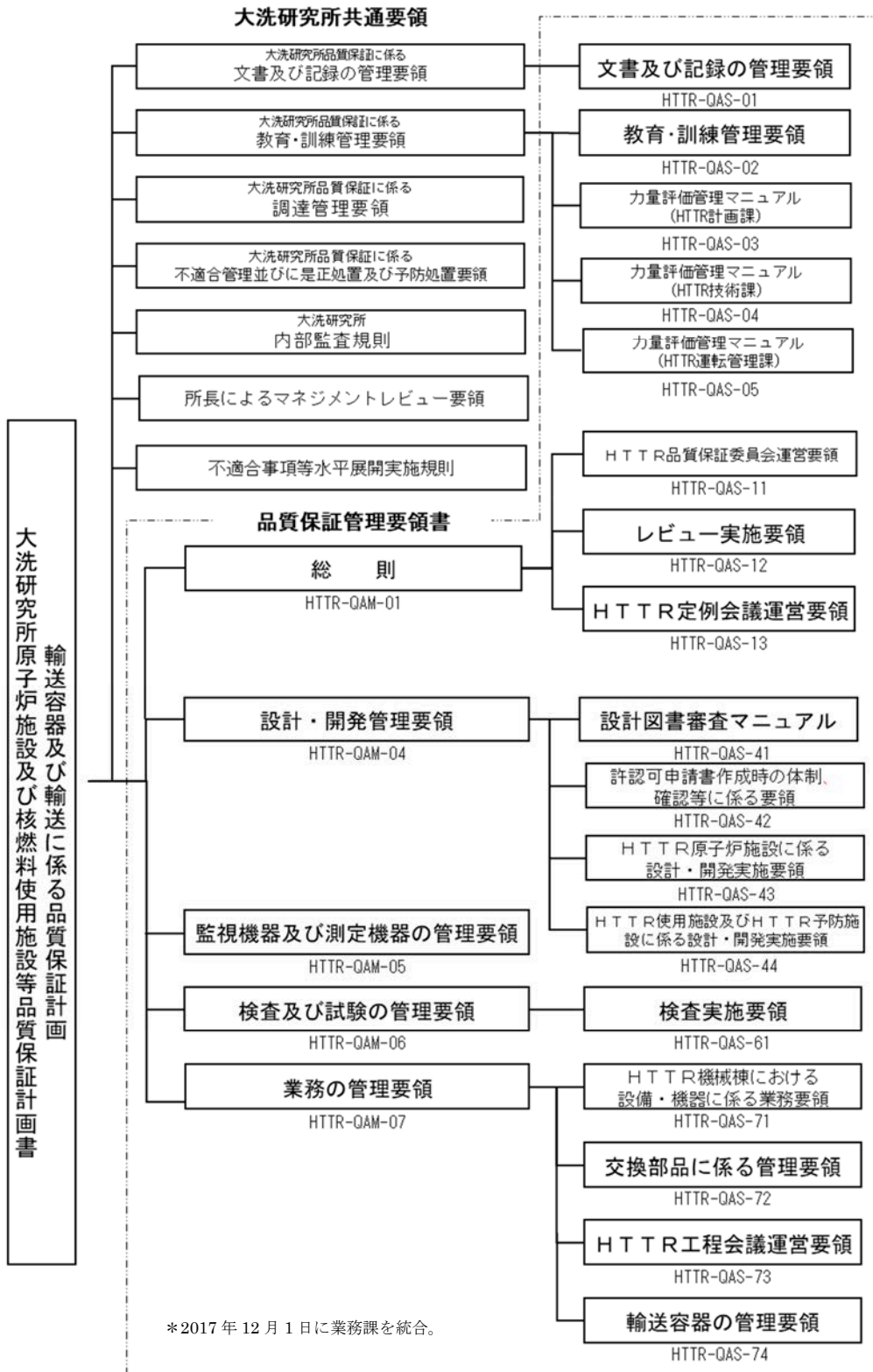


図 7.2 HTTR の品質保証活動に係る文書体系図 (2018 年度)

8. 所外の専門部会等での審議

Deliberations in Specialist's Committees

This is a blank page.

8.1 高温ガス炉産学官協議会

エネルギー基本計画を受けて設立された文部科学省の高温ガス炉技術研究開発作業部会の中間とりまとめでは、産学官で実用化像、研究開発体制・国際展開の在り方等を検討し、国の政策に提言することが求められている。これを受けて、原子力メーカー、燃料・黒鉛メーカー、水素・熱利用メーカー、商社・シンクタンク、大学など、幅広い分野から経営判断のできるレベルのメンバーの参加を得て高温ガス炉産学官協議会が設立され、2015年度に2回、2016年度に2回、2017年度に1回の会合が開催された。

2018年度は8月7日に第6回の会合が開催され、高温ガス炉開発を取り巻く現状及び高温ガス炉の国際協力の現状を報告するとともに、ポーランド国立原子力研究センターの Grzegorz Wrochna 国際課長及び Jacek Jagielski 材料物理部長が会合に出席し、ポーランドの高温ガス炉計画が報告された。

8.2 高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会

高温ガス炉及び水素製造研究開発・評価委員会（委員長：藤井康正東京大学教授）を、2019年2月27日に開催し、以下に示す1)～5)の項目に対する2018年度の研究成果の進捗状況の評価を受けた。

- 1) 高温ガス炉技術研究開発
- 2) 熱利用技術研究開発
- 3) 人材育成
- 4) 産業界との連携
- 5) 2019年度の研究計画

2018年度は、全ての項目で計画通りか、それ以上に進展していると評価され、特に以下に示すHTTRの新規制基準への適合性確認の対応及びISプロセスによる連続水素製造試験の成果が最も高く評価された。

- HTTRの運転再開に向けた新規制基準への適合性確認の審査において、設計基準を超える事故に関し、二重管破断事故に停止機能、冷却機能、閉じ込め機能の喪失がそれぞれを重畳した事象を想定しても燃料溶融しないこと及び黒鉛ブロックが不燃性であることを原子力規制委員会が認める等、運転再開に向けた取り組みを着実に進めた。
- 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時間の連続運転を達成し、ヨウ素の析出防止対策、ヨウ化水素溶液漏えい対策及び運転手順の有効性を確認した。加えて固体析出物（硫黄）の発生防止対策の有効性を確認した。

以上を踏まえ、総合評価を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感が認められる）とした。

また、2019年度の研究計画に対し、HTTRの早期の運転再開への期待、ISプロセス水素製造試験の着実な実施等に関するコメントがあった。以下に2019年度の年度計画に関する代表的なコメントを示す。

- HTTR の速やかな運転再開に向けて新規規制基準への適合性確認対応を進め、設工認取得を目指して頂きたい。BDBA に対して大規模な追加対策は不要であることを示している点は、成果を国際基準にできると良い。
- 実用化に向けて、IS プロセス水素製造試験における起動・停止シーケンスを含めた自動化の検討、劣化の検討は必須なので、データの蓄積と制御用のパラメータセンシング手法の検討も制御技術開発の中で確実に実施して頂きたい。

9. 実用高温ガス炉に向けた取組み

Development for Commercial-scale High-temperature Gas-cooled Reactor

This is a blank page.

HTTR の試験データや開発した燃料等の要素技術に基づき、実用化を目指した高温ガス炉の研究開発を進めている。また、HTTR の接続試験を見据えたヘリウムガスタービン技術や水素製造技術の研究開発を進めている。

9.1 安全要件の国際標準案作成、安全要件の適用性確認

原子力機構は、HTTR 試験データに基づく、我が国の高温ガス炉の安全基準案の国際標準化を目指している。平成 30 年度は、国際原子力機関（IAEA）協力研究計画（CRP）「モジュラー型高温ガス炉の安全設計」において、実用高温ガス炉システム安全要件の国際標準案の原案を作成するとともに、蒸気供給用高温ガス炉システムの設計・評価により安全要件の適用性を確認した。

安全要件の国際標準案の原案作成については、IAEA CRP における議論を主導し、日本原子力学会の研究専門委員会で作成した実用高温ガス炉の安全要件（案）を基に、高温ガス炉の優れた安全上の特長を考慮した安全要件の国際標準案の原案作成を完了した。表 9.1 に実用高温ガス炉と軽水炉の安全要件の比較を示す。

安全要件の適用性確認については、原子炉熱出力 30MW の蒸気供給用高温ガス炉システムを対象に、国際標準案として策定した安全要件に適合する炉心及びシステムの設計、並びに安全評価を行った。具体的には、事故時の受動的除熱機能を考慮した炉容器冷却設備、放射性物質閉じ込め機能や空気侵入抑制機能を考慮したコンファインメント、水侵入抑制機能を考慮した蒸気発生器の機器仕様設定を完了した。また、プラント成立上クリティカルとなる減圧事故及び水侵入事故の安全評価を行い、安全要件の妥当性を確認した。

表 9.1 実用高温ガス炉と軽水炉の安全要件の比較

安全要件の項目		実用高温ガス炉	軽水炉
放射性物質 閉じ込め	燃料の 健全性 維持	事故時を含む (事故時も燃料で放射性物質を閉じ込め)	通常運転時と異常な過渡変化まで (事故時も燃料の健全性維持に努めるが、炉心溶融を想定し、格納容器で閉じ込め)
	原子炉 格納系	コンファインメント (気密性：低) (燃料性能、設計などによっては不要)	格納容器 (気密性：高)
原子炉の停止		原理の異なる 2 つの手段 (固有の炉停止特性を 1 つの停止手段とみなす)	原理の異なる独立 2 系統
炉心からの除熱		原子炉圧力容器外面からの受動的な 残留熱除去 (受動的な炉心の間接冷却)	停止状態：残留熱除去系 事故状態：非常用炉心冷却 (能動的な炉心の強制冷却)

9.2 高燃焼度化・高出力密度化のための燃料要素開発

実用高温ガス炉に求められる高燃焼度化（最高 160GWd/t）及び高出力密度化（6MW/m³）に向けた燃料の基盤技術の確立に向け、HTTR で確立した燃料技術に基づく燃料要素の開発を進めている。平成 30 年度は、実用高温ガス炉に向けた 100GWd/t 高燃焼度燃料要素の成立性の提示に向けて、海外の照射データ等を活用し、現在 60GWd/t まで明らかな照射性能を、100GWd/t 照射データを用いて評価した。

海外の照射データの取得にあたっては、後述する国際科学技術センター（ISTC）のレギュラープロジェクトの枠組みでカザフスタン核物理研究所（INP）が実施している 100GWd/t 規模の照射済み燃料コンパクト試料を用いた照射後試験を技術指導し、100GWd/t 照射燃料コンパクトの寸法変化率データを新規に取得した（図 9.1）。その結果、高燃焼度化燃料要素の成立条件である、「燃料コンパクトと黒鉛スリーブの間にギャップが存在する上で、両者の照射寸法変化率の和が負であること」を満足することを確認し、伝熱評価に必要な設計曲線を拡張した。

照射済み燃料コンパクト試料の外観観察の結果（図 9.2）、割れ等がないことを確認した。また、熱膨張及び照射変形等により燃料要素が構造健全性を保持し得なくなるような、燃料コンパクトと黒鉛スリーブの機械的相互作用が起きないことを確認した。

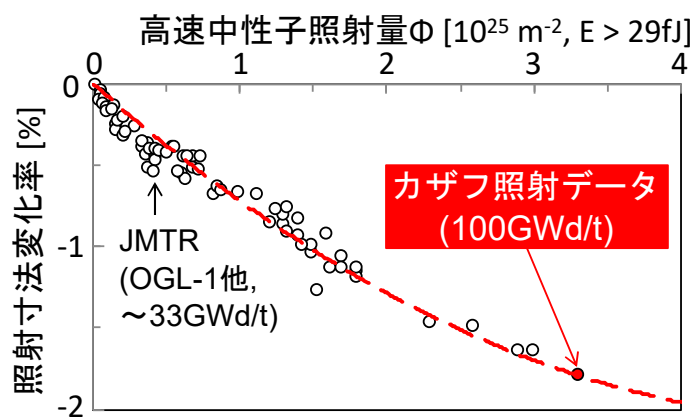


図 9.1 高速中性子照射量に対する燃料コンパクトの照射寸法変化率



図 9.2 照射済み燃料コンパクト試料の外観

9.3 ヘリウムガスタービン軸封システム要素試験装置の設計

実用高温ガス炉では、系内への不純物混入の観点から油軸受をヘリウムガス圧縮機等回転機器のケーシング外に設置するため、回転機器のローターがケーシングを貫通する。そのため、貫通部でのヘリウム漏えいを抑制する軸シール（軸封）が必要となる。これまでに、回転機器の軸封部からのヘリウム漏えい量低減を目的とする軸封システムを提案し、概念設計を基にした実用高温ガス炉で適用可能なヘリウムガスタービン軸封（ドライガスシール：DGS）システムの基本設計及び軸封システムの性能確認に向けた要素試験計画の策定を行ってきた。平成30年度は、軸封システムの基本設計及び要素試験計画に基づき、軸封システムの性能確認に向けた要素試験項目及び試験条件の検討を行うとともに、要素試験装置の設計を行った。

DGSには供給ガス圧力によりスラスト荷重が発生するため、要素試験装置ではDGSを対称的に設置することでスラスト荷重をバランスさせる構造とした。軸封システムの性能確認に必要な項目は、①運転下における漏えい量の検証、②回転数変動とヘリウムガス漏えい量変化の相関、③DGS差圧とヘリウムガス漏えい量の相関、④バッファヘリウムガスの圧力変動に対するシステム制御応答性、⑤制御運転可能な最小差圧の5項目である。④及び⑤については、DGSをオリフィス要素等で置き換えた解析モデルを用い、供給ヘリウムガス圧力やバッファタンク圧力の変動によるDGS間の気室圧力のシミュレーションを行い、その結果と①～③の静的試験結果を組合せて評価することとした。これにより、軸封システムの性能確認に向けた要素試験項目を①～③の3項目に削減するとともに、要素試験装置の設計を行った（図9.3）。

試験条件については、ヘリウムガス漏えい量に大きく影響するシール面の平均周速を実機速度相当とした。軸封システムは機内側と大気側2つのDGSを有するが、ヘリウムガス漏えい量を抑制する上で重要となるのは大気側のDGSであるため、要素試験装置のヘリウムガス供給圧力は大気側のDGSの圧力条件に圧力変動を考慮した値とした。

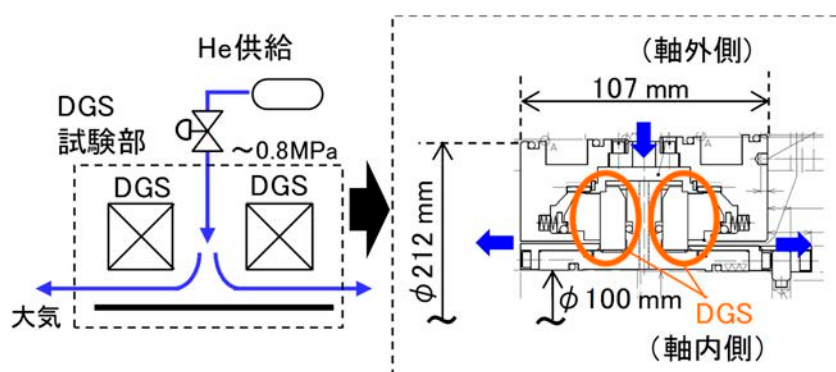


図9.3 要素試験装置の系統図（左）及び概略図（右）

9.4 硫酸分解器の概念設計

熱化学法ISプロセスによる実用水素製造システムにおいて、高温高压腐食環境という厳しい条件に対応するため、原子力機構では硫酸分解器をSiC（炭化ケイ素）セラミックスで製造するこ

とを想定している。しかしながら、SiC は高価であるがゆえ、耐食性を有する金属材料に代替することで、硫酸分解器の低コスト化が期待できる。そこで、平成 30 年度は、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、耐食性新規合金を適用した硫酸分解器の概念設計を行った。

硫酸分解器の概念図を図 9.4 に示す。硫酸分解ガスの冷却に伴う熱の回収のために、靴状の外管に内管が差し込まれて、折り返された流路が形成されるバイヨネット型反応器を採用している。従来の設計は、内管・外管ともに腐食性の大きい硫酸溶液と接触する箇所があるため、いずれにも SiC を用いた全 SiC 硫酸分解器としていた。これに対し、今回新たに提案した新規合金使用硫酸分解器では、全 SiC 硫酸分解器と逆に、硫酸溶液をティー継手内流路側から硫酸分解器に供給することで外管が硫酸溶液と接触しないようにし、外管に新規合金を適用することとした。

全 SiC 硫酸分解器及び新規合金使用硫酸分解器について、内管と外管厚さを材料の耐食性及び管の耐圧性を考慮して求め、ヘリウム流路-外流路間及び外流路-内流路間の伝熱が成立するように管長さを決めた。これらの寸法を基に硫酸分解器物量を求め、機器コストを評価した。その結果、硫酸分解器に新規合金を適用することにより、コストを全 SiC 硫酸分解器の 60%に削減できることを示した。

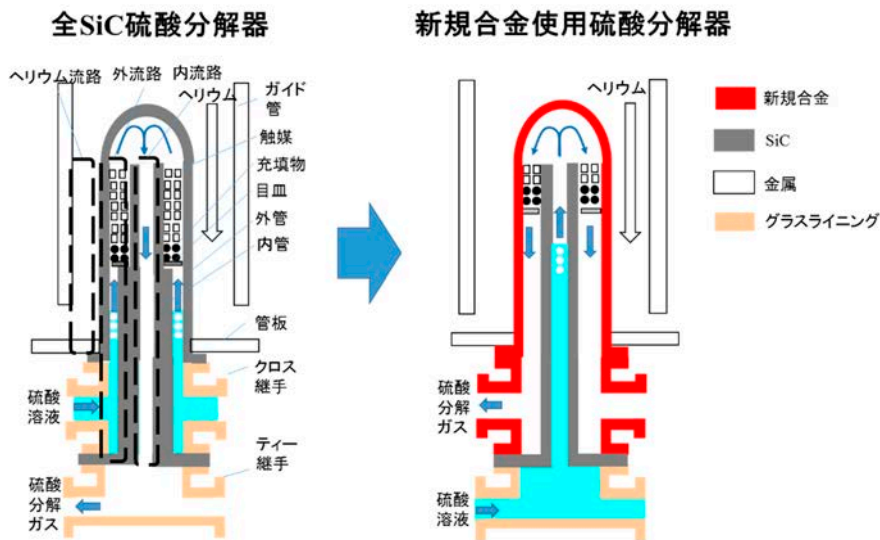


図 9.4 硫酸分解器概念図

9.5 ガスタービンへの核分裂生成物の沈着低減技術の開発

実用高温ガス炉ガスタービン発電システムにおいて、ガスタービン開放点検時の作業員被ばく量軽減を目指し、ガスタービン翼への核分裂生成物 (FP) 沈着低減技術開発を行っている。FP の中でも、Ag-110m がガスタービン翼の放射化に大きな寄与を占めるため、本核種のガスタービン翼への沈着量を低減することは重要な課題である。ガスタービン翼材料に用いられる Ni 基合金として、従来の多結晶性材料に代わり単結晶性材料を用いることで、Ag の高速拡散経路である粒

界拡散が抑制され、Ag 沈着量が低減することが期待されている。これまでに、Ni 基合金製造における鋳造及び熱処理工程に係る FP 沈着低減タービン材料開発方針を提案した。平成 30 年度は、本方針に従い製作した翼材料を用いて Ag 長期拡散試験を実施し、拡散試験片の分析結果に基づいてガスタービン候補合金を選定した。

長期拡散試験片 (800°C/8,000h) 中の Ag の拡散挙動の分析を目的として、電子線後方散乱回折 (EBSD) 及び電子プローブマイクロアナライザ (EPMA) による高精度の濃度分布マッピング分析を行い、Ag の粒界・粒内拡散挙動を探索した。

図 9.5 に EBSD 像と EPMA マッピングによる Ag 拡散分布を示す。単結晶性材料について、材料中の Ag の拡散分布は EPMA マッピングによる検出限界以下と極めて低濃度であることを明らかにした。一方、多結晶性材料について、EPMA マッピングで高濃度の Ag 粒を検出したことに加えて、EBSD 像で特定性状を有する粒界 (特定粒界) 中のみに Ag 粒が生成することを見出した。

上記の結果から、粒界低減による FP 拡散量抑制効果を初めて検証し、提案した FP 沈着低減タービン翼材料開発方針が FP 沈着低減に有効であることを示した。この翼材料開発方針に従って製作した単結晶性材料を実用ガスタービン翼候補合金として選定した。加えて、特定粒界のみが多結晶性材料中の Ag 粒生成に寄与することが示唆され、当該粒界を排除した粒界性状制御材料によるタービン翼の低コスト化に資する設計データを拡充した。

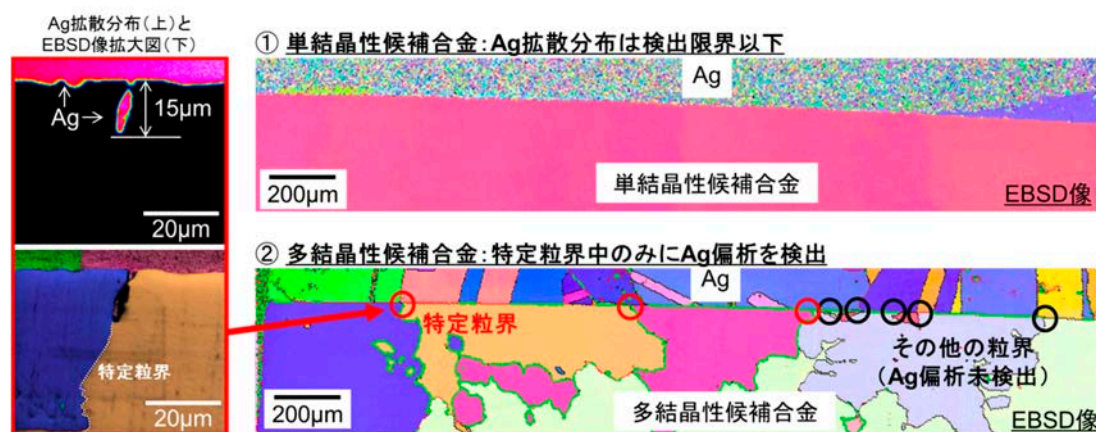


図 9.5 EBSD 像と EPMA マッピングによる Ag 拡散分布

This is a blank page.

10. 高温ガス炉開発に関する国際協力

International Cooperation on HTGR Development

This is a blank page.

原子力機構では、HTTR の建設・運転を通じて培った高温ガス炉技術を基にした国際協力を推進している。以下に、二国間及び多国間の国際協力について示す。

10.1 ポーランドとの国際協力

ポーランドでは、天然ガス輸入依存からの脱却、石炭火力による二酸化炭素排出量削減等のため、高温ガス炉導入に向け、ポーランドエネルギー省が諮問委員会を設立した。2016年から本格的な検討が開始され、2018年1月にポーランドへの高温ガス炉導入計画等が記された委員会報告書が公開された。また、2017年5月18日に開催された日・ポーランド外相会談において、「2017年から2020年までの日本国政府とポーランド共和国政府との間の戦略的パートナーシップの実施のための行動計画」が署名され、経済・科学・技術協力の分野で原子力機構とポーランド国立原子力研究センター（NCBJ）との間における高温ガス炉技術の研究開発に向けた協力を奨励することが明記された。これを受けて、ポーランドにおける高温ガス炉（実験炉及び商用炉）開発を支援すると共に高温ガス炉技術の研究開発を共同実施することを目的とした高温ガス炉技術分野における研究協力覚書（期間：2017年5月18日～2022年5月17日）を原子力機構とNCBJとの間で締結した。覚書締結後、NCBJと定期的な技術会合を開催している。2018年度には計4回の技術会合を行った。

- ・ 第4回技術会合（2018年6月にポーランドで開催）：実験炉及び商用炉の設計概念について意見交換。
- ・ 第5回技術会合（2018年8月に大洗で開催）：燃料・材料研究に関して原子力機構の照射キャプセルの設計実績、ポーランド MARIA 炉の照射条件等の調査を行うことで合意。
- ・ 第6回技術会合（2018年10月にポーランドで開催）：設計研究に関して HTTR の公開データを用いた NCBJ 核計算コードの検証を行うことで合意。
- ・ 第7回技術会合（2019年1月にポーランドで開催）：設計研究に関して HTTR 臨界ベンチマーク計算モデル作成のためのデータを公開情報に基づき提示することで合意。

さらに、人材育成の一環として、第1回高温ガス炉セミナーを2019年1月にポーランドで開催した。セミナーでは、日本における高温ガス炉開発に関する活動、高温ガス炉技術に関する講演等が行なわれた。NCBJの研究員、民間企業の技術者及び学生等、2日間で延べ200名以上が参加し、活発な議論が行われた。

NCBJがコーディネーターとなり、EUの研究開発ファンディング（Horizon 2020）の下で高温ガス炉コジェネレーションシステムの研究開発プロジェクト（GEMINI+）が2017年9月から実施されている。GEMINI+の成果はポーランド商用炉の設計に反映される予定であることから、原子力機構も本プロジェクトに参加している。

10.2 米国との国際協力

「原子力関連研究開発分野における協力に関する MEXT、DOE の間の実施取決め」に基づき、「高温ガス炉の研究開発に関する協力のためのプロジェクト取決め」が2014年6月に締結されている。この取決めの下で、原子力機構と米国エネルギー省（DOE）／アイダホ国立研究所（INL）が、日本の高温ガス炉技術の NGNP プロジェクトへの採用とそれに基づく国際標準化を目的とし

て、研究資産や技術の相互活用、先進的シミュレーションコードの開発・検証、HTTR 熱利用試験計画の共同検討、ヘリウムガスタービン翼材料への核分裂生成物移行挙動評価手法の開発等の協力を進めている。

2018年度は、先進的原子炉シミュレーションコード開発・検証に関して、SRAC で作成した断面データ核計算コード PHYSICS に適用するための改良を完了した。また、米国オークリッジ研究所で開発した高温環境用中性子計装について、HTTR を用いた照射試験の設備概要や条件を検討した。HTTR 熱利用試験計画の共同検討については、HTTR にガスタービンと水素製造施設を接続した HTTR-GT/H₂ システムについて、INL が2次ヘリウム冷却設備のプラント動特性評価モデルを構築し、ガスタービン単独発電運転時の定常解析を実施中である。ヘリウムガスタービン翼材料への核分裂生成物移行挙動評価手法の開発について、原子力機構がガスタービン翼候補合金と安定同位体の長期拡散試験 (800°C/8000hr) の試験データ取得を完了した。

また、これまでHTTR を用いた電力・水素併産システムの実証試験計画の検討を行ってきたが、今後、再生可能エネルギーとの共存を目指したハイブリッドシステムの実証試験計画の検討まで拡大するため、プロジェクト取決め附録の改定作業を進めた。なお、この改定は2019年4月に米国で開催された日米民生用原子力エネルギー研究開発 WG (CNWG) の第7回会合で承認された。

10.3 英国との国際協力

2017年12月、英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) は、革新的な新型モジュール型原子炉 (AMR) の研究開発等を推進するために最大約80億円の拠出を公表した。核燃料製造会社である英国の URENCO 社は、小型高温ガス炉 U-Battery 計画を提案し、2018年6月に BEIS から資金を獲得、U-Battery の実現可能性評価を開始した。原子力機構は、2017年5月に URENCO 社と締結した高温ガス炉技術分野における研究協力覚書に基づき、URENCO 社と U-Battery 計画への原子力機構の協力具体化に関する協議を継続した。

10.4 国際原子力機関 (IAEA) を通じた国際協力

IAEA においては、ガス炉に関する技術委員会、協力研究計画 (CRP) 等の活動方針を審議するガス冷却炉技術ワーキンググループ (TWG-GCR) を通じて、各国における高温ガス炉技術に関する研究開発の動向等の情報の交換、国際協力研究の調整等を行っている。

2018年度は非電力分野での原子力の利用に係る技術会合や再生可能エネルギーとの共生に係る技術会合等、多くの IAEA 主催の会合に参加し、GTHTR300C を用いたコジェネレーションやハイブリッドシステムの研究成果を発表し、会合参加国から高い関心が示された。

「高温ガス炉の安全基準」に関する CRP は議論を終了し、検討結果を技術報告書として取りまとめ、公開することとなった。また、「原子力水素製造技術の評価及び展開」に関する新しい CRP を開始し、各国の技術開発の現状及び今後の計画について議論し、技術報告書を作成することとした。

10.5 第4世代原子力システム国際フォーラム (GIF) を通じた国際協力

2006年11月に、日本、仏国、米国、EU、韓国、カナダ及びスイスの間で、第4世代原子力シ

システム国際フォーラム (GIF : Generation IV International Forum) を通じた超高温ガス炉システム取決め (フェーズ I) が署名され、その後、中国の参加、カナダの脱退があった。2016 年 11 月には、引き続き 10 年間活動を延長するためのフェーズ II の取り決めが、6 カ国 1 国際機関の間で署名され、その後、豪州及び英国が参加した。

現在、①燃料・燃料サイクルプロジェクト、②水素製造プロジェクト及び③材料プロジェクトについて参加国による署名が行われ、共同研究が実施されている。さらに、4 つ目のプロジェクトとして、④計算手法検証・ベンチマークプロジェクトの開始に向けた準備も進められた。以下、各プロジェクトの最近の動向を示す。

① 燃料・燃料サイクルプロジェクト

2018 年 7 月の日本における第 14 回会合において、主要な研究課題である共同照射・照射後試験、燃料挙動モデル、被覆層特性評価、燃料安全性試験に関する情報交換を行った。また、2019 年 5 月の米国における第 15 回会合において、上記の主要な研究課題に関する情報交換を行い、5 カ年 (2017-2022 年) プロジェクト計画の進捗確認を行った。

② 水素製造プロジェクト

2018 年 7 月の日本における第 17 回会合及び 11 月の韓国における第 18 回会合において、IS プロセス、高温水蒸気電解、Cu-Cl プロセスによる水素製造に関する情報交換を実施した。また、プロジェクト期間延長後のプロジェクト計画の策定作業及び中国の参加のための手続きを進めている。

③ 材料プロジェクト

2019 年 4 月の中国における第 20 回会合に向けて、日本の次期 5 カ年の研究計画について、従来の黒鉛製マトリックス材料を耐酸化性に優れた SiC に置き換える「SiC マトリックスコンパクトの開発」を提案すべく整理した。また、これまでに取得した金属材料のデータを整理し、材料データベースへの登録を進めた。今後、プロジェクト期間延長のための手続きを行う。

④ 計算手法検証・ベンチマークプロジェクト

新たなプロジェクト開始に向けて 2018 年 10 月にポーランドにおいて第 19 回準備会合を、2019 年 3 月に米国において第 20 回準備会合を開催し、プロジェクト開始後 1 年間における研究計画の最終調整を完了した。参加予定国は、日、米、中、韓、EU である。原子力機構は、燃焼解析、核熱評価における炉内構造物の物性変化の影響評価の 2 つのタスクに参加する予定である。

10.6 OECD/NEA を通じた国際協力

OECE/NEA の原子力施設安全委員会は HTTR を用いた LOFC (Loss-of-forced cooling) プロジェクトを進めているが、HTTR は 2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震の影響により停止中であり、再稼働後に試験を実施してデータ提供する計画である。HTTR の運転再開時期が延期さ

れる見通しとなったことから、プロジェクト契約終了時期を2019年3月から2021年3月に延長した。

10.7 韓国との国際協力

2008年度に韓国原子力研究所（KAERI）と締結した「韓国原子力研究所と日本原子力研究開発機構との間の原子力の平和利用分野における協力のための取決め」に基づき、高温ガス炉及び核熱水素製造技術に関する情報交換会議を定期的に行っている。2018年8月に大洗研究所において第9回情報交換会議を開催し、韓国の他の研究機関で実施したISプロセスの試験データの開示可能性、原子力機構で実施したVHTRCやOGL-1の公開情報の開示、KAERIのHANAROを用いた照射試験の可能性について、検討することとした。

10.8 中国との国際協力

1986年に締結した覚書の下、公開情報に基づく情報交換を目的とした会議を定期的に行っている。前回の会合は2017年11月に中国清華大学核能及新能源技術研究院で開催された。次回の会合は2018年度に原子力機構で開催する方向で調整を進めていたが、2019年5月に開催することとなった。

10.9 カザフスタンとの国際協力

高燃焼度燃料（100GWd/t）の照射後試験による照射特性評価を行うため、カザフスタン核物理研究所は原子力機構と協力して2017年3月から実施している国際科学技術センターのレギュラープロジェクト「照射済み高温ガス炉燃料の特性研究」を継続している。

カザフスタン原子力技術安全センター（NTSC）と締結している「高温ガス炉の安全研究協力に関する取決め」を2018年6月7日から3年間延長した。本取決めのもとでNTSCによるカザフ高温ガス炉（KHTR）の安全基準の策定手順の構築等、カザフスタンにおける高温ガス炉の安全研究の進展に引き続き協力していく。

国立カザフスタン大学（KazNU）との「原子力エネルギー技術に係る研究協力に関する取決め」（2017年12月から5年間）に基づき、高温ガス炉用燃料・材料の高温腐食下での能動的酸化特性の評価を継続しており、KazNUが計画中の模擬被覆燃料粒子等の水蒸気注入による酸化試験等に協力していく。

11. あとがき

本報告書は、高温工学試験研究炉部における 2018 年度の試験・運転及び技術開発等の実績について、HTTR 運転管理課、HTTR 技術課、HTTR 計画課、放射線管理部・放射線管理第 2 課及び水素・熱利用研究開発部の関係者が分担して執筆し、HTTR 計画課において編集したものある。

参考文献

- 1) 猪井宏幸 他、“HTTR 非常用発電機の保守管理とガスタービンエンジンの分解点検”, JAEA-Technology 2009-048, 2009,48p.
- 2) MATSUURA Hideaki, OKAMOTO Ryo, KOGA Yuki, SUGANUMA Takuro, KATAYAMA Kazunari, OTSUKA Teppei, GOTO Minoru, NAKAGAWA Shigeaki, ISHITSUKA Etsuo and TOBITA Kenji, “Li-rod structure in high-temperature gas-cooled reactor as a tritium production device for fusion reactors”, <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2019.02.009> (参照 2019 年 6 月 18 日).
- 3) Arnoldus Lambertus Dipu, H.Ohashi, S.Hamamoto, H.Sato, T.Nishihara, “Assessment of amount and concentration of tritium in HTTR-IS system based on tritium behavior during high-temperature continuous operation of HTTR”, *Annals of Nuclear Energy*, vol.88 (2016) pp.126–134.
- 4) 石塚悦男, Inesh Kenzhina, 奥村啓介, 竹本紀之, Yevgeni Chikhray, “PHITS コードによる中性子照射下ベリリウムからの反跳トリチウム放出率計算 (共同研究)”, JAEA-Technology 2016-022 (2016), 35p.
- 5) 石塚悦男, Inesh Kenzhina, 奥村啓介, Hai Quan HO, 竹本紀之, Yevgeni Chikhray, “中性子反射体の Li 及び U 不純物からのトリチウム反跳放出計算”, JAEA-Technology 2018-010 (2018), 33p.
- 6) 石塚悦男, 松中一郎, 石田大樹, Hai Quan HO, 石井俊晃, 濱本真平, 高松邦吉, Inesh Kenzhina, Yevgeni Chikhray, 近藤 篤, 高木直行, 藤本 望, “2018 年度夏期休暇実習報告; HTTR 炉心を用いた原子力電池に関する予備的検討 – 核設計のための予備検討-”, JAEA-Technology 2019-008 (2019), 12p.

This is a blank page.

付録

Appendix

This is a blank page.

付録1 2018年度高温工学試験研究関連研究発表

(1) 所内

発表課室	年月	標題	発表者代表	発表箇所
HTTR 技術課	2018・11	中性子反射体のLi及びU不純物からのトリチウム反跳放出計算（共同研究）	石塚 悦男	JAEA-Technology 2018-010

(2) 外部発表

発表課室	年月	標題	発表者代表	発表箇所
HTTR 技術課	2018・4	Comprehensive seismic evaluation of HTTR against the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake	小野 正人	Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science
HTTR 技術課	2018・5	Proposal of a neutron transmutation doping facility for n-type spherical silicon solar cell at high-temperature engineering test reactor	Ho Hai Quan	Applied Radiation and Isotopes
HTTR 計画課	2018・10	Numerical evaluation on fluctuation absorption characteristics based on nuclear heat supply fluctuation test using HTTR	高田 昌二	Proceedings of 9th International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology (HTTR 2018)
HTTR 技術課	2018・10	Study on source of radioactive material in primary coolant of HTTR	石井 俊晃	Proceedings of 9th International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology (HTTR 2018)
HTTR 技術課	2018・10	Feasibility study of new applications at the high-temperature gas-cooled reactor	Ho Hai Quan	Proceedings of 9th International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology (HTTR 2018)
HTTR 技術課	2018・10	Feasibility study of large-scale production of iodine-125 at the high temperature engineering test reactor	Ho Hai Quan	Applied Radiation and Isotopes

付録2 2018年度高温工学試験研究関係主要事項 (1/6)

年月	工事・試験等	主要事項
2018・4	<ul style="list-style-type: none"> ・クレーン定期点検作業 (18日) ・機械棟ボイラー点検保守作業 (19日) ・ボイラー設備休缶措置作業 (24日) ・冷却水の水質分析作業 (24日、25日) ・エレベータ定期点検作業 (27日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料棚卸 (17日) ・施設定期検査申請書の変更届出 (19日) ・IAEAによる実在庫検認 (20日)
2018・5	<ul style="list-style-type: none"> ・特殊扉等点検整備作業 (1日、2日) ・ボイラー運転終了に伴う措置 (7日) ・計測制御系統施設発信器等点検整備作業 (11日～6月15日) ・計測制御系統施設定期点検作業 (安全保護系計装盤等) (14日～7月26日) ・空調用冷水装置点検整備作業 (28日～6月15日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1四半期/原子炉施設・使用施設等保安検査 (29日～6月6日) ・RI定期検査 (14日)
2018・6	<ul style="list-style-type: none"> ・HTTR原子炉プラント監視用計算機の点検保守作業 (4日～8日) ・排気設備等定期点検作業 (非常用空気浄化設備) (18日～7月12日) ・計測制御系統施設定期点検作業 (放射能計装設備等) (20日～7月11日) ・排気設備等定期点検作業 (気体廃棄物廃棄施設) (21日～7月12日) ・補機/一般冷却水設備定期点検 (26日～8月7日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・副理事長との意見交換会 (12日) ・グリーンハウス設置及び除染訓練 (15日)

付録2 2018年度高温工学試験研究関係主要事項 (2/6)

年月	工事・試験等	主要事項
2018・7	<ul style="list-style-type: none"> ・液体廃棄物の廃棄設備 液位計校正作業 (9日～13日) ・炉容器冷却設備計装等定期点検作業 (9日～26日) ・加圧水冷却設備水抜き作業 (13日～8月10日) ・支持構造物 (1次冷却設備等) の点検整備作業 (17日～8月3日) ・クレーン設備の点検整備作業 (19日～26日) ・非常用発電機 (ガスタービン) 点検整備作業 (30日～10月11日) ・HTTR 研究棟 3F・4F 系統エアコン室外機修理作業 (30日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・全国安全週間 (1日～7日) ・安全大会 (2日) ・原子力規制庁審査会合〔研究炉班〕 (3日、30日) ・2018年度全国安全週間一斉パトロール (6日) ・大洗研究所北地区計画停電 (7日～8日) ・原子炉設置変更許可申請書 (新基準対応) の第5回補正 (11日) ・設計及び工事の方法の認可申請書〔HTTRの変更 (第2回申請)〕 (11日) ・設計及び工事の方法の認可申請書〔HTTRの変更 (第1回申請)〕の一部補正 (30日)
2018・8	<ul style="list-style-type: none"> ・HTTR 通信連絡設備定期点検作業 (ページング及び非常用放送設備) (20日～31日) ・加圧水冷却設備水抜き作業 (20日～31日) ・換気空調設備定期点検作業 (23日～9月11日) ・換気空調用蒸気供給設備圧力計配管補修作業 (27日～31日) ・自動火災報知設備他定期点検作業 (29日～9月6日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・第2四半期/原子炉施設・使用施設等保安検査 (21日～28日)

付録2 2018年度高温工学試験研究関係主要事項 (3/6)

年月	工事・試験等	主要事項
2018・9	<ul style="list-style-type: none"> ・プール水冷却浄化設備点検作業 (3日～7日) ・燃料交換機保守点検作業 (3日～10月5日) ・消火設備点検 (4日～6日) ・HTTR 計測制御系統施設定期点検作業 (中性子計装、原子炉出力制御装置等) (10日～11月2日) ・原子炉格納容器定期点検作業 (18日～12月28日) ・放射能計装設備サンプリングポンプ点検 (19日～21日) ・圧縮空気設備定期点検作業 (21日～11月2日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・全国労働衛生週間 (1日～7日) ・原子力規制庁審査会合 [研究炉班] (5日) ・2018年度第1回大洗研究所総合訓練 (21日) ・グリーンハウス設置及び除染訓練 (21日)
2018・10	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉冷却系統施設等安全弁の取外・取付及びラプチャーディスクの定期交換作業 (1日～26日) ・1次ヘリウム純化設備冷水装置操作盤電気部品交換作業 (1日～24日) ・補助冷却設備定期点検作業 (1日～25日) ・非常用発電機点検整備作業 (ガスタービンエンジン) (1日～11日) ・非常用発電機点検整備作業 (発電機及び制御盤) (3日～11日) ・機械棟ボイラー点検 (9日～11日) ・HTTR 研究棟・建設管理棟電気設備点検 (13日) ・HTTR 空調用冷水冷水装置点検整備作業 (15日～19日) ・換気空調用蒸気供給設備定期点検 (15日～11月2日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1回元気向上プロジェクト「アピール&アワード」 (10日) ・安全講演会 (12日) ・原子炉設置変更許可申請書 (新基準対応) の第6回補正 (17日) ・IAEA ランダム査察 (22日) ・施設定期検査 [第5回の23回目] (30日)

付録2 2018年度高温工学試験研究関係主要事項 (4/6)

年月	工事・試験等	主要事項
2018・11	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用電源設備定期点検作業（計画停電）（5日～12日） ・機械棟中和処理設備点検整備作業（12日～16日） ・メンテナンスピット用放射線モニタ定期点検作業（13日～21日） ・ヘリウム循環機回転数制御装置盤用遮断器の開放点検作業（14日～15日） ・計測制御系統施設定期点検作業（補助冷却設備計装等）（19日～12月7日） ・補助冷却設備支持構造物の点検整備作業（19日～1月31日） ・補助冷却設備空気冷却器架台補修作業（26日～2月28日） ・加圧水冷却設備凍結防止装置取付け作業（26日） ・HTTR 危険物施設定期点検作業（27日～30日） 	<ul style="list-style-type: none"> ・「津波防災の日」に関する訓練（1日） ・原子力安全監査（8日） ・ボイラー火入れ式（8日） ・原子力規制庁審査会合〔研究炉班〕（16日） ・施設定期検査〔第5回の24回目〕（16日） ・設計及び工事の方法の認可申請書〔HTTRの変更（第3回申請）〕（16日） ・第3四半期/原子炉施設・使用施設等保安検査（20日～28日） ・施設定期検査〔第5回の25回目〕（30日）
2018・12	<ul style="list-style-type: none"> ・1次冷却設備ヘリウム循環機回転数制御装置等の点検整備作業（3日～17日） ・通信連絡設備定期点検作業（3日～7日） ・原子炉冷却系統施設等安全弁の取外・取付及びラプチャーディスクの定期交換作業（3日～28日） ・加圧水冷却設備水張り等作業（3日～21日） ・燃料破損検出装置定期点検作業（6日～21日） ・補助冷却設備凍結防止運転（7日～3月25日） ・加圧水冷却設備凍結防止運転（7日～3月25日） ・原子炉格納容器定期点検作業（10日～26日） ・燃料交換機メンテナンスピット自主点検作業（10日～1月31日） ・ヘリウム循環機負荷試験に伴う初期充填に係る全点検（25日～28日） 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力規制庁審査会合〔研究炉班〕（14日） ・年末年始無災害運動（15日～1月15日） ・所長パトロール（19日） ・廃止措置実施方針の作成（25日） ・原子力規制委員会委員長現地視察（27日）

付録2 2018年度高温工学試験研究関係主要事項 (5/6)

年月	工事・試験等	主要事項
2019・1	<ul style="list-style-type: none"> ・ヘリウム循環機負荷試験に伴う起動前点検及び初期充填 (7日～9日) ・ヘリウム循環機負荷試験 (15日～16日) ・移送台車自主点検 (16日～30日) ・消火設備定期点検 (18日～30日) ・核物質防護用特殊扉等点検整備作業 (21日～2月1日) ・HTTR 炉容器冷却設備定期点検作業 (23日～2月15日) ・HTTR 原子炉施設の照明器具安定器等交換作業 (24日～2月8日) ・ヘリウム系統真空引排気装置の点検 (28日～2月15日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・2018年度第1回大洗研究所総合訓練 (15日) ・2018年度北地区計画停電 (26日) ・ポーランドにおける高温ガス炉セミナー (28日～29日) ・次年度運転計画 (3ヵ年) 届出 (31日) ・原子力規制庁審査会合〔研究炉班〕 (31日)
2019・2	<ul style="list-style-type: none"> ・補助冷却設備支持構造物の点検整備作業 (4日～8日) ・可燃物保管用キャビネットの整備 (7日～3月15日) ・二酸化炭素消火設備点検作業 (12日～13日) ・換気空調設備定期点検 (12日～15日) ・新燃料体取扱装置自主点検 (15日) ・メンテナンスピット遮へいハッチ及びプラグ移動作業 (15日～22日) ・HTTR 屋外テントハウス解体・撤去作業 (26日～28日) ・酸欠警報装置点検校正作業 (27日～28日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・平成30年度大洗研究所内部監査 (5日) ・自動火災報知設備及び誘導灯総合点検 (7日～15日) ・部門長との意見交換会 (8日～3月6日) ・第4四半期/原子炉施設・使用施設等保安検査 (19日～26日) ・原子力規制庁審査会合〔研究炉班〕 (25日)

付録2 2018年度高温工学試験研究関係主要事項 (6/6)

年月	工事・試験等	主要事項
2019・3	<ul style="list-style-type: none"> ・ HTTR 原子炉施設の LED 更新作業 (4 日～20 日) ・ 蒸気供給設備ドレントラップバイパス配管交換作業 (6 日～8 日) ・ HTTR 試料採取設備放射能検出器点検校正作業 (11 日～15 日) ・ HTTR 冷却塔屋外照明機器の更新 (12 日～13 日) ・ 火山灰除去作業用足場の設置及び手摺棒等の製作 (12 日～13 日) ・ HTTR 核物質防護用特殊扉整備作業 (13 日～15 日) ・ 熱感知設備点検整備作業 (18 日～20 日) ・ 防火帯維持整備作業 (18 日～22 日) ・ 加圧水冷却設備凍結防止装置取外し作業 (26 日) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全協定に基づく平常時立入調査 (7 日) ・ 原子力規制庁審査会合〔研究炉班〕 (7 日、26 日) ・ 所幹部との意見交換会 (11 日) ・ 動的機器健全性確認運転〔コールド試験〕 (11 日～20 日) ・ 大洗研究所施設見学会 (16 日) ・ 設計及び工事の方法の認可申請書〔HTTR の変更 (第 2 回申請)〕の一部補正 (26 日) ・ 設計及び工事の方法の認可申請書〔HTTR の変更 (第 4 回申請)〕 (26 日) ・ 2019 年度年間運転計画の策定 (27 日) ・ 2019 年度年間使用計画の策定 (27 日)

付録3 2018年度高温工学試験研究関連審査会合及び審査ヒアリング開催履歴 (1/6)
 (2018年4月1日～2019年3月31日まで。HTTRの新規制基準適合審査に関するもの)

会合種類	通算回数	開催日	議題
研究炉班 許可審査ヒアリング	118	2018/4/9	①許可申請書補正申請に関するコメント回答
地震・津波班 許可審査ヒアリング	60	2018/4/9	①許可申請書第4回補正申請に関するコメントの受領
研究炉班 設工認審査ヒアリング	5	2018/4/9	①設工認申請（第1回）に対するコメント回答
研究炉班 許可審査ヒアリング	119	2018/4/13	①許可申請書補正申請に関する追加コメントの受領
研究炉班 許可審査ヒアリング	120	2018/4/17	①許可申請書補正申請に関するコメント回答
地震・津波班 許可審査ヒアリング	61	2018/4/18	①許可申請書第4回補正申請に関するコメント回答
研究炉班 許可審査ヒアリング	121	2018/4/24	①許可申請書補正申請に関するコメント回答
研究炉班 許可審査ヒアリング	122	2018/5/8	①許可申請書補正申請に関するコメント回答
研究炉班 許可審査に係る行政相談	1	2018/5/17	①許可申請書に関するJMTRとの許可の書き分けについて
地震・津波班 許可審査に係る行政相談	1	2018/5/17	①許可申請書に関するJMTRとの許可の書き分けについて
研究炉班 許可審査ヒアリング	123	2018/5/17	①許可申請書補正申請に関するコメント回答
研究炉班 許可審査ヒアリング	124	2018/6/15	①7/3 審査会合に向けた内容確認
研究炉班 許可審査に係る行政相談	1	2018/6/15	①許可申請書に関する除染施設の位置付けについて
研究炉班 許可審査ヒアリング	125	2018/6/22	①7/3 審査会合に向けた内容確認

付録3 2018年度高温工学試験研究関連審査会合及び審査ヒアリング開催履歴 (2/6)
(2018年4月1日～2019年3月31日まで。HTTRの新規制基準適合審査に関するもの)

会合種類	通算回数	開催日	議題
研究炉班 審査会合	29	2018/7/3	①原子炉設置変更許可申請書（外部火災及びBDBA対策について）
研究炉班 許可審査ヒアリング	126	2018/7/11	①7/30 審査会合に向けた主旨確認
研究炉班 設工認審査ヒアリング	6	2018/7/11	①設工認申請（第2回）の内容説明
研究炉班 許可審査ヒアリング	127	2018/7/20	①7/30 審査会合に向けた主旨確認
研究炉班 設工認審査ヒアリング	7	2018/7/20	①設工認申請（第2回）の内容説明
研究炉班 許可審査ヒアリング	128	2018/7/26	①7/30 審査会合に向けた主旨確認
研究炉班 設工認審査ヒアリング	8	2018/7/26	①設工認申請（第2回）の内容説明
研究炉班 審査会合	30	2018/7/30	①原子炉設置変更許可申請書（BDBA対策について）
研究炉班 設工認審査ヒアリング	9	2018/8/2	①設工認申請（第1回）の補正内容説明
研究炉班 許可審査ヒアリング	129	2018/8/2	①9/5 審査会合に向けた主旨確認
研究炉班 許可審査に係る行政相談	1	2018/8/2	①許可申請書に関する除染施設の位置付けについて
研究炉班 設工認審査ヒアリング	10	2018/8/9	①設工認申請（第2回）の申請内容説明
研究炉班 許可審査ヒアリング	130	2018/8/9	①9/5 審査会合に向けた主旨確認
研究炉班 許可審査ヒアリング	131	2018/8/27	①9/5 審査会合に向けた主旨確認
研究炉班 許可審査ヒアリング	132	2018/8/31	①9/5 審査会合に向けた主旨確認

付録3 2018年度高温工学試験研究関連審査会合及び審査ヒアリング開催履歴 (3/6)
(2018年4月1日～2019年3月31日まで。HTTRの新規制基準適合審査に関するもの)

会合種類	通算回数	開催日	議題
研究炉班 許可審査ヒアリング	133	2018/9/3	①9/5 審査会合に向けた主旨確認
研究炉班 設工認審査ヒアリング	11	2018/9/3	①設工認申請 (第2回) のコメント回答
研究炉班 審査会合	31	2018/9/5	①原子炉設置変更許可申請書(BDBA 対策について)
研究炉班 設工認審査ヒアリング	12	2018/9/13	①設工認申請 (第2回) のコメント回答
研究炉班 設工認審査ヒアリング	13	2018/9/19	①設工認申請 (第2回) のコメント回答
研究炉班 設工認審査ヒアリング	14	2018/10/11	①設工認申請 (第2回) のコメント回答
研究炉班 許可審査ヒアリング	134	2018/10/17	①原子炉設置変更許可申請書(第6回補正申請内容について)
研究炉班 設工認審査ヒアリング	15	2018/10/17	①設工認申請 (第2回) のコメント回答
研究炉班 設工認審査ヒアリング	16	2018/10/25	①設工認申請 (第2回) のコメント回答
研究炉班 保安規定審査ヒアリング	1	2018/10/25	①大洗研究所(北地区)の原子炉施設保安規定の変更認可申請に係る説明
研究炉班 設工認審査ヒアリング	17	2018/11/9	①HTTR の設計及び工事の方法の認可申請の分割回数の変更について
地震・津波班 許可審査に係る面談	1	2018/11/12	①原子炉設置変更許可申請書第6回補正に関する説明
研究炉班 審査会合	32	2018/11/16	①原子炉設置変更許可申請書(BDBA 対策について)
研究炉班 設工認審査ヒアリング	18	2018/11/28	①設工認申請 (第2回) のコメント回答
研究炉班 許可審査ヒアリング	135	2018/11/28	①原子炉設置変更許可申請書(2018年11月16日の審査会合にてNRAより示された追加論点についての質問主旨確認)

付録3 2018年度高温工学試験研究関連審査会合及び審査ヒアリング開催履歴 (4/6)
(2018年4月1日～2019年3月31日まで。HTTRの新規制基準適合審査に関するもの)

会合種類	通算回数	開催日	議題
研究炉班 設工認審査ヒアリング	19	2018/12/4	①設工認申請（第3回）の初回説明
研究炉班 許可審査ヒアリング	136	2018/12/4	①原子炉設置変更許可申請書（2018年11月16日の審査会合にてNRAより示された追加論点についての回答（案）に関する事実確認）
研究炉班 設工認審査ヒアリング	20	2018/12/14	①HTTR の設計及び工事の方法の認可申請の分割方法及び使用前検査について
研究炉班 保安規定審査ヒアリング	2	2018/12/14	①大洗研究所（北地区）の原子炉施設保安規定の変更認可申請に係る説明
研究炉班 審査会合	33	2018/12/14	①原子炉設置変更許可申請書(BDBAに関する追加質問の回答について)
研究炉班 許可審査ヒアリング	137	2018/12/26	①原子炉設置変更許可申請書（2018年11月16日の審査会合にてNRAより示された追加論点に関する事実確認）
研究炉班 設工認審査ヒアリング	21	2019/1/17	①HTTR の設計及び工事の方法の認可申請書への先行使用に係る記載について
研究炉班 許可審査ヒアリング	138	2019/1/17	①原子炉設置変更許可申請書（2018年11月16日の審査会合にてNRAより示された追加論点に関する事実確認）
研究炉班 設工認審査ヒアリング	22	2019/1/25	①設工認申請（第3回）のコメント回答
研究炉班 許可審査ヒアリング	139	2019/1/25	①原子炉設置変更許可申請書（2018年11月16日の審査会合にてNRAより示された追加論点に関する事実確認）
研究炉班 保安規定審査ヒアリング	3	2019/1/25	①大洗研究所（北地区）の原子炉施設保安規定の変更認可申請に係る説明
研究炉班 審査会合	34	2019/1/31	①原子炉設置変更許可申請書(BDBAに関する追加質問の回答について)

付録3 2018年度高温工学試験研究関連審査会合及び審査ヒアリング開催履歴 (5/6)
(2018年4月1日～2019年3月31日まで。HTTRの新規制基準適合審査に関するもの)

会合種類	通算回数	開催日	議題
研究炉班 許可審査ヒアリング	140	2019/2/8	①原子炉設置変更許可申請書 (2018年11月16日及び平成31年1月31日の審査会合にてNRAより示された追加論点に関する事実確認)
研究炉班 許可審査ヒアリング	141	2019/2/13	①原子炉設置変更許可申請書 (2018年11月16日及び平成31年1月31日の審査会合にてNRAより示された追加論点に関する事実確認)
研究炉班 設工認審査ヒアリング	23	2019/2/13	①設工認申請 (第2回及び第3回) のコメント回答
研究炉班 許可審査ヒアリング	142	2019/2/18	①原子炉設置変更許可申請書 (2018年11月16日の審査会合にてNRAより示された追加論点に関する事実確認)
研究炉班 審査会合	35	2019/2/25	①原子炉設置変更許可申請書 (追加質問の回答について)
研究炉班 設工認審査ヒアリング	24	2019/2/27	①HTTR の設計及び工事の方法の認可申請の分割回数の変更について
研究炉班 許可審査ヒアリング	143	2019/2/27	①原子炉設置変更許可申請書 (2019年2月25日の審査会合時のコメントについて主旨確認。平成31年2月14日のHTTR ご見学時時の確認質問の回答)
研究炉班 許可審査ヒアリング	144	2019/3/5	①原子炉設置変更許可申請書 (2019年2月25日の審査会合時のコメントについて、次回審査会合での回答予定資料の説明)
研究炉班 審査会合	36	2019/3/7	①原子炉設置変更許可申請書 (追加質問について)
研究炉班 許可審査ヒアリング	145	2019/3/15	①原子炉設置変更許可申請書 (2019年2月25日及び平成31年3月7日の審査会合時のコメントについて、次回審査会合での回答予定資料の説明)

付録3 2018年度高温工学試験研究関連審査会合及び審査ヒアリング開催履歴 (6/6)
 (2018年4月1日～2019年3月31日まで。HTTRの新規制基準適合審査に関するもの)

会合種類	通算回数	開催日	議題
研究炉班 許可審査ヒアリング	146	2019/3/20	①原子炉設置変更許可申請書(2019年2月25日及び平成31年3月7日の審査会合時のコメントについて、次回審査会合での回答予定資料の説明)
研究炉班 審査会合	37	2019/3/26	①原子炉設置変更許可申請書(追加質問の回答について)

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

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

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

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

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

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

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

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

表5. SI接頭語

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

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

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

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

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

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

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

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

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

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロ	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

