

総合講演・報告 2「高温ガス炉の安全性について
（「プリズマティック型高温ガス炉の安全設計プロセス」研究専門委員会中間報告）」

(5) IAEA CRP の活動状況

(5) Status of IAEA CRP on HTGR safety design

大橋 弘史

日本原子力研究開発機構

1. はじめに

高温ガス炉は安全性に優れ、1000℃近い高温の核熱を水素製造やガスタービン発電等に利用できることから、第4世代原子炉のひとつとして世界各国で実用化に向けた研究開発が実施されている。我が国では、我が国初の高温ガス炉である高温工学試験研究炉（HTTR）を用いて、高温ガス炉技術基盤の確立が進められている。また、平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」や「日本再興戦略」改定2015（平成27年6月閣議決定）などにおいては、高温ガス炉など安全性の高度化に貢献する原子力技術の研究開発を国際協力の下で推進することが明記され、東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえて、原子力の安全性の高度化に対する高温ガス炉への期待が高まっている。日本原子力学会では、HTTRの設計、建設及び運転・試験、並びに、実用高温ガス炉の設計研究等を通じて蓄積してきた我が国の高温ガス炉技術に基づく実用高温ガス炉の安全基準の国際標準化に資するため、「高温ガス炉の安全設計方針」研究専門委員会（平成25年度～平成26年度）において、実用高温ガス炉の安全基準のうち機能要求を規定する安全要件を作成した。日本原子力研究開発機構（原子力機構）は、平成26年12月から3年計画で開始した国際原子力機関（IAEA）の高温ガス炉の安全設計に関する協力研究計画（Coordinated Research Project：CRP）に参画し、日本原子力学会で作成した実用高温ガス炉の安全要件の国際標準化を目指した活動を進めている。本講演では、実用高温ガス炉の安全要件の概要及びIAEA CRPの活動状況について報告する。

2. 実用高温ガス炉の安全要件

2-1. 安全確保の考え方

安全要件の作成にあたり、実用高温ガス炉における安全確保の基本的な考え方を以下のように定めた。

- ・ 放射性物質の重大な放出を招く可能性のある状況が実質的に排除されるようにする
- ・ 被覆燃料粒子による放射性物質の閉じ込め機能が維持されるようにする
- ・ 受動的な安全設備あるいは固有の特性に基づき、必要な安全機能を達成する

すなわち、実用高温ガス炉の安全設計では、多重故障を伴う事象に対しても設計で対処し、炉心の著しい損傷事故（被覆燃料粒子被覆層の損傷に伴う環境への著しい放射性物質の放出）が発生しないように設計することを要求することとした。

2-2. 実用高温ガス炉の安全要件の概要

上記の安全確保の考え方に基づき、実用高温ガス炉の安全要件を作成している。このうち、原子炉の基本的な安全機能である「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」を中心に、軽水炉の安全要件との違いを含めながら以下に概説する（図1）。

(1) 放射性物質の閉じ込め

軽水炉の安全要件では、燃料要素及び燃料集合体に関して、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時にのみ、これらの健全性維持が要求されている。一方、実用高温ガス炉では、被覆燃料粒子の優れた放射性物質閉じ込め機能を活用し、原子炉格納施設への放射性物質閉じ込め機能要求を緩和すること、更に、

究極の安全性を目指した高温ガス炉では、事故状態に被覆燃料粒子のみに放射性物質閉じ込め機能を期待することを目指している。そこで、運転状態及び事故状態のすべてにおいて、安全確保の観点から要求される放射性物質閉じ込め性能が維持されるように設計することを被覆燃料粒子に対する安全要件としている。また、軽水炉の安全要件では、事故時の放射性物質の閉じ込め機能要求を課す設備として「格納容器」の設置を規定しているが、実用高温ガス炉の安全要件では、燃料に対して事故時における放射性物質閉じ込め機能維持を要求することにより、気密性能の緩和（コンファインメントの適用）を容認している。

(2) 原子炉の停止

高温ガス炉では、原子炉停止系として制御棒系と後備停止系（制御棒系が何らかの原因で挿入できない場合のバックアップ）を設ける設計が一般的である。一方、HTTR を用いた安全性実証試験で確認されているように、高温ガス炉は優れた固有の炉停止特性を有し、燃料の高い耐熱性や出力の過渡変化や冷却能力の異常な低下に対して炉心の温度変化が小さくかつ緩慢である特性とあいまって、1 次系の冷却機能が喪失し、かつ、原子炉スクラムに失敗したような場合でも、物理現象のみによって反応度が自然に低下し、燃料温度が制限温度以下に自然に静定する固有の安全性を有する²⁾。このような特長を考慮し、軽水炉の安全要件では原理の異なる独立 2 系統を要求しているのに対し、高温ガス炉の安全要件では原理の異なる 2 つの手段を要求することとし、固有の炉停止特性を 1 つの停止手段とみなす考え方としている。

(3) 炉心からの除熱

HTTR を用いた安全性実証試験によって、炉心の強制冷却を行わなくても、各種の制限値を上回ることなく、原子炉圧力容器の外面からの熱除去により炉心からの残留熱除去が可能であることの実証を進めている²⁾。すなわち、安全上、炉心の強制冷却は不要であり、原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性が維持されない事故時を含め残留熱の除去が必要なすべての状態において、炉室の自然対流及び原子炉圧力容器からの熱放射によって間接的に炉心を冷却できる可能性がある。このことから、実用高温ガス炉の安全要件では、軽水炉に要求されている非常用炉心冷却（能動的な炉心の強制冷却）を適用除外とし、原子炉圧力容器の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）のみを要求する考え方としている。

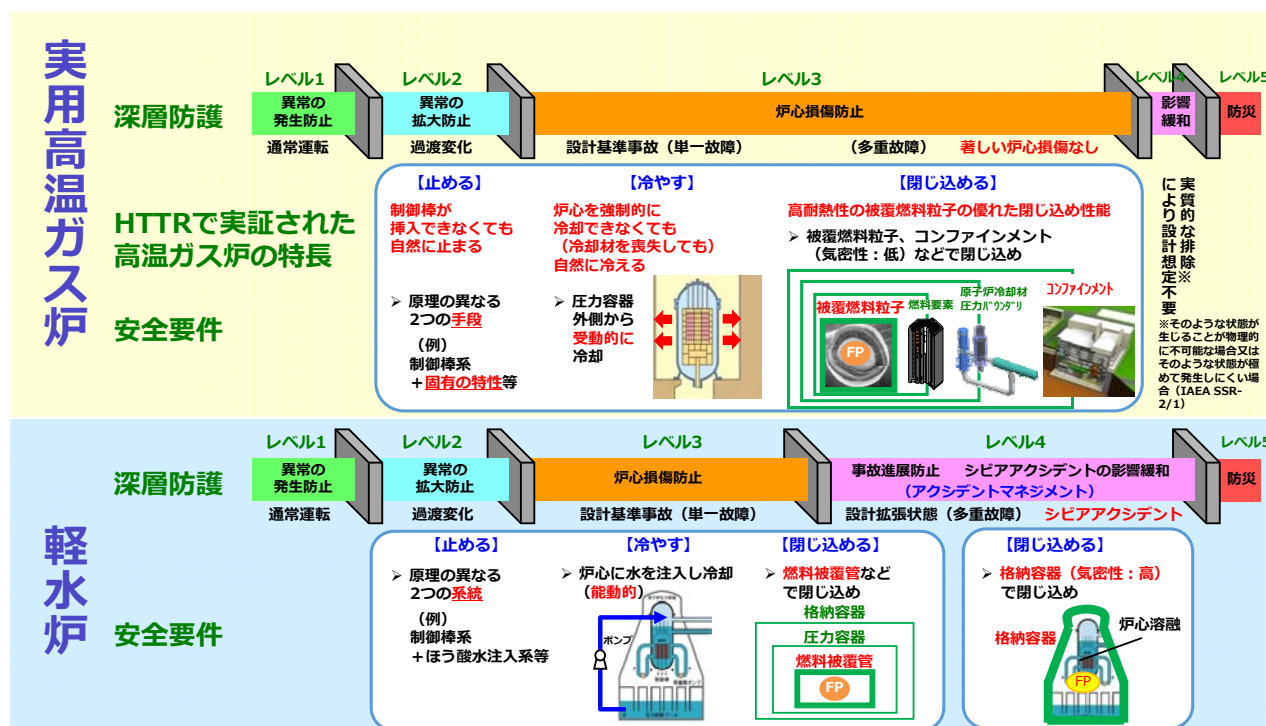


図1 実用高温ガス炉の安全要件の概要

また、外部電源喪失に対しては、受動的な設備と固有の安全性による安全確保を要求しているため、軽水炉で規定されている炉心の溶融の影響を緩和するために必要な設備への電源供給は不要であり、プラントパラメータ監視、放射線モニタリングへの電源供給のみを要求している。

3. IAEA CRP の活動状況

3-1. IAEA CRP の概要

高温ガス炉の安全設計に関する CRP (CRP on Modular High Temperature Gas Cooled Reactor Safety Design) は、高温ガス炉の優れた安全上の特長を考慮した国際標準となる安全要件案を検討することを目的とし、平成 26 年 12 月に IAEA 協力研究計画委員会において、その開始が決定された。期間は 3 年間、参加国は日本、中国、独国、インドネシア、カザフスタン、韓国及び米国の 7 カ国であり、日本からは原子力機構が参加している。これまで、平成 27 年 6 月に IAEA (オーストリア・ウィーン) において、第 1 回研究調整会合が開催されている。

3-2. 第 1 回研究調整会合の概要

第 1 回研究調整会合には、CRP 参加国 7 カ国とオブザーバー 2 カ国 (英国、南アフリカ) から 15 名が参加し、CRP におけるタスクの分担、各タスクのリード国、報告書の内容、今後の進め方などが議論された。原子力機構からは、日本原子力学会において作成した高温ガス炉の安全要件を提示し、これをたたき台として検討を進めることを提案した。また、米国からは、米国 DOE の主導により取りまとめられた新型炉の Safety Design Criteria (SDC) が紹介された。議論の結果、本 CRP では日本と米国が提案する 2 つの安全要件を検討しつつ、日本が提案した安全要件をベースとして、米国の SDC や他国 (独、中国や南アフリカ等) における過去の許認可に関する知見を必要に応じて補足することにより、NE Series Technical Report にまとめることとなった。

3-2. 現在の活動状況

現在、CRP 参加国が日本から提示した安全要件をレビューするとともに、原子力機構は米国 SDC などのレビューを進めている。原子力機構による米国 SDC のレビュー内容は、日本原子力学会「ブリズマティック型高温ガス炉の安全設計プロセス」研究専門委員会において報告され、日本原子力学会で作成した安全要件に対する過不足などについて議論している。次回の第 2 回研究調整会合 (平成 28 年 6 月) では、日本が提示した安全要件及び米国 SDC の技術的な内容などについて議論を行う予定である。

4. まとめ

本講演では、IAEA における国際標準化を目指して日本原子力学会「高温ガス炉の安全設計方針」研究専門委員会で作成した実用高温ガス炉の安全要件の概要及び IAEA CRP の活動状況について報告した。原子力機構は、我が国の高温ガス炉技術の優位性を保ちつつ国際的な原子力安全性の高度化へ貢献するため、日本原子力学会で作成した実用高温ガス炉の安全要件の国際標準化を目指し、IAEA CRP を主導していく。

参考文献

- 1) IAEA, Safety of Nuclear Power Plants: Design Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (2012).
- 2) K. Takamatsu, D. Tochio, S. Nakagawa, et al., "Experiments and validation analyses of HTTR on loss of forced cooling under 30% reactor power," J. Nucl. Sci. Technol., Vol.51, No.11-12, p.1427-1443 (2014).

Hirofumi Ohashi

Japan Atomic Energy Agency