

総合講演・報告：「ブロック型高温ガス炉の安全基準の調査研究」研究専門委員会

研究専門委員会「ブロック型高温ガス炉の安全基準の調査研究」2024年度成果報告
FY2024 Annual Report of Research Committee on Investigation on Safety Standards of Prismatic-type HTGR

(3) 高温ガス炉における深層防護の実装に関する設計例

(3) Design Examples for Defense-in-Depth Implementation for HTGR

*加内 雅之¹, 佐久間 渉¹, 今野 眞樹¹, 葦澤 貴之¹, 佐藤 博之², 坂場 成昭²

¹三菱重工業 ²原子力機構

1. はじめに

本報では、高温ガス炉における深層防護の考え方に関する研究専門委員会での議論と、2030年代の運転開始を目指し設計検討を進めている高温ガス炉実証炉における深層防護実装に関する検討例を紹介する。

2. 深層防護の考え方

2-1. 深層防護とは

深層防護 (Defense-in-Depth) とは、不確かさへの備えとして「複数の防護策によって、防護の信頼性を向上させる考え方」である。深層防護の具体的な適用方法 (防護層の定義・数の設定など) は、設計対象の特性に応じて適切な実装方法を検討することが求められる^[1]。

2-2. 高温ガス炉における防護層の検討

研究専門委員会では、IAEA^[2]や WENRA^[3]等の考え方を参考に、高温ガス炉向けの深層防護の姿について議論が行われた。高温ガス炉の安全確保の最終目的は、軽水炉同様、周辺環境の放射線リスクを可能な限り低減することであり、防護層の構成としては、安全目的達成のための上位概念 (すなわち設計対応としての「放射性物質放出の恐れがある事故の発生防止」「同事故の影響緩和」、及びサイト外対応としての「放射線影響の緩和」) のうち、前者2段階を図1のように分解して考える案が提案された。

ここで、高温ガス炉における防護層は、軽水炉のように「炉心損傷防止」「格納容器損傷防止」を目的とした層 (IAEAの4a, 4bに相当する層) を独立して設定しておらず、事故進展の結果として「著しい炉心損傷」の状態を現時点で設定していない。この前提の妥当性については研究専門委員会にて継続して議論中であるが、図1は、高温ガス炉の「固有の安全性」が機能する設計によって、仮に防護レベル4において事故影響緩和策が機能しない場合でも「著しい炉心損傷」まで進展させない設計が可能という前提で整理されたものである。

2-3. 高温ガス炉実証炉の設計検討例

図1に示す防護層設定において、高温ガス炉実証炉での影響緩和対策及びその層間独立性確保の考え方を図2に示す。高温ガス炉実証炉においても、防護レベル1及び2における影響緩和対策は軽水炉と同様の考え方に基づくが、レベル3及び4に対しては、「固有の安全性」が機能する設計に基づき、信頼性の高い影響緩和対策の採用を検討している。そのため、レベル3, 4の防護層から次の層へ進展する頻度は軽水炉に比べて小さくなり、かつ被覆燃料粒子の高い閉じ込め性能により、被ばく影響も小さくなると期待できる(図3)。

3. まとめ

研究専門委員会における高温ガスの深層防護の考え方の議論、及び実証炉での検討例を示した。今後は、具体的な事故シーケンスの選定とその発生頻度評価、及び被ばく影響評価を進め、高温ガス炉実証炉の安全設計の妥当性を確認する。

参考文献

[1] 日本原子力学会「原子力安全の基本的考え方について 第I編 別冊2」AESJ-SC-TR005 (ANX2):2015

[2] IAEA, Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, 1996

[3] WENRA RHWG, Safety Objectives for New Power Reactors, 2009

謝辞 本報告には経済産業省高温ガス炉実証炉開発事業 JPMT007141 の成果の一部を含む。

上位概念レベル	目的	防護レベル	目的	関連するプラント状態
1 段目	事故の発生防止	1	異常・事故の発生防止	通常運転
		2	異常状態の制御	運転時の異常な過渡変化
2 段目	事故の影響緩和	3	事故の設計基準内への制御	設計基準事故（単一故障）
		4	事故進展防止、被ばく影響緩和	設計基準事故へのレベル3緩和策喪失の重ね合わせ
3 段目	敷地外における放射線影響緩和	5	敷地外における放射線影響緩和	—

図1 高温ガス炉における深層防護レベルの設定案

防護レベル	レベルの目的	防止対策	影響緩和対策	前段否定の考え方	層間独立性の考え方
設計対応	1 異常の発生防止	保守的設計、高い品質	MS-3設備*1による制御、運転員操作	N/A	N/A
	2 異常状態の制御	(レベル1の緩和対策と同じ)	MS-1/2設備*1による原子炉停止及び崩壊熱除去	機器の単一の故障、誤操作	MS-3とMS-1/2の分離
	3 事故の制御	(レベル2の緩和対策と同じ)	工学的安全施設（受動的機構を含む）	安全系の単一故障	MS-1/2(工学的安全施設含む)の多重化
	4 事故進展防止、被ばく影響緩和	(レベル3の緩和対策と同じ)	固有の安全性が機能する設計、必要に応じた補完手段	安全系の多重故障	対策の多様化
サイト外対応	敷地外における放射線影響緩和	(レベル4の緩和対策と同じ)	サイト外の緊急時対応	補完手段の喪失 注：固有の安全性(自然現象)は否定しない	サイト外での緊急時対応

*1 MS-1/2：異常影響緩和系のうち、合理的に達成し得る最高度の信頼性（又は高度の信頼性）を有する構築物、系統及び機器
MS-3：異常影響緩和系のうち、一般の産業施設と同等以上の信頼性を有する構築物、系統及び機器

※異常発生防止系(PS)は、各防護層に共通の「防止対策」となる(上表では省略)

図2 高温ガス炉実証炉での、各防護層の影響緩和策及びその層間独立性確保の考え方

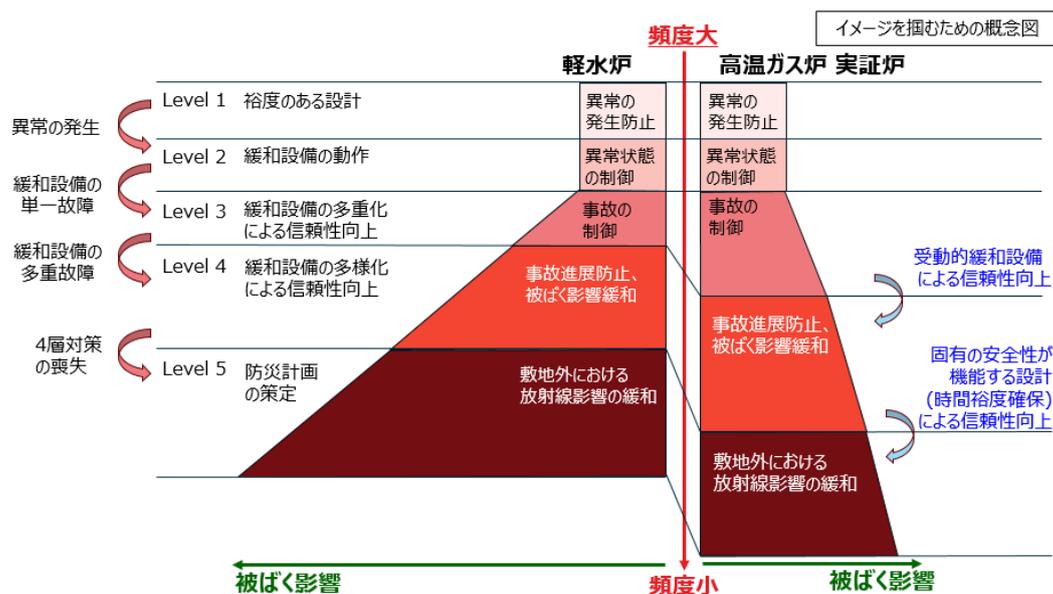


図3 高温ガス炉実証炉の深層防護案

*Masayuki Kauchi¹, Wataru Sakuma¹, Motoki Konno¹, Takayuki Nirasawa¹, Hiroyuki Sato², Nariaki Sakaba²

¹MHI – Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. ²JAEA – Japan Atomic Energy Agency