

核データ部会、炉物理部会、加速器・ビーム科学部会、
「シグマ」特別専門委員会合同セッション
「原子炉・加速器施設の廃止措置と放射化核データライブラリの現状」

(1) 「ふげん」廃止措置のための残存放射エネルギーの評価と課題

(1) Evaluation and issue of radioactive inventory for Fugen's decommissioning

*林 宏一¹、水井 宏之¹、佐野 一哉¹、北村 高一¹

¹ 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

1. 緒言

原子炉施設における残存放射エネルギーを評価することは、放射性廃棄物の評価、解体時の安全評価、解体作業時の被ばく評価、経済性評価等、廃止措置を安全かつ効率的に進めるための基礎データのひとつとなることから、可能な限り精度よく評価し把握しておくことが重要である。

本件では、これまでに新型転換炉原型炉施設（以下、「ふげん」という。）で実施してきた中性子照射による放射化汚染及び腐食生成物による二次的な汚染に係る残存放射エネルギーの評価のうち、放射化汚染の評価を中心に紹介する。

2. 廃止措置のための残存放射エネルギー評価

「ふげん」は重水減速沸騰軽水冷却圧力管型の原子炉であり、減速材及び反射材に重水を使用しており、これら重水の取扱いに係る設備を有すること、また、炉心部が圧力管型であることが大きな特徴である。「ふげん」の炉心特性としては、燃料体の核分裂で発生した中性子が減速材である重水によって熱中性子のエネルギー領域まで減速するとともに、重水領域を通過した中性子は鉄水遮へい体により更に減速する。減速された中性子は炉心領域の周囲に設置された生体遮へい体を過ぎる辺りでは十分に減速している。

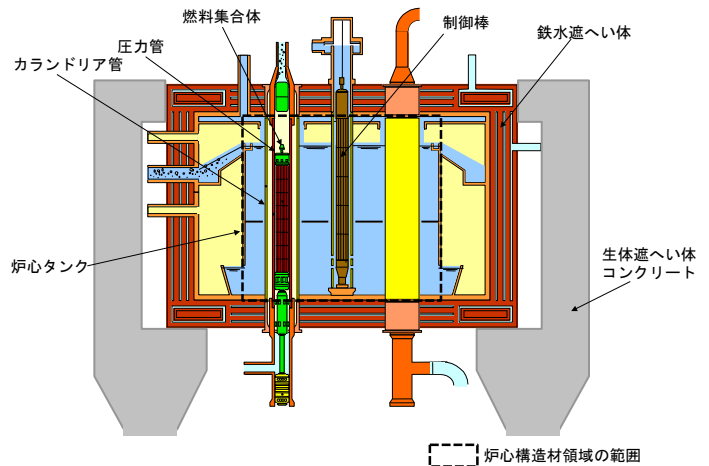


図1 炉心概略断面図

「ふげん」では、この特徴を考慮して、炉心構造材のうち、燃料体を収納する圧力管等で構成される炉心領域、その周囲にある遮へい体領域（鉄水遮へい体及び生体遮へい体コンクリート）、生体遮へい体コンクリートの外側領域の3つの領域（図1参照）に分けて、放射化計算コード ORIGEN¹等を用いて放射化量を評価している²。図2及び表1に放射化量の評価手法を示す。

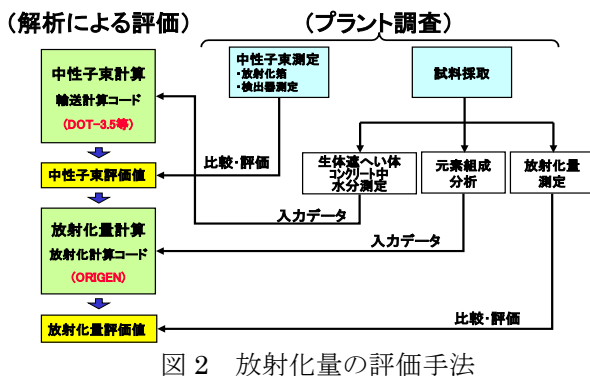


図2 放射化量の評価手法

表1 放射化量の評価手法

評価の領域	中性子束計算方法	測定、評価の手段
(1) 炉心構造材領域	炉心計算コード POLESTAR 格子計算コード WIMS-ATR	圧力管監視試験片
(2) 遮へい体領域		
鉄水遮へい体	輸送計算コード DOT-3.5	放射化箱
生体遮へい体 コンクリート		生体遮へい体 コンクリート
(3) 生体遮へい体コンクリートの外側領域	大型金箔測定値 + モンテカルロコード MCNP	放射化箱

2-1. 炉心領域の評価³⁾

炉心領域では、主要な構造材として圧力管とカランドリア管がある。これらの構造材が位置する炉心領域の中性子密度について、長年にわたり「ふげん」の炉心管理で使用してきた実績を有する炉心管理コード POLESTAR⁴⁾ と、構造材の部位毎の形状を考慮した中性子束密度を詳細に解析するための格子計算コード WIMS-ATR⁵⁾ を組み合わせて解析した。

また、この解析結果の評価は、炉心内で約 10.7 年間照射された圧力管監視試験片から試料採取し、その放射化量の測定値と比較・検証することで妥当であることを確認している。表 2 に圧力管監視試験片による放射化量測定値と解析値を示す。

表 2 圧力管監視試験片による放射化量測定値と解析値

圧力管監視試験片 : Zr-2.5%Nb

核種	β γ 核種		α 核種
	Co-60	Nb-94	Cm-244
測定値	1.8E+12	4.8E+12	2.2E+10
解析値	4.8E+12	4.7E+12	2.0E+10

単位[Bq/t]

2-2. 遮へい体領域の評価⁶⁾

炉心構造材から生体遮へい体コンクリートまでの遮へい体領域は、中性子束密度が比較的高く、単純な形状であるため、一般的な評価に使用されている中性子輸送計算コード DOT-3.5⁷⁾ を用いて解析した。

また、この解析結果の評価は、「ふげん」の原子炉運転期間中に鉄水遮へい体外側と生体遮へい体コンクリートとの間に放射化箔を設置するとともに、約半年間の照射後に回収し、Ge 半導体検出器によるガンマ線測定結果と比較・検証することで妥当であることを確認している。図 3 に放射化箔による放射化量測定値と解析値を示す。

一方、生体遮へい体コンクリートについては、一部をコアボーリング等により試料採取し、その放射性核種を分析するとともに、解析に必要な入力データである水分量や元素組成についても分析した。この結果、生体遮へい体コンクリート中の Co-60 等の分布については、測定値と解析値が精度良く一致することを確認している⁸⁾。図 4 に生体遮へい体コンクリートの放射化量測定値と解析値を示す。

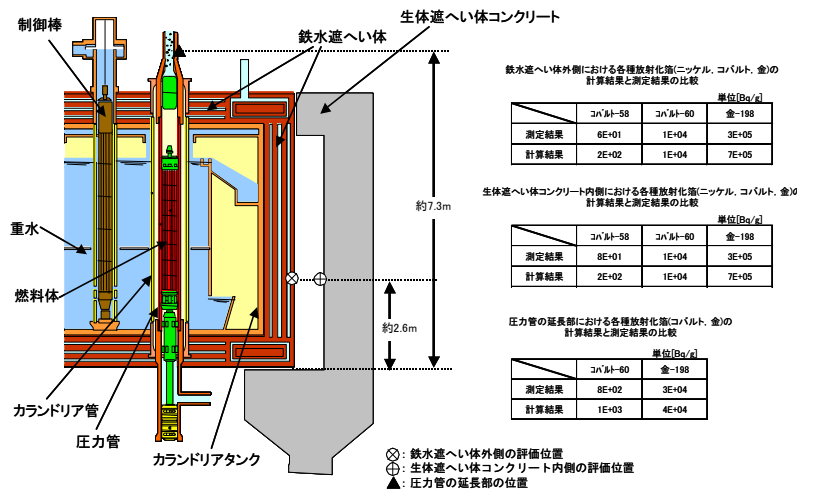


図 3 放射化箔による放射化量測定値と解析値

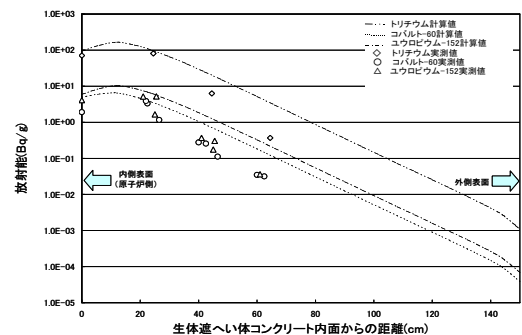


図 4 生体遮へい体コンクリートの放射化量測定値と解析値

2-3. 生体遮へい体コンクリートの外側領域の評価⁹⁾

生体遮へい体コンクリートの外側の領域は、原子炉から離れた位置にあることから中性子束密度のレベルが比較的に低いことに加え、周辺機器等の中性子散乱の影響を受けること等の要因により、解析により中性子束密度を精度良く評価することは困難である。このため、測定感度の高い大型の金箔（以下、「大型金箔」という。）を「ふげん」の原子炉運転期間中に多数設置し、その大型金箔の放射化量を基に中性子束密度を評価した。なお、大型金箔の放射化量から中性子束密度を求めるのに必要な中性子スペクトルは、モンテカルロコード MCNP¹⁰⁾ を用いて算出した。

2-4. クリアランスのための放射化量の評価¹¹⁾

「ふげん」では、解体撤去工事に伴い発生する解体物にクリアランス制度を適用し、放射能濃度が国の定める基準値以下となるものを「放射性物質として扱う必要のないもの」として搬出することを計画して

いる。現在は、タービン設備の解体物を対象としたクリアランス認可申請(平成 27 年 2 月)に係る国の審査を受けている段階にあり、認可受領の得た後に運用を開始する予定である。

クリアランス制度を適用するためには、対象設備について予め評価対象核種の選定を行い、選定した核種の放射能濃度評価手法を確立する必要があることから、上述の炉心領域等における放射化解析等での知見や経験を活用し、タービン設備における評価への展開を図った。

タービン設備の評価に際しては、主に原子炉冷却水に随伴される核種が設備の表面に沈着して生成される二次的な汚染が支配的であるものの、主蒸気中の N-17 の β -n 崩壊に伴い放出される中性子による微小な放射化汚染も考慮することとした。具体的には、2-3.項の生体遮へい体コンクリートの外側領域の評価と同様に、タービン設備近傍に設置した大型金箔による中性子束密度の評価結果を条件に放射化計算コード ORIGEN を用いて放射化量を評価し、その評価結果を二次的な汚染に加算することでクリアランス認可申請に反映した。

3. 課題及び今後の展開

現在進めているクリアランス認可申請に係る国との面談等においては、解析結果の妥当性等が強く求められる状況にある。上述のとおり、原子炉領域の放射化量は、解析コード等を用いた評価によりその妥当性の担保を示すことは可能であるが、今後解体撤去等を進めていく生体遮へい体コンクリートの外側領域やタービン設備等の場合、放射化量が極めて小さく、今後、実機から試料採取し、核種分析を行った場合でも、得られる分析値は検出限界値未満と想定され、解析値の妥当性の証明が困難となる等の課題が考えられる。

このため、課題についてはこれまでに得られた知見や成果等を活用して対応するとともに、施設の特徴を踏まえた残存放射エネルギーの評価とその精度向上を図りつつ、「ふげん」の安全かつ合理的な廃止措置を進めていく計画である。

[参考文献]

- 1) M.J.Bell, “ORIGEN-The ORNL Isotope Generation and Depletion Code”, ORNL-4628 (May 1973) .
- 2) 白鳥芳武, 他, “ふげん発電所の廃止措置のための放射化量評価” サイクル機構技報 No.16 2002.9.
- 3) 白鳥芳武, 他, “「ふげん」放射能インベントリ評価(2)”, 原子力学会 2000 年秋の大会予稿集, L2
- 4) Y.Shiratori, “Operating Experience with MOX Fuel Loaded Heavy Water Reactor”, J.Nucl.Sci.Tech., 30, 78(1993).
- 5) T.Wakabayashi, “Characteristic of plutonium utilization in ATR”, NEACPRP-A744 (1985) .
- 6) 白鳥芳武, 他, “「ふげん」放射能インベントリ評価”, 原子力学会 2000 年春の年会予稿集, G38
- 7) F.R.Mynatt, “THE DOT-III Two-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code”, ORNL-TM-4280 (September 1973)
- 8) 白鳥芳武, 他, “「ふげん」放射能インベントリ評価(3)”, 原子力学会 2001 年春の年会予稿集, K31
- 9) 白鳥芳武, 他, “「ふげん」放射能インベントリ評価(4)”, 原子力学会 2001 年秋の大会予稿集, N53
- 10) J.F.Briesmeister, “MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4B”, LA-12625-M (March 1997)
- 11) 水井宏之, 他, “「ふげん」の解体を考慮したクリアランスの適用及び評価技術の整備(2)評価対象核種の評価と今後の展開”, 原子力学会 2014 年秋の大会予稿集, G54

*Hirokazu Hayashi¹, Hiroyuki Mizui¹, Kazuya Sano¹, Koichi Kitamura¹

¹Japan Atomic Energy Agency