

燃料デブリ周囲へのエネルギー付与に関する放射線化学的評価

(2) 放射線エネルギー分布の放射線化学的統合

Radiation-Chemical Estimation of Energy Deposition around Fuel Debris

(2) Radiation-Chemical Integration of Energy Distributions

*永石 隆二¹, 松村 太伊知¹, 奥村 啓介¹

¹ 日本原子力研究開発機構

デブリが共存した水（反応系）中では放射線分解が起きて、高反応性の生成物（ラジカル・分子）が長期にデブリと接触・反応し、その状態に影響を及ぼす（経年変化）。ここで、放射線分解や照射損傷といった放射線効果は、一般的に評価される線量だけでは説明できず、放射線の線質（線種、エネルギー）に依存した考慮が必要である。

そこで本報告では、前の報告で評価した線種毎のエネルギー分布を放射線化学的に統合した。さらに、線種毎に影響範囲の異なる、反応系での不均一なエネルギー付与に基づく放射線効果について議論した。

キーワード：燃料デブリ、水、LET（線エネルギー付与）、放射線分解、プライマリ収量（G 値）

1. 緒言

これまでの汚染水処理に関する研究¹⁾では、FP の Cs-137 や Sr-90 から放出される飛程の比較的長い放射線の種類（線種）に限って、研究対象（廃吸着塔、廃棄物等）に特徴的な核種に由来する放射線（ β γ ）の影響について論じてきたが、燃料デブリはFP だけでなく飛程の短い α 線を放出するアクチノイドも含むため、デブリを取り巻く環境を主に線種に依存した範囲で影響を与える、複合的な放射線による照射場として考える必要がある。

一方、放射線化学では、線エネルギー付与（LET）が一般に放射線の線質（線種、エネルギー）を表す指標とされており、水の分解生成物の収量（G 値）等は線質に依って異なる値となることが知られている（LET 効果²⁾）。従って、デブリを取り巻く照射場において放射線効果を検討する場合には、線質依存性を考慮する必要がある。

そこで本報告では、（吸収）線量評価に直接関係する前の報告(1)で求めた線種毎のエネルギー分布を放射線化学的に統合して、放射線分解や照射損傷といった放射線効果の影響評価に繋がる LET 分布に変換した。

2. 計算・解析

線種毎の LET のエネルギー依存性を前の報告(1)で求めたエネルギー分布に当てはめて、線種全体の LET 分布としてまとめた。ここで、荷電粒子である α 線（He-4 核）と β 線（電子）の LET は Bethe 式³⁾より求めた。また、光子である γ 線（単色）は Compton 散乱等で放出（反跳）された二次電子（連続エネルギー分布）で主に媒質中にエネルギーを付与するとして、 γ 線の LET を二次電子の平均エネルギー（散乱角³⁾に対する値として求めた。

上記で得た LET 分布をもとにした評価として、水の分解生成物（ラジカル・分子）の生成量（率）は各 LET での線量（率）と分解のプライマリ収量の積を分布する全 LET 領域で積分することで求めることができる。ただし、放射線は主に燃料デブリから放出されるため、水が存在する領域に到達できない放射線の寄与は排除される。

3. 結果・考察

前の報告(1)と同様に、1F 事故時の 1 号機を集合体分割なし（炉心平均）、集合体の構造材混合、FP 放出なしの条件で求めた線種毎の LET 分布を図 1 に示す。縦軸（放射能）、横軸（LET）ともに対数表示で示している。図では前の報告(1)で求めたエネルギー分布よりも、 α 線と β 線・ γ 線との間でさらに明瞭な開きがあることがわかる。これはデブリを取り巻く環境において、それぞれの放射線が全く異なる範囲で影響していることを示唆している。また、デブリ取り出しまでは、汚染水処理と同様に低 LET 放射線²⁾による水の分解が支配的であることがわかる。

本報告では、LET 評価の妥当性について論じるとともに、これをもとに評価した水の放射線分解等の、冷却期間（事故後 100 年未満）やデブリ構造との関係についても述べる。

参考文献

- [1] R. Nagaishi *et al.*, "Irradiation experiments of simulated carbonate slurry", EFCOG Nuclear and Facility Safety Workshop, ANL, Illinois, USA, 9 August 2016 [full paper in JOPSS] 他.
- [2] 永石隆二, 「 $4\text{-}2\text{e}_{\text{aq}}\cdot\text{OH}, \text{H}$ の収量の各種依存性」, 放射線化学のすすめ, 日本放射線化学会編, 学会出版センター, 59-60 (2006) 他.
- [3] H. Bethe *et al.*, "Passage of radiations through matter" in Experimental Nuclear Physics, ed. E. Segrè, J. Wiley, New York (1953); 志田正二編, 分子科学講座 12 「放射線と原子・分子」, 共立出版 (1966) 他.

*Ryuji Nagaishi¹, Taichi Matsumura¹ and Keisuke Okumura¹

¹ Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

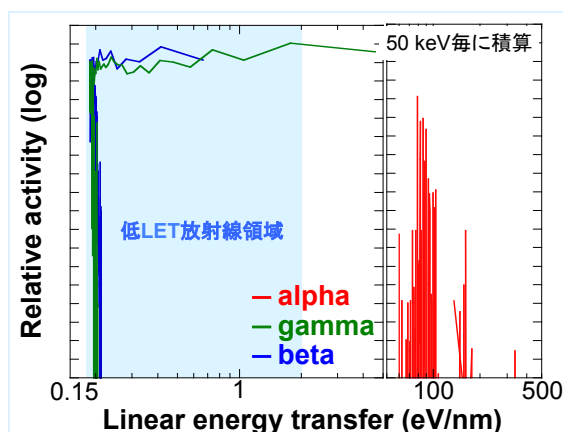


図 1 1F1 事故時の複合放射線 ($\alpha\beta\gamma$) の LET 分布 (炉心平均・FP 放出なし・集合体構造物混合)