使用済燃料直接処分のソースターム評価：
(3) 国内使用済燃料の核分裂生成ガス放出割合導出手法の検討

Estimation of source term for spent fuel disposal:
(3) Development of methodology on estimation of fission gas release ratios for Japanese spent fuels

*長田 正信[1]，赤堀 邦晃[2]，北村 暁[1]，舘 幸男[1]，近沢 孝弘[2]
[1]（国研）日本原子力研究開発機構，[2]三菱マテリアル（株）

処分容器の閉じ込め機能喪失後に生じる使用済燃料から地下環境への放射性核種の瞬時放出挙動について、その評価指標のひとつである国内使用済燃料の核分裂生成ガス放出割合の導出手法を検討した。

キーワード：使用済燃料，直接処分，ソースターム，瞬時放出，核分裂生成ガス放出割合

1. 緒言

高レベル放射性廃棄物地層処分の代替オプションのひとつとして、使用済燃料を直接処分するための研究開発が進められている。直接処分では、閉じ込め機能喪失後に使用済燃料から地下環境へ放出される放射性核種の種類，放出量等（総称してソースターム）の評価が重要であり、諸外国の評価事例等を参考として検討を進めている。パラメータとして閉じ込め機能喪失後に速やかに放出される成分の瞬時放出割合（IRF）があり、揮発性核種（Cl, I, Cs 等）の IRF は、核分裂生成ガス放出割合（FGR）と概ね比例関係を持つことが分かった[1]。そこで、国内燃料の実態を反映した IRF 評価を行うため、国内で実施された照射後試験等の情報を基に国内向けの FGR の推奨値および不確実性を考慮した最大値の導出手法を検討した。

2. 調査結果および FGR の導出手法

調査結果および FGR 導出手法を、PWR 燃料について説明する。わが国の使用済燃料における FGR データは、高燃焼度化のための確証試験等（例えば[2]）から収集した。FGR は、燃焼度増加によるペレットへの機械的影響や運転出力で決まるペレット温度に応じた FP ガスの拡散移行挙動によって変化するため、使用済燃料を、設計燃焼度が異なる従来型（15×15 以前）、17×17 の STEP1 型および STEP2 型の 3 つの燃料仕様タイプに大別し、タイプ毎に FGR を設定することとした。得られた FGR と平均燃焼度の関係を図 1 に示す。これらの試料の平均線出力密度は、商用運転とほぼ同等の 16～24 kW/m であった。この結果から、FGR の推奨値を、従来型および STEP1 型については 1%、STEP2 型については 3%とした。

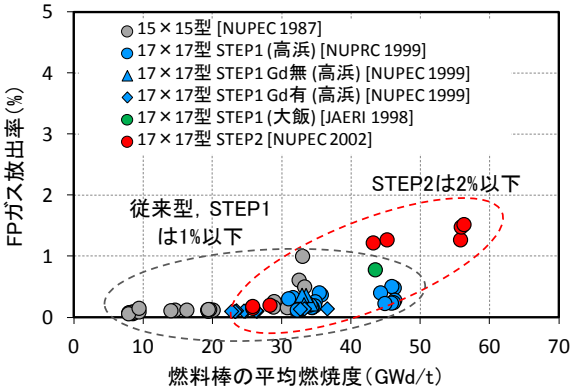

図 1　PWR 使用済燃料における FGR 測定結果

最大値は、照射履歴の不確実性を考慮した。従来型および STEP1 については、高出力を経た燃料が今後発生する可能性は低いと判断し、現状では、最大値を推奨値と同じ 1%と仮定した。現行の STEP2 型については、今後も様々な運転状態を経て発生し続けるため、最も高出力なケースとして、熱的制限値の 44 kW/m を経験する場合の FGR を評価した。FGR は平均線出力密度と直線関係にあるという報告等（例えば[3]）を参考に、STEP2 型による通常出力試験および出力急昇試験[2]や EC の FIRST-Nuclides プロジェクト[3]のデータを整理した。図 2 に示す結果から、燃焼度 55GWd/tU 前後における FGR と経験最高線出力が直線関係にあると仮定し、その関係から 44 kW/m 出力に相当する FGR を約 17 %と評価し、これを最大値とした。

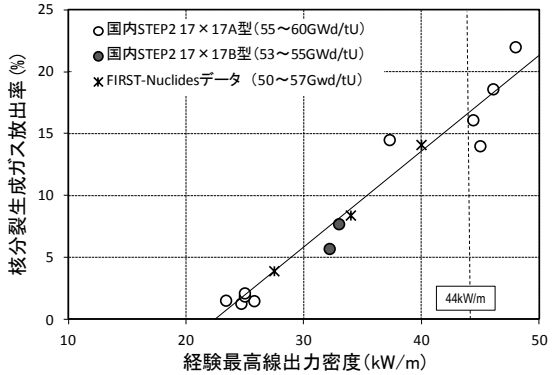

図 2　PWR 使用済燃料（17×17（STEP2）型）における FGR と経験最高線出力の関係

処分対象となる国内使用済燃料のタイプ毎の発生量は、プラントの燃料装荷状況、運転状況等を考慮したモデル計算によって推計することができる[4]。このタイプ別の発生量と、前述したタイプ別の FGR の推奨値および最大値を用いた加重平均法により、全ての PWR 使用済燃料に対する FGR の推奨値と最大値を、それぞれ(1)式および(2)式を用いて算定した。

$$F_{mean} = \sum_{k=1}^{n} (F1_k \times W_k) \Big/ \sum_{k=1}^{n} W_k \quad \cdots\cdots (1)$$

$$F_{max} = \sum_{k=1}^{n} (F2_k \times W_k) \Big/ \sum_{k=1}^{n} W_k \quad \cdots\cdots (2)$$

F_{mean}：全PWRに対するFGR推奨値　$F1_k$：燃料タイプ別のFGR推奨値
F_{max}：全PWRに対するFGR最大値　$F2_k$：燃料タイプ別のFGR最大値
W_k　：燃料タイプ別の発生数

本研究は、経済産業省委託事業「直接処分等代替処分技術開発」（平成 28 年度）の成果である。

参考文献

[1]　長田正信ほか：日本原子力学会 2016 年秋の大会，3D02 (2016).
[2]　(財)原子力発電技術機構：平成 13 年度高燃焼度等燃料安全試験に関する報告書（総合評価編）(2002).
[3]　Kienzler, B.: FIRST Nuclides - Final scientific report, Deliverable No: 5.13, European Commission (2014).
[4]　石谷和己ほか：日本原子力学会 2015 年秋の大会，H46 (2015).

*Masanobu Nagata[1], Kuniaki Akahori[2], Akira Kitamura[1], Yukio Tachi[1] and Takahiro Chikazawa[2]
[1]Japan Atomic Energy Agency, [2]Mitsubishi Materials Corporation