

## 燃料デブリの臨界管理技術の開発

### (31) Feynman- $\alpha$ 法を用いた臨界近接監視におけるデブリ不確かさ影響

Criticality control technique development for Fukushima Daiichi fuel debris

(31) Debris uncertainty on sub-criticality estimation with Feynman-alpha method

\*和田 怜志<sup>1,2</sup>, 吉岡 研一<sup>1,2</sup>, 菊池 茂人<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>IRID, <sup>2</sup>東芝

福島第一発電所事故で発生した燃料デブリは組成や形状に大きな不確かさを持つ。燃料デブリの不確かさがファインマン $\alpha$ 法を用いた未臨界度測定に与える影響を調査・検討した。

**キーワード**：福島第一発電所事故, 燃料デブリ, 臨界安全, ファインマン $\alpha$ 法, 不確かさ

#### 1. 緒言

燃料デブリ取り出し時に形状が変化し、燃料デブリ内部に水が浸入する場合には水対燃料体積比が変化し中性子増倍率が増加する可能性がある。そのため燃料デブリの未臨界度を計測する必要がある。しかし燃料デブリの詳しい形状や組成等の情報はわかっておらず、不確かさが大きい。そこで、他手法と比較して燃料の組成や形状への依存度が小さく、検出効率に依存しないファインマン $\alpha$ 法の採用を検討している<sup>[1]</sup>。

#### 2. 燃料デブリ不確かさによるファインマン $\alpha$ 法への影響

ファインマン $\alpha$ 法での未臨界増倍率( $k_{sub}$ )は式1で示される。

$$k_{sub} = \frac{1 - \alpha \cdot \ell p}{1 - \beta} \quad \text{式 1}$$

ここで、 $\alpha$ は中性子減衰定数、 $\ell p$ は即発中性子寿命、 $\beta$ は遅発中性子割合である。中性子減衰定数( $\alpha$ )は、式2に示される中性子計数率の平均と分散の関係( $Y(\Delta T)$ )から得られる。また燃料デブリの $\beta$ は、 $5E-3$ 程度のオーダーであり影響が小さい。そのため $k_{sub}$ の推定誤差に影響を及ぼすのは $\ell p$ の不確かさである。

$$Y(\Delta T) = \frac{\langle C(\Delta T)^2 \rangle - \langle C(\Delta T) \rangle^2}{\langle C(\Delta T) \rangle} - 1 = Y_{\infty} \left( 1 - \frac{1 - e^{-\alpha \Delta T}}{\alpha \Delta T} \right) \quad \text{式 2}$$

ここで $C(\Delta T)$ は $\Delta T$ 秒間の中性子計数、 $Y_{\infty}$ は $Y$ の $\Delta T$ に対する飽和値である。

燃料デブリの $\ell p$ の相対差による $k_{sub}$ (真値0.95)への影響を表に示す。表より $\ell p$ を小さくすると $k_{sub}$ は過大評価となり、保守的な評価となる。 $\ell p$ の最小値と最大値を2倍の範囲に限定できれば、 $k_{sub}$ は3%以内で推定可能であることが分かる。

表  $\ell p$  と  $k_{sub}$  の関係

$k_{sub}$	0.9750	0.9625	0.9500	0.9250	0.9000
$\ell p/\ell p_{ref}$	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00

#### 3. シミュレーションによる不確かさの評価

燃料デブリの不確かさが即発中性子寿命に与える影響範囲をシミュレーションで評価した。燃料デブリの不確かさは、ウラン濃縮度を1~5wt%, H/Uを5~30と仮定した。結果、燃料デブリの $\ell p$ は、30~80 $\mu$ secと評価された。図に一例として、同一形状体積、同一ウラン濃縮度(3.5wt%)でH/Uのみを可変パラメータとしたときの実効増倍率( $k_{eff}$ )と $\ell p$ の関係を示す。図の体系では、 $\ell p$ の代表値を小さい側の35 $\mu$ secに選定することで、 $k_{sub}$ を保守的な評価となる。また、 $\ell p$ の最小値と最大値の範囲は2倍以内なので、 $k_{sub}$ は3%以内での一致を示す。

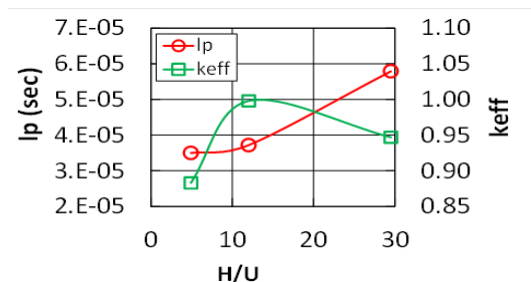


図 H/U、 $\ell p$ 、 $k_{eff}$ の関係

#### 4. まとめ

ファインマン $\alpha$ 法の実機適用時に課題となる即発中性子寿命の不確かさは、低濃縮ウランの熱中性子炉体系の範囲に限定されるため、限定された範囲から適正に設定することで、ファインマン $\alpha$ 法の不確かさ低減が可能である。

#### 謝辞

本件は、資源エネルギー庁『平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金(燃料デブリ臨界管理技術の開発)」』の成果の一部を取りまとめたものである。

#### 参考文献

[1] 菊池 他, AESJ 2016年秋の大会“2H17”, [2] Y. Nagaya, et al., JAERI 1348(2005),

\*Satoshi WADA<sup>1,2</sup>, Kenichi YOSHIOKA<sup>1,2</sup> and Shigeto KIKUCHI<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>IRID, <sup>2</sup>Toshiba Corporation