

燃料デブリ取出しへのファインマン α 法の適用法の検討

Study on Application of Feynman-alpha Method to Fuel Debris Retrieval

* 渡嘉敷 幹郎¹

¹ 原子燃料工業 (株)

本発表では、ファインマン α 法を福島第一原子力発電所 1-3 号機の燃料デブリ取出しにおいて適用することを目的として検討した内容について示す。

キーワード：未臨界度測定、燃料デブリ

1. 緒言 燃料デブリ取出し作業における臨界管理の観点から、燃料デブリを対象とした未臨界度測定技術の検討が必要と考えられるが、組成等、対象体系の詳細な情報の把握が難しい燃料デブリに対し、適用できる未臨界度測定手法は限られている。ファインマン α 法は、左記の制約が比較的少ない有望な手法と考えられるが、未臨界度への換算の際、中性子スペクトル依存性の強い即発中性子寿命を必要とする事が課題と考えられる。本発表では当該課題の対応案として、飽和 Y 値 Y_{∞} に基づく未臨界度推定法について示す。

2-1. 飽和 Y 値に基づく未臨界度推定 α と ρ の間に、 β の影響を無視した以下の近似式が成り立つ。

$$\alpha \cdot \ell = -\rho / (1 - \rho) \dots \dots \dots \text{式 1}$$

一方、 Y 値はタイムゲート幅 Δt との間に以下の関係がある。

$$Y(\Delta t) = \varepsilon \cdot \frac{\sqrt{v(v-1)}}{v^2} \cdot \left(\frac{1}{\ell \cdot \alpha} - 1 \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{1 - e^{-\alpha \Delta t}}{\alpha \cdot \Delta t} \right) = Y_{\infty} \cdot \left(1 - \frac{1 - e^{-\alpha \Delta t}}{\alpha \cdot \Delta t} \right) \dots \dots \dots \text{式 2}$$

Y_{∞} の式3の定義式に対し、式1を代入、即発中性子寿命 ℓ を消去することで式4を得る。

$$Y_{\infty} = \varepsilon \cdot \frac{\sqrt{v(v-1)}}{v^2} \cdot \left(\frac{1}{\ell \cdot \alpha} - 1 \right)^2 \dots \dots \dots \text{式 3}$$

$$\rho = - \sqrt{\left(\varepsilon \cdot \frac{\sqrt{v(v-1)}}{v^2} \right) / Y_{\infty}} \dots \dots \dots \text{式 4}$$

式4に基づけば、未臨界度推定において即発中性子寿命 ℓ が不要となる。ただし、検出効率 ε は測定対象と検出器間の位置関係に影響を受けるため、実際の測定にあたってはデブリ表面と検出器間の距離等を把握した上で適用する必要があると考えられる。左記前提の上で、燃料デブリの測定状況を模した多数の炉雑音シミュレーションを予め実施し、計算固有値に基づく ρ と Y_{∞} の関係から相関式 $\rho = f(Y_{\infty})$ を作成、実際の測定にあたっては左記相関式から ρ を算出することで未臨界度の推定を行うことを考える。

2-2. 炉雑音シミュレーション 燃料デブリを模した複数体系に対し、MCNPコードによる炉雑音シミュレーションを行い、相関式 $\rho = f(Y_{\infty})$ の作成を試みた。シミュレーション体系として、多様な状況を網羅可能なよう、図1に示す複数体系の解析を実施した。また実効増倍率として0.4程度までの深い未臨界体系までを対象とした。

2-3. 評価結果 図1に示す解析体系の計算固有値に基づく ρ と Y_{∞} の関係から相関式 $\rho = f(Y_{\infty})$ を作成した。当該相関式による推定 k と計算固有値の比較結果を図2に示す。両者は比較的良く一致することから、本手法に基づけば、深い未臨界領域においても未臨界度の推定が可能と期待される。

3. 結論 燃料デブリを対象とした未臨界度測定法として、「計算固有値に基づく ρ と飽和 Y 値の相関式を事前に作成し、実際の測定にあたって当該相関式を用いて未臨界度を推定する方法」の成立可能性について検討した。結果、本手法によれば深い未臨界体系に対する測定可能性が期待される結果が得られた。なお、本研究は当社独自に実施したものであり、今後、当研究成果の活用をIRIDに提案してゆく。

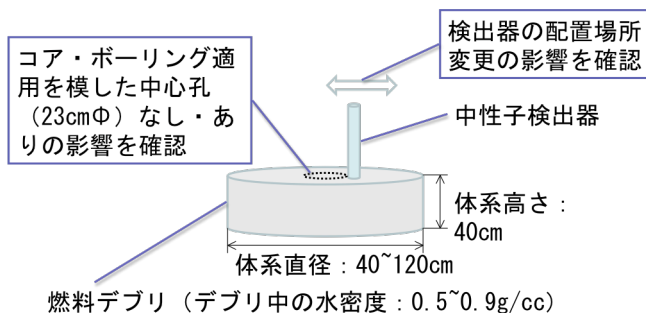


図1 評価したシミュレーション体系

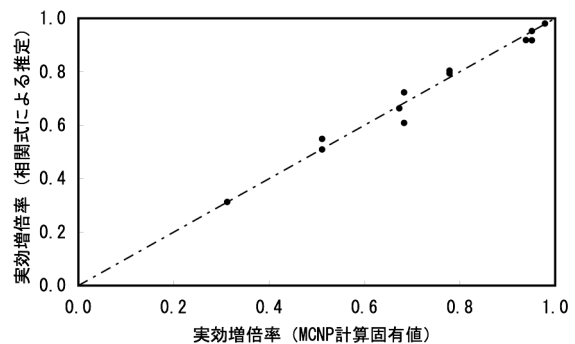


図2 相関式 $\rho = f(Y_{\infty})$ から求めた k と計算固有値

* Mikio Tokashiki¹

¹ Nuclear Fuel Industries, Ltd.