

燃料デブリの臨界管理技術の開発

(22) 炉雑音法とペリオド法による臨界近接検知

Criticality control technique development for Fukushima Daiichi fuel debris

(22) Detection of approach to criticality by reactor noise analysis and period measurement

* 菊池 茂人¹, 和田 怜志¹, 林 大和¹

¹IRID (東芝)

福島第一原子力発電所の燃料デブリは現状未臨界と推定されるが、デブリ取り出し作業により中性子増倍率 k が増加する可能性があるため、中性子計測を基に臨界近接を検知し、臨界安全を確保する。

キーワード: 福島, デブリ, 臨界安全, 炉雑音法, ファインマン α 、ペリオド法

1. 緒言

デブリ取り出し作業における臨界安全管理のために、臨界近接を検知する方法の開発を進めている。炉雑音法に基づき中性子増倍率を測定し、中性子計数率による連続監視を行い、予め定めた中性子増倍率の管理値を超過したら警報を発する。また、増倍率が急激に増加した場合には、ペリオド (計数率の時間変化率) 測定値から臨界に到達するまでの時間を予測し、臨界に近づいた場合に警報を発する。

2. 臨界近接検知の方法

2-1. 炉雑音法

組成が不明のデブリに対して中性子増倍率を測定する手法として、ファインマン α 法などの炉雑音法が有望である。

デブリ近傍では高ガンマ線により中性子検出器の感度が低下するため、炉雑音法の測定時間が長くなる。 MVP^1 コードを用いてデブリと中性子検出器を模擬したシミュレーションを行い、自発核分裂による中性子発生率が高い場合に Y 値 (計数率の分散/計数率の平均値比) のバラつきが大きくなる結果が得られた。図1では $k_{eff}=0.92$ のデブリを対象として、中性子発生率が標準のケース (下段) と $1/10$ 倍のケース (上段) を比較して示す。 Y 値のバラつきを低減するためには測定時間を長くする必要がある。このようにデブリでは炉雑音法の測定時間が長くなると予測されるため、デブリ取り出し作業開始前に炉雑音法により中性子増倍率 k を測定し、測定値を基準値として中性子計数率を監視することによりデブリ取り出し作業中の中性子増倍率を連続的に監視することとした。

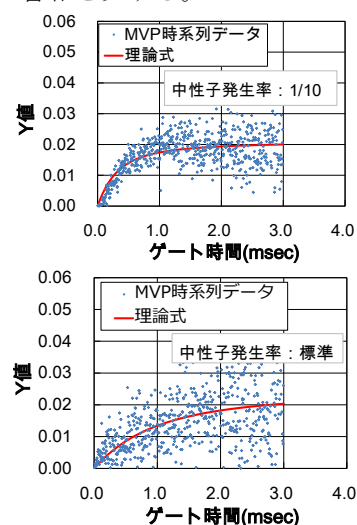


図1 中性子発生率と Y 値の関係

2-2. ペリオド法

デブリの状態が連続的かつ急激に変化して臨界近接する事象に対しては、応答の速いペリオドを用いて監視することが有効である。また、ペリオドは、臨界に到達するまでの時間の目安になるため、臨界近接検知の手段として有効である。ペリオドは一点炉式を基に(1)式のように表され、中性子増倍率 k と k の増加率 α の関数となる (2式)。 α とその時点の k が分かると、臨界になるまでの時間を(1)式と同じ式で計算できる。これは、 k がその後も継続して増加した場合に、ペリオド測定値と臨界になるまでの時間が一致することを示す。図2に、増倍率が 0.7 から 0.99 まで 100 秒間で増加したときの増倍率とペリオドとの関係を示した。①(1)式の結果 (ペリオド 0 群) が遅発中性子 6 群モデルの結果と一致することから(1)式が妥当であること、②各時点のペリオドが臨界までの時間に一致することが分かる (時刻 40 秒では臨界までの時間 (約 60 秒 (=100-40)) とペリオド (約 60 秒) が一致)。

$$T = \frac{1}{\alpha} (1 - k_{eff}) \quad \text{---(1)} \quad \alpha = \frac{dk_{eff}}{dt} \quad \text{---(2)}$$

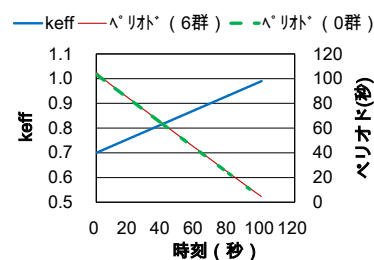


図2 増倍率とペリオドとの関係

3. 結論

炉雑音法とペリオド法を組み合わせ燃料デブリ取り出し時の臨界近接を検知する手法を策定した。

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] Y.Nagaya, et al, JAERI 1348(2005)

*Shigeto Kikuchi¹, Satoshi Wada¹ and Yamato Hayashi¹

¹International Research Institute for Nuclear Decommissioning (TOSHIBA Corporation)

本論文に掲載の商品の名称は、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。