

**背景と目的** 高レベル放射性廃棄物に含まれる長寿命核種の核変換処理を行うシステムとして、加速器駆動炉未臨界炉(ADS)が検討されている。ADSは体系が未臨界であることから、高い安全性を有している。しかし、この安全性は体系が常に未臨界であることが条件であるため、体系の未臨界度を常時監視する必要がある。また、未臨界度のモニタリングは、核燃料加工施設や核燃料再処理施設等、核燃料を扱う施設における臨界管理の安全性・信頼性の向上に有用であると考えられる。

卒業研究で行った検討で未臨界度測定法のひとつである Rossi- $\alpha$ 法を用いた未臨界度実時間測定の可能性が示されている。このことから、本研究では Rossi- $\alpha$ 法を用いた実用可能な未臨界度モニター装置を開発し、その動作の検証を行い、さらに、ADS 体系における未臨界度実時間測定の実現可能性を検討することを目的としている。

**未臨界度モニター装置の開発** 卒業研究により、Rossi- $\alpha$ 法を用いて即発中性子減衰定数を 100ms毎に連続して測定することで未臨界度を実時間で評価できる可能性が示された。Rossi- $\alpha$ 法を用いるためには、中性子検出時刻を収集・蓄積する必要がある。検出時刻の収集には、北村により開発された放射線検出時刻データ収集システムを用いた。さらに、実時間で中性子検出時刻を処理するために、放射線検出時刻データ収集システムの制御プログラムの中に、即発中性子減衰定数の 100ms毎の連続測定のアロリズムを組み込み、中性子検出時刻の収集と即発中性子減衰定数の測定を並行して処理することのできるシステムを開発した。

**検証実験** 開発した未臨界度モニター装置の動作を確認するため、京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)にて未臨界度実時間測定実験を行った。実験は、測定中に未臨界度に変化しない定常状態と、測定中に未臨界度に変化する過渡状態について行った。定常状態における測定の結果、即発中性子減衰定数を概ね一定に測定でき、未臨界度を実時間で評価することに成功した。また、過渡状態における測定では、即発中性子減衰定数の実時間での測定値が未臨界度の変化に追従し(右上図)、体系の未臨界度を開発した未臨界度モニター装置を用いて感知できることが確認できた。

**ADS体系における未臨界度測定の実現可能性の検討**

定性的に、ADS のような中性子束の大きな体系で Rossi- $\alpha$ 法を用いた場合、相関のある中性子検出ペアの数が相関の無い中性子検出ペアの数と比較して少なくなり、未臨界度の測定が困難になることが予想される。本研究で開発した未臨界度モニター装置が ADS 体系においても有用であるかどうか定量的に検討を行った。定量的な評価を行うために、検出器インポートランスを用いた新たな Rossi- $\alpha$ 法の理論式を導出した。

Rossi- $\alpha$ 法で用いる中性子検出時間間隔頻度分布の理論式は、 $P(\tau)dt=Aexp(-\alpha\tau)dt+Bdt$ という形となる。ここで $\alpha$ は即発中性子減衰定数、 $\tau$ は中性子検出時間間隔である。式の第1項は相関のある中性子検出ペアによる項であるため相関項と呼び、第2項は検出時間間隔によらず一定であることから定常項と呼ぶこととする。 $A$ および $B$ はそれぞれ相関項および定常項の係数である。相関項成分のなす面積が「同一中性子を起源とする中性子の検出ペアの数」と「外部中性子源からの同一の中性子投入事象を起源とする中性子の検出ペアの数」の頻度の和からなっていることに注目した。理論式の導出に、一次の検出器インポートランス  $I_1(\mathbf{r}, E)$  と、遠藤により定義された二次の検出器インポートランス  $I_2(\mathbf{r}, E)$  を用いた<sup>(1)</sup>。本研究で導出した理論式を用いることで、従来の理論式では考慮されていなかった中性子検出器の位置情報を明確な形で評価することができる。

導出した理論式に、ADS 体系<sup>(2)</sup>における検出器インポートランスを代入し、各項を求めた。検出器の位置は、燃料領域内側(右下図の①)、燃料領域中央(②)、燃料領域外側(③)の3通りとした。各検出器の検出断面積は、計数率が未臨界度実時間測定システムの処理できる上限となるように設定した。その結果、検出断面積を最も大きく設定した③でも相関項は非相関項のおよそ  $10^{-12}$  倍であり、実時間測定は困難であることがわかった。

**参考文献**

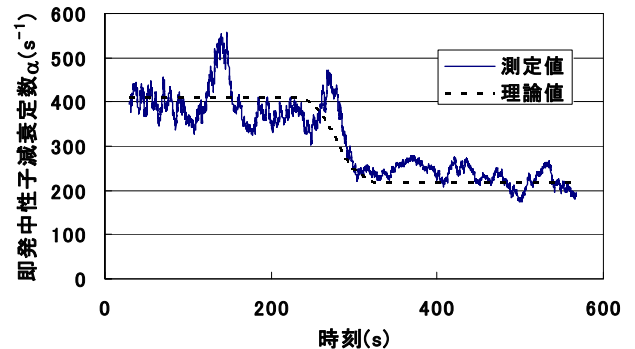
- (1) T. Endo, et al., *Ann. Nucl. Eng.*, **33**, pp. 857-868 (2006).
- (2) K. Tsujimoto, et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **41**, 1, pp. 21-36 (2004).

**公刊論文**

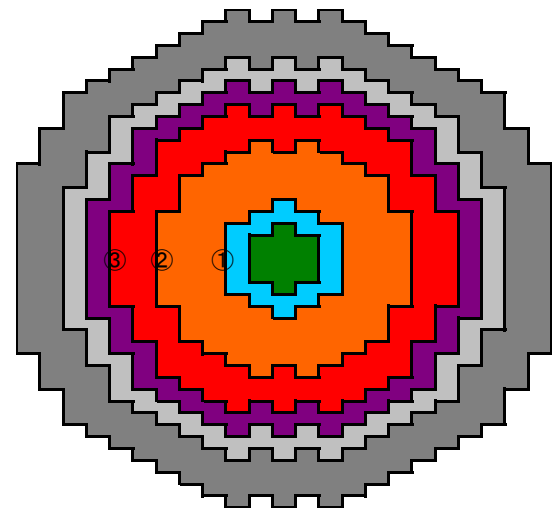
坪田忍, 他, “Rossi- $\alpha$ 法による未臨界度実時間測定システムの開発”, 日本原子力学会「2006年秋の大会」, O40, 北海道大学, (2006年9月28日).

S. Tsubota, et al., “Verification of Real-time Subcriticality Measurement Based on Rossi-alpha Method Using Detection-time Acquisition System,” American Nuclear Society 2007 Annual Meeting, Boston, (June 27, 2007).

坪田忍, 他, “検出器インポートランスを用いた Rossi-alpha 法の理論式の導出”, 日本原子力学会「2008年春の年会」, 大阪大学, (2008年3月).



過渡状態における中性子減衰定数の実時間測定値



- Pb-Biターゲット
- バッファー
- 内側炉心
- 外側炉心
- SUS反射体
- Pb-Bi反射体
- B<sub>4</sub>C遮蔽体

ADS計算体系