燃料間出力相関を考慮した炉外計装による炉心出力分布再構成手法の開発 (3)：UTR-KINKI を用いた原理検証

Core power distribution re-construction method based on the ex-core detector with power correlation between fuel regions

(3): Principal verification using UTR-KINKI

*木村 礼[1]，中居　勇樹[1]，和田　怜志[1]，佐野　忠史[2]，左近　敦士[2]

[1]東芝エネルギーシステムズ株式会社

[2]近畿大学

小型モジュラー炉（SMR）やマイクロリアクターの炉外からの状態監視方法として，これまでに燃料間出力相関を取り入れた炉外計装による出力分布再構成手法を提案し，解析による検証を行った．本研究では次のステップとして UTR-KINKI を用いた試験による原理検証を実施した．生体遮蔽内側に 4 本の検出器を配置して任意の検出器データを利用する事で出力分布再構成を行った．結果，検出器配置によっては 2 本の検出器でも出力分布を再構成でき，加えて燃料間出力相関係数導入の効果についても実験的に確認する事が出来た．

キーワード：炉外計装，状態監視，SMR，小型炉，UTR-KINKI

1. 緒言

分散電源としての利用が想定される小型原子炉における核計装のコスト低減・メンテナンス性向上を目指して炉外計装を用いた炉心内出力分布推定手法の開発を行っている．これまでに各燃料領域からの検出器への応答に加え燃料間出力相関を取り入れた手法を開発し，超小型炉 MoveluX^{TM} 炉心を用いて解析による提案手法の効果を示している[1]．一方でこれまでの検討は解析のみによるものであり，提案手法が実際の原子炉を用いた際に適用できるかは未検討で合った．そこで本研究では次のステップとして UTR-KINKI を用いた原理検証を行った．

2. UTR-KINKI における試験条件

図 1 に試験体系を示す．試験で 2 本の検出器(^{3}He 及び BF_3)を NW-SE もしくは NE-SW の位置に配置し，同じ炉心条件で測定を行う事で仮想的に 4 か所の位置での中性子計数を評価した．また，NW-SE の位置で二本の検出器位置を入れ替えることで検出器の校正を行った．試験では Regulating Rod(RR)および Shim safety rod(SSR)の位置を調整し，出力分布を変化させた．

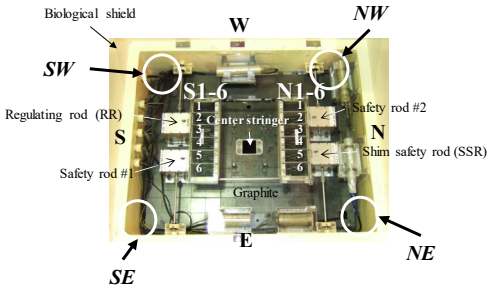

図 1 ：UTR-KINKI における試験体系

3. 出力分布再構築結果

$\mathbf{D} = (d_1, d_2, \ldots, d_n)$を検出器計数ベクトル（測定値），$\mathbf{R} = (r_1, r_2, \ldots, r_m)$（未知数）を出力密度ベクトル，$\mathbf{C}'(m \times n) = (c'_{i,j})$（事前評価による既知数）を，出力相関を考慮した検出器応答行列としたとき，$\mathbf{D} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{C}$において $\mathbf{R}$ の最適化計算を行い，出力分布を求めた．更に，S 側および N 側のピーク位置での出力バランスを$I = (P_{S3} + P_{S4})/(P_{N3} + P_{N4})$ とし，更に参照解で規格化し，出力分布歪みの再現度を図 2 の様に評価した．結果，提案手法（PHOEBE）では出力相関を取り入れないケース（w/o correlation）に比べて再現度が高くなる事が示された．また，出力分布自体も平均 2.4%程度の差異で再現する事が出来た．

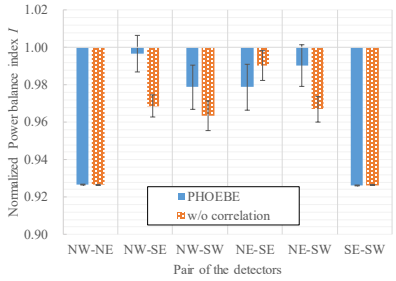

図 2：試験結果(規格化後の出力バランス)

4. 結論

UTR-KINKI を用いた原理実証試験において提案手法で出力分布を再現できることを実証するとともに，燃料間出力相関を考慮するアドバンテージを示すことが出来た．今後はより複雑な体系での試験を進める．

参考文献

[1] Kimura R, Nakai Y, Wada S. Reactor Core Power Distribution Reconstruction Method by Ex-Core Detectors Based on the Correlation Effect Between Fuel Regions. Nucl. Sci. Eng. 2020; publish online

*Rei Kimura[1], Yuki Nakai[1], Satoshi Wada[1], Tadafumi Sano[2], Atsushi Sakon[2]

[1]Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, [2]Kindai University