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
(1)：理論検討と解析による検証

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

(1): Theoretical examination and its verification

*木村 礼[1]，中居　勇樹[1]，和田　怜志[1]

[1]東芝エネルギーシステムズ株式会社

原子炉の安全性の担保の為には常時炉心内の状態を把握する必要があるが，そのために炉内へ核計装を設置した場合，特に小型炉においてコスト上昇やメンテナンス性低下を招く恐れがある．そこで，炉外に設置した核計装で出力分布などの炉内状態を把握できることが望ましいが，検出器到達までに多くの情報が失われるために事前の膨大なパターン解析などの準備が無い限り詳細な出力分布再構築は難しかった．そこで本研究では燃料領域からの検出器応答行列に対して燃料領域間の出力相関係数を導入し，出力分布再構築の精度を向上させる手法を考案した．更に，本手法の検証解析を行い局所的な出力変動を炉心水平断面上で同定できることを確認した．

キーワード：SMR，超小型炉，ヒートパイプ，受動的安全性，反応度制御

1. 緒言

分散電源としての利用が想定される小型原子炉では，安全上重要な炉内状況の把握・異常検知のために炉内へ核計装を設置すると，小型原子炉のコストやメンテナンス性低下を招く恐れがある．そこで炉外計装による炉内状況把握≒出力分布再構築が求められるが，中性子が炉内から検出器に到達するまでに多くの情報が失われ，事前の膨大なパターン解析などの準備無しには詳細な出力分布を得ることが難しい．そこで本研究では検出器応答に対する燃料間の出力相関を導入する事で出力分布再構築精度の向上を図る．

2. 検出器応答に対する燃料間出力相関係数の導入

本研究では検出器 D_i と燃料出力 Rn の関係を，$C_{n,i} = D_i/R_n$ を用いて(1)式と定義した．出力相関を考慮しない場合は(1)式で得られる検出器応答と実測値の差分が小さくなるように R の最適化問題を解く事で出力分布を再構築する．次に燃料領域 m で発生した核分裂が燃料領域 n で核分裂を引き起こす確率を示す係数 $F_{m,n}$ を用い，燃料間の出力相関を考慮した核分裂反応率を(2)式と定義する．すると検出器応答を $C'_{m,i} = \sum_{n=1}^{N} F_{m,n} C_{n,i}$ を用いて(3)式と書き直す事ができ，(1)式と同様に R の最適化問題を解くことで出力分布再構築を行うことが出来る．

$$\begin{cases} D_1 = R_1 C_{1,1} + R_2 C_{2,1} + \cdots + R_n C_{n,1} \\ D_2 = R_1 C_{1,2} + R_2 C_{2,2} + \cdots + R_n C_{n,2} \\ D_3 = R_1 C_{1,3} + R_2 C_{2,3} + \cdots + R_n C_{n,3} \\ \vdots \\ D_i = R_1 C_{1,i} + R_2 C_{2,i} + \cdots + R_n C_{n,i} \end{cases} \quad (1)$$

$$R'_N = R_1 F_{1,N} + R_2 F_{2,N} + R_3 F_{3,N} + \cdots + R_N F_{N,N} \quad (2)$$

$$\begin{cases} D_1 = R_1 C'_{1,1} + R_2 C'_{2,1} + \cdots + R_N C'_{N,1} \\ D_2 = R_1 C'_{1,2} + R_2 C'_{2,2} + \cdots + R_N C'_{N,2} \\ D_3 = R_1 C'_{1,3} + R_2 C'_{2,3} + \cdots + R_N C'_{N,3} \\ \vdots \\ D_i = R_1 C'_{1,i} + R_2 C'_{2,i} + \cdots + R_N C'_{N,i} \end{cases} \quad (3)$$

3. 出力分布再構築結果

MVP3.0/JENDL4.0[1]および JEFF-3.2[2-3]を用い，MoveluX™ 炉心の一部燃料の濃縮度を高めた体系に対して出力分布の再構築を行った．図１にその結果を示す．本図において a)が参照解，b)が提案手法，c)が燃料間出力相関を考慮しない場合の出力分布である．本結果から，出力相関を考慮する事で炉心内側の出力分布を再構築出来ている事が分かる．

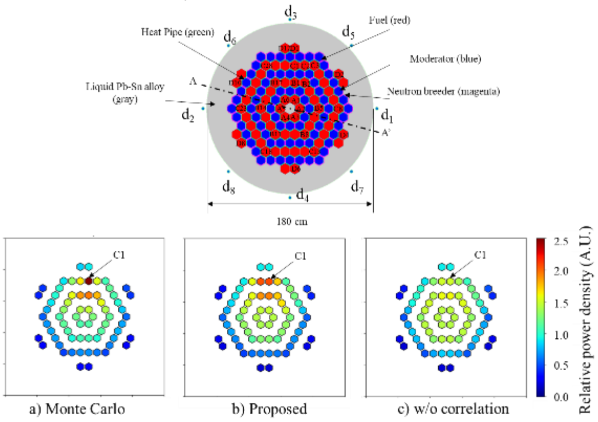

図１：炉心断面図と出力分布再構築結果

4. 結論

燃料間の出力相関を考慮する事で出力分布再構築の精度が向上し，特に炉心内側において出力分布を再現できた．今後の課題として実験による技術実証，係数不確かさ影響評価，初期値設定手法などが挙げられる．

参考文献

[1] Y. NAGAYA, et al., “MVP/GMVP II: general purpose Monte Carlo codes for neutron and photon transport calculations based on continuous energy and multigroup methods”, JAERI1348, Japan Atomic Energy Research Institute (2004), [2] K. SHIBATA, et al., "JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering," J. Nucl. Sci. Technol., 48, 1-30 (2011), [3] OECD/NEA Data Bank, JEFF-3.2 Evaluated Data Library - Neutron data (2014), http://www.oecd-nea.org/dbforms/data/eva/evatapes/jeff_32/,

*Rei Kimura[1], Yuki Nakai[1], Satoshi Wada[1]

[1]Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation