

## モンテカルロ法を用いた分散対平均法による未臨界度推定法の改良

中性子系制御工学講座 中村 朗

**1.背景** 分散対平均法は、核分裂連鎖反応に起因する中性子密度の揺らぎの測定から、原子炉の動特性に関する情報を得る手法であり、原子炉や核燃料サイクル施設の負の反応度(未臨界度)を監視する未臨界度モニターへの適用が期待されている。この手法により得られる即発中性子減衰定数 $\alpha$ と、臨界時の即発中性子減衰定数 $\alpha_{cri}$ 及び体系のドル単位の未臨界度 $\rho_{sub}$ の間には以下の関係がある(Simmons-King法)。

$$\alpha = \alpha_{cri} (1 + \rho_{sub}) \quad \text{但し } \alpha_{cri} = \beta_{eff} / \Lambda \quad (1)$$

ただし、 $\beta_{eff}$ は実効遅発中性子割合、 $\Lambda$ は中性子生成時間である。 $\alpha_{cri}$ を決めるためには、臨界体系での測定か多数の未臨界状態での測定が必要であるが、反応度制御設備のない核燃料サイクル施設のような体系ではこのような測定は困難である。そこで、十分な精度で $\alpha_{cri}$ を推定できる計算法が確立すれば、Simmons-King法に基づく精度良い未臨界度推定が可能となる。

**2.目的** 本研究室で過去に $\alpha_{cri}$ 推定について研究されたが、連続エネルギーモンテカルロ計算コードMVPを用いて炉雑音実験解析を行う際、核分裂反応時に発生する遅発中性子成分の考慮が不十分だったため、正確に $\alpha_{cri}$ を求めることができなかった。したがって、本研究では核分裂時に全中性子から遅発中性子成分を除く考慮をして、即発中性子のみが発生する条件でMVPを用いた計算を行うことにより、Simmons-King法を用いて $\alpha_{cri}$ を推定した。また臨界時の計算を行うことにより直接得られる $\alpha_{cri}^D$ を求め、 $\alpha_{cri}$ と比較する。

**3.計算** 解析対象を京都大学原子炉実験所臨界集合体実験装置(KUCA)で炉雑音実験が行われたA3/8”P36EU(3)Coreとし、計算体系は実験体系を可能な限り忠実にモデル化した。燃料体数と制御棒パターンにより未臨界度を調整し、0[%]から4[%]の8つの未臨界度が異なる体系(臨界体系を1つ含む)において、MVPの炉雑音解析機能を用いて、それぞれの体系の実効増倍率 $k_{eff}$ 及び $\alpha$ を得た。ただし、全ての燃料体全体での吸収反応(核分裂反応を除く)を中性子検出と見なし、また中性子源は全ての燃料体全体に一樣に存在するとした。

**4.解析** ①KUCAのA3/8”P36EU炉心の実験解析で通常用いられる遅発中性子生成割合 $\beta_{eff}=7.627 \times 10^{-3}$ 、② $k_{eff}$ 及び $\alpha$ のMVP計算結果から得られた実効遅発中性子生成割合 $\beta_{eff}=6.705 \times 10^{-3}$ 、の2通りの $\beta_{eff}$ を用いて、 $\alpha$ 計算値に式(1)をFittingして $\alpha_{cri}$ を推定した。また臨界時の計算を行うことにより直接得られる $\alpha_{cri}^D$ を求めた。

**5.結果** ① $\beta_{eff}=7.627 \times 10^{-3}$ と② $\beta_{eff}=6.705 \times 10^{-3}$ の場合における、計算値と実験値(パルス中性子法、パルス周期20[ms])から得られるそれぞれの $\alpha_{cri}$ と $\alpha_{cri}^D$ の比較を表1に示す。①の場合、 $\alpha_{cri}^D$ が $151 \pm 4$ [1/s]であるのに対し、MVPの計算値から得られた $\alpha_{cri}$ は $168 \pm 1$ [1/s]となり約11%過大評価した。②の場合、 $\alpha_{cri}$ が $150 \pm 3$ [1/s]であるのに対し、 $\alpha_{cri}^D$ は $151 \pm 4$ [1/s]となり誤差の範囲で一致した。さらにこの計算結果は、実験値から得られる $\alpha_{cri}=147 \pm 3$ [1/s]とも良く一致した。

表1  $\alpha_{cri}$ と $\alpha_{cri}^D$ の比較

	$\alpha_{cri}(\text{MVP})[1/\text{s}]$	$\alpha_{cri}^D(\text{MVP})[1/\text{s}]$	$\alpha_{cri}(\text{実験})[1/\text{s}]$
① $\beta_{eff}=7.627 \times 10^{-3}$	$168 \pm 1$	$151 \pm 4$	$161 \pm 1$
② $\beta_{eff}=6.705 \times 10^{-3}$	$150 \pm 3$		$147 \pm 3$

**6.結言**  $k_{eff}$ 及び $\alpha$ のMVP計算結果から得られた $\beta_{eff}$ の値を用いた場合、核分裂時に全中性子から遅発中性子成分を除く考慮をして、即発中性子のみが発生する条件でMVPを用

いた精度良い未臨界度推定が可能であることが分かった。MVPの核データ(JENDL3.3)を信頼するならば、KUCAのA3/8”P36EU炉心の実験解析で通常用いられる遅発中性子生成割合 $\beta_{eff}=7.627 \times 10^{-3}$ という値は約14%過大評価されている可能性があると言える。

**公刊論文** 中村,他,“モンテカルロ法を用いた分散対平均による未臨界度推定法の検討,”日本原子力学会中部支部36回研究発表会,(2004)