

**1. 緒言** 原子炉の核特性を評価するための炉心解析では、入力値である核反応断面積の不確かさが核特性へと伝播することにより、核特性解析値には断面積起因の不確かさが存在する。この断面積起因の不確かさは解析精度に大きな影響を及ぼすことから、近年、軽水炉炉心解析に対して断面積調整法という不確かさ低減手法の適用が検討されている。断面積調整法は、断面積の微小変化に対する核特性の変化量(感度係数)を利用して、臨界実験等で得られる核特性測定値に解析値が近づくように断面積を適切に調整する手法である。しかし、軽水炉炉心解析においては、解析フローの複雑さ等により感度係数の評価が困難という課題がある。そこで、本研究では、ランダムサンプリング法(RS法)という統計的手法を利用することで、感度係数を用いることなく断面積調整を行う手法を考案し、その軽水炉炉心解析への適用性の評価を行った。

**2. 理論** 断面積調整法はベイズの定理に基づいており、最終的に(1)式に従って断面積が調整される。提案手法では、(1)式中の  $\mathbf{MG}^T$  及び  $\mathbf{GMG}^T$  がそれぞれ断面積と核特性間の共分散行列( $\mathbf{V}_{T,R}$ )及び断面積誤差起因の核特性共分散行列( $\mathbf{V}_{R,R}$ )に相当することに着目し、両者を統計的に推定する。まず、図1に示すように、 $\bar{T}_0$ を平均、 $\mathbf{M}$ を共分散としたランダムサンプリングにより多数の断面積セット  $\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_N$  を作成する。さらに各断面積セットを用いて解析を行うことにより、核特性  $R_c(\bar{T}_1), R_c(\bar{T}_2), \dots, R_c(\bar{T}_N)$  を得る。このようにして得られた断面積と核特性を統計処理することによって  $\mathbf{V}_{T,R}$  と  $\mathbf{V}_{R,R}$  を推定し、最終的に(2)式により断面積調整を行う。本手法は感度係数行列  $\mathbf{G}$  を評価する必要がなく、任意の回数( $N$ 回)の通常解析により実施可能という利点がある。

$$\bar{T} = \bar{T}_0 + \mathbf{MG}^T [\mathbf{GMG}^T + \mathbf{V}_e + \mathbf{V}_m]^{-1} [\bar{R}_e - \bar{R}_c(\bar{T}_0)] \quad (1)$$

$\bar{T}$ : 調整後断面積     $\bar{T}_0$ : 調整前断面積  
 $\mathbf{M}$ : 断面積共分散     $\mathbf{V}_e$ : 測定誤差起因の核特性共分散  
 $\mathbf{G}$ : 感度係数行列     $\mathbf{V}_m$ : 解析誤差起因の核特性共分散  
 $\bar{R}_e$ : 核特性実測値     $\bar{R}_c(\bar{T}_0)$ :  $\bar{T}_0$ を用いた核特性解析値

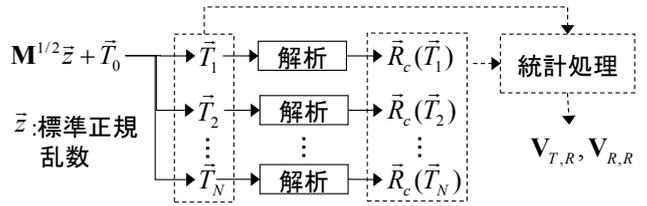


図1 ランダムサンプリングによる共分散推定の流れ

$$\bar{T} = \bar{T}_0 + \mathbf{V}_{T,R} [\mathbf{V}_{R,R} + \mathbf{V}_e + \mathbf{V}_m]^{-1} [\bar{R}_e - \bar{R}_c(\bar{T}_0)] \quad (2)$$

**3. 検証計算** 典型的な4ループPWR炉心を対象として、測定誤差及び解析誤差は無視した仮想的な条件下で本手法の適用性を確認した。ここでは、RS法で作成したある断面積セットを用いて得られた核特性解析値を仮想的な核特性測定値(真値)として用いた。結果の例として、零出力時における1/8炉心内10箇所の制御棒価値を用いて本手法により断面積調整を実施したときの、調整前及び調整後の制御棒価値の絶対差異(解析値-真値)を図2に示す。図2より、制御棒価値の差異が低減されるように調整が適切に行われたことが分かる。また、この調整によって得られた断面積を用いて全出力時における相対出力分布の解析を行うことにより、相対出力の差異(解析値-真値)が大きく低減されることが分かった(図3)。これは制御棒価値と相対出力間に強い相関があるためであり、この結果は零出力炉物理試験データを用いて全出力運転時の核特性予測精度を改善できる可能性を示唆している。

	H	G	F	E	D	C
8	-4.0 0.0					
9						
10	-4.3 -0.3		-4.0 -0.3			
11						
12	-5.3 -0.3				0.3 0.0	
13		-0.4 0.0		0.9 -0.1		
14	3.0 0.0		5.2 0.1		1.5 0.0	
15						調整前(pcm) 調整後(pcm)

図2 制御棒価値の真値との差異

	H	G	F	E	D	C
8	-3.3 0.0					
9	-3.1 0.0	-2.7 0.0				
10	-2.0 0.0	-2.3 -0.1	-1.7 0.0			
11	-2.4 0.0	-2.2 -0.1	-2.0 -0.1	-1.1 -0.1		
12	-1.8 0.0	-1.8 0.0	-0.3 0.1	0.2 0.0	0.4 0.0	
13	-1.1 0.0	-0.4 0.0	0.4 0.0	-0.1 0.0	-0.2 -0.1	2.0 0.1
14	1.4 0.0	2.1 0.1	2.1 0.0	1.6 0.1	1.7 0.1	1.0 0.0
15	0.4 -0.1	2.9 0.1	2.9 0.1	0.6 -0.1	調整前( $\times 10^{-2}$ ) 調整後( $\times 10^{-2}$ )	

図3 相対出力の真値との差異

**4. 結言** 軽水炉炉心解析への断面積調整法の適用のため、RS法を用いた断面積調整法を提案し、そのPWR炉心解析への適用性を確認した。本手法の実用化へ向けては、さらに測定誤差及び解析誤差を考慮した検証を行うことが課題である。

**公刊論文および口頭発表**

- 1) 渡辺友章, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 2013年秋の大会, 八戸工業大学, 9月3-5日, 2013, J19 (2013).
- 2) 渡辺友章, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 2013年秋の大会, 八戸工業大学, 9月3-5日, 2013, J20 (2013).
- 3) T. Watanabe, T. Endo, A. Yamamoto, et al., *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 109, pp. 1365-1368 (2013).
- 4) 渡辺友章, 遠藤知弘, 山本章夫 他, *KURRI-KR(CD)*, 43, pp. 131-142, (2013).
- 5) 渡辺友章, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 2014年春の年会, 東京都市大学, 3月26-28日, 2014, O45 (2014).
- 6) 渡辺友章, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 2014年春の年会, 東京都市大学, 3月26-28日, 2014, O46 (2014).
- 7) T. Watanabe, T. Endo, A. Yamamoto, et al., *J. Nucl. Sci. Technol.* 51, pp. 590-599 (2014).
- 8) T. Watanabe, T. Endo, A. Yamamoto, et al., *Proc. PHYSOR2014*, Kyoto, Japan, Sep. 28-Oct. 3, 2014, (2014).
- 9) T. Watanabe, T. Endo, A. Yamamoto, et al., *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 111, pp. 1391-1394 (2014).
- 10) 渡辺友章, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 2015年春の年会, 茨城大学, 3月20-22日, 2015 (to be presented).