

Characteristics 法による一般化随伴中性子束計算手法の研究

名古屋大学工学部物理工学科 量子エネルギー工学コース 加藤慎也

緒言 炉心解析では、計算機を用いた数値計算によりボルツマン中性子輸送方程式を解くことで中性子束分布や実効増倍率等の炉心特性を計算する。その計算手法の 1 つに Characteristics 法(Method Of Characteristics : MOC)があり、近年、集合体計算手法として主流となっている。数値計算における入力値の 1 つとして原子核の反応断面積データが挙げられる。これは、種々の核種と中性子との反応の起こしやすさをエネルギーについて離散化した数値データであるが、断面積測定時の誤差などを含む。従って、それを用いた数値計算により得られた中性子束分布や実効増倍率の解析結果は、断面積の誤差の影響を受けることとなる。そのため、炉心解析結果を十分信頼できるものとするためには、誤差が炉心解析結果に及ぼす影響の評価(感度解析)を行うことが重要である。断面積に対する感度解析は、断面積の誤差相当分を実際に変化させた体系で再度炉心解析を行うこと(直接法)により実施可能であるが、莫大な計算コストを要するため非現実的である。一方、一般化摂動論に基づく感度解析^[1]の場合、一般化随伴中性子束 γ^\dagger という量を活用することで、より少ない計算コストで感度解析を実施することができる。ここで、 γ^\dagger とは「1 個の中性子がある領域、エネルギー、方向で投入したとき炉心解析結果に及ぼす影響の大きさ」を意味する。しかしながら、MOC による一般化随伴中性子束計算手法は確立されておらず、MOC の計算結果に対して一般化摂動論に基づく感度解析を実施することができないのが現状である。そこで、本研究では、一般化摂動論に基づく感度解析に必要となる一般化随伴中性子束を MOC で計算する手法の開発を試みた。

計算手法 一般化随伴中性子束 γ^\dagger は式(1)で表される一般化随伴方程式を満足する関数として定義される。ここで、 B^\dagger は中性子輸送方程式の随伴演算子、 Q^\dagger は着目パラメータ R に対して定められる随伴中性子源である。 γ^\dagger を数値計算で求める際には、式(2)で表される随伴方程式を満たす随伴中性子束 ψ^\dagger に比例する成分を γ^\dagger に足した場合も式(1)の解となり得るため、数値計算上の誤差が ψ^\dagger 成分として生じた場合には正しい γ^\dagger を得ることができない。本研究では、これを解決するために、反復計算毎に ψ^\dagger 成分に対応した数値誤差を取り除く手法であるホテリング法^[2]の適用を試みた。この手法の適用により、従来提唱されていた計算手法より簡略なアルゴリズムを用いて、 γ^\dagger を計算することが可能となり、大幅な計算時間の低減が期待される。

$$B^\dagger \gamma^\dagger = Q^\dagger \quad (1) \qquad B^\dagger \psi^\dagger = 0 \quad (2)$$

検証計算 Fig. 1 に示す UO₂ 燃料ピンセル体系について、全面周期境界条件の下、検証計算を実施した。本検証では、領域 1 および 2 の核分裂反応率に対する、領域 1 の核分裂反応率比を対象に、吸収断面積の感度解析を実施した。断面積の感度解析は感度係数 S を計算することで実施される。ここで、 S は、ある断面積 Σ が $\delta\Sigma$ 変化したときの R の変化量 δR であり、式(3)により表される。直接法により算出した S を参照解として、本研究において開発した 2 次元 MOC による一般化随伴中性子束計算コードを用いて算出した S との比較を行うことで、本コードの検証を行った。この検証結果を Table 1 に示す。Table 1 で示したように、本コードを用いて算出した S は直接法により得られた参照解と良く一致することが確認できた。これにより、本コードに組み込んだ一般化随伴中性子束計算アルゴリズムの妥当性を確認することができた。

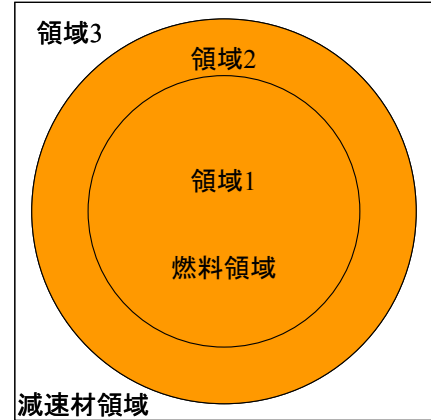


Fig. 1 計算体系

Table 1 開発したコードにより算出した感度係数と参照解の比較

$$S = \frac{\delta R}{R} / \frac{\delta \Sigma}{\Sigma} \quad (3)$$

結言 本研究において、一般化摂動計算に必要な一般化随伴中性子束を MOC で計算する手法を開発した。本研究の成果により、MOC の計算結果に対して、一般化摂動論に基づく感度解析を実施することが可能となった。

感度係数		エネルギー群		
		1	2	
領域	1	-3.50E-05	-7.63E-03	本手法 参照解 相対差異(%)
		-3.42E-05	-7.70E-03	
		2.42	-0.90	
	2	3.40E-05	3.61E-03	
		3.45E-05	3.57E-03	
		-1.19	1.05	
3	1.47E-06	8.05E-04		
	1.47E-06	8.05E-04		
	-0.12	-0.03		

[1] L. N. Usachev, *J. nucl. Energy A/B*, **18**[10], 571-583 (1964).

[2] 橋本憲吾, 博士論文, 名古屋大学 (1995).