

Rigorous Simplified P_N 理論に基づく輸送計算コードの開発

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 山本研究室 山本真人

1. 緒言

炉心解析手法として広く用いられているものの一つに SP_N 法がある。 SP_N 法は、輸送方程式を球面調和関数で展開し、厳密解を求められる P_N 法の近似解である。近年、 SP_N 法と P_N 法の等価性に関する理論が示されており、これを用いて境界条件を改良する手法が Rigorous Simplified P_N 法 (RSP $_N$ 法) である。RSP $_N$ 法の精度はこれまでに十分確認されていないことから、その有用性は未知である。本研究では、RSP $_N$ 法に基づく二次元輸送計算コードを開発し、その精度の検証結果を報告する。

2. 解析手法

SP_N 法では、空間の各位置における中性子流を主軸として、その主軸に対して回転対称を仮定し、主軸からの角度のみに依存する形で角度中性子束をルジャンドル多項式 $P_n(\cos \theta)$ で展開する (θ : 中性子束の勾配方向となす角)。このため、角度中性子束の方位角方向の成分は無視している。RSP $_N$ 理論では、この方位角方向成分を考慮するために、中性子流方向ではなくより厳密な方向 (中性子の勾配方向) を主軸としてルジャンドル多項式 $P_n(\cos \theta)$ で展開する。結果的に、ルジャンドル多項式で3次まで展開した RSP3 計算では、2次中性子束モーメント ϕ_2 及び2次中性子流 J_2 に対してそれぞれ補正項 $\delta\phi_2$, δJ_2 を考慮しなければならない。この補正は、実質的には全断面積 Σ_t が変化する領域境界における ϕ_2 , δJ_2 の収支を考える場合のみ影響する。このとき $\delta\phi_2$, δJ_2 を求めるには全中性子束 ϕ_0 , と2次中性子束モーメント ϕ_2 の空間分布が予め必要になる。そこで本手法では、まず SP3 計算を行い、結果として得られた ϕ_0 , ϕ_2 の空間分布から $\delta\phi_2$, δJ_2 を求め、それらを用いて RSP3 計算を行うことで中性子束の空間分布を計算した。こうして得られた中性子束分布に対し、より厳密な輸送計算コード GENESIS での中性子束分布を参照解とし、SP3 計算からどれほどの精度向上が見られたかを確認した。

3. 結果

開発した二次元 RSP3 コードの検証計算体系を図1に示す。このとき、境界条件は次式で与えた。

$$J_n = \frac{2(1-\alpha)}{4(1+\alpha) + \frac{\Delta x}{D_n}(1-\alpha)} \phi_n$$

α : アルベド値, $\alpha = 1$ で完全反射境界

領域1の全断面積 $\Sigma_t = 1.0$ [1/cm]、領域2は $\Sigma_t = 1.1$ [1/cm] とした。また、中性子のエネルギー群数は1群とした。領域1と領域2の境界部分 (図1のA枠部分)、領域1の完全反射境界の境界部分 (図1のB枠部分) について、RSP3 計算及び SP3 計算の参照解との相対誤差を図2に示す。図2より、内部領域境界では RSP3 法の相対誤差が SP3 計算よりやや減少することが確認され、外部境界では SP3 計算と同程度の相対誤差であることが確認された。

発表実績

山本真人, 遠藤知弘, 山本章夫,

日本原子力学会中部支部第49回研究発表会, 12月14-15日, 名古屋大学, R16(2017).

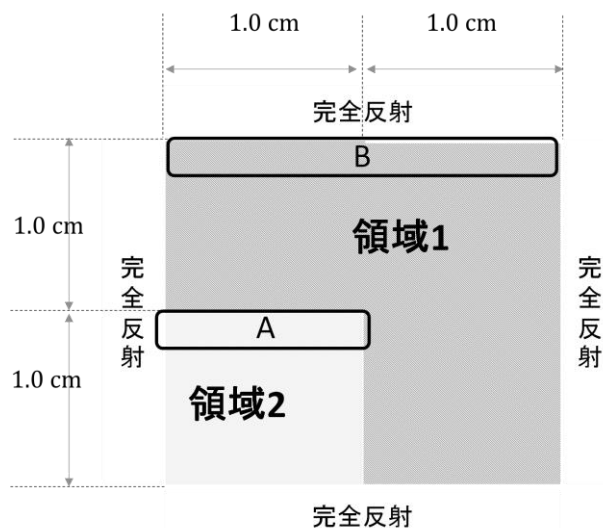


図1 計算体系

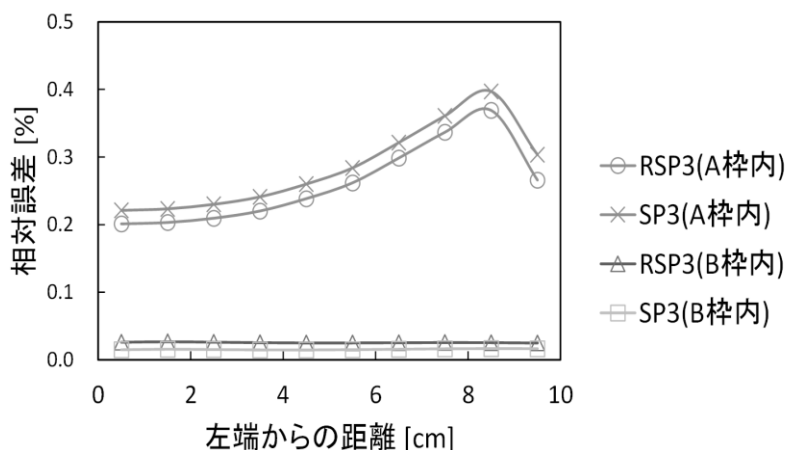


図2 領域境界(A枠内)及び外部境界(B枠内)での各手法と参照解の相対誤差