

簡易ベンチマーク問題の (r, θ) 体系への拡張¹

2024/12/2 千葉 豪

これまでに、放射化計算のための中性子・ガンマ線ベンチマーク問題として1次元球体系のモデルを作成し検討に用いてきたが、新たに (r, θ) 体系を対象とした検討を行うため、1次元球体系のモデルを円筒体系に置き換えたうえで、燃料領域とコンクリート遮蔽材領域に周方向依存性をもたせたモデルを作成することとした。

燃料領域については、円筒モデルにおける外側半径が 237.7 cm であること、簡易ベンチマークモデルの作成に使用した文献 (NUREG/CR-0672-Vol.2) の p. C-5 に燃料集合体数として 764 の記載があったことから、燃料集合体 1 体あたりの径方向面積として 232.3 cm²、辺長として 15.243 cm を得た。径方向 1/4 領域に配置される燃料集合体数は 764/4=191 であることから、これを Fig. 1 のように配置させるものとした。

A	A	A	A	A	A														
A	A	A	A	A	A	A	A	A											
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A									
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A								
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A							
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A						
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A					
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A				
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A			
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fig. 1: Assembly loading pattern in the quarter core

矩形の燃料領域を (r, θ) 座標系に変換するため、IrregularGeometryInfo クラスを活用した。具体的には、角度領域 $[0, \pi/4]$ に対して等間隔に角度分割を行い、その各々の分割領域に対して、燃料領域の面積を保存する径方向長さを求めた。ここで、矩形の燃料領域の面積は、分割領域をさらにサブ領域に分割した上で数値積分により計算した。これらの計算は Activation_JSPS ディレクトリの main_trajectory.cxx により行う。

また、コンクリート遮蔽領域については、ボイド領域の「切り込み」を一部に配置した。

以上の考え方に基づいて作成した体系の物質配置を、GeneralSystem クラスに実装されている sys.ShowMaterialIndexForXYPlot メソッドを用いて作図したものを Fig. 2 に示す。なお、この体系では周方向について、角度範囲 $[0, \pi/4]$ を 30 に等分割したうえで、各周方向分割あたりに 2 メッシュを割り当てている。その理由は、これを 1 メッシュとした場合には収束解が得られなかったためであり、その理由は現時点では不明である。

BUGLE-47 群構造で計算したときの中性子束の空間分布を Fig. 3 と 4 に示す。

収束条件を、実効増倍率について 10^{-5} 、核分裂源と中性子束について 10^{-4} としたときの結果を Table 1 に示す。

¹ /Document/Study/Activation_JSPS/R-THETA/ModBenchModel

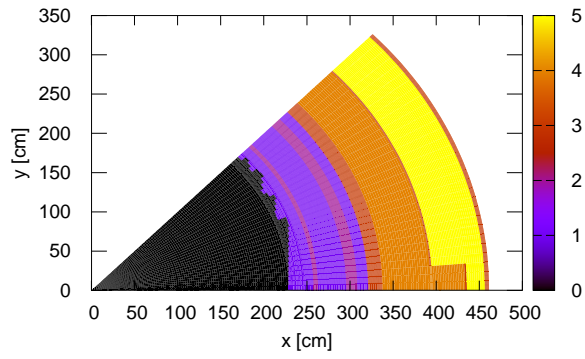


Fig. 2: Target systems

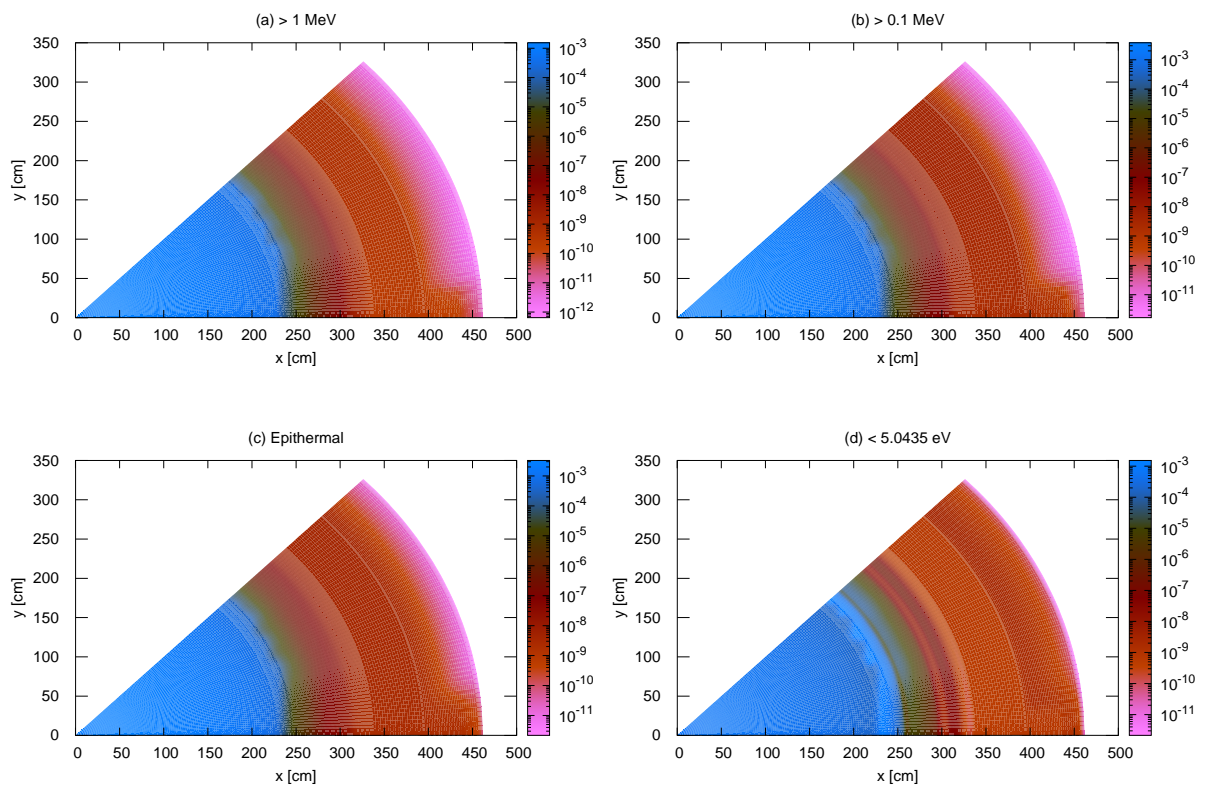


Fig. 3: Neutron flux spatial distribution (wide range)

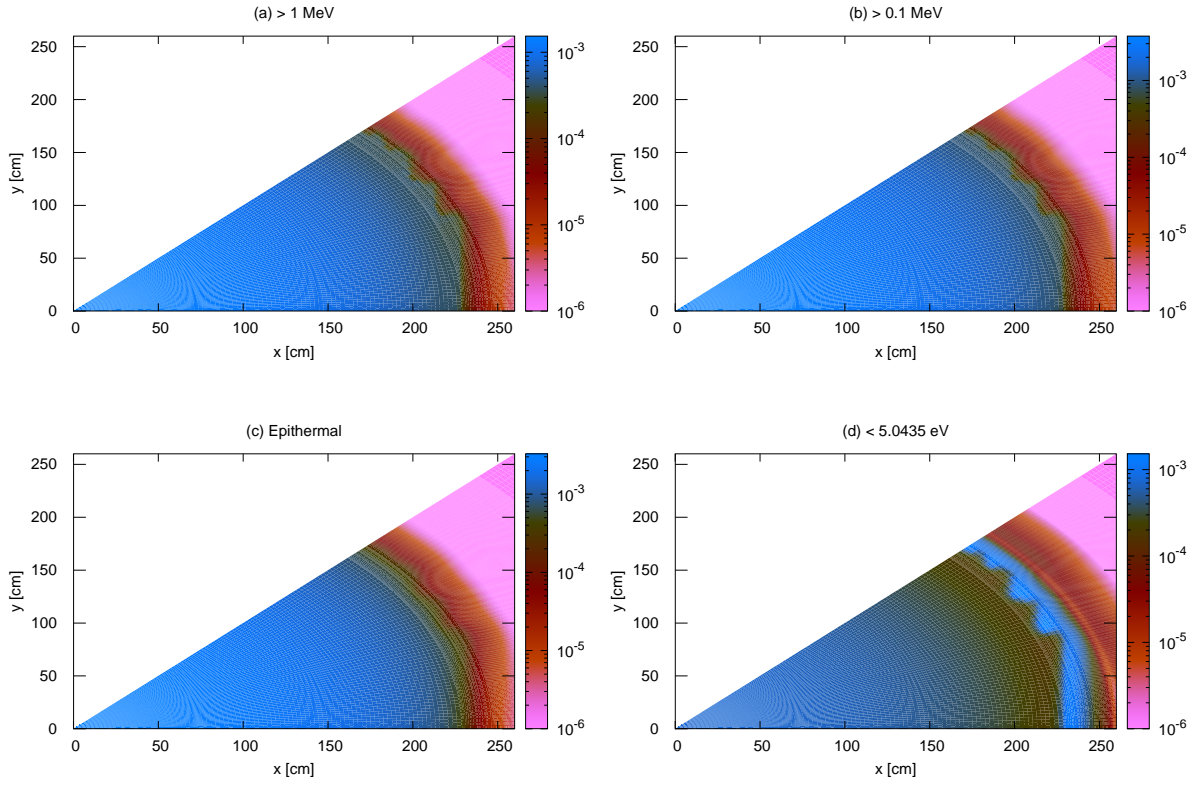


Fig. 4: Neutron flux spatial distribution (short range)

Table 1: Result and computational burden

Number of groups	Option	Memory [GB]	Time	Outer iterations	k_{eff}
47	P1S4	0.1	21m5s	55	0.82198
	P3S8	0.3	95m25s	50	0.82197
	P5S16	0.6	423m1s	43	0.82197
199	P1S4	0.4	206m5s	114	0.81886
	P3S8	1.2	948m8s	105	0.81884
	P5S16	2.5	3,502m12s	73	0.81885
361	P1S4	0.8	357m46s	87	0.81999
	P3S8	2.2	1,761m11s	91	0.81998
	P5S16	4.5	10,326m	97	0.81999
4412	P1S4	14.8	60m	1	
			465m14s	15	
			4 days?	Converged (100+)	

P1S4 として、4,412 群での計算結果を参照解としたときの 47 群及び 199 群のメッシュ毎の中性子束の誤差を Fig. 5 と 6 に示す。1 次元球体系モデルでの結果と概ね整合のとれるものとなっている。

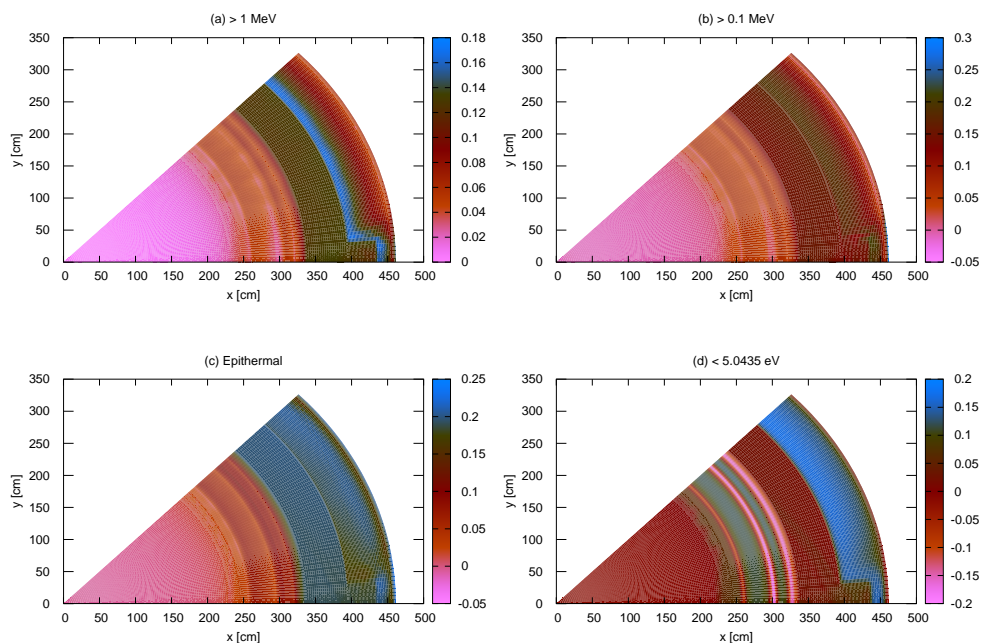


Fig. 5: Neutron flux spatial distribution error with the 47-group calculation

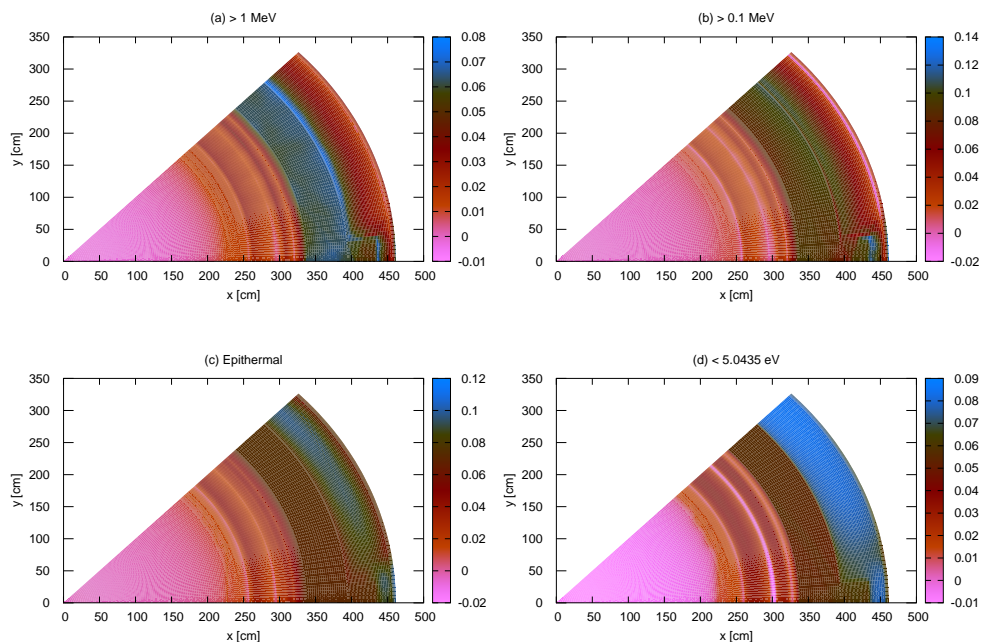


Fig. 6: Neutron flux spatial distribution error with the 199-group calculation

シュラウド、jet pump、RPVについて、一次元モデルで Consistent P 近似により少数群断面積を計算したときの誤差を、少数群を 47 とした場合について Fig. 7、8 に示す。Consistent P 近似を導入しなかった場合と比較して、特に熱中性子束分布において誤差の低減が図られていることが確認された。

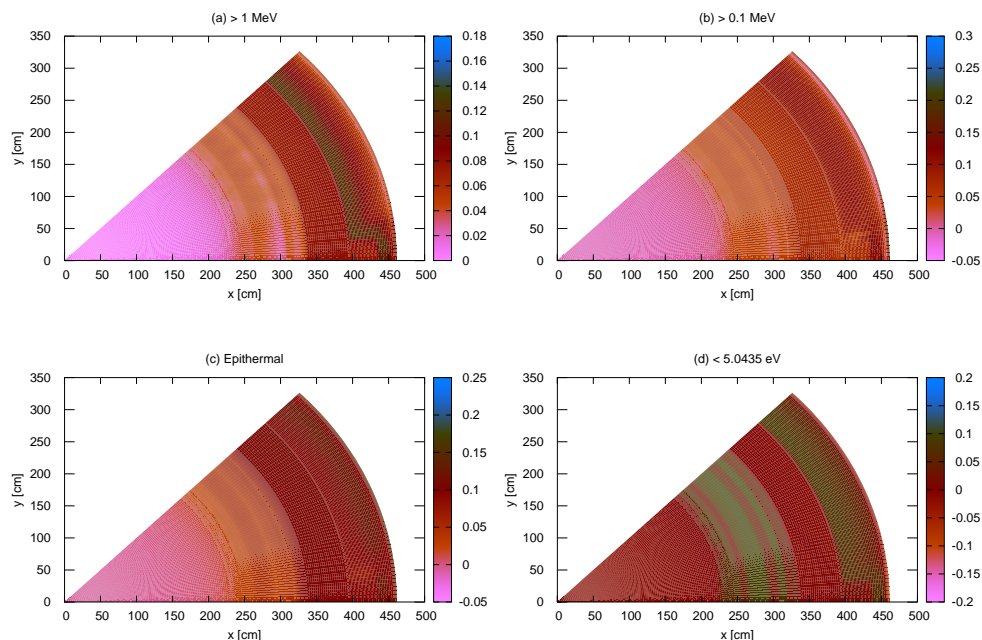


Fig. 7: Neutron flux spatial distribution error with the 47-group calculation with the consistent P approximation

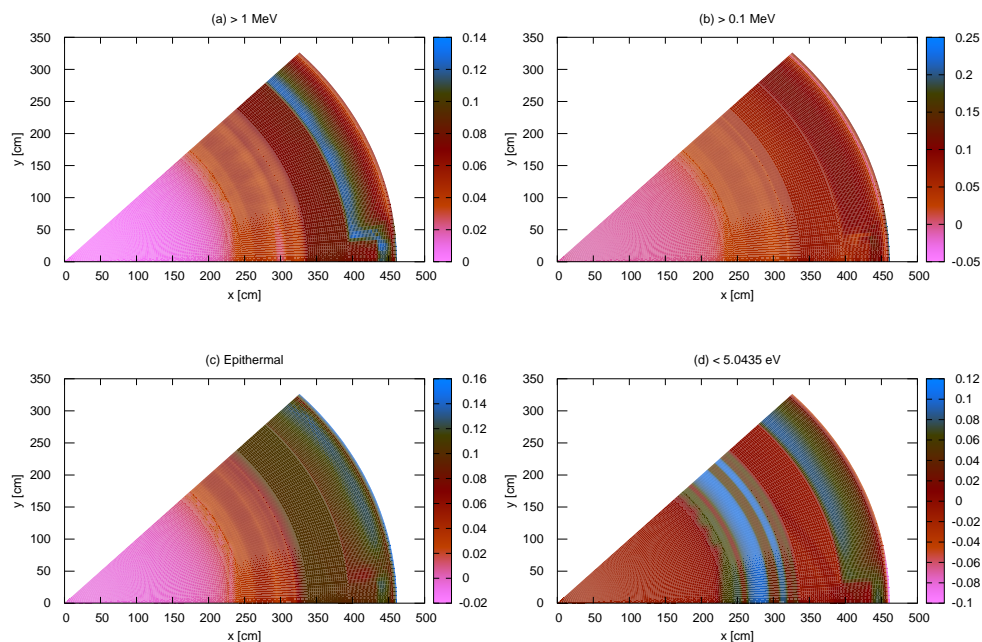


Fig. 8: Neutron flux spatial distribution error with the 47-group calculation with the consistent P approximation