

1. 緒言 安全余裕の定量評価のため、現在炉心解析の分野ではより厳密な計算モデルに基づいた中性子輸送計算手法の開発が進められている。特に Method of Characteristics(MOC)と呼ばれる手法は炉心及び燃料棒の幾何形状を近似することなく炉内の中性子輸送を解析することができる手法として注目を浴びており、現在、原子炉の過渡を取り扱う動特性解析への適用が検討されている。しかし MOC の動特性計算への適用には、膨大なメモリ量及び計算時間を要する等、その実用化に大きな課題が残されている。修士研究では、時空座標系における特性曲線を用いた動特性解法、On-flight 法の開発、MOC 動特性計算に対する Multigrid Amplitude Function 法の適用を実施し、上述の問題点の解決に取り組んだ。本発表では On-flight 法についてのみ言及する。

2. On-flight 法の提案 MOC では炉内を飛行する中性子の飛行パスを多数の方向から考え、パス上の中性子の収支式を解くことで、最終的に燃料や減速材等の領域毎の中性子束を計算する。また、MOC を用いた動特性計算では、時間依存輸送方程式における角度中性子束 ψ の時間微分項に対し差分近似を適用した(2)式を解くことで、 $n-1$ 番目タイムステップにおける角度中性子束から、 n 番目のタイムステップにおける角度中性子束を計算する。これを直接法と呼ぶ。ただし、MOC では多数の方向から膨大な数の中性子パスを考慮するために、前の時間ステップにおける角度中性子束を全てメモリ上に保持することは困難である。ゆえに現行の MOC 動特性計算コードでは、(2)式の右辺第二項が中性子の飛行方向に依存せず、等方であると仮定している(等方近似法)。

$$\frac{1}{v_g} \frac{\partial \psi_{g,m,k,i}}{\partial t} + \frac{\partial \psi_{g,m,k,i}}{\partial s} + \sum_{t,g,r} \psi_{g,m,k,i} = Q_{g,m,r} \quad (1) \Rightarrow \frac{d\psi_{g,m,k,i}^n}{ds} + \sum_{t,g,r} \psi_{g,m,k,i}^n = Q_{g,m,r}^n + \frac{\psi_{g,m,k,i}^{n-1} - \psi_{g,m,k,i}^n}{v_g \Delta t} \quad (2)$$

上述の等方近似によりメモリ量は大幅に低減されるが、ここで問題となるのが等方近似法の妥当性である。等方近似の妥当性を検証するためには、等方近似法の計算結果と、最も厳密な直接法の計算結果を比較する必要があるが、直接法は極めて膨大なメモリ量を要するため、大規模体系における計算の実施が困難である。ゆえにこれまで、等方近似法の妥当性は定量的に評価されてこなかった。つまり従来の等方近似の定量的な妥当性評価を行なうためには、実用的なメモリ量で直接法の計算結果を再現できる計算手法が必要不可欠である。よって本研究では以上の要求を満たす動特性計算手法として On-flight 法を新たに提案する。本手法では、現ステップの角度中性子束を計算する際、等方近似を適用しない。ただしこの場合、膨大なメモリ容量を要する 1 ステップ前の角度中性子束が必要となるため、1 ステップ前の角度中性子束はメモリ上に保持せずに 1 ステップ前の角度中性子束のバランス式から再計算する。この時、1 ステップ前の角度中性子束の再計算に(2)式を用いると 2 ステップ前の角度中性子束が必要になることから、1 ステップ前の角度中性子束を再計算する際には等方近似法を用いて角度中性子束を再計算する。ここで、(2)式では前ステップの角度中性子束項に $1/v_g/\Delta t$ が掛かっていることから、1 ステップ前の角度中性子束に適用した等方近似の影響は $1/v_g/\Delta t$ に低減される。つまり、本手法は従来の等方近似法に比べ厳密な解析結果を算出することができる。

本手法の検証のため、LRA ベンチマーク問題の解析を直接法、等方近似法、On-flight 法で実施し、計算精度及びメモリ量の比較を行った。Fig. 2 には直接法を参照解とした際の各種計算手法と直接法の炉心平均出力密度に関する相対差異を示すが、本手法は直接法の計算結果を極めて高精度に再現していることが確認できる。また、所要メモリ量も等方近似法が 100MB、On-flight 法が 192MB、直接法が 8842MB となっており、本手法では直接法に比べ所要メモリ量を大幅に低減することができる。ゆえに本手法を直接法の代わりに用いることで、直接法での参照解算出が困難な大規模体系でも従来の等方近似法の妥当性評価を実施可能である。なお、本検証問題においては、等方近似法と直接法の解析結果は燃料棒出力で 1% 未満の相対差異で一致していたことから、従来の等方近似が十分妥当であることが確認できた。

3. 結論 実用的なメモリ量で直接法の計算結果を再現可能な新たな動特性計算手法を開発した。また、従来、定量的な妥当性評価が行われてこなかった等方近似法についてその妥当性を確認した。

公刊論文

- 1) 辻田浩介, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 秋の大会, 北九州国際会議場, 9月19日-22日, 2011, N13 (2011).
- 2) 辻田浩介, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 春の年会, 福井大学, 3月19日-21日, 2012, C28 (2012).
- 3) 辻田浩介, 遠藤知弘, 山本章夫, 上山洋平, 桐村一生, 日本原子力学会 秋の大会, 広島大学, 9月19日-21日, 2012, Q41 (2012).
- 4) 辻田浩介, 遠藤知弘, 山本章夫, 上山洋平, 桐村一生, 日本原子力学会 秋の大会, 広島大学, 9月19日-21日, 2012, Q42 (2012).
- 5) 辻田浩介, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 春の大会, 近畿大学, 3月26日-28日, 2013, (2013). (to be presented).
- 6) K. Tsujita, T. Endo, A. Yamamoto, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 106, pp. 743-746 (2012).
- 7) K. Tsujita, T. Endo, A. Yamamoto, Y. Kamiyama, K. Kirimura, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 107, pp. 1101-1104 (2012).
- 8) K. Tsujita, T. Endo, A. Yamamoto, Y. Kamiyama, K. Kirimura, *M&C 2013, Sun Valley, May 5-9 (2013)*. (submitted).
- 9) K. Tsujita, T. Endo, A. Yamamoto, *M&C 2013, Sun Valley, May 5-9 (2013)*. (submitted).
- 10) K. Tsujita, T. Endo, A. Yamamoto, *Nuclear Technology*. (submitted).

→ : 中性子パス



Fig. 1 炉内の中性子パス

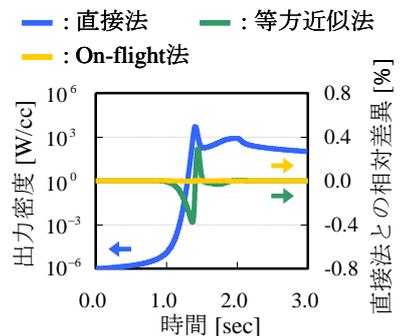


Fig. 2 LRA問題の解析結果