

MOC を用いた動特性計算における θ 法の適用

Application of the Theta Method for Kinetic Calculation using MOC

*辻田 浩介¹, 遠藤 知弘², 山本 章夫²

¹NEL, ²名古屋大学

MOC を用いた動特性計算において、前ステップの残余項の空間分布・角度分布に対する近似を必要としない θ 法の実装方法を検討し、TWIGL ベンチマーク問題での検証を実施した。

キーワード : MOC, 動特性計算, θ 法, MAF 法

1. 緒言 時間依存の輸送方程式に対し θ 法を適用した場合、中性子の収支式は(1)式で表される。

$$\frac{1}{v_g} \frac{\psi_g(\vec{r}, \vec{\Omega}, t_{n+1}) - \psi_g(\vec{r}, \vec{\Omega}, t_n)}{\Delta t} = \theta R_g(\vec{r}, \vec{\Omega}, t_{n+1}) + (1 - \theta) R_g(\vec{r}, \vec{\Omega}, t_n) \quad (1)$$

ここで右辺の残余項 $R_g(\vec{r}, \vec{\Omega}, t)$ は、(2)式に示す通り、中性子の位置及び飛行方向に依存する関数となる。

$$R_g(\vec{r}, \vec{\Omega}, t) = -\vec{\Omega} \cdot \nabla \psi_g(\vec{r}, \vec{\Omega}, t) - \Sigma_{t,g}(t) \psi_g(\vec{r}, \vec{\Omega}, t) + Q_g(\vec{r}, \vec{\Omega}, t) \quad (2)$$

しかし、MOC を用いた動特性計算では、あらゆる方向に飛行する無数の中性子パスを考慮することから、前ステップにおける位置依存の非等方変数の値を全てメモリ上に保持することは困難である。ゆえに、 θ 法に基づく MOC 動特性計算を実用的なメモリ量で実施するためには、角度中性子束の時間差分項及び前ステップの残余項の空間分布・角度分布に対する近似が必要となる。本研究では、因子化法の一つである MAF 法を用いて、前ステップの残余項に対する近似を必要としない θ 法の実装方法を検討した。なお、角度中性子束時間差分項については、等方近似の影響が小さいことを過去検討で確認済みのため、等方近似を適用した。

2. 計算理論 MAF 法では、中性子束を形状関数と振幅関数に分離し、形状関数を詳細メッシュ・粗タイムステップの動特性計算、振幅関数を粗メッシュ・詳細タイムステップの動特性計算で求め、互いに空間・時間に関する精度を補償し合うことで、中性子束の詳細な時間変化に追従する。ゆえに、MOC 動特性計算で求める形状関数の時間離散化には完全陰解法、拡散計算により求める振幅関数の時間離散化には θ 法を適用することで、前ステップの残余項に対する近似を排除しつつ、 θ 法の時間積分精度を再現できる可能性がある。

3. 計算結果 TWIGL ベンチマーク問題のステップ状摂動条件における MOC 動特性計算を完全陰解法、MAF 法で実施した。各計算ケースの計算条件を以下に示す。なお、 Δt_{shape} , Δt_{amp} はそれぞれ形状関数、振幅関数のタイムステップ幅であり、 θ は MAF 法における振幅関数の時間離散化に使用した θ 値である。

- ・参照解 : 完全陰解法 ($\Delta t = 0.1\text{ms}$)
- ・ケース 1 : 完全陰解法 ($\Delta t = 1\text{ms}$)
- ・ケース 2 : MAF 法 ($\theta = 1$, $\Delta t_{shape} = 100\text{ms}$, $\Delta t_{amp} = 1\text{ms}$)
- ・ケース 3 : MAF 法 ($\theta = 0.5$, $\Delta t_{shape} = 100\text{ms}$, $\Delta t_{amp} = 1\text{ms}$)

各ケースの炉心出力の時間変化について、参照解との差異を図 1 に示す。ケース 1 とケース 2 を比較すると、両者の時間離散化誤差はほぼ同程度であり、中性子束の時間差分項を直接離散化した完全陰解法の結果をよく再現していることが確認できる。さらに、

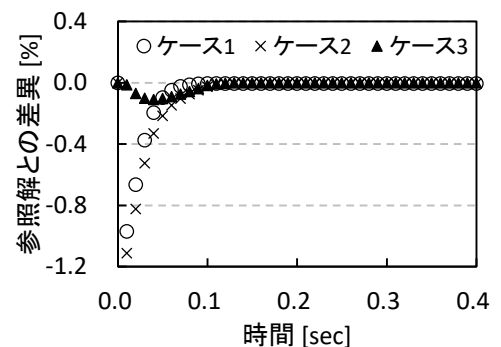


図 1 炉心出力の参照解との差異

ケース 3 では、ケース 2 よりも高次の離散化手法($\theta = 0.5$, Crank-Nicolson 法)を振幅関数の時間離散化に適用したことで、ステップ状の正の反応度添加事象に対して完全陰解法を適用した際に現れやすい時間の離散化誤差(中性子束の過小評価傾向)が大幅に低減されている。以上の結果より、MOC を用いた動特性計算に対する θ 法の適用時に、前ステップの残余項に対する近似を排除するには、MAF 法の適用が有効である。

*Kosuke TSUJITA¹, Tomohiro ENDO² and Akio YAMAMOTO²

¹NEL, ²Nagoya Univ.