

Reduced Order Model に基づくエネルギー展開基底を用いた共鳴計算

(1)理論

A Resonance Calculation Method using Energy Expansion Bases based on Reduced Order Model

(1) Theory

*山本 章夫¹, 遠藤 知弘¹, 竹田 敏², 小池 啓基³, 山路 和也³, 左藤 大介³

¹名古屋大学, ²大阪大学, ³三菱重工

低ランク近似を用いた reduced order model で超多群スペクトルを表し、これをエネルギー的な展開基底として用いる共鳴計算の理論を検討した。

キーワード：共鳴計算、Reduced order model, 低ランク近似、超多群スペクトル

1. 基本的な考え方

中性子輸送方程式には、空間、角度、エネルギー、時間に関する変数が現れる。このうち、空間、角度、時間については関数展開を用いることが良く行われる。例えば近代ノード法は空間、Pn 近似は角度、周波数変換法は時間について、輸送方程式の解の特徴をよく表した関数を用いて展開する。一方、エネルギーに関しては、多群近似が用いられることが多いが、関数展開を用いることは一般的ではない。しかしながら、原子炉内においては、類似の超多群スペクトルが多数の領域に現れるため、関数(基底)による展開が効率的な計算方法になり得る。本研究では、超多群スペクトルの展開基底を用いる共鳴計算手法を検討する。

2. 理論

角度中性子束、全中性子束、中性子源のエネルギー依存性のあるエネルギー範囲における N 個の直交基底を用いて展開し、直交性を利用して展開係数に関する方程式を導くと(1)式が得られる。例えば、あるエネルギー範囲を 5 つの直交基底を用いて展開する場合、(1)式は一階の 5 元連立微分方程式となる。左辺第 2 項の衝突項が複数の展開係数からの寄与の和になっている点が、通常の輸送方程式と異なる。

$$\begin{aligned} \Omega \cdot \nabla \psi_{n,g}(\mathbf{r}, \Omega) + \sum_{i=1}^N \Sigma_{t,g,n,i}(\mathbf{r}) \psi_{i,g}(\mathbf{r}, \Omega) &= \frac{1}{4\pi} \sum_{g'=1}^G \sum_{j=1}^N \Sigma_{s,jg' \rightarrow ng}(\mathbf{r}) \phi_{j,g'}(\mathbf{r}) + \frac{1}{4\pi} Q_{n,g}(\mathbf{r}), \\ \Sigma_{t,g,n,i}(\mathbf{r}) &= \int_{\Delta E_g} f_{n,g}(E_g) \Sigma_t(\mathbf{r}, E_g) f_{i,g}(E_g) dE_g, \Sigma_{s,jg' \rightarrow ng}(\mathbf{r}) = \int_{\Delta E_g} \int_{\Delta E_{g'}} f_{n,g}(E_g) \Sigma_s(\mathbf{r}, E_g' \rightarrow E_g) f_{j,g'}(E_{g'}) dE_{g'} dE_g, \\ \psi_{i,g}(\mathbf{r}, \Omega) &= \int_{\Delta E_g} f_{i,g}(E_g) \psi(\mathbf{r}, \Omega, E_g) dE_g, \phi_{i,g}(\mathbf{r}) = \int_{\Delta E_g} f_{i,g}(E_g) \phi(\mathbf{r}, E_g) dE_g, Q_{i,g}(\mathbf{r}) = \int_{\Delta E_g} f_{i,g}(E_g) Q(\mathbf{r}, E_g) dE_g. \end{aligned} \quad (1)$$

エネルギーに関する直交基底は、超多群スペクトルの特徴を良く表すものを選ぶ必要がある。エネルギー的な自己遮蔽については、バックグラウンド断面積を振った NR/IR 近似あるいは均質媒質に対する超多群計算により代表的な超多群スペクトルを求めることができる。一方、空間的な自己遮蔽については、媒質中の飛行距離を Δx として、 Δx を振った $\exp(-\Sigma_t(E)\Delta x)$ により代表的な超多群スペクトルを求めることができる。あるエネルギー範囲の超多群エネルギーグリッド点について、これらの方法で超多群スペクトルを計算し、reduced order model(特異値分解及び低ランク近似[1])によりエネルギーに関する直交基底を数値的に計算する。なお、単純にエネルギー群数を増やす多群法及び直接サブグループ法は、ある特定の直交基底を用いるケースとして整理することができる。すなわち、本提案手法は、多群法、直接サブグループ法を包絡する手法になっている。

参考文献

[1] M. Matsushita, T. Endo, A. Yamamoto, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **119**, pp. 900-903 (2018).

*Akio Yamamoto¹, Tomohiro Endo¹, Satoshi Takeda², Hiroki Koike³, Kazuya Yamaji³, Daisuke Sato³

¹Nagoya Univ., ²Osaka Univ., ³Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.