

遅発中性子成分に着目した自己相関法に関する検討

(1) 理論式導出

Study on autocorrelation method focusing on delayed neutron component

(1) Derivation of theoretical formula

*遠藤 知弘¹, 廣田 諒我¹, 山本 章夫¹, 金子 純一²

¹名古屋大学, ²北海道大学

自己相関法による未臨界度測定の高度化に向け、固有関数展開とゼロ出力伝達関数を利用することで、高次モード成分と遅発中性子成分を考慮した2時点検出確率の理論式を導出した。

キーワード：未臨界度、自己相関法、2時点検出確率、固有関数展開、ゼロ出力伝達関数

1. 緒言 自己相関法とは、炉雑音解析手法に基づく未臨界度測定手法の1つである。従来の自己相関法の場合、①一点炉動特性パラメータ(中性子生成時間 Λ 、実効遅発中性子割合 β_{eff})を利用するか、あるいは②別の測定で求めた臨界時の即発中性子減衰定数($\beta_{\text{eff}}/\Lambda$)を使用することで、基本モード成分の即発中性子減衰定数 α の測定結果から未臨界度に換算している。本研究では、対象体系で得られた自己相関関数の測定結果のみから未臨界度の絶対値を測定する方法論を模索するため、可能な限り厳密な自己相関法の理論式導出について検討した。

2. 理論式導出概要 ドル単位未臨界度の絶対値測定が可能な動的手法(最小二乗逆動特性法、ソースジャーク法、面積比法)では、遅発中性子成分の情報も有効活用している。そこで、自己相関法の基となる2時点検出確率 $P_2(t_1, t_2)dt_1dt_2$ について、遅発中性子先行核の崩壊も考慮した上で理論式を導出した。ここで、時間変数 t のみについて詳細化するのではなく、空間 $\vec{r}$ ・エネルギー E ・飛行方向 $\vec{\Omega}$ の効果も考慮するため、 k_{eff} 固有関数展開に基づくことで、① $(\vec{r}_0, E_0, \vec{\Omega}_0, t_0)$ に中性子1個を投入した後、および② $(\vec{r}_0, t_0)$ に第 i 群の遅発中性子先行核1個を投入した後のグリーン関数 $g_p(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t|\vec{r}_0, E_0, \vec{\Omega}_0, t_0)$, $g_i(\vec{r}, t|\vec{r}_0, t_0)$ をそれぞれ導出した。これらのグリーン関数に基づくことで、物理的直観法[1]により $P_2(t_1, t_2)dt_1dt_2$ を導出した。

3. 結果 n 次の高次モード成分と遅発中性子成分を考慮した場合、2時点検出確率 $P_2(t_1, t_2)dt_1dt_2$ の理論式は、計数率 R に起因する定数項と、多数の指数関数成分の和で表現できる：

$$P_2(t_1, t_2)dt_1dt_2 = R \left\{ R + \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\sum_{j=1}^7 Y_{\infty, n, j} \alpha_{n, j} e^{-\alpha_{n, j}(t_2 - t_1)} - \sum_{i=1}^6 D_{\infty, n, i} \lambda_i e^{-\lambda_i(t_2 - t_1)} \right) \right\} dt_1 dt_2 \cdots (1),$$

$$\rho_n = -\alpha_{n, j} \Lambda_n - \sum_{i=1}^6 \frac{\alpha_{n, j} \beta_{n, i}}{\lambda_i - \alpha_{n, j}} \cdots (2). \quad \text{減衰定数} \alpha_{n, j} \text{は} n \text{次の反応度方程式(2)の解}(1 \leq j \leq 7) \text{であるため、それら}$$

の測定結果は n 次の反応度 ρ_n や中性子生成時間 Λ_n 、遅発中性子割合 $\beta_{n, i}$ と密接に関連している。 $Y_{\infty, n, j}$ と $D_{\infty, n, i}$ は、 $\alpha_{n, j}$ と遅発中性子先行核の崩壊定数 λ_i の指数関数成分の大きさにそれぞれ対応し、即発中性子数と比べ遅発中性子収率は遥かに少ないため $Y_{\infty, n, j} \gg D_{\infty, n, i}$ となる。例えば、基本モード成分($n = 0$)が支配的な場合、

$$Y_{\infty, 0, j} \propto G(\alpha_{0, j}) / \left\{ -\rho_0 + \sum_{i=1}^6 \beta_{n, i} \left(\frac{\alpha_{n, j}}{\lambda_i - \alpha_{n, j}} \right)^2 \right\} \cdots (3), G(s) \equiv 1 / \left(s \Lambda_0 - \rho_0 + \sum_{i=1}^6 \frac{s \beta_{0, i}}{s + \lambda_i} \right) \cdots (4) \text{と簡略化できる。基}$$

本モード成分の各指数関数成分の大きさ $Y_{\infty, 0, j}$ は、 $s = \alpha_{0, j}$ のときのゼロ出力伝達関数 $G(s)$ の値と未臨界度 $-\rho_0$ に依存するため、自己相関関数の測定結果をデータ同化することで $-\rho_0$ を推定できる可能性がある。

参考文献 [1] T. Endo et al., *Ann. Nucl. Energy*, **33**(6), p.521 (2006).

謝辞 本研究は JAEA 英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業(JPJA23P23813844)の助成による。

*Tomohiro Endo¹, Ryoga Hirota¹, Akio Yamamoto¹, and Junichi H. Kaneko²

¹Nagoya Univ., ²Hokkaido Univ.