

原子核の殻補正効果を考慮した核分裂収率の評価とその検証について

Evaluation and validation of independent fission product yields taking account of the shell correction

*椿原 康介¹、奥村 森¹、石塚 知香子¹、吉田 正¹、千葉 敏¹

¹ 東工大先端原研

実験データが豊富ではない長寿命核分裂生成物（LLFP）等の核分裂生成物収率（FPY）を正確に評価することは、原子炉における燃焼計算の高精度化や高速炉などによる LLFP 核変換を考えるうえで非常に重要である。本発表では殻補正を基にした LLFP 核種の質量領域を含めた FPY を評価した結果と、その妥当性の検証結果を発表する。

キーワード：核分裂, 独立収率, 殻補正, LLFP

1. 緒言

LLFP 等長半減期の放射性物質の処理問題を解決するべく、我々は高速炉での LLFP 核変換を提案している[1]。この際、炉心で生成される LLFP をはじめとした核種の FPY は、その変換効率を評価する上で重要な物理量である。これまでは実験値と各種モデルを用いた補完により FPY の評価がなされてきたが、実験データが乏しい領域における FPY の精度は十分とは言えず、この領域を取り扱う上で原子核理論から導かれる知見に基づくことは重要である。我々は、理論的に計算された殻補正 ΔE_{shell} や、それから導き出される重率を基に FPY に対する評価を行った。

2. 手法

今回、断裂点モデル[2]に基づき、液滴ポテンシャルが同重体内の Z 分布における大局的な構造を与え、殻補正エネルギーが微細構造を与えるとして独立収率を計算した。この時、独立収率は以下のような評価式で表される。

$$Y(Z, A) \propto \exp \left[-\frac{E_{\text{LD}}(Z, A) + \Phi(E^*)\Delta E_{\text{sh}}(Z, A)}{T(Z, A)} \right] \approx Y(A) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(A)} \int_{-0.5}^{0.5} \exp \left[-\frac{(Z - Z_p(A) + t)^2}{2\sigma(A)^2} \right] dt \times e^{-\frac{\Delta E_{\text{sh}}(Z, A)}{E_d(A)}}$$

ここで Z, A は核分裂生成物の原子番号、質量数を表し、 $V(Z, A)$ は断裂点における分裂片のポテンシャルである。 $Y(A)$ は独立収率の質量数分布であり、England-Rider の評価値が利用できる場合はそれを用いた。最後の因子は殻及び対相関エネルギーによる正規分布からの乖離を表す因子で、 ΔE_{sh} として KTUY 質量公式[3]の殻補正エネルギー $\pm 12/A^{1/2}$ を用いた。 $E_d(A)$ 、 $\Delta Z_p(A) = Z_p(A) - Z_{p,\text{UCD}}(A)$ 、 $\sigma(A)$ をパラメータとして、EXFOR より抽出した実験値を再現するように決定した。Hauser-Feshbach 理論により、核種毎にアイソマー状態に分かれる割合を見積もった。

以上により得られた独立収率について、累積収率、遅発中性子収率、崩壊熱、及び燃焼計算により PIE から得られた取り出し後の燃料棒における組成データといった実験値との比較により、その妥当性を検証した。

3. 結論

実験データの豊富な ^{235}U 、 ^{239}Pu に加えて、幅広い核分裂性核種に対して本評価式を適用し、評価に使用した独立収率以外のデータ、つまり累積収率、遅発中性子収率、崩壊熱や燃料棒の組成データとの整合性を通じて得られた独立収率の妥当性や、求めたパラメータの系統性について詳細を当日に述べる。

謝辞：本研究は、原子力システム研究開発事業による平成 30 年度の文部科学省から東工大への委託事業「高速炉を活用した LLFP 核変換システムの研究開発」の成果です。

参考文献

- [1] S.Chiba et al, Scientific Reports **7** (2017) 13961.
- [2] P.Fong, PR **102** (1956) 434. B.D.Wilkins, E.P.Steinger and R.R.Chasman, PRC **14** (1976) 1832.
- [3] H. Koura, T. Tachibana, M. Uno and M. Yamada, PTP **113** (2005) 305.

*Kohsuke Tsubakihara¹, Shin Okumura¹ Chikako Ishizuka¹, Tadashi Yoshida¹ and Satoshi Chiba¹

¹LANE, Tokyo Institute of Technology