

軽水炉を用いた中性子核変換による有用元素生成技術の検討

Study on the technology for valuable element production by neutron transmutation in light water reactors

*竹澤 宏樹¹, 高木 直行¹

¹ 東京都市大学 工学部 原子力安全工学科

全元素の中から軽水炉を用いた中性子核変換によって、価格や存在量等の観点において価値が増加することが簡易評価を通じて確認された有望なターゲット元素のうち、⁶⁶Dy を典型的な PWR 集合体内に装荷した場合の ⁶⁷Ho の生成率を、モンテカルロ法を用いて評価した。

キーワード：核変換、原子炉錬金術、元素生成

1. 緒言

中性子核変換は、照射する物質や照射条件を適切に設定することにより、原子炉を使用した有用元素製造方法として活用できる可能性を有しており、原子炉錬金術とも言える。先行研究[1]では、全元素を照射対象候補として、核変換前後での地殻存在度・採掘の容易さ・価格の変化の観点から、照射すべき元素が選別された。また、選別された元素に対して、典型的な PWR 炉心条件を仮定して、核変換率の簡易評価が行われた。そこで本研究では、上記の選別された元素のうち、Dy→Ho 核変換を一例として、Dy を典型的な PWR 燃料集合体 (17×17) に装荷した場合の Ho の生成率を、モンテカルロ計算から得られる微視的反応率を用いた燃焼解析によって評価した。

2. 解析方法

Dy の装荷方法は、燃料集合体の設計変更を回避するため、集合体の四隅の燃料ピンのうち 1 ピンを置き換える方法とした。照射元素の化学形態は、Dy の融点を考慮して単体 (天然組成) とし、Dy ピンの半径は、空間自己遮蔽効果を抑制するため、熱中性子に対する Dy の平均自由行程 (0.034cm) と同一とした。また、Dy ピンの被覆管厚さは、典型的な Zr 被覆管厚さを Dy ピン半径と燃料ペレット半径の比で薄くした値とした。

燃焼解析には汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード MVP2.0 及び MVP-BURN と、核データライブラリー JENDL-4.0 を使用した。線出力密度は 4 ループ PWR 炉心熱出力に対応する値、燃焼期間は 12 ヶ月とし、集合体外部には周期境界条件を適用した。Dy→Ho 核変換チェーン (図 1) は、MVP-BURN 標準燃焼チェーンに、詳細燃焼チェーンの該当部分を組み込む方法で設定した。

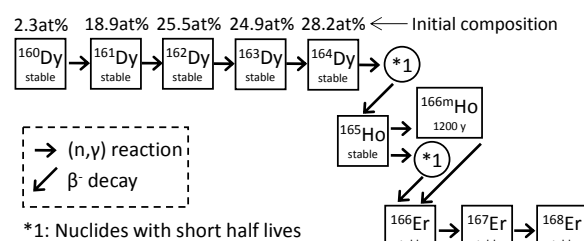


図 1：燃焼解析に使用した Dy→Ho 核変換チェーン

3. 解析結果

図 2 に Dy ピン 1 本あたりについて、Dy→Ho の核変換解析結果を示す。¹⁶⁰Dy から ¹⁶³Dy までは (n,γ) 反応によって ¹⁶⁴Dy に核変換されたのち、¹⁶⁴Dy の高い捕獲反応断面積 ($\sigma_{g,th} \sim 2600b$) に基づいて β壊変を経て ¹⁶⁵Ho に核変換される。また、¹⁶⁵Ho の熱中性子に対する捕獲反応断面積は 80b 程度である。このため、ピン内の ¹⁶⁵Ho の存在割合は単調に増加しており、Dy の装荷量約 13g/ピンに対して、Ho の生成量は約 2.7g/ピンとなり、炉心全体ではおよそ $5.1 \times 10^2 g$ の Ho が生成される。

4. 結論

PWR 燃料集合体にピン形状の Dy を装荷することによって、Ho を効率的に生産できる可能性を明らかにした。今後は、装荷方法やスペクトルの最適化、装荷時の反応度影響、生成元素の抽出方法などについて検討範囲を拡大するとともに、Dy 以外の有望なターゲット元素についても生成率を評価する。

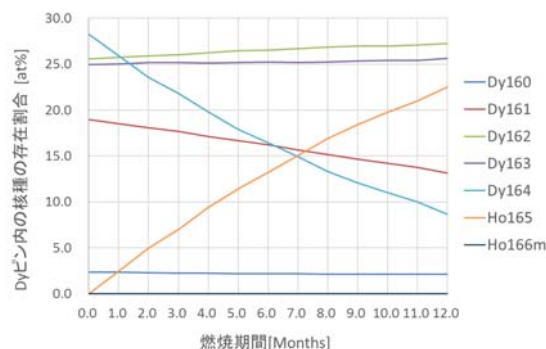


図 2：Dy→Ho 核変換解析結果

参考文献

[1] 岩橋、高木「中性子核変換による有用元素生成技術の検討」日本原子力学会 2010 年秋の大会 Q19

*Hiroki Takezawa¹ and Naoyuki Takaki¹

¹Department of Nuclear Safety Engineering, Tokyo City University.