

プログラム名：核変換による高レベル放射能廃棄物の大幅な低減・資源化

PM名：藤田 玲子

プロジェクト名：反応理論モデルとシミュレーション

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 7 年 度

研究開発課題名：

核反応シミュレーション

研究開発機関名：

一般財団法人高度情報科学技術研究機構

研究開発責任者

仁井田 浩二

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本研究開発の目的は、核反応モデルをシミュレーションに取り入れ、分離された高レベル放射性廃棄物の核変換シミュレーションを行い、核変換率、熱除去等の工学的な検討を行うためのソフトウェアを開発し、それをを用いて対象核種についてバルクでのシミュレーションを行い、核反応経路を特定することである。平成 27 年度の研究開発の課題は以下の 5 点である。

1. 単純体系での核変換基礎データの取得
2. 複合系での核変換基礎データの取得
3. 測定が必要な核反応データの洗出し
4. PHITS コードの拡張
5. 新しい核変換パスの工学的検討

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

課題 1 については、平成 26 年度に核変換対象 4 核種、Pd-107、Cs-135、Zr-93、Se-79 の同位体分離した単体標的について核変換基礎データを取得したが、本年度はこれら 4 核種の使用済み燃料から元素分離した組成、また、偶奇濃縮を実施した組成についてのシミュレーションを行い、核変換基礎データを作成した。課題 2 については、対象 4 核種から 2 核種を組み合わせることによって、変換効率の向上を図れる複合系の条件をシミュレーションによって求めた。この結果は特許として出願した。課題 3 に関しては、課題 1、課題 2 で重要であることが明確になった低エネルギーの中性子反応による捕獲断面積、重陽子入射の直接過程の断面積について、より精度の高い測定が必要であることを提言した。課題 4 については、核変換の情報を簡便に取得できるように PHITS に新たなオプションを作成した。また、核反応標準モデルで導出された重陽子入射の反応断面積を PHITS で利用できるよう拡張を行った。課題 5 に関しては、PJ2 で提案された ERIT(Energy Recovery Internal Target)を用いた重陽子ビームを用いた核変換パスについてのシミュレーションを行い、変換効率を求めた。

2-2 成果

陽子、重陽子、炭素入射の核変換シミュレーションで得られた結論のひとつは、入射粒子の核反応で生成される 2 次中性子の捕獲反応による核変換が重要であり、この捕獲反応の断面積は対象核種によって大きく異なるということである。この断面積の差を利用して変換効率を向上させる 2 核種の組み合わせを提案した。中心部に捕獲断面積の小さな核種を配置し、入射粒子の核破碎反応で核変換を起こし、周辺部に捕獲断面積の大きな核種を配することによって、中心部で発生する 2 次中性子による捕獲反応によって核変換を起こすというシステムである。図 1 は、中心部に捕獲断面積の小さな Cs を配し、周辺部に捕獲断面積の大きな Pd を配したものに、1GeV の陽子を入射した際の陽子と中性子の分布である。陽子は主に Cs 領域での核変換に寄与し、中性子は Cs、Pd の両方の領域で核変換に寄与することが分かる。この配置で、使用済み燃料の元素組成、偶奇濃縮の組成、同位体分離した組成について

シミュレーションを行い、消滅率（1個の入射陽子で変換される元素の数）を求め、単独の体系での消滅率と比較した。

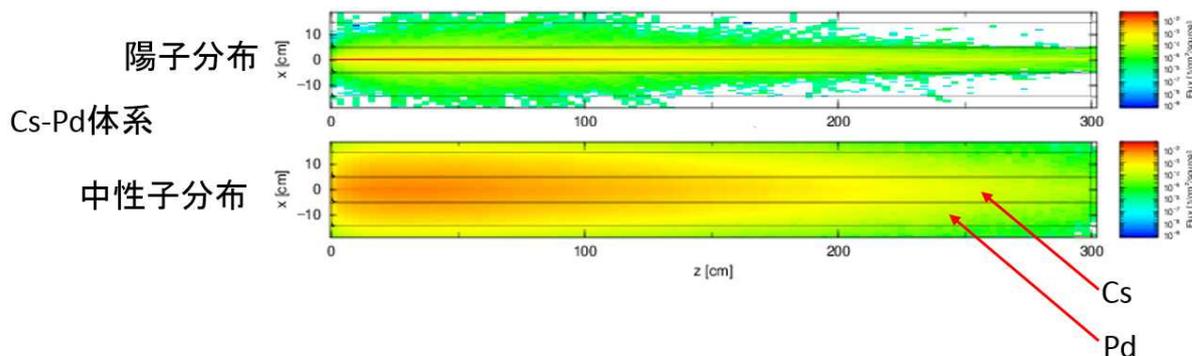


図 1 1GeV 陽子入射、Cs-Pd 体系での陽子、中性子分布

表 1 Cs-Pd 体系での消滅率

元素	複合消滅率			単独消滅率		
	使用済燃料	偶奇濃縮	同位体分離	使用済燃料	偶奇濃縮	同位体分離
Cs	0.15	0.15	1.35	0.14	0.142	1.29
Pd	1.98	3.91	10.8	1.38	4.21	12.1
	2.13	4.06	12.2	0.76	2.18	6.70
	合計	合計	合計	合計/2	合計/2	合計/2

また、同様の解析を Zr-Pd 体系、Se-Pd 体系で行い消滅率を比較した。複合系（1 体分）の消滅率の合計は、単独の組成のバルク体での消滅率の合計の 2 分の 1（合計 2 体分から 1 体分に換算）より、使用済燃料組成で、Cs-Pd 体系で 2.8 倍（表 1 から 2.13/0.76）、Zr-Pd 体系で 1.6 倍、Se-Pd 体系で 1.6 倍、偶奇濃縮組成で、Cs-Pd 体系で 1.9 倍（表 1 から 4.06/2.18）、Zr-Pd 体系で 1.6 倍、Se-Pd 体系で 1.7 倍、同位体分離組成で、Cs-Pd 体系で 1.8 倍（表 1 から 12.2/6.70）、Zr-Pd 体系で 1.5 倍、Se-Pd 体系で 1.5 倍、の効率化が図れることが分かった。また、偶奇濃縮の組成の複合系は、使用済燃料組成の単体バルク体と比較すると、Cs-Pd 体系で 5.3 倍（表 1 から 4.06/0.76）、Zr-Pd 体系で 4.9 倍、Cs-Zr 体系で 7.1 倍、の効率化が図れる。また、偶奇濃縮の組成の複合系は、同位体分離をした単体の消滅率と比較しても、Cs-Pd 体系で 0.61 倍（表 1 から 4.06/6.70）、Zr-Pd 体系で 0.59 倍、Se-Pd 体系で 0.72 倍、の消滅率が得られることが分かった。従来、高エネルギー核破碎反応を用いた核変換は、同位体分離を行わないと効率が悪いと現実的でないといわれてきたので、この複合系のシステムは、加速器を用いた核変換システムの根幹部分のひとつの候補となりうることを示唆している。

2-3 新たな課題など

特に無し。

3. アウトリーチ活動報告

特に無し。