

平成27年3月31日

プログラム名：核変換による高レベル放射性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26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

## 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

平成26年度の研究開発の課題は、以下の3点である。

#### 1. 単純体系での核変換基礎データ取得

PHITS に組み込まれている既存の核反応モデル、核データを用い、核変換対象物質、特に、Pd-107、Zr-93、Cs-135、Se-79、これらを単体標的にした単純モデルで、入射粒子、入射エネルギー、標的の大きさ毎に、核変換率、発熱率、放射化物生成率等を計算し、核変換のための基礎データを作成する。

#### 2. 複合系での核変換基礎データ取得

1.に加え、標的の周りに反射材、モデレーター等を配した簡易核変換システムの、核変換率、発熱率、放射化物生成率等を計算し、核変換のための基礎データを作成する。

#### 3. 測定が必要な核反応データの洗出し

2.を基に、どのような核反応データの測定が新たに必要か、その反応チャンネル、目標精度を整理し、プロジェクト2にフィードバックをする。

26年度の目標は、課題1の単純体系での核変換基礎データの取得し、データを作成する。課題2については、変換システムの配置検討、課題3については、反応チャンネルの調査が目標である。

### 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、核反応シミュレーション装置を導入し、核変換対象物質、Pd-107、Zr-93、Cs-135、Se-79、について大規模数値シミュレーションを行い、データの作成を行った。課題2については、変換システムの配置の検討を開始した。これまでの既存の設備、特に加速器による中性子発生装置の配置等について調査を行った。課題3については、シミュレーションの中でどのような反応チャンネルの核データが不足しているかの調査を行った。

#### 2-2 成果

##### 課題1

核変換対象物質、Pd-107、Zr-93、Cs-135、Se-79 について、単体の円柱形ターゲットを仮定し、半径、長さをパラメータとした。入射粒子としては、陽子、重陽子、炭素、中性子、入射エネルギーを300eVから、1000MeVまで変化させ、核変換率等を計算し基礎データを作成した。核変換に寄与する粒子の単位時間当たりのフラックスを  $\phi$ 、核変換の有効断面積を  $\sigma$ 、体系の粒子数を  $N$  とすると、核変換による粒子数  $N$  の時間変化は、 $N = N_0 \times \exp(-F \times \sigma \times t)$  と表される。ここで  $N_0 = n \times V$ 、 $n$  は粒子密度、 $V$  は体系の体積である。 $N$  が半分になるのに要する照射時間を  $T_{1/2}$  (実効半減期) とすると、 $T_{1/2} = \ln(2)/(F \times \sigma)$  であり、これが現実的な時間である必要がある。シミュレーションでは、ビーム1個あたりの核変換数  $h$  とビーム1個あたりの体系中のフラックス  $f$  (1次粒子と核変換を起こしえる2次粒子も含める) を計算した。この場合、核変換数  $h$  は、 $h = f \times \sigma \times n \times V$  と表されるから、この式から有効断面積  $S$  を求めた。Cs の場合の結果を次の表に示す。表の最後の3列には、まず、粒子強度

が 1mA(6.24 × 10<sup>15</sup>/s)の時の体系内の Cs が半分になるまでの照射時間  $T_{1/2}$  (year)、次に、体系内の Cs が半年の照射時間で半分になるためのビーム強度を mA の単位で、最後に、1000g の <sup>135</sup>Cs が半年の照射で半分になるためのビーム強度を mA の単位で示した。

							P(mA)	$T_{1/2}$ year	W(g)
	=	8.21E+21	1.86 g/cm <sup>3</sup>				1.00	0.50	1000
	E/u(MeV)	r(cm)	L(cm)	(cm <sup>-2</sup> )	h	(barn)	T1/2 year	P(mA)	P(mA)
proton	1000	10	300	1.09E-03	1.7059	2.02	1597.71	3195.43	18.23
	1000	5	300	3.85E-03	1.2891	1.73	528.58	1057.16	24.12
	1000	1	100	0.180	0.6817	1.47	13.33	26.65	45.61
	1000	0.5	100	0.672	0.6134	1.42	3.70	7.41	50.69
	1000	0.5	8	1.240	0.0911	1.42	1.99	3.99	341.31
	500	5	100	8.31E-03	0.7728	1.44	293.89	587.78	40.24
	500	1	100	0.175	0.6377	1.41	14.25	28.49	48.76
	500	0.5	100	0.662	0.6535	1.53	3.48	6.95	47.59
	500	0.5	8	1.237	0.0836	1.31	2.17	4.35	372.10
	200	0.5	25	1.070	0.2179	1.26	2.61	5.21	142.67
	100	0.5	8	1.200	0.0880	1.42	2.07	4.13	353.50
	50	0.5	2.5	1.220	0.0281	1.43	2.02	4.04	1107.46
deuteron	100	0.5	16	1.140	0.1935	1.65	1.88	3.76	160.68
	100	0.5	8	1.210	0.1037	1.66	1.75	3.51	299.94
	50	0.5	5	1.190	0.0609	1.59	1.87	3.73	510.86
neutron	14	0.5	60	0.513	0.3176	1.60	4.29	8.58	97.90
	14	0.5	36	0.721	0.2678	1.60	3.05	6.11	116.11
	14	0.5	8	1.160	0.0955	1.60	1.90	3.81	325.59
	0.001	0.5	60	0.688	0.7446	2.80	1.83	3.66	41.76
	0.0003	0.5	60	0.626	0.8105	3.35	1.68	3.36	38.36
12C	500	10	40	2.12E-03	2.5133	11.49	144.59	289.19	12.37
	500	5	40	8.47E-03	0.8859	4.06	102.55	205.10	35.10
	500	1	40	0.211	0.9437	4.34	3.85	7.70	32.95
	500	0.5	40	0.840	0.7477	3.45	1.22	2.43	41.59

以上の表のように、核変換システムの工学的検討の基礎となる、入射粒子、エネルギー、変換物質の大きさ毎のフラックス、有効断面積、変換率、実効半減期、を変換物質ごとにデータを作成した。今後の複合系、現実的なシステム、新しい核変換パスの構築のための重要な基礎データを構築することができた。

## 課題 2

複合系の効率的なシステム設計のために、変換システムの配置の検討を開始した。これまでの既存の設備、特に加速器による中性子発生装置の配置、物質の選択、問題点について調査を行った。

## 課題 3

シミュレーションの中でどのような反応チャンネルの核データが不足しているかの調査を行った。

## 2-3 新たな課題など

核反応シミュレーション装置を導入したため、大規模数値シミュレーションによる基礎データ作成は順調に進んでいる。これまで作成したデータに対して、入射粒子、エネルギーについて、新たな要望が出ているので、今後、更に広い領域で基礎データを作成する予定である。

## 3 . アウトリーチ活動報告

特になし