

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：核反応データ取得及び新核反応制御法

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：

ガンマ線による新しい核反応制御法の開発(1)

研究開発機関名：

公立大学法人兵庫県立大学

研究開発責任者

宮本 修治

# 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

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」を実現するために「PJ2：核反応データ取得及び新核反応制御法」研究開発プログラムとして、レーザーコンプトン散乱ガンマ線を用いた光核反応による長寿命放射性廃棄物の低減・資源化システムを提案し、そのフィージビリティスタディを行う計画である。

本提案の、レーザーコンプトン散乱ガンマ線を用いた光核反応による長寿命放射性廃棄物の低減・資源化システムの原理は以下の通りである。

長寿命放射性核分裂生成物(LLFP)である Zr-93、Pd-107、Cs-135、Se-79 を含むそれぞれの元素に、レーザーコンプトン散乱 $\gamma$ 線を照射して、( $\gamma, n$ )光核反応を用いて対象とする LLFP のみを選択的に安定同位体 (Cs-135 は短寿命核種) に核変換する方法である。LLFP の中性子離別エネルギーは、その元素の他の安定同位体の中性子(陽子)離別エネルギーより低いという特徴がある。適切なエネルギー分布の上限と下限を有する LCS  $\gamma$ 線を元素試料に照射した場合、目的とする LLFP のみで( $\gamma, n$ )反応が発生して安定同位体に核変換される (Cs-135 の場合には Cs-134 に変換される)。照射したガンマ線のエネルギーの上限が他の安定同位体の中性子離別エネルギーより低いため、「原理的に」他の安定同位体では核反応が発生しないという傑出した特徴を有する。

この手法を実現するには、LLFP の( $\gamma, n$ )反応断面積の測定による核データの整備及び、高効率でレーザーコンプトン散乱ガンマ線(LCS)を生成する技術の開発が必要でこの研究開発の可能性を検討する。

## 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

ニュースバル放射光施設における、LCS ガンマ線源の高強度化手法を検討し、現状の  $10^6 \gamma/\text{sec}$  ( $\Delta E/E \sim 5\%$ ) に対して、2桁ほど高いフラックス  $10^8 \gamma/\text{sec}$  線源のための設計を行った。これに必用な加速器の特性、レーザー性能、光学系に加え、既設放射光施設内での運用のために、新しいビームラインに遮蔽ハッチを設置する設計を行った。さらに、LLFP の量や計測手法に依存するデータ取得効率を高くするための検討を行った。このため、国際ワークショップを開催し、ガンマ線源技術と光核反応計測技術の調査を行い、これを元に、レーザー入射角の調整による LCS ガンマ線エネルギーチューニング手法と、熱化中性子計測に飛行時間法を応用した、低ノイズ測定手法を用いることとした。

LLFP の光反応断面積データがない段階であるが、現状で利用可能、あるいは推定可能なデータを用いて、4種の LLFP 核変換に必用なガンマ線発生装置のパラメーターとその電力を試算した。

### 2-2 成果

電子蓄積リングでは、RF バケット以下のエネルギー損失なら、損失とならず、エネルギー回復が可能である。ニュースバルでは、1個の蓄積電子は1秒間に7回散乱可能である。蓄積電子数は、 $7.4 \times 10^{11}$  個であるので、最大発生可能なガンマ線光子は、 $5 \times 10^{12} \gamma/\text{s}$  と評価される。したがって、現状のガンマ線フラックス  $10^7$  を電子エネルギー分布への影響なく、2桁上昇させることは可能である。ガンマ線

エネルギーが 10MeV 以上になると、RF バケットを超えるため、電子エネルギーロスが問題となる。ガンマ線強度を増強した場合の、新しい $\gamma$ 線ビームラインの設置の検討し、BL04 を候補としてガンマ線照射ハッチの設計例をおこなった。LCS ガンマ線源の増強に加え、核データ取得計測器の調査のため、「LCS ガンマ線源とその応用国際ワークショップ」(International Workshop of Laser Compton Scattering Gamma-ray Sources and Their Applications) を開催し、内外のガンマ線源と核物理研究者を集め、議論・検討した。

さらに、この増強した $\gamma$ 線を用いて、光核反応断面積を測定するための、計測法を選定した。Cs の( $\gamma$ ,p)反応計測には、陽子の検出が必要で、これには TPC(Time Projection Chamber)を用いた計測の経験があり、陽子軌跡の計測は可能である。Pd, Se, Zr の光核反応は、中性子発生反応であるので、ガンマ線照射と同時の中性子計測を行なう。中性子の放出分布評価も必要であり、この計測は、シンチレーション検出器を周囲に並べて飛行時間法を利用して計測する。数十ナノ秒の飛行時間差を測定する必要が有るため、電子蓄積リング内に 1 バンチのみ蓄積した、シングルバンチ・モードで実験を行う。中性子計測から、光核反応断面積の絶対値は、 $4\pi$  で中性子を積分計測できる手法で正確に評価する事ができる。これには、ガンマ線ビームラインで開発されている計測手法を用いる。ポリエチレン中性子モデレーターと、その中に挿入する、 $^3\text{He}$  検出器を用いて、Be ターゲットの光核反応断面積を測定し、低エネルギー・テール部分の大きさ 1mb 程度のスペクトル断面積も測定可能なことを実証した。

### 2-3 新たな課題など

最も処理量の多い、Zr に関して、本方式で核変換する場合の必要電力量料を評価した。年間 800tHM 処理する必要がある、原子炉核燃料中に、2.86t の Zr があるが、安定核種も含まれる、元素分離と遇奇分離により 0.98 t となった取り出し Zr には、 $^{91}\text{Zr}$  が 472kg(48%)、LLFP の  $^{93}\text{Zr}$  が 507kg(52%)含まれる。これを 1 年間で、全て核変換するために必要なガンマ線フラックスと、それに必要な電力を評価した。核変換に直接必要なガンマ線フラックスと電力は、 $10^{20}[\gamma/s]$ と 280[MW]であるが、安定同位体による吸収、電子対生成など核変換以外に消費されるガンマ線、及び発生したガンマ線の内有効に使えないスペクトル領域等を評価して、必要な全ガンマ線フラックスとその電力を評価すると、 $1.6 \times 10^{22}[\gamma/s]$ と 140[GW]となり、国内全発電量の数倍になる。電子対生成やその他の、無駄になるエネルギーも回収が不可欠である。

### 3. アウトリーチ活動報告

なし