

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：核変換システム評価と要素技術開発

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 29 年度

研究開発課題名：

核変換システム評価

研究開発機関名：

国立研究開発法人理化学研究所

研究開発責任者

櫻井博儀

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

平成 26、27 年度内に各々の LLFP に対し、研究開発項目③7-14MeV の中性子ロックアウト方式、②核破碎方式、④中性子捕獲反応方式、⑤ミュオン捕獲方式について検討を進めた。その結果、すべての方式において重陽子を 1 次ビームとすることが有望であることがわかり、元素分離、偶奇分離、同位体分離の必要性、標的材に対する要求、エネルギー回収などをまとめた。さらに議論の過程で、14MeV 中性子生成の新技术として、ミュオン触媒核融合が浮上した。平成 28 年度はこのまとめをもとに②～⑤各方式の定量化を進め、グループ 2 や 3 から得られる実験データおよび数値データをもとに数値目標をアップデートしながら（研究開発項目⑥）、線形加速器やサイクロトロン等の加速器方式の優劣を定量評価すると共に、標的材の配置やエネルギー回収法、経済性・運用性などを考慮し、各々の LLFP 核種に対して放射能低減化・資源化に応じた最適の核変換システムを取捨選択した。

当該年度は、上記の成果を基盤にして 1A 級 LLFP 核変換用革新型加速器を中心に定量化および革新型加速器の概念設計を中心に据え、液体リチウムを標的材とした中性子生成方式の検討も行い、システム全体を提案する。

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

当該年度はまず（1）1A 級 LLFP 核変換用革新型加速器を基盤にした定量化を進めた。グループ 2 や 3 から得られる実験データおよび数値データに対して、「処理能力」と「反応制御性」という二つの概念を提案し、特に②の方式に関しては破碎片生成断面積の入射ビームエネルギー依存性に着目して検討するように要求した。さらにグループ 3 については処理能力の絶対値を念頭に置いて数値計算を行うように指示し、また重陽子入射のデータベースの必要性と標的破碎の破碎片断面積、中性子のエネルギー、角度分布をまとめるよう提案した。とくに標的破碎についてはリチウム標的の情報を早急にデータベース化し、PHITS に取り込む必要がある。また、パラジウムについては中性子捕獲断面積が比較的大きいことを考慮し、また中性子ロックアウト反応による中性子エネルギーも(n,2n)だけでなく(n,3n)なども考慮して、偶奇分離されたパラジウムの特性を生かして、③と④を組み合わせた拡張した方式を検討するように提案した。この方式は、広範なエネルギーをもつ中性子を利用でき、また照射後の 2 次放射性廃棄物の生成を抑えることもできるため、照射後の大掛かりな化学分離を必要としない。2 次放射性廃棄物生成量に対する安定核種生成量の割合が最大となるエネルギーを模索し、重陽子エネルギーを決定するための指標とする。

（2）放射性廃棄物を核変換・有用資源化する新システムのための革新的加速器システムに集中して、概念とそれを実現するための方法、課題などを幅広く検討するための検討 WG を立ち上げた。

WG は ImPACT 藤田プログラム PJ4 リーダーはじめ PJ4 の開発検討メンバーを中心とした ImPACT 藤田プログラムメンバーと企業 5 社の外部有識者で構成し、WG 会合を 4 回行い、核変換用加速器の概略について意見を交換した。

(3) 加速器 WG における議論を考慮し、1A 革新型加速器の概念を構築した。

本概念構築として、空間電荷効果によるビーム損失を低減するために RFQ を利用せず広がったビームを加速できるようにすること、加速に必要なパワーが非常に大きいことから加速空洞を独立駆動する方式をとること、省エネルギーの観点から永久磁石を利用することなどを基本仕様とした。概念設計に必要なビームエミッタンスを規格化し、加速器構成をイオン源セクション、低ベータセクション、中高ベータセクションにわけ、それぞれのセクションに要求される性能をまとめた。具体的には、各セクションの加速エネルギー、RF 加速方式、RF パワー導入方式、RF フィードバックシステム、永久磁石に求められる性能、などである。中高ベータでは線形加速器の長さを短くするために超伝導加速空洞を採用することにした。

(4) 大強度線形加速器を産業に展開するために、ビームエネルギーおよび強度に応じて他の用途を検討する必要について議論した。

2-2 成果

当該年度はこれまでの実績をもとに主に以下の3点について成果を得た。

(1) 核変換システムを考慮する際に、「反応制御性」と「処理能力」の二つの概念が必要であることを提唱した。③～⑤までの方式は「反応制御性」が高いが、2次粒子を利用するため「処理能力」の上では②の方式に劣るが、②はエネルギーの高い反応で、2次的に長寿命核種が生成されることに注意が必要であり、「反応制御性」という点では劣る。②のエネルギー依存性を調べることの意義と核変換の意味付けを強調した。③と④を組み合わせた拡張方式を提案した。

(2) 重陽子用の大強度線形加速器の概念設計を行い、LLFP 核変換用革新的加速器「ImPACT 2017 モデル」の目標概念として、・重陽子 40MeV/u-200MeV/u (仮)、・大電流 (1A 級)、・大口径ビームを特徴とすることを提示した。また、特許出願を行った。また将来の要素技術課題を抽出する議論も併行して行った。

(3) 大強度線形加速器を産業に展開するために、ビームエネルギーおよび強度に応じて他の用途を検討する必要について議論した。

2-3 新たな課題など

一連の検討を行った結果から、H30 年度に行うことを抽出した。

1) 核変換システムの基本仕様をもとに、大強度単胞線型加速器概念の検討を行い、イオン源・チョッパーセクション、中・高 β セクション(超伝導高周波空洞を利用)の概念の基本仕様を、実証試験および実用化段階を想定してそれぞれの系統を具体化し、また、各系統構成におけるモジュール化/省エネルギー性/メンテナンス性の観点からの課題抽出をするならびに概念検討を行う。

核変換用加速器システム概念として、関連分担しているプロジェクト4からの結果も合わせてのまとめを行う。

2) LLFP の資源化の観点から、プロジェクト4における MERIT 検討成果と連携し負ミューオン利用における将来の新しい核変換ターゲット概念を描くための調査検討を行う。課題抽出ならびに実現にむけて開発戦略の概略検討を行う。

3) 本 ImPACT プログラムで行った LLFP の資源化反応や核破碎反応の基礎試験データを活用して、検討してきた各種方式の特徴・効果をまとめる。

3. アウトリーチ活動報告

2017年11月22日にメディアの記者に対して、高レベル放射性廃棄物の低減・資源化(プロジェクト5)の検討状況の紹介のためのデータを提供した。

2018年01月23日に ImPACT 加速器概念の紹介を、加速器学会、原子力学会(加速器・ビーム部会)の方々他を対象に、検討ワークショップを JST 別館にて開催した。このワークショップでは、「ImPACT 2017 モデル」概念案について、その学理的成立性、新概念を実現するための方法、今後必要とされる課題とそれらの対応方法などを幅広く議論いただきしたいと考え、講演(櫻井、奥野)とパネル討論(櫻井、奥野、上垣外)に参加した。

また、一般・原子力関係者を対象とし、2018年03月17日(土) 13:00-17:00、内閣府 ImPACT 藤田プログラム 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 公開シンポジウムーさあ、始まる”資源化”という未来ー 第1部 研究発表5の講演:クリアランスレベルの提案ー安心して再割朔するための基準を調べるー および 第2部 パネル討論「高レベル放射性廃棄物の資源化」にパネリストとして参加した(櫻井、奥野)。