

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：プロセス概念検討

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：

総合システム検討（概念構築と技術課題抽出）

研究開発機関名：

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

研究開発責任者

辻本 和文

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

本研究開発プログラムでは、高レベル放射性廃棄物中に含まれる長寿命核分裂生成物(LLFP)を分離回収し、核変換により半減期の短い核種または安定核種に変換するために必要な技術基盤を確立することを研究開発目標としている。この開発目標に対して、本研究開発プロジェクト「プロセス概念検討」では、LLFPの有意な核変換に必要な線源(加速器及びターゲット)の強度を合理的なコスト及びエネルギー収支で実現できることを示すとともに、社会実装を考慮した核変換プロセス概念を提案することを達成目標とする。

平成27年度は、平成28年度以降の本格的なプロセス概念検討に備えて、既往研究等を参考に、効率的なLLFP核変換システム用の加速器の実現に不可欠な大電流化及びエネルギー効率の向上に必要な技術開発課題を抽出し、LLFP核変換システム用加速器に求められる性能要求を明確化する。また、LLFPターゲットについて、核変換候補として検討されている核種に対して、それぞれの化学形態等を考慮してターゲット候補概念を提示する。

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

(a) 核変換用加速器の大電流化方法の具体化と技術開発課題抽出

加速ビームの大電流化のために必要な加速器の構成要素について、それぞれ線形加速器及び円形加速器を対象に、大電流化の目標値を加速エネルギー1GeV、加速粒子電流30mAとして、それぞれ既往設計例等を参考に装置等を具体化し技術開発課題の抽出を行った。線形加速器に関する検討では、大電流の目標値に近い、中国で加速器駆動システム(ADS)用の加速器として検討されているC-ADSを参考に、線形加速器を構成する主要な機器(イオン源、BT系、RFQ、超伝導空洞、RF源、冷凍機、ビームモニター)ごとに、大電流化の際の技術課題の整理を行うとともに、コスト低減やエネルギー効率向上に関する定性的検討を実施した。円形加速器に関する検討では、サイクロトロン方式では陽子線の最大ビーム電流は現状では2~3mA、将来目標が5~10mAとなっていることから、今回の検討では1GeV・5mAのシステムを6台のケースを検討対象とし、大電流化のために必要な加速器の構成要素に対する技術課題の整理を行った。

(b) 核変換用加速器のエネルギー効率向上方法の具体化と技術開発課題抽出

LLFP核変換に加速器を用いる場合には、加速器のエネルギー効率向上が不可欠である。加速器のエネルギー効率向上には、加速空洞の超伝導化が極めて有効であることから、本検討では、サイクロトロン加速器を対象として、特に超伝導技術の観点から先行加速器の検討例等を参考とし、他プロジェクトの先端技術研究で必要とされる粒子、及びそのエネルギー値における加速器のエネルギー効率向上方法について、装置等を具体化し、必要な開発要素や課題等を整理した。

(c) LLFP元素毎の照射ターゲット及び照射後処理の技術開発課題抽出

LFPを核変換するためには、適当な形でLLFPをターゲット状に成形・加工することが必要となる。核変換候補として検討されている核種（セレン（Se）、パラジウム（Pd）、ジルコニウム（Zr）、セシウム（Cs））について、ターゲットとして加工する際の候補形態に関する概念検討を実施した。

2-2 成果

(a) 核変換用加速器の大電流化方法の具体化と技術開発課題抽出

線形加速器については、既往設計例であるC-ADS用加速器を参考に、加速器構成機器ごとに大電流化の際の技術課題を整理し、今後、優先的に検討すべき課題として以下を抽出した。

- ✓ 各加速管、加速空洞の運転周波数の選定及びRF源の選定
- ✓ 冷凍機の運転温度の選定（2Kまたは4K）
- ✓ 超伝導空洞の β 値の種別および分割数の最適化
- ✓ HWRでの重イオン加速、QRWでの陽子加速の場合の機器構成、ビームロス、ビーム品質、効率等の検討

円形加速器については、H、H⁺およびH²⁺のそれぞれの加速粒子を想定した検討を行い、それぞれの場合の技術開発課題を整理した。

加速方式	H ⁻	H ⁺	H ²⁺
技術課題	超高真空 加速器間のマッチング デフレクタでのビームロス エネルギーの広がり対策 RFシステムの安定化	デフレクタでのビームロス エネルギーの広がり対策	DICの空間電荷効果 超高真空 ローレンツストリッピング 加速器間のマッチング 超伝導磁石開発 入射、引出軌道 フォイル入熱対策 RFシステムの安定化

(b) 核変換用加速器のエネルギー効率向上方法の具体化と技術開発課題抽出

サイクロトロン加速器を対象として、加速器を超伝導化する際の主な技術開発課題を整理した。

- ✓ 主コイル：磁場形状、磁場精度、超伝導体の設計、超伝導コイルに作用する電磁力とその支持方法、超伝導の安定性、クエンチ解析、コイル容器構造、巻線装置
- ✓ ヨーク、磁気シールド
- ✓ ビーム入射系：構造（輸送経路、機器配置、ビーム輸送最適化）
- ✓ ビーム出射系：デフレクター／ストリップフォイル
- ✓ RF空洞：構造検討

(c) LLFP元素毎の照射ターゲット及び照射後処理の技術開発課題抽出

核変換対象核種の物性調査を実施し、Se、Zr、Pd、Csの核変換ターゲットとしての特性概要を検討した。Seは、金属元素の場合、500℃以下であれば固体状態、液体状態であり、金属密度も高いタ

ターゲットで取り扱える可能性がある。また、Sn,Zr の化合物は、500℃以下であれば固体状態でターゲットとして取り扱えたため、容器 Fe との共存性を有すると考えられる。Zr および Pd は、金属元素の場合、500℃以下であれば固体状態であり、金属密度も高いターゲットで取り扱える可能性がある。Cs は、ハロゲン化合物が固体で扱える可能性がある。

2-3 新たな課題など

なし

3. アウトリーチ活動報告

なし