

革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) 「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」の紹介

東京大学 生産技術研究所

井 上 博 之

Introduction of Impulsing Paradigm Change through disruptive Technologies (ImPACT) “Reduction and Resource Recycle of High Level Radioactive Wastes with Nuclear Transmutation”

Hiroyuki Inoue

The University of Tokyo, Institute of Industrial Science

1. 高レベル放射性廃棄物

革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) は、産業や社会に大きな変革をもたらす革新的な科学技術イノベーションの創出を目指し、挑戦的な研究開発を推進することを目的として創設されたプログラムで、多岐にわたる内容の16のプログラムが進んでいる^[1]。ここで紹介する「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」もその一つであり、2014年から科学技術振興機構の藤田玲子氏をプログラムマネージャーにスタートしている^[2]。原子力発電に対して多くの議論があるが、その使用済み燃料の処理は避けて通ることができない重要な課題であり、その廃棄物の低減や資源化を目指しているプログラムである。まず、このプログラムの内容の紹介の前に、現状の高レベル放

射性廃棄物について、少しだけ見てみよう。

原子力発電で使用された燃料は、再処理工場に運ばれ、放射能が弱まった後に細かくせん断し、硝酸に燃料の部分を溶かす。ウランとプルトニウムは再利用するために硝酸溶液から取り出され、残りの核分裂生成物を含む廃液は、ガラス原料と混ぜ合わせて溶融し、キャニスターと呼ばれるステンレス製容器に流し込み冷却される。このとき、廃棄物は固体として25 wt %, ガラス原料75 wt %を混合して、直接通電溶融法でガラスが作製される。このキャニスターは高レベル放射性廃棄物貯蔵管理施設で30-50年間貯蔵され、その後、300 mよりも深い安定した地層中に処分される。そして、数万年後にはウラン鉱石と同レベルの放射能になると考えられている。これまで、原子力発電による使用済み燃料の処理は、フランスとイギリスの再処理工場に委託し、遠く海を渡ってガラス固化体が戻ってきた。国内では、青森県六ヶ所村の再処理工場が本格稼働に向けて準備されている。

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1
TEL 03-5452-6315
FAX 03-5452-6316
E-mail: inoue@iis.u-tokyo.ac.jp

日本における原子力発電は、震災以降、その安全性から再稼働には大きなハードルがあるが、既に使用済みになった燃料は発電所の中で冷却用のプールの中に保存されている。安全性の観点からは、ガラス固化体にして、地層中に処分したいところである。

2. 藤田プログラム

高レベル放射性廃棄物には、Long Lived Fission Products (LLFP, 半減期 10 万年以上の放射性核分裂生成物) が含まれている。このプログラムでは、LLFP の中の、半減期の順に ^{79}Se , ^{93}Zr , ^{135}Cs , ^{107}Pd の 4 種の元素を対象としている。その半減期は、 ^{79}Se の 33 万年から ^{107}Pd の 650 万年となっている。これらを核変換することによって、高レベル廃棄物を低レベル化するシナリオとそのプロセスを示すことが、このプロジェクトの第 1 の目的である。さらに、廃棄物に含まれる有用元素を資源として再利用する筋道を示すことが、第 2 の目的である。最終的な全体のプロセス概念を図 1 に示す

このために 5 つのプロジェクトが動いている。(プロジェクト 1) 分離回収技術、(プロジェクト 2) 核反応データ取得及び新核反応制御法、(プロジェクト 3) 核反応モデルとシミュレーション、(プロジェクト 4) 核変換システム評価と要素技術開発、(プロジェクト 5) プロセス概念検討である。高レベル放射性廃液から、2 次廃棄物の生成量や経済性を評価した LLFP 成分の分離回収技術を選定し、大強度ビームや逆反応的手法を用いて、この LLFP

の核変換のための核反応のデータを収集する。また、得られた核反応データを基に新しい核反応を制御する方法を開発する。反応理論や構造理論により実験から得られるデータを補間するとともに、核変換のための核反応標準モデルを整備する。合理的なコストやエネルギー収支を実現できるシステムを検討し、様々な要素技術の開発・選定を行う。総合して、合理的なプロセス基礎概念を検討し提案する。2019 年には本プログラムは終了するが、それ以降、実廃棄物を用いた小規模の試験を開始し、2025 年にはパイロット試験装置を製作、2030 年には、プラントの設計に入り、2050 年からは、プラントの建設、コールド試験から試運転へと進む予定である。

最近の研究成果を見てみると、「パラジウム同位体を選択的・高効率に分離するレーザー技術」同位体の中で特定の質量数のものをイオン化して分離するレーザー同位体分離法を改良して、収量を従来の 10000 倍に増大することができることを示した^[3]。このことにより、LLFP の ^{107}Pd を他の同位体と分離することができ、安定同位体を資源として利用することが期待される。「パラジウム-107 の核変換」 ^{107}Pd を取り出し陽子または重陽子を衝突させた核破砕反応の反応断面積の測定と反応によって生じる生成物を明らかにした^[4]。このように加速器科学の進展により、これまで困難であった他の LLFP の核反応のデータも取得することが可能となっていくものと考えられる。

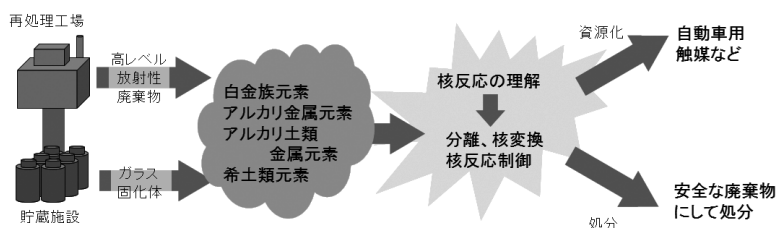


図1 高レベル放射性廃棄物の処分と資源化の概念図

3. ガラス固化体

ガラス材料の分野からいくつかのグループがこのプログラムに2015年から参加している。高レベル放射性廃液を対象として、溶液からLLFP成分を選択的・高収率で分離回収する技術を選定・開発することが、本プログラムで求められている。我々に対しては、フランスやイギリスに委託して作製されたガラス固化体、あるいは、この後に再処理工場で作製されるガラス固化体が対象となっている。これまで、高レベル放射性廃棄物におけるガラスの研究は、主に、核反応生成物を含み、長期間にわたって地層に処分した場合に、安定に放射性核種を保持することができるガラスの組成探索や作製方法やそのガラスの性質が対象であったと考えられる。ここでは、ガラス固化体からLLFP成分を抽出することが求められている。現在は、提案した内容の実現性を示す段階から、要素技術の開発へ移行している。熱的にも化学的にも耐久性の高いガラス固化体に対して、酸・アルカリを用いて溶解するには、多量の水溶液や酸強度の高い溶液を扱う必要があり、数千本のガラス固化体を対象に考えると容易なことではない。そこで、我々のグループでは、ガラス固化体に添加成分を加えて、固化体の熱的・化学的耐久性を下げて、溶解しやすくし、対象として

いるLLFP成分を溶出することを考えている。ガラスを扱ってきた読者の皆様であれば、容易に想像できる手法である。残りの期間は少ないが、プロセス全体が描ければと考えている。

4. おわりに

原子力発電は、資源の少ない日本にとって安定なエネルギー源の一つから、様々な廃棄物の課題を突き付けられているのが現状であろう。しかし、これまでの開発によって、ガラス固化体の製造は実際のプロセスとして稼働しており、将来、ここにあるような核変換も実際に使える技術となることを期待したい。そのときは、福島原子力発電所の廃炉にも明るい見通しがついているものと思われる。

参考文献

- 1) <http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about-kakushin.html>
- 2) <http://www.jst.go.jp/impact/program/08.html>. Reuko FUJITA, ImPACT Newsletter, 5, 8-11 (2016).
- 3) C. R. Locke, T. Kobayashi, T. Nakajima, K. Midorikawa, Applied Physics B (2016) 122, 246. C. R. Locke, T. Kobayashi, K. Midorikawa, Applied Physics B (2017) 123, 33.
- 4) H. Wang, H. Otsu, H. Sakurai et al., Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2 (2017) 021D01, doi: 10.1093/ptep/ptw187.