

2014年日本原子力学会秋の大会

核データ部会, 「シグマ」特別専門委員会合同セッション
「核データ分野における大型研究開発プロジェクトの現状と展望」

(4) 長寿命核分裂廃棄物の核変換データとその戦略

理化学研究所 仁科加速器研究センター

櫻井 博儀

sakurai@ribf.riken.jp

1. はじめに

平成 25 年度より 2 年間、文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業・原子力システム研究開発事業の一環として、「長寿命核分裂核廃棄物の核変換データとその戦略」が認められた。この事業では、理化学研究所・RI ビームファクトリーで得られる不安定核 (RI) ビームを用いて、長寿命 FP のデータ取得を行うことが骨子の一つとなっている。この記事では、本事業の概要を紹介し、平成 26 年に行われた実験の概要とデータ、および今後の展望について議論する。

2. 背景

広島・長崎・福島を背負う我が国では、原子力の平和利用と世界人類の福祉に特化した「発明」と「発見」を生み出すことによって世界的信用と信頼を得ることができる。この大きな歴史的背景のなかで様々な課題があり、とりわけ原子力発電などによって生じる長寿命放射性核種廃棄物の問題は我が国が取り組むべき最重要課題のひとつである。核廃棄物の処理処分については、核分離技術に基づいた地層処分処理などの現実的な方法が議論・開発されている一方、この問題を根本的に解決するためには長寿命放射性核種を安定化・短寿命化するための核変換技術の確立が必要になってくる。

長寿命放射性核種としては、マイナーアクチノイド MA と核分裂生成物 FP の二種に分類される。長寿命 FP は廃棄物のなかでも大きなウエートを占めるものの、燃料として利用することができないため、核変換に関連する基盤開発・技術開発はほとんど進んでいないのが現状であり、核変換基盤を支える反応データが不足している。

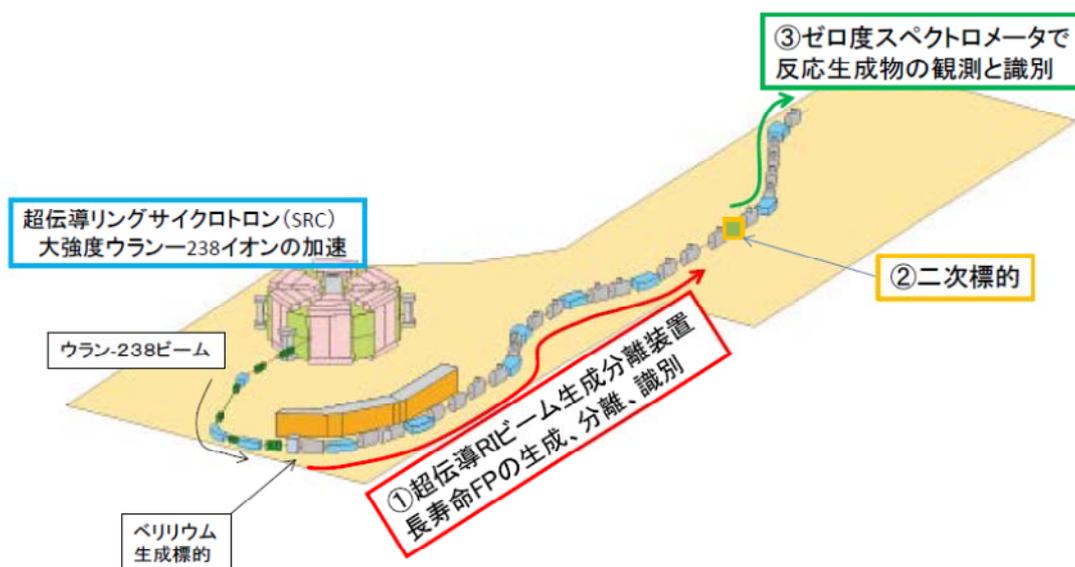
長寿命 FP を短寿命化する方法として、中性子やガンマ線の照射などが過去に議論

された経緯があるが、熱中性子捕獲以外の、中性子ノックアウト、中性子捕獲、ガンマ線吸収反応などの素反応過程に関わる基礎データが十分でない。これらの基礎データは、新しい核変換法を生み出す契機になるとともに、経済的な費用算出においても重要である。地層処分費用と核変換費用の算出とその比較には、具体的な数値計算を必要とするからである。

3. 「RI ビームファクトリー」を利用したデータ取得

長寿命 FP のデータが決定的に不足している背景は、研究対象となる核種の寿命が有限なため、標的にすることが困難なことによる。本事業で利用する方法は、逆運動学的手法である。この手法では、研究対象の核種をビームとして取り出し、陽子などの2次標的に照射して、反応過程を観測する。長寿命 FP をビームとして取り出してから照射するまでの時間は、わずか数百ナノ秒であり、またビームに含まれる核種や反応をひとつひとつ同定しながら実験を行うことができるため、データの質もきわめて高い。この手法を利用した長寿命 FP データはいまだかつて取得されたことがない。

理化学研究所では逆運動学に基づいた様々な手法を開発してきた。2006 年にはこれまでの経験・技術を生かした、次世代重イオン加速器施設「RI ビームファクトリー」(RIBF) が完成した。翌年には世界最高強度の RI ビームを供給し、原子核物理学の分野では世界に冠絶した施設として世界的に有名であり、新しい研究成果を多数生み出している。



4. 世界初の試み

本事業の実験プログラムとして、平成 26 年 4 月に世界で初めて逆運動学による長寿命 FP の反応データの取得に成功した。図のようにウランビームを核子当たり 345MeV まで加速し、ベリリウム標的に照射した。生成された核分裂片は超伝導 RI ビーム生成分離装置 (BigRIPS) で分離され、Cs-137、Sr-90 をビームとして取り出した。

これら RI ビームの純度が大きくなるように BigRIPS を設定した。ビームのエネルギーは核子あたり 190MeV 程度であり、純度、強度は、Cs-137 でそれぞれ 14%、1.2k/s、Sr-90 では、28%、7.1k/s であった。

Cs-137 および Sr-90 ビームは BigRIPS の下流に置かれた 2 次標的に照射し、2 次標的に生成された反応生成物は下流のゼロ度スペクトロメータで検出し、粒子識別を行った。2 次標的としては、C、CH₂、CD₂ の三種の標的を用意し、これら標的の組合せから、炭素核、陽子、中性子による中性子ノックアウト、核破砕、荷電交換反応データを大量に取得した。

データは現在解析中である。取得されたデータは核破砕片の断面積を予想する経験公式 EPAX との比較や PHITS などの微視的反応モデルの予想と比較し、このエネルギーでの反応メカニズムや標的のアイソスピン依存性などを議論する予定である。また純度が 100% でないため、他のビーム核種の反応データも取得している。

なお、この実験は、九大—宮崎大—東大—北大との共同研究として行った。

5. おわりに

本事業の発展系のプログラムが ImPACT (PM 藤田玲子氏) として認められ、2014 年 10 月から本格始動する。Cs-137、Sr-90 以外の長寿命 FP をビームにし、様々なデータを取得する予定である。これを機に理工連携が進み、核変換システムの新機軸が創出されることを期待している。ご興味のある方は是非、理研での実験に参加していただければ幸いである。

なお、理研では FP のベータ遅発中性子放出確率 P_n の測定を行うことも可能である。P_n は、炉設計にとって重要であり、10 程度の FP 核種で P_n データの精度をあげることが望まれている。理研では中性子過剰核の P_n を、He-3 検出器を利用して測定する国際共同研究 BRIKEN がスタートしつつあり、これを利用した工学データ取得も一部のグループで議論されている。これを機に日本国内で工学データを取得するチームを結成していただき、BRIKEN にもご参加いただければ幸いである。