

## 陽子・重陽子入射核破碎反応による同位体生成断面積の PHITS 計算

Calculation of isotope production cross sections for proton and deuteron induced spallation reactions using PHITS

\*佐藤 俊輔<sup>1</sup>, 渡辺 幸信<sup>1</sup>, 小川 達彦<sup>2</sup>, 仁井田 浩二<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学,<sup>2</sup>日本原子力研究開発機構,<sup>3</sup>高度情報科学技術研究機構

理研 RIBF で系統的に測定された長寿命核分裂生成核種の陽子・重陽子入射核破碎反応による同位体生成断面積データに対し、粒子・重イオン輸送コード PHITS を用いた核反応理論モデル解析を行った。蒸発モデル GEM に粒子・ガンマ線競合を考慮することで、計算値に見られる偶奇効果が弱まることが分かった。

**キーワード**：PHITS 計算, 同位体生成断面積, 理論モデル解析, 核破碎反応, 陽子, 重陽子

### 1. 緒言

高レベル放射性廃棄物に含まれる長寿命核分裂生成物 (LLFP) の新たな処理方法として、核変換技術の確立が求められている。合理的な核反応経路を検討するために、LLFP の核反応データが必要となる。最近 LLFP 核 (<sup>93</sup>Zr, <sup>107</sup>Pd 等) 及び代表的な FP 核 (<sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs) に対し、100~200MeV/u 領域の陽子・重陽子入射核破碎反応による同位体生成断面積の系統的な測定[1,2] が行われた。PHITS [3] に組み込まれている核反応理論モデル (INCL+GEM) による計算結果は、概ね実験値を再現できることが分かったが、いくつか不一致も見られた。その一つに、生成同位体断面積が中性子数の偶奇に応じて上下する効果 (even-odd staggering) の過大評価がある。本研究ではこの改善に向け、蒸発過程を取り扱う GEM に粒子・ガンマ線放出の競合を考慮することを試みた。

### 2. 理論モデル解析結果

現 GEM では、束縛状態のガンマ線脱励起を扱う EBITEM モデル[4]が実装されている。これを非束縛励起状態まで拡張することで粒子蒸発との競合を考慮した。右図に、<sup>137</sup>Cs に 185 MeV/u 重陽子を入射して生成された Sb 同位体の生成断面積の結果を示す。従来の PHITS 計算値 (破線) は実験値 [1] に比べて even-odd 効果の影響が大きい。競合を考慮した計算結果 (実線) では、even-odd 効果は弱まり、実験値により近い傾向を示すことがわかった。さらに、本講演では GEM 計算で使用されるクーロン障壁の同位体生成に与える影響についても報告する。  
付記：本研究は、総合科学技術・イノベーション会議が主導する革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) の一環として実施したものです。

#### 参考文献

- [1] H. Wang, H. Otsu, H. Sakurai, *et al.*, Phys. Lett. B754, 104 (2016).
- [2] S. Kawase *et al.*, presented at ND2016, Belgium, Sept.11-16, 2016.
- [3] T. Sato, K. Niita, N. Matsuda, *et al.*, J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913 (2013).
- [4] T. Ogawa, S. Hashimoto, T. Sato, K. Niita, Nucl. Instr. Meth. B325, 35 (2014).

\*Shunsuke Sato<sup>1</sup>, Yukinobu Watanabe<sup>1</sup>, Tatsuhiko Ogawa<sup>2</sup> and Koji Niita<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kyushu Univ., <sup>2</sup>JAEA, <sup>3</sup>RIST

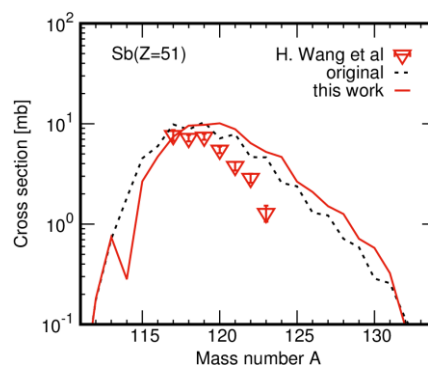


図: <sup>137</sup>Cs 標的に対する 185 MeV/u 重陽子入射反応同位体生成断面積