

8 GeV および 30 GeV 陽子における弾き出し断面積測定

Measurement of displacement cross section for 8-GeV and 30-GeV protons

*明午 伸一郎¹, 松田 洋樹¹, 岩元 洋介¹, 吉田 誠², 長谷川 勝一¹,
中本 建志², 牧村 俊助², 前川 藤夫¹, 岩元 大樹¹, 石田 卓²

¹J-PARC 原子力機構, ²J-PARC KEK

大強度陽子加速器施設に用いられる構造材の損傷評価の高度化のため、J-PARC 加速器施設において、運動エネルギー8 GeV および 30 GeV の陽子によるアルミニウム、鉄、銅およびタングステンの弾き出し断面積の測定を行い、PHITS コードによる様々な弾き出し計算モデルとの比較検討を行った。

キーワード：弾き出し断面積、NRT モデル、arc-dpa モデル、Al、Fe、Cu、W、PHITS

1. 緒言

加速器駆動核変換システム(ADS)等の大強度陽子加速器施設では、ビーム窓や標的に用いられる材料の損傷評価が重要となる。放射線に起因する材料の弾き出し損傷は、弾き出し断面積と粒子束との積による原子あたりの弾き出し数 (dpa)により評価される。弾き出し断面積の計算モデル評価には実験データが必要だが、20 MeV 以上のエネルギー領域に実験データはほとんど無かったため、本グループでは以前に J-PARC 3 GeV シンクロトロン加速器施設において、0.4~3 GeV 陽子入射における弾き出し断面積を測定した¹⁾。本研究では計算モデルのより高エネルギー領域での適用性確認を目的とし、J-PARC メインリング(MR)加速器施設において、8 GeV および 30 GeV 陽子に対する弾き出し断面積を測定し、計算モデルを比較検討した。

2. 実験

弾き出し断面積は、陽子入射に伴う試料の抵抗率変化を欠損あたりの抵抗率変化と陽子束で除することにより得ることができる。欠損あたり（フランケル対あたり）の抵抗率変化は、電子線等を用いた研究により既知であるため、抵抗率変化と陽子束の測定により断面積の導出が可能である。照射による欠損を試料中に留めるために試料を 4 K まで冷却可能な冷凍機を装着した真空装置を製作し、MR のアポートビームダンプのビームラインに設置した。試料は、直径 0.25 mm、長さ 50 mm、純度 99.95%程度アルミニウム、鉄、銅、およびタングステンのワイヤを用い、試料の欠損を無くするため予め融点付近の高温で焼鈍した。断面積の導出に必要な試料に入射する陽子束は、試料位置のビームプロファイルをマルチリボンプロファイルモニタによる測定などにより導出した。試料の温度上昇抑制にはビーム強度が微弱である必要があるため、ビームプロファイルを測定可能な範囲で最弱強度の陽子ビームを用いた。

3. 結果

本実験結果とこれまで当グループが測定した弾き出し断面積を標的元素の質量数(A)の 1.2 乗($A^{1.2}$)で規格化した値として図 1 に示す。一般的に dpa の評価に用いられる NRT モデルによる計算値は、3 GeV 以下のエネルギー範囲と同様に、実験値より 2~4 倍程度過大であった。欠陥の非熱的な再結合を補正した arc (athermal recombination corrected) dpa モデルによる計算は、30 GeV までのエネルギー範囲においても実験をよく再現した。図 1 のように、3 GeV 以上のエネルギー領域において、弾き出し断面積は標的元素の質量数の 1.2 乗に比例し、ほぼ一定の値となった。この物理的な解釈は当日発表する予定である。

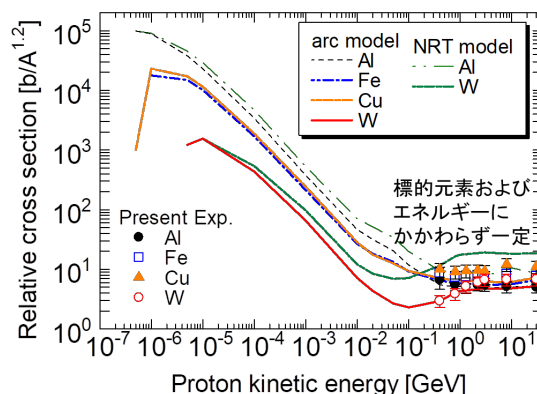


図 1 弾き出し断面積の本実験、NRT および arc-dpa モデルによる及び計算との比較。(縦軸は、断面積を標的元素の質量数(A)の $A^{1.2}$ で規格化した)

1) H. Matsuda et al., J. Nucl. Sci. and Technol., DOI: 10.1080/00223131.2020.1771453

*Shin-ichiro MEIGO¹, Hiroki MATSUDA¹, Yosuke IWAMOTO², Makoto YOSHIDA², Shoichi HASEGAWA², Tatsushi NAKAMOTO², Shunsuke MAKIMURA², Fujio MAEKAWA¹, Hiroki IWAMOTO¹, Taku ISHIDA²

¹J-PARC/JAEA, ²J-PARC/KEK