## 0.4~3 GeV 領域の陽子入射における銅及びアルミの弾き出し断面積の測定

Measurement of Cu and Al displacement cross section for proton energy region between 0.4 and 3 GeV

\*明午 伸一郎<sup>1</sup>, 松田 洋樹<sup>1</sup>, 岩元 洋介<sup>1</sup>, 吉田 誠<sup>2</sup>, 長谷川 勝一<sup>1</sup>, 中本 建志<sup>2</sup>,

牧村 俊助<sup>2</sup>,前川 藤夫<sup>1</sup>,岩元 大樹<sup>1</sup>,石田 卓<sup>2</sup>

<sup>1</sup>J-PARC 原子力機構, <sup>2</sup>J-PARC KEK

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に用いられるビーム窓の損傷評価の高度化の ため、J-PARC センターの加速器施設において、運動エネルギー領域が 0.4~3 GeV となる陽子による銅お よびアルミの弾き出し断面積の測定を行い、実験結果を PHITS による計算と比較検討した。

**キーワード**: 弾き出し断面積, 数 GeV 陽子, 銅, アルミ, PHITS, J-PARC, NRT モデル, arc-DPA モデル

## 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。損傷の指標として弾き出し損傷(DPA)が用いられるが、NRT モデルに基づく弾き出 し断面積と粒子束の積分により導出される。陽子の20 MeV 以上のエネルギー領域では、弾き出し断面積 の殆ど測定されていないため、計算モデルの十分な検討がされていない。大強度陽子加速器施設の機器の 寿命評価は DPA を基準とするため、大強度陽子加速器において DPA 評価が重要となるため、本研究では、 J-PARC の加速器施設において 0.4~3 GeV 陽子に対する銅およびアルミの弾き出し断面積の測定を行った。

## 2. 実験

弾き出し断面積は、試料入射に伴う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)の抵抗率変化は既知となるため、抵抗率変化と陽 子束の測定により断面積の導出が可能となる。照射による欠損を試料中に留めることが必要なため、極低

温に冷却した状態で測定を行う。4K まで冷却可能な冷凍 機に試料を取り付けた真空装置を製作し、J-PARCの3GeV 陽子シンクロトロン加速器施設に設置した。試料には長さ 40 mm, 直径 0.25 mm の銅およびアルミを用い、欠損を無 くすため融点付近の高温で焼鈍した。試料における陽子束 の導出のため、試料位置近傍のビームプロファイルを炭化 珪素製のワイヤを用いて計測した。

## 3. 結果

測定の結果、世界で初めて数 GeV 領域の陽子に対するア ルミの弾き出し断面積を取得できた。銅およびアルミの本 実験結果を図1に示す。他の実験結果、および PHITS の計 算結果も図に示す。PHITS の計算では、一般的に DPA の評 価に用いられる Norgett-Robinson-Torrens(NRT)モデルと欠 陥の非熱的な再結合を補正した(arc: athermal recombination correction)モデルを用いた。実験との比較の結果、NRT モデ ルの計算は銅およびアルミの実験に対し3~4倍程度の過大 評価を示した。Nordlund 等によるパラメータを用いた銅の arc モデルの計算は実験とよい一致を示した。Almazouzi 等 の分子動力学結果に基づくアルミの arc モデルの計算は、 NRT モデルに比べ実験とよい一致を示すものの、30%程度 の過大評価を示した。今後は鉄およびタングステン等の試 料を用いた測定を行う予定である。



図1 銅およびアルミの弾き出し断面積の 実験と計算との比較

\*Shin-ichiro MEIGO<sup>1</sup>, \*Hiroki MATSUDA<sup>1</sup>, Yosuke IWAMOTO<sup>2</sup>, Makoto YOSHIDA<sup>2</sup>, Shoichi HASEGAWA<sup>2</sup>, Tatsushi NAKAMOTO<sup>2</sup>, Shunsuke MAKIMURA<sup>2</sup>, Fujio MAEKAWA<sup>1</sup>, Hiroki IWAMOTO<sup>1</sup>, Taku ISHIDA<sup>2</sup> <sup>1</sup>J-PARC/JAEA, <sup>2</sup>J-PARC/KEK