高エネルギープロトンによる炭素荷電変換フォイルの照射損傷

Radiation Damage of Carbon Stripping Foil due to High Energy Protons

同志社大¹, 原研², 理研³ ◯加藤周一¹, 剣持貴弘¹, 吉本政弘², 山岡人志³, 和田元¹

Doshisha Univ¹, JAEA², RIKEN³, ◯Shuichi Kato¹, Takahiro Kenmotsu¹, Masahiro Yoshimoto²,

Hitoshi Yamaoka³, Motoi Wada¹

E-mail: dtl0129@mail4.doshisha.ac.jp

1. 概要

J-PARC 加速器では, LINAC で加速された水素負イオン(H⁻)ビームを RCS (Rapid Cycle Synchrotron) に入射して 3 GeV まで加速し, 最大 1 MW のビームエネルギーで取り出す. RCS へのビーム入射には 3 枚の非結晶性炭素荷電変換フォイルを使用した荷電変換多重入射方式を採用している. 第 1 荷電変換フォイルで H⁻ビームから H⁺ビームに荷電変換されなかった H⁰ビーム, 及び H⁺ビームは第 2, 3 荷電変換フォイルで H⁺ビームに変換され, H⁰ビームダンプへと廃棄する. フォイルは Table. 1 にパラメータを示す大強度ビーム照射を受けるため短時間に劣化する可能性を有する. 従って加速器の安定的な運転のためにはフォイルの長寿命化対策が重要となる. 長寿命フォイル実現のためにはフォイルが破損に到るまでの詳細な劣化機構の解明が不可欠であるが, 現時点では劣化機構に対する十分な理解は得られていない. またフォイル中への高 Z 元素の不純物混入は, 大角度散乱などのビーム損失の発生を招くことが予想される. 安定軌道を外れた陽子ビームの一部は真空ダクトに衝突して失われ, 核反応により大量の二次粒子を発生させ, 装置を放射化させる. 従って加速器の安定的な運転のためにはフォイルの長寿命化と陽子ビームのフォイル透過時の挙動調査が不可欠である. そこで本研究では ACAT (Atomic Collisions in Amorphous Target) を用い, J-PARC のような大強度ビーム照射下における荷電変換フォイル劣化機構と, そのときフォイル通過時の陽子ビームの挙動解明を目指す.

2. シミュレーションモデル

本研究で使用するモンテカルロシミュレーションコード ACAT は, 非結晶性ターゲット固体内の原子衝突を古典的 2 体衝突近似を用

いて評価し, 粒子反射, スパッタリングなどを解析するコードである. 本研究ではスパッタ率評価プログラムに変更を加え, 高エネルギープロトン入射時のフォイルに発生する粒子のはじき出しや変位の予測を試みる. そこで ACAT ユニットセル内の密度変化を計算し, その時間変化率を明らかにする. また, 陽子ビームの挙動調査としてフォイル中の不純物が与える大角度散乱発生の可能性調査や, ビーム発散角, エネルギーロスに関する調査も行う. 既存の ACAT コードにターゲット貫通時の角度分布が出力できるよう変更し, また粒子入射によるターゲット原子位置変化などの時間発展的な情報も計算できるよう, 現在コード改良を行っている.

Table. 1. RCS beam parameter. Contents inside of round brackets indicate the presently achieved parameters.

Circumference	348.333m
Diameter	15 mm
Superperiod	3
Harmonic number	2
Injection energy	400 MeV (181 MeV)
Extraction energy	3 GeV
Repetition rate	25 Hz
Particles per pulse	8.30E+13
Average current	333 mA
Output beam power	1 MW (~0.3 MW)