

熱解析を用いた BNCT 用 Li 封入型ターゲットの除熱性能評価

Evaluation of heat removal performance of sealed Li target for BNCT by thermal analysis

名古屋大工, °(M1) 富田 誠之介, 吉橋 幸子, (D1) 本田 祥梧, 土田一輝, 渡辺賢一, 山崎淳, 瓜谷章

Nagoya Univ., °Seinosuke Tomita, Sachiko Yoshihashi, Shogo Honda, Kazuki Tsutida,

Kenichi Watanabe, Atsushi Yamazaki, Akira Uritani

E-mail: tomita.seinosuke@e.mbox.nagoya-u.ac.jp

1. 緒言

名古屋大学では、ホウ素中性子捕捉療法 (Boron Neutron Capture Therapy: BNCT) のための加速器型中性子源の開発を行っている。IBA 社製のダイナミトロン加速器で生成される陽子ビーム (最大加速電圧 2.8 MV, 最大電流 15 mA) を Li ターゲットに照射し, $\text{Li}(p,n)\text{Be}$ 反応により中性子を生成する。Li は融点が 180°C と低く, 大電流の陽子により高い熱負荷が与えられた場合に溶融してしまう問題がある。この問題を解決するため, 水冷チャンネルを有する Cu 基板上的 Li を Ti 箔で覆った構造を持つ Li 封入型ターゲットの開発を進めている。Li の面積は $80 \times 80 \text{ mm}^2$ であり, Li 封入型ターゲットの表面には陽子ビームにより 6.6 MW m^{-2} の高熱負荷が与えられる。これによる Ti 箔の損傷や Li の溶融は, 加速管内への Li や Be の拡散を引き起こすことから, 予め除熱性能および健全性を確認する必要がある。本研究では有限要素法による熱解析で Ti 箔や Li の健全性を評価することを目的として, 計算体系の評価およびビーム形状の推定を行い, Li 封入型ターゲットの除熱性能を検討した。

2. 陽子ビーム照射実験による計算体系の評価とビーム推定

有限要素法ソフトウェアである Elmer を用いて, 水冷チャンネル付き Cu 基板表面の熱解析と陽子ビーム照射実験による熱計測結果を比較し, これまで電子ビーム照射でのみ評価されてきた Cu 基板の水冷チャンネルにおける熱伝達率が, 陽子ビーム照射においては約 $1 \times 10^4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ であることを確認した。同時に, 逆解析による照射陽子ビーム形状を推定した結果, Cu 基板へのオートラジオグラフィにより取得した IP 画像及び IR カメラで撮影した画像とおよそ一致した。以上のことから, 本研究で整備した計算体系に誤りがないことを確認した。

3. Li 封入ターゲットに対する陽子ビーム走査の検討

現在実験で使用している小型 Li ターゲットは, 水冷チャンネル付き Cu 基板に施した直径 32 mm, 深さ 1 mm の溝に埋め込んだ Li を厚さ $5 \mu\text{m}$ の Ti 箔で覆った構造をもつ。この構造をモデル化し, 小型 Li ターゲットに照射する陽子ビームを加速電圧 2.8 MV, 電流 15 mA の正規分布状で, $80 \times 80 \text{ mm}^2$ の範囲に水冷チャンネル水平方向周波数 300 Hz, 鉛直方向周波数 290 Hz で走査した場合を想定し, 時間依存の入熱量を設定して非定常熱解析を行うことで Ti 箔の健全性及び Li ターゲットの健全性を評価した。

Figure 1 に照射陽子ビームを走査しなかった場合 (Stationary) と走査した場合 (Scanning) の Ti 箔と Li

との境界面での最高温度の時間変化を示す。高い周波数で走査したことにより定常状態での温度ギャップを 10°C 程度に抑えることができた。また, Ti/Li 境界面における平均熱流束は 9.73 MW/m^2 から 2.17 MW/m^2 まで減少した。その結果 Ti/Li 境界面での最高温度は 100°C 程度まで減少し, Li の融点を大幅に下回った。これより, 15 mA の大電流照射において Li ターゲットは十分な除熱性能を持ち, 健全性を保つことが推測できた。

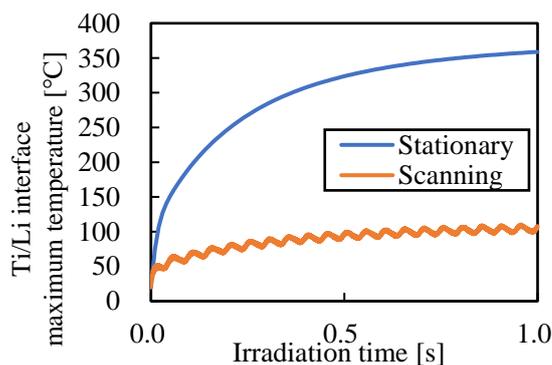


Figure 1 Temporal change of maximum temperature at Ti/Li interface.