放射線工学部会セッション「加速器駆動小型中性子源のターゲット関連研究開発」

(3) 名古屋大学 NUANS の中性子発生ターゲットの研究開発

(3) Development of Neutron Generation Target of
Nagoya University Accelerator-driven Neutron Source (NUANS)

*瓜谷章[1]，古澤大貴[1]，山﨑淳[1]，渡辺賢一[1]，広田克也[1]，北口雅暁[1]，清水裕彦[1]，鬼柳善明[1]，土田一輝[1]，辻義之[1]，恒吉達矢[1]，浜地志憲[2]，田村仁[2]，時谷政行[2]，相良明男[2]
[1]名古屋大学，[2]核融合科学研究所

1. 緒言

ホウ素中性子捕捉療法（以下 BNCT）は、脳腫瘍や頭頸部がん等の治療法として京大原子炉実験所等で治療症例が重ねられ、その有効性が認められ、近年は世界各地で治療施設の建設が要望されるに至っている。しかしながら原子炉は建設、維持管理とも労力とコストがかかり、病院に併設するのは現実的に難しい。そこで、加速器により加速した陽子を用いて ^{7}Li(p, n)^{7}Be などの核反応により中性子を発生させる加速器 BNCT システムが提案され、世界各国で開発研究が進められている。名古屋大学では、静電加速器を用いた BNCT 用中性子源の開発を 2013 年に開始した。名古屋大学のシステムでは、低い加速エネルギーで中性子を発生させられる ^{7}Li(p, n) ^{7}Be 反応と、静電加速器であるダイナミトロンを採用している。^{7}Li(p, n) ^{7}Be 反応は、発生中性子エネルギーが比較的低いために、中性子を熱外領域まで減速するための減速体がコンパクトにできること、発生ガンマ線が比較的少ない等の利点がある。

2. システム概要

2-1. 加速器

Li ターゲットに入射する陽子ビームは IBA 社製のダイナミトロン加速器を用いて生成する。図 1 に名古屋大学に設置したダイナミトロンの写真を示す。最大加速エネルギーは 2.8 MeV と低めではあるが、中性子出射孔における 0.5 eV～10 keV の範囲の熱外中性子フラックスの目標値 1×10^{9} n/cm^{2}/s を達成するために、15 mA という大電流陽子ビームを得られることが特長である。IBA 社の現地工場にて陽子エネルギー2.8 MeV, 電流 15 mA が 5 時間安定に得られることを確認したのち、名古屋大学内に設置し、現在調整を行っているところである。これまでに、2.8 MeV、11 mA の出力が得られることが確認できており、ビームラインの設置等を含めて、最終調整を進めているところである。

図１　名古屋大学に設置された
ダイナミトロン加速器

2-2. Li ターゲット

名古屋大学では、中性子の発生に ^{7}Li(p, n) ^{7}Be 反応を用いている。Li ターゲットを用いた中性子源は Be ターゲットに比べて必要とする陽子ビームのエネルギーが低くてすむので、中性子減速体を小型化できること、また装置が放射化しにくいという特長を有するが、低融点金属である Li や放射性 ^{7}Be の保持方法とターゲット交

換法が課題となっていた。この対策として、Li ターゲット表面を Ti 箔で覆い Li や ^{7}Be をターゲット内に封じ込める「Li 封入ターゲット」を考案、その開発を進めている。Li 封入ターゲットでは、凹構造を施した Ta 基板表面に Ti の箔を接合し、Ta 基板と Ti 箔間に形成される空間に Li 金属を封入する。この構造により、陽子線照射で Li 金属が液化しても、Li と ^{7}Li(p, n)^{7}Be 反応で生成された放射性 ^{7}Be とをターゲット内に安全に封入することができる。Ta 基板を用いる理由は、Ta が陽子照射によるブリスタリング生成に対する耐性が高いためである。Li 封入ターゲットの開発では、Ti 箔をターゲット基板に接合する技術開発を完了し、現在、Ti 箔とターゲット基板間に Li 金属を充填する技術開発を進めているところである。

3. ターゲットの除熱特性

熱外中性子フラックスの目標値 1×10^{9} n/cm^{2}/s を達成するためには、2.8 MeV、15 mA (42 kW)のビームエネルギーが必要となるので、この大強度ビームにより発生する熱の除熱方法の確立が Li ターゲットシステムを成立させるためのカギとなる。ターゲットの面積は 8×8 cm^{2} を考えており、この場合熱流束は 6.6 MW/m^{2} になる。これは、大型核融合実験装置のダイバータへの熱負荷に匹敵する値である。ターゲット除熱技術に関しては、冷却水中の乱流を促進するリブ構造をもつ冷却チャンネルを考案し、核融合科学実験所の電子ビーム高熱負荷試験装置 ACT2 を用いて除熱性能を評価するための予備実験を行った。その結果を図２に示す。今回提案する除熱方式により、6.6 MW/m^{2} という高熱流束にも十分対応できるとの見通しを得たが、それを確証するための本実験を実施する予定である。

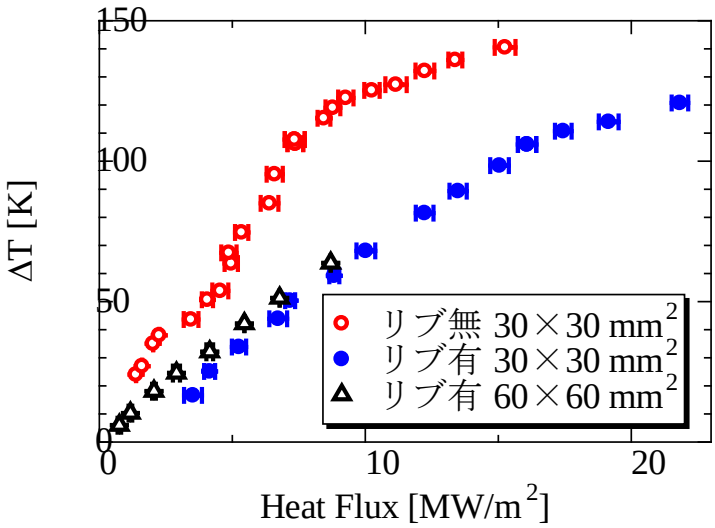

図２ 熱流束に対するターゲットの温度上昇特性

4. 結言

今後、「ダイナミトロン加速器」と、開発中の「Li 封入ターゲット」、ここでは触れなかったが「中性子減速体」を組み合わせて、加速器 BNCT 用中性子源としての工学的性能を 2018 年までに評価して、本システムを実際の治療に供することができるか否かを明確にする予定である。

*Akira URITANI[1], Daiki FURUZAWA[1], Atsushi Yamazaki[1], Kenichi WATANABE[1], Katsuya HIROTA[1], Masaaki KITAGUCHI[1], Hirohiko SHIMIZU[1], Yoshiaki KIYANAGI[1], Kazuki TSUCHIDA[1], Yoshiyuki TSUJI, Tatsuya TSUNEYOSHI[1], Yukinori Hamaji[2], Hitoshi TAMURA[2], Masayuki TOKITANI[2] and Akio SAGARA[2]

[1]Nagoya Univ., [2]National Institute for Fusion Science