

名古屋大学における静電加速器を用いた ホウ素中性子捕捉療法用システム計画

PROJECT OF ELECTROSTATIC ACCELERATOR-BASED BNCT SYSTEM IN NAGOYA UNIVERSITY

鬼柳善明^{#, A)}、土田一輝^{A)}、瓜谷章^{B)}、川端勇矢^{B)}、山崎淳^{B)}、校條洋輔^{B)}、山崎拓弥^{B)}、渡辺賢一^{B)}、
市川豪^{C)}、広田克也^{C)}、内藤博之^{C)}、北口雅暁^{C)}、清水裕彦^{C)}

Y. Kiyanagi^{#, A)}, K. Tsuchida^{A)}, A. Uritani^{B)}, Y. Kawabata^{B)}, A. Yamazaki^{B)}, Y. Menjoh^{B)}, T. Yamazaki^{B)}
K. Watanabe^{B)}, G. Ichikawa^{C)}, K. Hirota^{C)}, H. Naitoh^{C)}, Y. Kitaguchi^{C)}, H. M. Shimizu^{C)},

^{A)}Industry-Academia Joint Lab., Nagoya Univ.

^{B)}Graduate School of Engineering, Nagoya Univ.,

^{C)}Graduate School of Science, Nagoya Univ.,

Abstract

The Industry-Academia Joint Laboratory was established in Nagoya University in last November to develop an accelerator-based neutron source for the Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). An electrostatic accelerator supplying high current (Dynamitron) will be installed in this year, and feasibility studies on neutron production for the BNCT is launched after the commissioning. Following the BNCT study the neutron source will be used for various kinds of neutron applications on physics and engineering, and industrial applications. Here, outline of the facility plan is presented.

1. はじめに

ホウ素中性子補足療法 (BNCT) は、ガン部にホウ素薬剤を集め、そこに熱中性子を照射することによって、核反応で発生する Li と α 粒子で DNA を切断し癌細胞を殺す方法である。癌細胞を選択的に殺すことができる方法として、他の放射線治療法とは異なった利点を持っている。これまで原子炉中性子を用いた治療が京大炉や JRR-4 を用いて行われてきたが、原子炉を病院の中に設置することは難しく、加速器をベースとした BNCT 中性子源の建設が進められている[1,2]。

名古屋大学では BNCT 用加速器中性子源の開発を目的として産学協同研究講座が設置され、低エネルギー・大電流静電型陽子加速器を用いて、Li を中性子発生ターゲットとした加速器中性子源を開発する計画を進めている。中性子の発生効率は陽子エネルギーが高い方が良いが、発生中性子のエネルギーも高くなるため、中性子源体系等の放射化が大きくなるという問題が生じてくる。低エネルギーでは、そのような問題が大きく軽減されるというメリットがある。3MeV 程度の陽子エネルギーでは、中性子発生ターゲットとしては Be と Li が候補として考えられるが、Li をターゲットとする方が中性子の発生効率が高いため、Li を用いる方が良い。このような

背景のもと、本計画では以下の二項目を目的としている。

①Li ターゲット・モデレーター・リモートハンドリング装置を開発して静電加速器と組み合わせることにより、BNCT 装置として実用に耐え得るか否かの実証研究を行い、同装置が医療レベルで安定に適用可能か否かを明確にする (産学協同研究の目的)

②開発した装置を強力な加速器中性子源として用いることにより、物質構造解明や放射化分析などの理学・工学分野での応用展開を図る (理工連携)

このシナリオに従って、小型 Li ターゲットの開発、また、中性子源システムの設計を進めている。ここでは、加速器、加速器施設の概要、中性子源システムの設計計算の現状について述べる。

2. 加速器の概要

加速器は静電加速器で IBA 社の Dynamitron である。加速器の仕様は、加速エネルギーが 1.9~2.8MeV で可変となっている。電流は 15mA 以上である。従って、ビームパワーは最大 42kW となる。また、陽子存在比は 90%以上となっている。外形寸法は 7.5m×2.8m で重量は 8.5 トンである。加速器の構造を示す断面を Figure 1 に示す。また、加速管の写真を Figure 2 に示す。

加速器中性子源の装置構成は Figure 3 に示す通りである。ビームラインは第 1 ビームラインと第 2 ビームラインの 2 本を設置予定である。当面は

[#]kiyanagi@phi.phys.nagoya-u.ac.jp

BNCT 用の第1 ビームラインを設置する。第1 ビームラインの先に BNCT 用の中性子源を設置する。将来的には、破線で示した第2 ビームラインを設置し、そこに理工学実験用の中性子源を設置する予定である。加速器および中性子源は、名大の原子核特別実験棟に設置される。ここでは、これまでバンデグラフ型加速器が入れていたが、それを撤去し、新しい加速器が設置できるように改造を行った。建屋は 2014 年 3 月に完成している。この建屋内の加速器およびビームラインの配置を Figure 4 に示す。

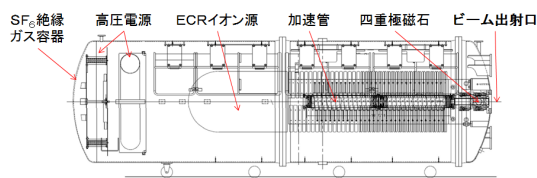


Figure 1: Cross section of the accelerator.

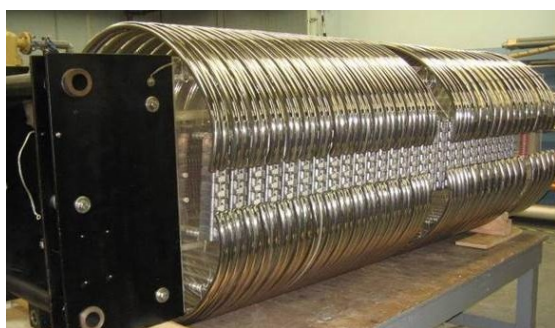


Figure 2: Photo of the accelerator tube.

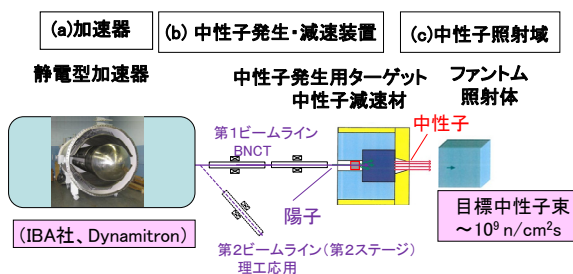


Figure 3: Layout of the neutron source and beam lines.

3. 加速器 BNCT 用中性子源開発

3.1 小型 Li ターゲットの開発

我々が考えている Li ターゲットは、治療で必要となる中性子エネルギー範囲である熱外中性子領域、0.5eV から 10keV、に生成中性子エネルギーに近い。そのためモデレータでの減速効率が高いことが予想される。その特徴を生かすためには、ターゲットが小型である方がよい。我々は高熱負荷に耐えられ RI の閉じ込め機能を持つ安定な固体・小型 Li ターゲ

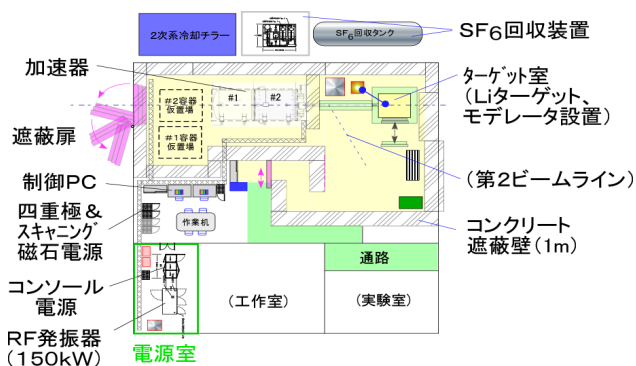


Figure 4: Building for the accelerator and layout of the accelerator, the beam lines and the moderator.

ットを開発することを計画している。構造案としては、概要を Figure 5 に示すように、Li 及び生成 RI を金属フォイルで閉じ込め、高熱負荷を水冷チャンネル構造で除去するものを考えている。

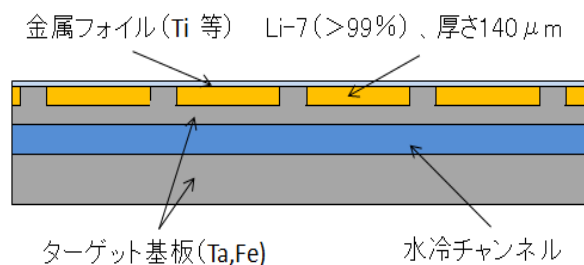


Figure 5: Schematic view of a target structure.

3.2 小型モデレータの開発

BNCT を行うために必要な中性子ビームの特性の推奨値が IAEA から出されている[3]。その条件を満たすような中性子ビーム発生するための減速材体系をシミュレーション計算で検討している。Li をターゲットとした場合、他の高エネルギー陽子を使用した場合と異なる点は、ターゲットと減速材の間に入れて高速中性子を減少させる Fe などのフィルターが要らないことである。

Figure 6 は現在検討中の減速材体系である。減速材としては MgF_2 、反射体には Pb を用いている。こ

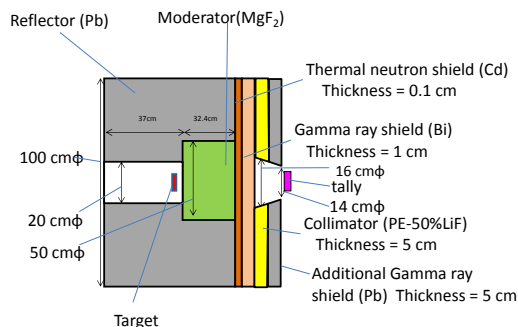


Figure 6: Model moderator assembly.

の組合せは、他の材料についても検討した結果、現在のところ最も優れていると考えられるものである。ビーム取り出し側のコリメータはγ線遮蔽、中性子遮蔽のための材料が設置されている。

Table 1 に熱外中性子強度と高速中性子混入率を示す。参考に IAEA の基準値も載せてある。熱外中性子強度も高速中性子割合も IAEA の基準をほぼ満たしている。

Table 1: Epithermal Neutron Flux and Fast Neutron Ratio

	熱外中性子束 [n/cm ² /s]	高速中性子混入率 [Gy·cm ²]
名大モデル	0.98×10 ⁹	2.0 x 10 ⁻¹³
IAEA 基準	1.0×10 ⁹	2.0 x 10 ⁻¹³

放射化の少ない効率のよい減速材体系を得るために、形状・サイズなどをはじめ全体に対して、さらに最適化のためのシミュレーション計算を進めている。

4. 今後の予定

現在、加速器は I B A 社において最終調整が進められており、工場試験で目標仕様の達成を確認後、日本に発送される予定である。名古屋大学への搬入・据付、コミッショニングを経て、1 月から陽子ビームを使用した実験を開始することを予定している。

並行して小型 Li ターゲット及び小型モデレータの開発を進め、平成 27 年度に中性子ビーム発生の予定である。

参考文献

- [1] 医療原子力技術研究振興財団ならびに日本中性子捕捉療法学会編「BNCT 基礎から臨床応用まで」
- [2] H.Tanaka, et al, Nucl. Instr. Meth., Physics Research B, 267 (2009) 1970-1977.
- [3] IAEA TECDOC-1223, Current Status of Neutron Capture Therapy, International Atomic Energy Agency (2001).