

ホウ素中性子捕捉療法用リアルタイム中性子ビームモニターの開発

(1) ビームモニターの特性評価

Development of Real-Time Neutron Beam Monitor for Boron Neutron Capture Therapy

(1) Characterization of Beam Monitor

*高田 真志¹, 八木 茄津未¹, 中村 哲志², 島田 健司³, 中村 勝³, 藤井 亮³, 伊丹 純^{2,4},
井垣 浩², 青山 敬⁵, 布宮智也⁵, 成田政隆⁵, 中村尚司^{5,6}

¹防衛大, ²国立がん研, ³CICS, ⁴新松戸中央総合病院, ⁵富士電機, ⁶東北大 CYRIC

ホウ素中性子捕捉療法の中性子ビームをリアルタイムに常時モニターできる中性子センサーを開発し、患者などの影響を受けずに中性子ビームの変動を計測できるようにした。本ビームモニターは患者位置の中性子ビーム変動とビーム電流と良い相関を示し、リアルタイムモニターとしての実用可能性を見出した。

キーワード：ホウ素中性子捕捉療法, 中性子, ガンマ線, シリコンダイオード検出器, リアルタイム計測

1. 緒言

現在、国立がん研究センターではホウ素中性子捕捉療法(BNCT)を用いた悪性黒色腫などを対象とした臨床試験が行われている。この BNCT は中性子をホウ素に捕捉させて原子核反応により生成されたアルファ線ががんを死滅させるものである。この治療に必要な大強度中性子ビームを加速器中性子源を用いて発生させている。患者に投与する中性子量は治療前後に金線を中性子で放射化させてオフラインで中性子を計測したり、ビーム電流値から発生中性子フラックスを推定している。中性子治療現場は、患者に照射される中性子をリアルタイムに計測できることを要望している。この要望に応えるため、本研究ではこの BNCT 治療中性子ビームを患者の影響を受けずにリアルタイムにモニターできるようにした。

2. 手法

中性子を患者に照射中でも中性子フラックスを計測できる方法として、中性子発生ターゲット上部にリアルタイム中性子モニターを設置することを考えた。大強度中性子フラックスと大線量率ガンマ線が混在する放射線環境下でも中性子をガンマ線から識別してリアルタイムに計測できるようにするために、薄膜フッ化リチウムと薄型シリコンダイオードを組み合わせた中性子センサーを開発した。設置場所は制限された狭い空間でもある。測定回路は市販の電子モジュールを利用し、高計数率計測を可能とした。この中性子センサーの特性は参考文献[1,2]にて報告済みである。

3. 結果

本中性子センサーをがんセンター BNCT 治療室の中性子ターゲットの上部に設置し、実際に BNCT 治療強度のビーム時間変化を計測した。その結果を右下図に示す。横軸に時間変化を、縦軸に計数値をプロットした。橙色実線が中性子モニターの中性子強度、灰色実線がガンマ線強度変動を表している。患者位置に設置した中性子モニターの測定結果（中性子強度）の時間変化を緑色実線で示す。中性子モニターは照射中の中性子フラックスの時間変化をガンマ線と識別して計測できている。ガンマ線の増加は周囲構造物の放射化の寄与により中性子と異なる時間変化を示している。ターゲットに照射しているビーム電流値の時間変化とも比較した結果、ビームモニターの計測量はビーム電流値（紺色実線）とも同じように時間変化していることが分かる。中性子モニターの計測値が照射中性子フラックスやビーム電流値と良い相関を示したことから、ビームモニターの中性子計測量から照射中性子フラックスをモニターできることが分かった。

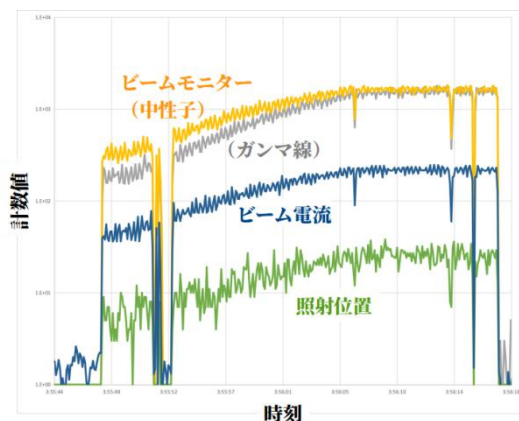
4. 結論

ビームモニターは患者へ照射される中性子フラックスの時間変動をガンマ線から識別してリアルタイムに計測できることを実証できた。シリコンダイオードは中性子損傷を受けやすいため、今後、センサーの交換頻度や素子の損傷が測定にどのような影響を与えるのかを調べていき、中性子ビームモニターとして実用化していく。

参考文献

[1] M.Takada et al., Radiation Measurements, Vol.137 (2020)

[2] M.Takada et al., Applied Radiation and Isotopes, Vol.176 (2021)



*Masashi Takada¹, Natsumi Yagi¹, Satoshi Nakamura², Kenji Shimada³, Masaru Nakamura³, Ryo Fujii³, Jyun Itami^{2,4}, Hiroshi Igaki², Kei Aoyama⁵, Tomoya Nunomiya⁵, Masakata Narita⁵, Takashi Nakamura^{5,6}

¹Nat'l Defense Acad., ²Nat'l Cancer Res. Ctr., ³CICS, ⁴Shinmatsudo Ctr. Gen. Hosp., ⁵Fuji Elec. Co., ⁶Tohoku Univ. CYRIC