

(西暦) 2021 年度 博士前期課程学位論文要旨

学位論文題名

熱蛍光板 BeO セラミックスの陽子線に対する基礎特性の調査

学位の種類: 修士 (放射線学)

東京都立大学大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻 放射線科学域

学修番号 20897708

氏名: 菅原 理

(指導教員名: 眞正 浄光)

粒子線治療は荷電粒子の物理的特性である「ブラッグピーク」を利用した放射線治療で、現在、主に陽子線と炭素イオン線による治療が行われている。粒子線治療はブラッグピークをがん病巣に一致させるように制御することで、がん病巣への線量を集中させ、正常組織への線量を低減させることができるため、限局性の固形がん治療に有効である。しかし、位置ずれによるわずかな誤差によってがん病巣への線量が不足し、正常組織へ線量が増加してしまう恐れがある。そのため、粒子線治療装置の品質保証が重要である。

現在、粒子線治療装置の品質保証に使用されている線量分布測定器は、2次元電離箱線量計とラジオクロミックフィルム(RCF)である。2次元電離箱線量計は空間分解能が不十分であり、急峻な線量分布の測定が難しい。一方、RCFは空間分解能が高いが、繰り返し測定することができず、また、線付与エネルギー(Linear Energy Transfer; LET)によって応答が変化する。そのため、粒子線の線量分布測定に適した検出器の開発が望まれている。

そこで、高空間分解能で再利用可能な熱蛍光線量計(Thermoluminescence dosimeter; TLD)として熱蛍光板 BeO セラミックスに着目した。BeO は実効原子番号が 7.13 と組織等価性が高く、現在、光刺激蛍光や熱蛍光(Thermoluminescence; TL)を利用した線量測定に利用されている。TL を利用した先行研究では、X 線に対して線量と蛍光量に比例関係があることや、時間フェーディングが 25 時間以内でほとんどないことが報告されている。しかし、粒子線に対する熱蛍光特性の詳細な調査は行われていない。そこで、本研究では熱蛍光板 BeO セラミックスの陽子線に対する基礎特性の調査を行い、粒子線の線量分布測定ツールとしての有用性を検討した。

まず、陽子線に対する熱蛍光板 BeO セラミックスの線量応答特性について調査した。その結果、0.5 Gy から 5.0 Gy の範囲において高い直線性を示した。一方、同様に行った他の粒子線の線量応答特性と比較したところ、粒子の種類によって直線の傾きが異なったため、粒子依存性や LET 依存性がある可能性が示唆された。

そこで、陽子線の深部量百分率測定を行い、深さを変化させることで LET を変化させ、LET 依存性の調査を行った。その結果、4.0 keV/μm 以下で熱蛍光の発光効率の変化が±10% となり、低 LET 領域での LET 依存性が小さいことが明らかとなった。また、Al₂O₃:Cr TLD の粒子線に対する TL 効率と比較したところ、熱蛍光板 BeO セラミックスは他の TL 素子と比較しても 4.0 keV/μm 以下において LET 依存性が非常に小さいことが明らかとなった。加えて、2つの素子の LET 依存性が大きく異なることから、2つの素子に同条件の陽子線を照射し発光効率の比を算出することで、簡易的に LET を計測できる可能性が示唆された。

次に、線量と LET の変化による熱蛍光板 BeO セラミックスのグロー曲線の特長調査を行った。解析の結果、グローピーク温度は線量や線種、LET によって変化しなかった。このことから、電子と正孔の捕獲サイトの種類は、線量や線種、LET に依存せず、同一のものであ

ることが明らかとなった。また、低温側と高温側に存在する2つのグローピーク強度比は、線量によって変化した。これは、線量の増加によって高温側のグローピークの捕獲中心への捕獲割合が低下しているため、電子が捕獲できる空のサイトが少なくなり、飽和状態に近づいたためであると考えられる。一方で、LET の変化によるグローピーク強度比は、LET の増加に伴い緩やかに変化した。このことから、グローピーク強度比は線量に依存するが、LET には大きく依存しないことが明らかとなった。

以上のことから、熱蛍光板 BeO セラミックスは、組織等価性が高く、粒子線に対する線量応答性が優れ、低 LET 領域での LET 依存性も非常に小さいため、低 LET 粒子線用の2次元線量分布測定ツールとして期待される。今後は、大面積の熱蛍光板 BeO セラミックスによる低 LET 領域での線量分布取得の有用性の検討や、LET 補正法の検討を行い、低 LET 粒子線の2次元線量分布測定の実験を行っていきたい。また、グロー曲線の特長調査においても、他の粒子線に対する形状比較を行い、粒子や高 LET 領域での捕獲準位の変動も詳細に調査し、メカニズムの解明も進めたい。