

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 8 月 24 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18321

研究課題名(和文)輝尽発光を利用した3次元線量分布測定に関する研究

研究課題名(英文)Study on three dimensional dose distribution measurement using photostimulated luminescence

研究代表者

横山 彰人(Akihito, Yokoyama)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 放射線高度利用施設部・主任技術員(定常)

研究者番号：10532088

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):数百MeV/nのエネルギーを有する炭素ビームが、がん治療に利用されており、照射によって付与された線量分布を計測する技術は、治療における安全性の向上に必要である。本研究の目的は、がん治療に利用される290-MeV/nの炭素ビーム照射によって生じるブラッグピークをガラス製の発光材料により測定することである。電離箱で測定されたブラッグピークは、水深127mmに見られ、ピークプラトー比は4.4であった。発光材料においても線量測定や炭素ビームによる治療計画を含めた品質保証プログラムに利用されるように添加する賦活剤の調整などの改良と検証実験を今後行う。

研究成果の概要(英文):Carbon beams at an energy of the order of hundreds MeV/n are used in heavy-ion therapy, and techniques of measuring the dose distribution given by the beam irradiation are necessary for improving the safety in the treatment. The purpose of this study was to examine whether the Bragg peak of the carbon beam can be measured by using glass material. The Bragg peak was measured by using the ionization chamber at the depths of 127 mm and the peak-plateau ratios was 4.4. Some improvements such as the amount of the activator were made for the the glass material G2000 so as to be used for dose measurement and quality-assurance programs involving therapeutic carbon beams.

研究分野：放射線計測

キーワード：重粒子線 線量分布 ブラッグピーク

1. 研究開始当初の背景

重粒子線を利用したがん治療では、シンクロトロンにより数百 MeV/n に加速した炭素ビームが利用される。本治療では、ビームラインに設置されたリッジフィルターによってビームの進行方向の線量強度分布を平坦にし、病巣の立体形状に合わせてポリエチレンや真鍮のブロックを加工した補償フィルター及びコリメータを設置することにより、粒子線の飛程と横方向の照射範囲を制御し、正常な組織に粒子が照射されないように配慮されている。今後、更に安全に治療を行うためには、病巣やその周辺の正常組織に付与された線量分布を正確に測定する技術が必要である。

これまで重粒子線のモニタには、プラスチックシンチレータや、金属酸化膜半導体電界効果型トランジスタなどによるリアルタイム計測が提案され、研究が進められてきた。これらの材料ではブラッグピークにおいて急激に生成される電子正孔対の再結合や、照射に伴う劣化により、照射量に対して発光量が比例しないなどの問題があった。また人体組織等価性の高い有機ポリマーに放射線が照射されたときの重合反応を利用した線量分布測定法であるポリマーゲル線量計の開発が進められているが、均一なゲルの製作が難しく、高分解能での線量計測には至っていない。

本申請において着目した板状の透明な発光材料(G2000、住田光学ガラス)は、コバルト 60 線源からのガンマ線を照射後に可視光励起によって誘起された発光を光電子増倍管によって測定することで、1 mGy ~ 1 Gy の範囲における照射線量を測定可能であることを見出した。またこの発光は微弱であるが、材料に添加する賦活剤の種類や量を調整することによって発光量の増大が可能であると考えられた。加えて、申請者は科研費(23760837)の助成を受けて、数百 MeV 重イオン 1 個の照射によって誘起されたシンチレーションを検出できる高感度な装置を構築したことから、これらを組み合わせれば、重粒子照射後の照射線量の読み出しが可能であるとの着想に至った。

2. 研究の目的

がん治療で利用される数百 MeV/n の重粒子線照射によって付与される線量、特にブラッグピークにおける線量測定を、照射後のフォトルミネッセンス (Photoluminescence: PL) によって実現する。

3. 研究の方法

重粒子が照射された蛍光ガラスの発光特性の変化を調べるためにフォトルミネッセンスや、フォトルミネッセンス励起分光 (Photoluminescence excitation) 測定が行った。PL および PLE 測定では、キセノン光源、スリット、分光器、励起光モニタ及び光電子

増倍管によって構成された分光蛍光光度計 (F-4500、日立ハイテクノロジー社製) を使用した。この装置は GPIB 接続されたパソコンによって、走査する波長範囲、励起側と蛍光側のスリット幅、光電子増倍管に印加する電圧などが設定可能である。試料の前段と後段のスリット幅は、2.5 nm に設定し、光電子増倍管の前には励起光を遮るために、光学フィルター (SCF-50S-48Y、シグマ光機製) が挿入した (図 1)。

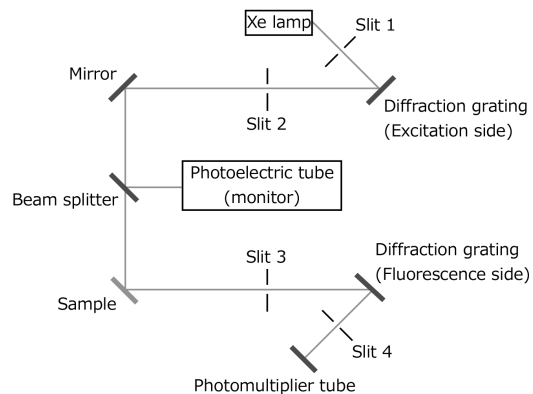


図1 測定装置の光学系

群馬大学大学院 医学研究科がん治療センターにおいて発光材料へ重粒子線を照射し、付与された線量と読み出された PL の関係を調べた。重粒子線の照射では、垂直照射が可能な治療室において、体内のがん病巣に照射するときの模擬体系を構築した。具体的には、人体組成と等価な水ファントムの深さを遠隔により調整可能な 2 連ジャバラ式水厚可変水槽(ATJP01, AEC 加速器エンジニアリング製)の下流にビーム軸に対して直行するように板状の発光材料を設置した。発光材料に重粒子線を照射する前には、1mm 厚の水と等価な 0.87mm のアクリルによってカバーされたマークス型電離箱(有効体積 0.02 cm³)によって水深の深さに対して付与される線量がリファレンスとして測定された。次いで重粒子線を発光材料に照射し、その後 24 時間以内に分光光度計によって線量読み出しのための PL 測定を行った。

4. 研究成果

重粒子線が照射された発光材料から付与された線量を読み出すための PL 測定が行われた。その結果、488 nm、543 nm、586 nm 及び 623 nm にピークが見られ、543 nm のピークが最も大きかった。これら 4 つのピークは、それぞれ 5D₄ 7F₆: 497 nm、5D₄ 7F₅: 550 nm、5D₄ 7F₄: 592 nm、および 5D₄ 7F₃: 628 nm の遷移に対応するものであった。これらは励起された Tb³⁺の電子が(Tb³⁺)⁺と励起状態で再結合した後、Tb³⁺の基底状態に戻るときの発光であると考えられる。

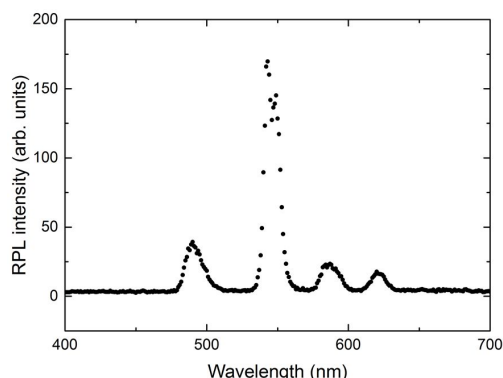


図2 発光材料のPLスペクトル

図2の最大ピーク543 nmを検出波長として、発光材料の励起スペクトル測定が実施された。その結果、図3のように242 nmに最大の発光強度が得られたため、重粒子線で付与された線量の読み出し波長については、242 nmを採用した。

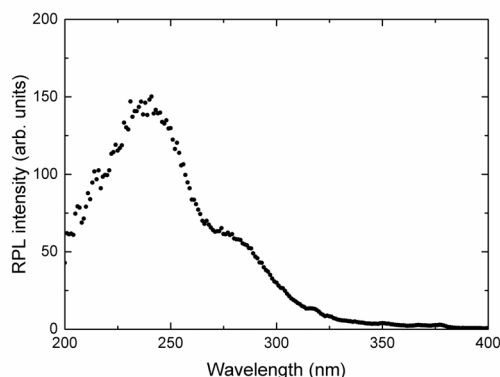


図3 発光材料の励起スペクトル

水槽の水ファントムの深さを変えて重粒子線をマークス型電離箱に照射したときの線量測定を実施した結果、電離箱で測定されたピークからプラトーにおける線量は15 Gyから68 Gyだった。一方、相対強度比は4.2(図4)であり、ピークの水深は127 mmであった。今後は、発光材料でもこれらの範囲の線量測定が可能になるよう重粒子照射後の読み出し測定と、得られた結果を基にして材料の調整を行う予定である。

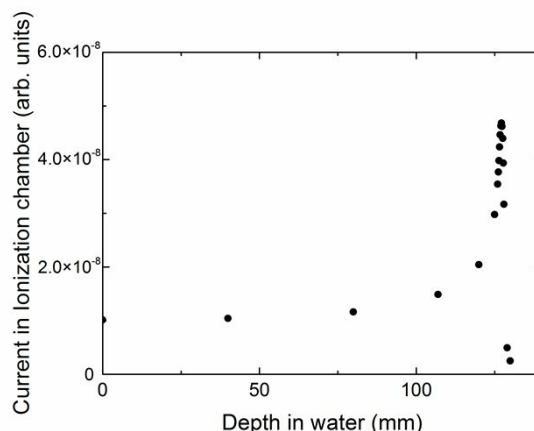


図4 電離箱によって測定された重粒子線照射によるブラッグピーク

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- [雑誌論文](計 0件)
- [学会発表](計 0件)
- [図書](計 0件)
- [産業財産権]

出願状況(計 0件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 彰人 (YOKOYAMA, Akihito)
 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所 放射線高度利用施設部 主任技術員(定常)
 研究者番号：10532088