

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23791450

研究課題名(和文)熱蛍光薄膜体による3次元線量分布測定

研究課題名(英文)Three-dimensional dose distribution measurements using Thermoluminescence dosimeter sheet

研究代表者

黒河 千恵 (Kurokawa, Chie)

順天堂大学・医学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：20399801

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、線量分布測定用として開発した組織等価型の熱蛍光薄膜体(TLDシート)、および光刺激蛍光薄膜体(PSLDシート)を用いて、光子線、電子線の線量の2次元・3次元的评价を精度良く行うことである。これまでの研究成果として、1) 熱・光フェイディング、繰返し使用による感度変化、分割照射による感度変化を調べ、測定・解析に伴う誤差が最小となるプロトコルを作成、2) 放射線治療に用いられるエネルギー領域の光子線、電子線の3次元線量分布の測定が可能であることを示し、3) 線量分布が急勾配となるような強度変調放射線治療(IMRT)においてもシートによる線量分布測定が有効であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have developed a tissue-equivalent Thermoluminescence Dosimeter (TLD) and a Photo-Stimulated Luminescence Dosimeter (PSLD) sheets and evaluated their characteristics for dose distribution measurements for photon and electron beams. The luminescence can advantageously be estimated without any pre-annealing treatment due to absence of any considerable glow component around the room temperature range. Through the evaluation of sheets characteristics (thermal and light fading, dose proportionality and repeatability) we established a dosimetry protocol for the measurements using the sheets with high accuracy. The percent depth dose and dose profile measured with the sheets well reproduced the results with ionization chamber. Although the small uniformity variation of the sheet was observed, the results reproduced the calculated IMRT dose distribution. It is shown that our sheets enable us to evaluate the dose distribution where it is difficult for the previous detectors to access.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：線量計測 強度変調放射線治療 熱蛍光線量計 放射線治療

1. 研究開始当初の背景

放射線治療ではレントゲンや CT 検査の 100 倍以上もの高線量の放射線を人体に照射するため、どのような治療の条件においても線量を計算する装置 (治療計画装置) を用いて予め正確に線量を求める必要がある。しかしながら、患者へ投与される表面線量 (患者体表面から 1~2cm の深さまで) は、皮膚への障害や、近年研究が進められている電子線強度変調治療 (電子線 IMRT) などにおいて重要であるにもかかわらず、これまで定量的な線量評価の対象としては扱うことが困難であった。その原因として、1) 線量計算を行う治療計画装置の計算精度の問題、2) 治療計画装置へ入れる測定データの精度不足 が挙げられる。線量計算精度の問題については、モンテカルロ法など新しい高精度な計算アルゴリズムが提案される中、測定方法の改良はほとんど議論されてこなかった。

表面線量を精度良く測定するために使用する線量計には、測定有効体積が小さく、低エネルギー放射線に対してもレスポンスが変化しない、などの特性が求められる。既存の測定は、電離箱やダイオード、フィルムを用いて行われてきたが、表面線量を測定するにはその各々に問題が残されている

2. 研究の目的

本研究の目的は、線量分布測定用として開発された新しいタイプの組織等価熱蛍光薄膜体 (TLD フィルム、特許出願番号: 特願 2010-197877 号) および組織等価光刺激蛍光薄膜体 (PSLD フィルム、特許出願番号: 特願 2011-223026) を用いて、表面線量を含めた線量の 2 次元・3 次元的評価を行い、より高精度な治療を安心して患者へ提供できるようにすることである。本目的のため、我々は組成が異なる 2 種類の TLD フィルム (M 型、C 型) および PSLD フィルム (A 型) を開発した。TLD、PSLD フィルムの特徴は表 1 の通りである。また、TLD/PSLD フィルムは既存のフィルムと比較して薄く、柔らかいため、自由に形を成型できることから、これまでの線量計では測定が困難であった治療部位やその周囲の正常組織も含めて、3 次元的に解像度の高い線量分布の測定を容易に行うことが可能である。これにより、多くの施設で簡便に精度の高い測定データを入力することが可能となり、より正確な線量計算と評価を実現化することを目指す。

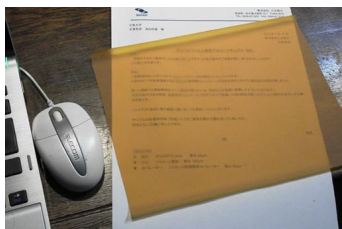


図 1: 本研究で用いる熱蛍光薄膜体 (TLD フィルム) 厚さは約 0.1mm。

表 1: TLD/PSLD の特徴。Z_{eff} は有効原子番号。

	タイプ	Z _{eff}	線量レンジ	読取り方法
TLD	M 型	7.3	Up to	275 °C, 480 s.
	C 型	7.4	1000 Gy	200 °C, 180 s.
PSLD	A 型	7.6	0.01 to 10 Gy	blue LED, 20 s.

3. 研究の方法

TLD/PSLD フィルムの 2 次元平面での感度を補正するため、まず標準測定として 2 Gy をフィルム体に照射し、フィルム毎の蛍光像を撮影する。その後、各フィルムを 2~50 mm の厚さのタフウォータ板に挟んで積層体とし、以下(1)から(4)の測定を行った。測定後、先の標準測定で求めた感度係数を用いて補正し線量分布を求めた。発光画像の読取りの条件は、M 型 TLD では 275 度に熱して 480 秒、C 型 TLD では 200 度で 180 秒、PSLD では青色 LED を照射し 20 秒間である (表 1)。また、本研究で用いる TLD は、扱う温度領域 (室温) において、大きなグローピークが無いため、アニーリングの必要が無いという利点がある。

- (1) フィルム特性 (6MV 光子線を使用)
 - 熱・光フェイディング:** 2 Gy 照射後、室温・蛍光灯下での発光強度変化を調べた。
 - 耐久性:** 1枚のフィルムに対し 2 Gy 照射と読取りを 10 回繰返し、感度変化を調べた。
 - 線量加成性:** 総線量 4 Gy を 1 回、2 回、4 回に分割して照射し感度変化を調べた。照射の時間間隔は 3 分とした。
- (2) 光子・電子線線量分布 (PDD, プロファイル) 測定

照射野サイズ 10 × 10 cm² の光子線 (4, 6, 10 MV)、電子線 (6, 9, 12, 15 MeV) を 2 Gy 照射し、深さ方向の線量比 (PDD)、および軸外線量比 (プロファイル) を求めた。各結果を、PDD やプロファイル測定の推奨装置であるイオンチェンバーによるデータと比較した。
- (3) IMRT 線量分布測定

各フィルムを標準測定した後、強度変調放射線治療 (IMRT) の照射を行った。その後、先に求めた感度係数によって補正を行い、IMRT 線量分布を求めた。さらに、測定結果を治療計画装置 (Pinnacle³、Philips 社) から得られる 2 次元線量分布の計算結果と比較した。
- (4) 高原子番号物質存在時の光子・電子線線量分布測定

標準測定後、5 × 5 cm² の高原子番号物質

(チタン: Ti / 鉛: Pb)を挿入したタフウォータ板に各フィルムを挟んで積層体とし、光子線と電子線を照射して得られた発光強度に対して、先に求めた感度係数を補正した線量分布を求めた。

4. 研究成果

(1) フィルム特性

熱・光フェイディング: C型フィルムでは、照射後5時間は室温で約5%/時間の熱フェイディングがあった。光フェイディングは1%程度であった。M型フィルムでは、熱・光フェイディングはほとんど検出されなかった。A型フィルムは発光強度が他のフィルムに比べて弱いものの、熱・光フェイディングは十分小さかった。

耐久性: 繰返し使用することにより感度上昇の傾向が見られたが、10回使用時の変化は5%以内であった。

線量加成性: 総線量4 Gyに対する分割時の測定線量の誤差は、3分間の時間間隔では最大1.9%であった。

(2) 光子・電子線線量分布 (PDD, プロファイル) 測定

光子線測定: PDD、プロファイル共に、感度係数補正後に得られたデータは滑らかな曲線となり、PDDについては表面を除き電離箱での測定結果とよく一致した。電離箱で測定した表面線量は50%程度であったのに対し、フィルムでは15%程度となった。光子線についてはフィルム間の大きな差異は見られなかった(図2)。

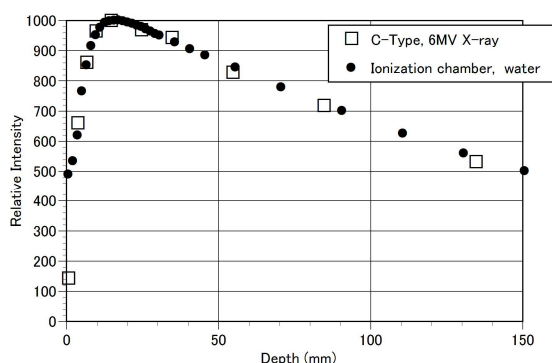
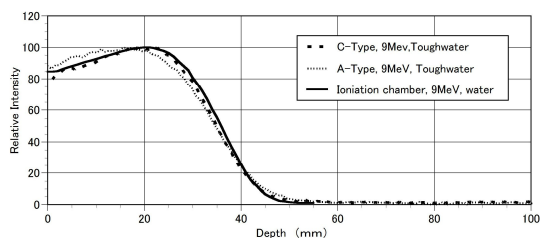


図2. C型 TLD フィルムとイオンチェンバーを用いた6 MV 光子線の PDD。□ は C 型 TLD フィルム、● はイオンチェンバーの結果。

電子線測定: C型フィルムの結果が電離箱による測定結果を最も良く再現した(図3)。これより、C型フィルムはエネルギー依存性が小さいと考えられる。

図3. C型 TLD、A型 PSLD、およびイオンチェンバーを用いた9 MeV 電子線の PDD の測定結果。



(3) IMRT 線量分布測定

PSLD フィルムによる IMRT 線量分布測定結果を図4 (b)に示す。図4 (a)は治療計画装置 (Pinnacle³)による計算結果であるが、これと比較して PSLD による測定結果ではデータのばらつきが見られた。すなわち、PSLD における2次元平面上で感度係数の補正が完全にはできていないことがわかる。これについては、PSLD フィルム自体の改良が必要であり、用いる蛍光体を細粉化することにより画像粒子の高細密化が出来ることが判明している。

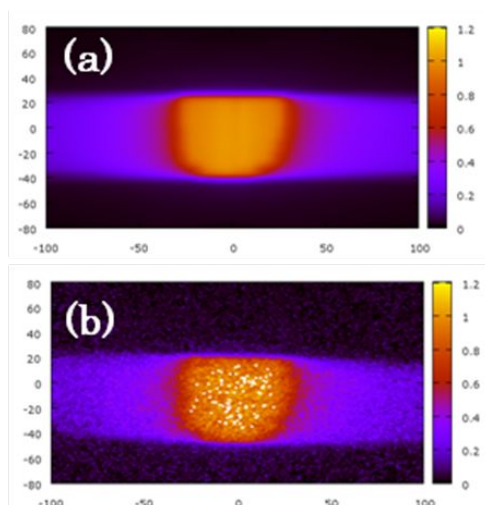


図4 PSLD フィルムによる IMRT 線量分布測定結果。(a) 治療計画装置による計算結果、(b) PSLD フィルムによる測定結果。線量はアイソセンターで規格化。

(4) 高原子番号物質存在時の光子・電子線線量分布測定

6MV の光子線照射の場合、水への線量と比較し Ti の直上では 1.2 倍、直下で 0.84 倍の線量の変化があり、Pb では直上で 2.1 倍、直下で 0.77 倍の変化が認められた。また、照射する光子線のエネルギーを変化させた場合、Pb の直上では水に比べて 4 MV: 2.3 倍、10 MV: 1.75 倍の線量増加が確認され、後方散乱の影響は、10 MV の方がより Pb から離れた深さまで認められた。また、線量分布測定に用いられる既存のガフクロミックフィルム (EBT3) と TLD フィルムの比較では、Pb による後方散乱の影響のみ相違がみられた

(図5)

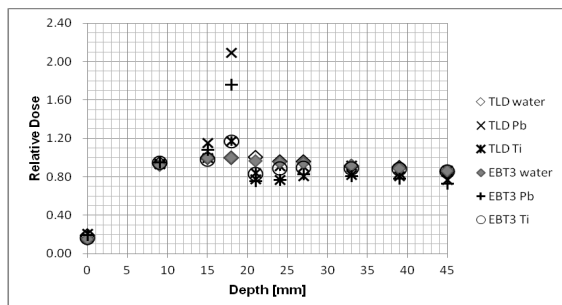


図5. EBT3 および TLD フィルムを用いた測定による深さ方向の相対線量。Pb/T プレートは 18 mm から 21 mm の深さに挿入。

考察

フィルムを扱う上での基礎特性の測定結果より、TLD (M 型、C 型)、PSLD (A 型) の特性を踏まえた各フィルムに対する測定プロトコルを作成することで、精度の良い 2 次元、3 次元の線量測定を行うことが可能であることを確認した。また、光子線・電子線の線量分布測定では、ごく表面を除いては、電離箱を再現する結果が得られた。この違いは測定器の有効体積の違いによるところが大きく、体積の小さい TLD ではより真の値に近いと考えられる。

IMRT の線量分布検証結果から、蛍光像の感度や TLD/PSLD フィルム自体の均一性などになお改善すべき箇所は見られたが、IMRT による急峻な線量分布に対してもフィルムによる 2 次元および 3 次元の線量分布測定が可能であることが示された。

また、TLD フィルムの厚さが約 0.1mm であることを生かし、Ti や Pb による線量の影響を Ti/Pb の直上・直下まで含めて調べた結果、Ti に比べて Pb による線量への影響は大きく、照射エネルギーが高くなると、この影響は不均質物質から離れた深さまで残ることが認められた。これらは従来から知られていた不均質物質存在時の特性と定性的に一致しており、薄い TLD フィルムを用いることによって、不均質物質の表面まで含めて定量的な測定が可能となると考える。また、既存のフィルム (Gafchromic EBT3) と TLD の測定で確認された Pb による後方散乱の影響の違いの原因としては、両者の厚さの違い (TLD 約 0.1mm vs. EBT3 約 0.27mm) や、低エネルギー光子線・電子線に対する感度の違いが考えられる。

以上を踏まえ、今後は、低エネルギー光子線・電子線に対する TLD フィルムの応答特性や線量依存性などを詳細に調べ、これまでの線量計の設置が困難であった場所での線量測定に適用していく予定である。

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 1 件)

“Measurements for dose distribution with a photo-stimulated luminescence dosimeter sheet” Kurokawa C, Urushiyama A, *Journal of Physics*, 444, pp.0120305-1-4, 2013 査読無し

〔学会発表〕(計 9 件)

国際学会

“Characteristics of tissue-equivalent thermoluminescence and photo-stimulated luminescence sheets” Kurokawa C, Urushiyama A, Nishio, ESTRO 33, 2014 年 4 月 4 日~8 日, オーストリア, ウィーン

“Characteristics of TLD and PSLD Films for Photon and Electron Dose Measurements” Kurokawa C, Urushiyama A, Nishio T, Sugimoto S, 55th AAPM Annual Meeting, 2013 年 8 月 4 日~8 日, アメリカ, インディアナポリス; *Med. Phys.* 40 (6), pp.231, 2013

“Measurements for dose distribution with a photo-stimulated luminescence dosimeter sheet” Kurokawa C, Urushiyama A, 7th International Conference on 3D Radiation Dosimetry, 2012 年 11 月 4 日~8 日, オーストラリア, シドニー

“3D dose distribution measurements with a new TLD sheet” Kurokawa C, Urushiyama A, Ozawa S, Toramatsu C, Sugimoto S, Fujita T, Tsutsumi Y, Ito K, Karasawa K, 2011 Joint AAPM/COMP meeting, 2011 年 7 月 31 日~8 月 4 日, カナダ, バンクーバー; *Med. Phys.* 38 (6), pp.3517, 2011

国内学会

“Characteristics of tissue-equivalent Thermoluminescence and Photoluminescence films” Kurokawa C, Urushiyama A, Nishio T, 第 105 回日本医学物理学会学術大会, 2013 年 4 月 11 日~14 日, 日本, 横浜 (パシフィコ横浜)

“組織等価型熱蛍光フィルムの光子線線量特性の検証 - 高原子番号物質の影響 -” 黒河千恵, 漆山秋雄, 西尾禎治, 日本放射線腫瘍学会第 26 回学術大会, 2013 年 10 月 18 日~20 日, 日本, 青森 (ホテル青森)

“組織等価型熱蛍光フィルムおよび光刺激蛍光フィルムによる線量分布測定” 黒河千恵, 漆山秋雄, 西尾禎治, 第 2 回 3D ゲル線量計研究会, 2013 年 12 月 7

日~8日, 日本, 東京(東京女子医科大学)
“組織等価型熱蛍光フィルムおよび光刺
戟蛍光フィルムによる線量分布測定”
黒河千恵, 漆山秋雄, 第1回3Dゲル線
量計研究会, 2012年12月2日, 日本, 広
島(広島国際大学)
“組織等価型輝尽蛍光フィルムの積層体
による3次元線量分布測定” 黒河千恵,
漆山秋雄, 小澤修一, 杉本聡, 唐澤久美
子, 日本放射線腫瘍学会第24回学術大
会, 2011年11月17日~19日, 日本, 神
戸(神戸ポートピアホテル)

()

研究者番号:

〔図書〕(計1件)

「詳説: 放射線治療の精度管理と測定
技術-高精度放射線治療に対応した実践
Q&A-」岡本裕之監修, 中外医学社, 2012
年

〔産業財産権〕

出願状況(計2件)

名称: 熱蛍光板状体、熱蛍光積層体、熱蛍光
板状体の製造方法、及び熱蛍光積層体の製造
方法

発明者: 漆山秋雄, 黒河千恵

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2010-197877 号

出願年月日: 2010年9月3日

国内外の別: 国内

発明者: 漆山秋雄, 黒河千恵

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 出願番号 PCT/JP2012/057254

出願年月日: 2012年3月14日

国内外の別: 国外

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒河 千恵 (KUROKAWA, Chie)

順天堂大学・医学部・助教

研究者番号: 20399801

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者