

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K17213

研究課題名（和文）フォトクロミックフィルム放射線線量計の開発と医療応用への実践

研究課題名（英文）Development of a novel photochromic dosimetry film

研究代表者

田村 命（Tamura, Mikoto）

近畿大学・医学部・助教

研究者番号：60810968

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）：医療におけるフィルム線量測定には、ラジオクロミックフィルムが一般的に用いられるが、結果取得まで時間を要することや、高価という欠点がある。フォトクロミック分子の化学反応で放射線量に対して可視化できる色素を用いて、課題を打開できるフィルム開発を目指した。放射線診断領域のkVX線に対して感度を持つことを明らかにした。照射後、即座に結果を取得でき、放射線診断領域およびkV線を用いる小線源治療での測定に適用できる可能性を示した。放射線治療領域の高エネルギーのX線・電子線に対しては、感度が低く、フィルムでは測定できなかったが、フィルムに塗布する液体の状態では感度を持つことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療におけるフィルム線量測定は、放射線治療における2次元線量分布の測定や個人の被ばく線量の管理などに用いられる。広く用いられるラジオクロミックフィルムは、測定結果取得までに時間を要することや、海外製品であるため高価、といった欠点がある。本邦で開発されたX線に高感度のフォトクロミック化合物の色素を用いて、医用放射線の線量測定の可能性を明らかにし、フィルムに加工、即座に放射線量を測定できる安価な国産フィルムを開発する意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：Radiochromic film (RCF) is commonly used as a measurement tool in clinical practice. However, the results are not immediately available, it takes from several hours to 24 h, and expensive. We aimed to develop a novel film with diarylethene (DAE) as one of photochromic molecules, which could visualize the radiation dose by chemical reaction, to overcome the disadvantages of the RCF. The DAE film was found to achieve the sensitivity to the kV X-ray with a range suitable for clinical uses. It can be analyzed immediately after irradiation. It is anticipated the DAE film can be used in clinical practice, such as radiation diagnostics and brachytherapy, employing either kV X-rays or β -rays. For MV X-ray and electron beams used in radiotherapy, the DAE film could not achieve the sensitivity to those radiation, while it was found that the liquid DAE could have the sensitivity to the radiation dose.

研究分野：医学物理、放射線技術学

キーワード：フォトクロミック化合物 ジアリアルエテン 医用放射線 放射線線量計 フィルム線量測定 X線 電子線

1. 研究開始当初の背景

医療におけるフィルム線量測定は、放射線治療における2次元線量分布の測定や個人の被ばく線量の管理などに用いられる。従来、ハロゲン化銀の微結晶をフィルムベースに塗布したラジオグラフィックフィルムが使用されていたが、画像診断のデジタル化への移行により、フィルム現像機や暗室を保持する施設が減少、代替としてラジオクロミックフィルム(RCF)が広く使用されるようになった。しかし、RCFは照射後もフィルムの黒化が進むため、結果の取得に数時間から24時間を要するといった大きな欠点がある。結果を即座に取得できるフィルムの開発が課題であった。

2. 研究の目的

本邦で開発された、フォトクロミック化合物の化学反応で、X線を高感度に可視化できる色素を用いて、医用放射線の線量測定の可能性を明らかにし、フィルムに加工することで、即座に放射線量を測定できる医療特化型フィルム放射線線量計を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) ジアリールエテン(DAE)フィルムの概要

フォトクロミック化合物の一つであるジアリールエテン(DAE)の誘導体は、紫外線を照射すると図1に示す化学反応を起こし、変色したり、励起光を当てると発光する。前者の変色反応には10 Gyから100 Gy必要であり、医療用の放射線量測定に利用するのは難しい。そこで後者の反応を利用するために、DAEフィルムを、紫外線カット層、感光層(DAE)、増感層(BaFCl:Eu)の3層構造とした(図2)。紫外線カット層ではDAEの外部からの紫外線による感光を防ぐための層であり、増感層はX線を紫外線領域の波長に変換し、感度を向上するための層である。

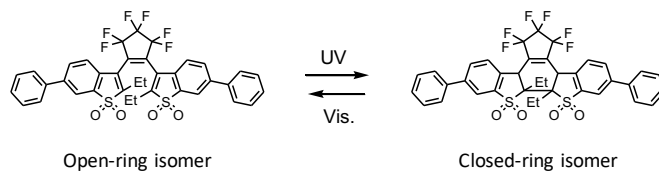


図1. 今回用いたジアリールエテンの誘導体の化学式。照射した紫外線の量に応じて、開環体から閉環体に異性化する。

DAEフィルムの放射線量測定の流れを図3に示す。1. 照射された放射線が増感層によって紫外線領域の波長に変換され、DAEに吸収、2. スキャンから3. 表示では、波長が465 nmの励起光(青色LED光)によりDAEを発光させ、発光強度マップを取得、4. 解析では、線量と発光強度の関係(特性曲線)を用いて発光強度を放射線量に変換する。

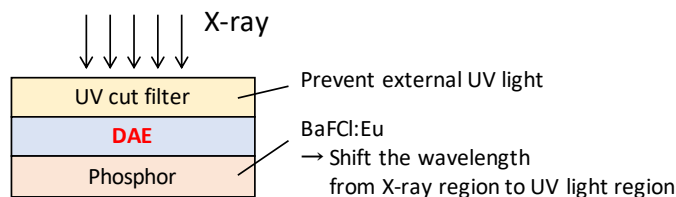


図2. DAEフィルムの構造。

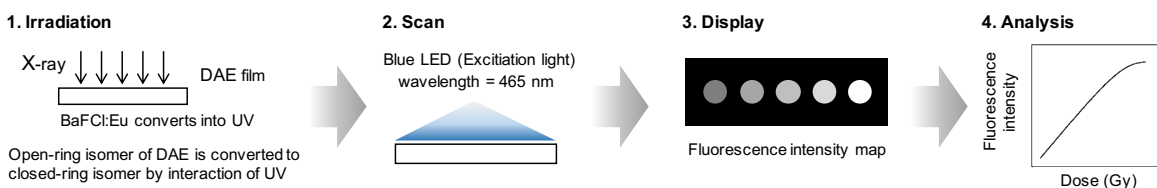


図3. DAEフィルムによる放射線量測定の流れ。

これらの放射線量測定法を用いてDAEフィルムが医用放射線に感度を持つか、以下の方法で検討した。

(2) 放射線診断領域のX線に対する放射線量測定

150 kVのX線を、線量が0.1、0.2、0.3、0.5、0.7、1.0、2.0、3.0、5.0 GyとなるようにDAEフィルムに照射、1時間以内にスキャンを行い、取得した発光強度マップから階調を持つか検討した。また、RCFにも同じ条件で照射を行い、24時間後にスキャンを実施、フィルムの黒化度と線量との関係を取得、DAEフィルムの特性曲線と比較した。

(3) 放射線治療領域のX線・電子線に対する放射線量測定

4および10 MVのX線と6および12 MeVの電子線を、線量が0.1、0.2、0.5、1.0、2.0、5.0 GyとなるようにDAEフィルムに照射、1時間以内にスキャンを行い、発光強度マップにて階調を持つか検討した。また、液状のDAEにも同様に照射を行い、特性曲線を取得、階調を持つか検討した。

4. 研究成果

(1) 放射線診断領域の X 線に対する放射線量測定
 図 4 に発光強度マップを示す。視覚的にも各線量に対する階調を確認できた。また、DAE フィルムと RCF の特性曲線を図 5 に示す。DAE フィルムの方が RCF よりも、より線形な関係が得られた。また、解析から 10 分後でも発光強度に変化がないことも確認、即座に結果を得られることがわかった。こちらの成果は、英語論文として掲載された (Tamura et al. Radiat Meas. 2021.)。

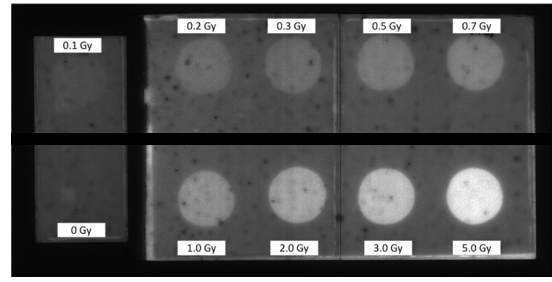
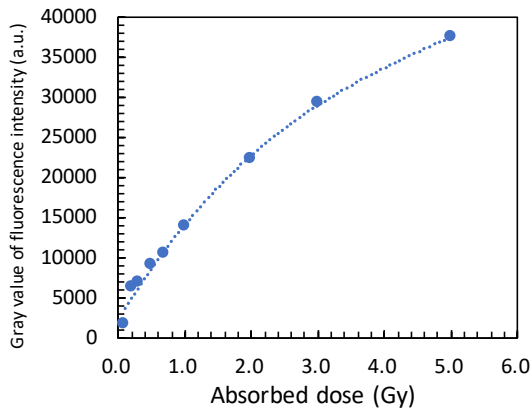


図 4. 各線量における DAE フィルムの発光強度マップ

(a) Diarylethene (DAE) film



(b) Radiochromic film (RCF)

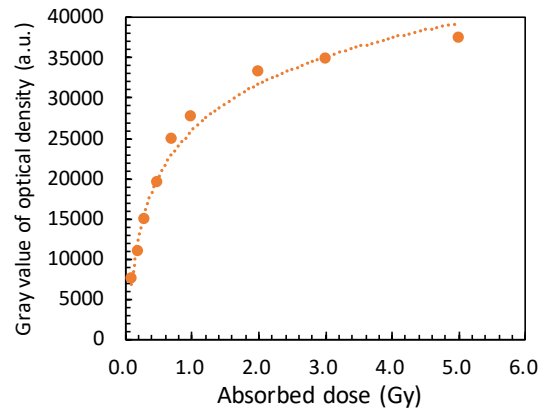
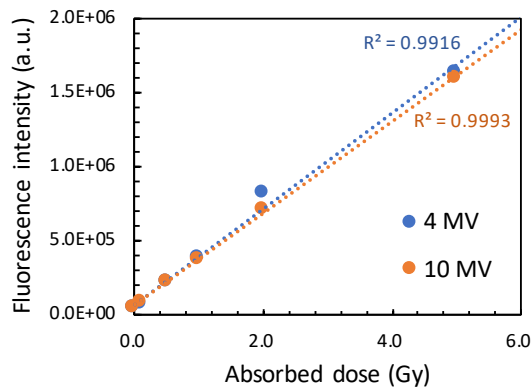


図 5. (a) DAE フィルムの線量と発光強度との関係。(b) RCF の線量と黒化度との関係。

(2) 放射線治療領域の X 線・電子線に対する放射線量測定

放射線治療で用いる X 線や電子線に対して、DAE フィルムは十分な感度がなかった。散乱線を増加させるために銅などの金属を用いたり、反応点のエチル基を n-ブチル基に変更するも、有意な感度の向上は確認できなかった。フィルムに塗布する前の液状の DAE に対しては、図 6 に示されるように、線量に対して階調を得ることができた。放射線治療領域の線量測定に DAE をフィルム状で使用するには、フィルム構造や測定から解析のさらなる見直しが必要である。

(a) X-ray



(b) Electron

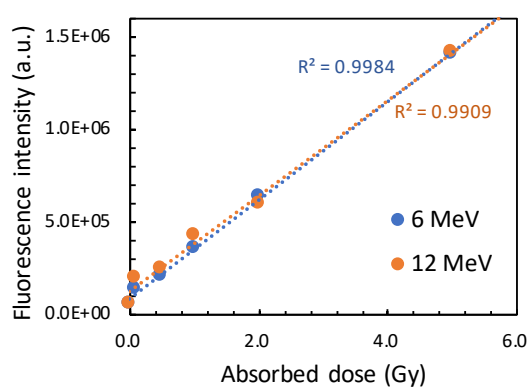


図 6. 放射線治療領域における(a) X 線と(b) 電子線に対する液状の DAE の線量と発光強度との関係。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tamura Mikoto, Monzen Hajime, Matsumoto Kenji, Otsuka Masakazu, Nishimura Yasumasa	4. 巻 145
2. 論文標題 Feasibility study of a photochromic diarylethene film as a clinical dosimeter for kV X-rays	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiation Measurements	6. 最初と最後の頁 106608
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.radmeas.2021.106608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Okuhata Katsuya, Tamura Mikoto, Monzen Hajime, Nishimura Yasumasa	4. 巻 44
2. 論文標題 Dosimetric characteristics of a thin bolus made of variable shape tungsten rubber for photon radiotherapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical and Engineering Sciences in Medicine	6. 最初と最後の頁 1249 ~ 1255
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13246-021-01059-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kawai Yoshihiro, Tamura Mikoto, Amano Morikazu, Kosugi Takashi, Monzen Hajime	4. 巻 41
2. 論文標題 First clinical experience of tungsten rubber electron adaptive therapy with real-time variable-shape tungsten rubber	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Anticancer Research	6. 最初と最後の頁 919 ~ 925
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21873/anticancer.14845	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yanagi Yuya, Tamura Mikoto, Monzen Hajime, Matsumoto Kenji, Takei Yoshiki, Noma Kazuo, Kida Tetsuo	4. 巻 77
2. 論文標題 Application of real-time variable shape tungsten rubber for nail radiation protection in the total skin electron beam (TSEB) therapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi	6. 最初と最後の頁 145 ~ 152
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.6009/jjrt.2021_JSRT_77.2.145	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tamura Mikoto, Monzen Hajime, Matsumoto Kenji, Otsuka Masakazu, Nishimura Yasumasa, Okumura Masahiko	4. 巻 77
2. 論文標題 Design of commissioning process for Halcyon linac with a new rigid board: A clinical experience	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Medica	6. 最初と最後の頁 121 ~ 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejmp.2020.08.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Mikoto Tamura, Hajime Monzen, Kenji Matsumoto, Masakazu Otsuka.
2. 発表標題 Development of a new photochromic diarylethene film for clinical dosimetry.
3. 学会等名 The 19th Asia-Oceania Congress of Medical Physics. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mikoto Tamura, Hajime Monzen, Kenji Matsumoto, Masakazu Otsuka.
2. 発表標題 Feasibility of a new photochromic diarylethene film for clinical dosimetry in diagnostic area.
3. 学会等名 The 7th Annual Congress of Vietnam Association Radiation Technologist. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Kijima, Anchali Krisanachinda, Petchaleya Suwanpradit, Mikoto Tamura, Yasumasa Nishimura, Hajime Monzen.
2. 発表標題 Radiation shielding efficiency of tungsten rubber in interventional radiology.
3. 学会等名 The 7th Asia Radiation Therapy Symposium. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Kubo, Masakazu Otsuka, Min-Geon Choi, Mikoto Tamura, Kenji Matsumoto, Hajime Monzen.
2. 発表標題 Evaluation of shielding ability of a novel radiation shielding material, free-form tungsten containing rubber: actual measurement and Monte Carlo simulation.
3. 学会等名 The 19th Asia-Oceania Congress of Medical Physics. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Kosaka, Shota Hattori, Koji Yamada, Mikoto Tamura, Hajime Monzen.
2. 発表標題 To compare the radiation shielding ability of tungsten functional paper and Organ-based tube current modulation for the eye lens in head computed tomography: A phantom study.
3. 学会等名 The 19th Asia-Oceania Congress of Medical Physics. (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------