

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K07679

研究課題名（和文）放射線による水の発光を用いた放射線治療品質管理ツールの開発

研究課題名（英文）Imaging Cherenkov emission for quality assurance of radiation therapy

研究代表者

余語 克紀（Yogo, Katsunori）

名古屋大学・医学系研究科（保健）・助教

研究者番号：30424823

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：高線量率（HDR）小線源治療のチューブ内の線源位置を直接測定するため、新たにチェレンコフ光イメージングに基づく簡便で迅速な方法を開発し、性能を評価した。発光画像から測定された線源の位置と停留間隔は、模擬線源の測定値や治療機の設定値と同程度であった。提案した方法は、発光画像から線源位置をリアルタイムにフィルムレスで測定でき、事前に医師の指示した線量が正確に処方できるかの確認に役立つと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高線量率小線源治療の品質保証は、従来、時間がかかり、煩雑であったが、この方法により、迅速かつ簡便に行うことが可能になった。線源動作エラーを未然に発見することで、さらに、安全ながん放射線治療に寄与すると期待される。放射線による治療器具の発光を、広くがん放射線治療の品質保証法に適用できる可能性を示すことができるため、さらなる応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：We developed a novel and simple method to measure the source positions in applicators directly for high-dose-rate (HDR) brachytherapy based on Cherenkov emission imaging, and evaluated the performance. The light emission from plastic applicators, irradiated by an ^{192}Ir -ray source, was captured using a charge-coupled device camera. We attached plastics to a metal applicator, to use as screens for the Cherenkov imaging. We determined the source positions and dwell intervals from the light profiles and compared these with preset values and dummy marker measurements. The source positions and dwell intervals measured from the light images were comparable to the dummy marker measurements and preset values. The proposed method should be suitable for rapid and easy quality assurance (QA) investigations in HDR brachytherapy. The method allows for real-time, filmless measurements of the source positions to be obtained and is useful for rapid feedback in QA procedures.

研究分野：医学物理

キーワード：放射線治療 チェレンコフ光 高線量率小線源治療 品質保証 線源位置測定

1. 研究開始当初の背景

20~30歳代女性の子宮頸がんの発症率が増加している中、高線量率（HDR）小線源治療は副作用が少なく、集中して高い線量を投与できる優れたがん治療法である。治療では、米粒大の小さな γ 線源をがんへ運び、線源の止まる位置と止まる時間を制御して線量を投与する。しかし、高い線量率のため、線源動作のエラーの見逃しがあると、誤照射事故が起きる可能性があった。そのため、治療前の検証で、治療チューブ内の線源動作のエラーを目で見て分かりやすい品質保証ツールがあれば、事故を未然に防ぐのに有用と考えられる。しかし、従来の品質保証法では時間がかかり、煩雑であった。

2. 研究の目的

本研究では、目に見えない γ 線を可視化するため、水およびプラスチック製の治療チューブからの発光（チェレンコフ光）に着目した。高線量率小線源治療のチューブ内の線源位置を直接測定するため、新たにチェレンコフ光イメージングに基づく簡便で迅速な方法を開発し、性能を評価した。

3. 研究の方法

子宮頸がん治療に用いるプラスチック製の治療チューブ内から、 ^{192}Ir の γ 線を照射し、水やプラスチック製チューブからの発光を CCD カメラで撮影した(図1)。また治療によっては金属製チューブを用いることもある。金属製の治療チューブに対しては、薄いプラスチックを貼り付け、チェレンコフ光のスクリーンとして使用した。テープ、円筒チューブ、プレート(板)など、さまざまな形状のプラスチックを試した。発光プロファイルから線源の位置と停止間隔を測定し、治療機の設定値(プリセット値)および模擬線源の位置と比較した。

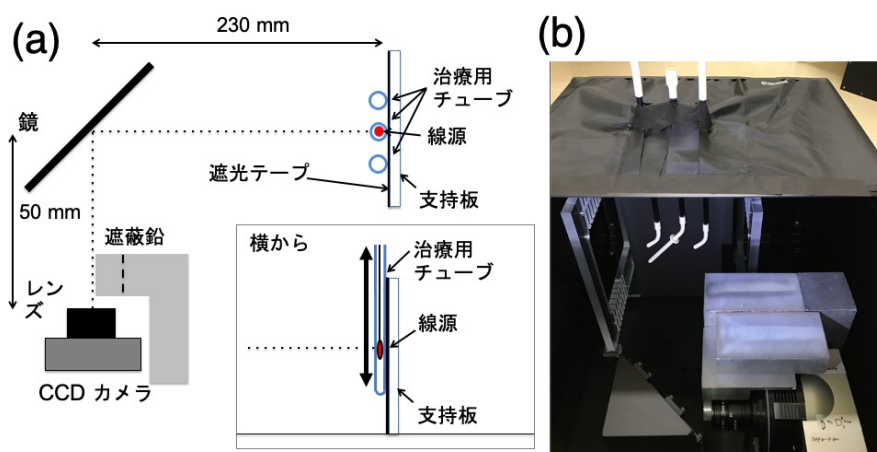


図1. 測定装置の概念図(a)と写真 (b)

4. 研究成果

(1) 水の発光

^{192}Ir γ 線源によって照射された水からの発光（チェレンコフ光）の撮影に成功した。これにより、一枚の投影画像を使用して、線量分布、線源強度、線源位置を同時かつ簡単に測定することができた (K. Yogo *et al.*, Scientific Reports, 10:357248, 2020)。

(2) プラスチック製治療チューブの発光

治療チューブ内にある線源を外側からチェレンコフ光として可視化することに成功した（図2）。タンデムおよびオボイドアプリーケータの両方から発光画像を得た（図3）。発光画像から発光プロファイルを解析し、線源位置を算出した（図4）。チェレンコフ光から測定した線源位置と停止間隔は、模擬線源の位置や設定値と同程度であった（表1）。チューブ先端から最初の線源位置までの距離は、模擬線源の位置と0.2mm以内で一致した。発光から測定した停止間隔は、設定値と0.6mm以内で一致した。

(3) 金属製治療チューブを覆うプラスチックの発光

金属製治療チューブにプラスチックを貼り付け、チェレンコフ光の観察に成功した（図5）。3つの異なる形状のプラスチックで測定した線源位置は、0.2mm以内で模擬線源の測定値と一致した。発光プロファイルの形状やしっかりと繰り返し貼り付けられる点で、プラスチックテープが一番適していると判断した（図6, 7）。プラスチックテープの発光から測定した線源の停止間隔は、設定値と0.7mm以内で一致した（表2）。線源位置3（と停留間隔2）は、模擬線源の測定値（や設定値）からのずれが大きかった。これは、線源が治療チューブの湾曲部に止まり、発光プロファイルを解析した直線上からずれたためと考えられる。

(4) まとめ

新たに提案したチェレンコフ光による測定方法は、治療チューブの外側から中にある線源の位置を直接測定できるため、高線量率小線源治療の迅速かつ簡単な品質保証法（QA）に適していると考えられる。本方法は、一枚の発光画像から線源位置をリアルタイムにフィルムレスで測定でき、事前に医師の指示した線量が正確に処方できるかの確認に役立つと考えられる（K. Yogo *et al.*, *Medical Physics*, 48 (1), 488-499, 2021）。

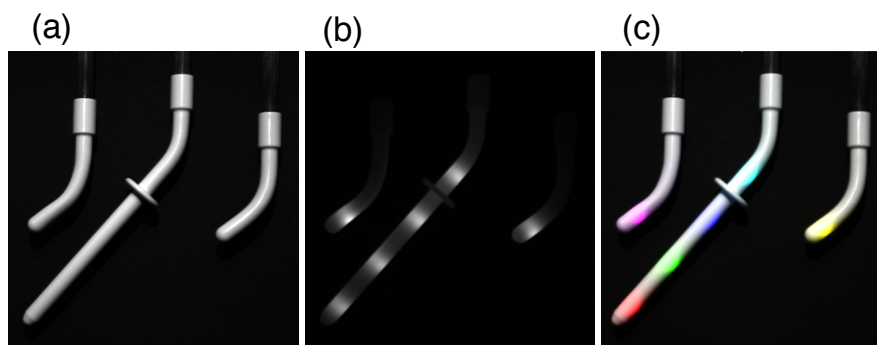


図2. ^{192}Ir 線源を照射した際に子宮頸がん治療用チューブに生じる発光の画像. (a)治療用チューブの画像(明室下) (b)線源によるチューブの発光画像(暗室下) (c)合成画像.

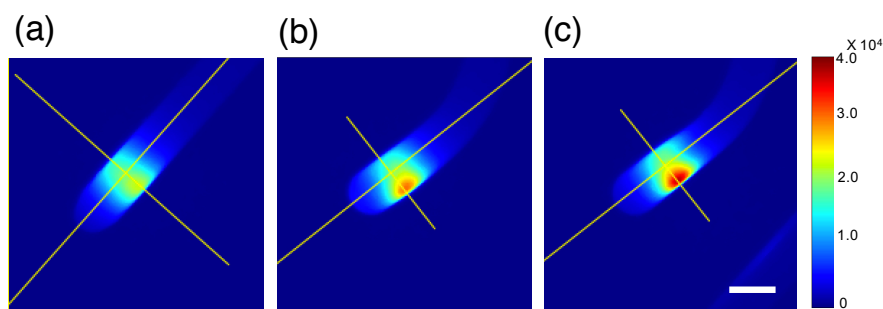


図3. ^{192}Ir 線源で照射されたプラスチック製治療チューブからの発光(拡大図) (a)タンデムアプリーケータ (b)オボイドアプリーケータ(L)および(c)オボイドアプリーケータ(R).

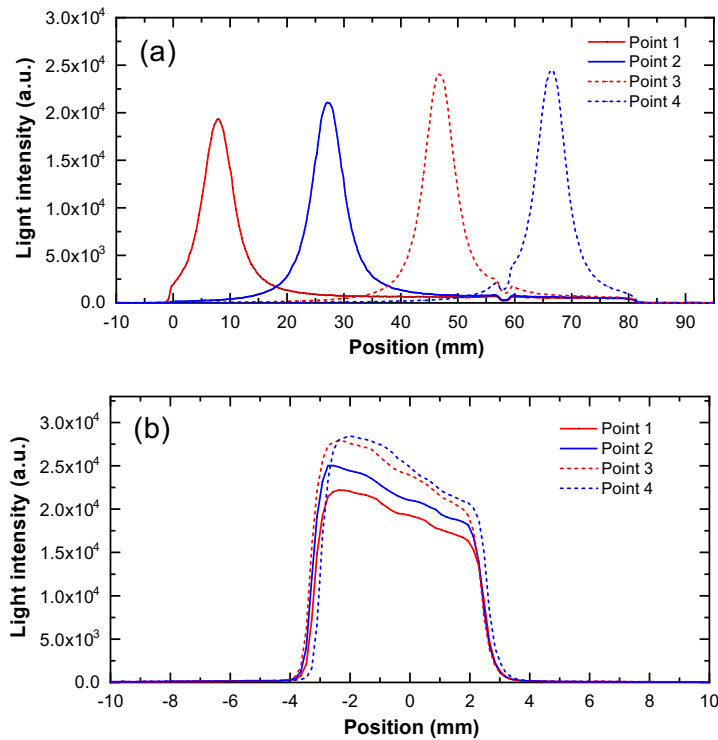


図4. ^{192}Ir 線源で照射されたプラスチック製治療チューブの発光プロフィール(タンデムアプリケーション) (a)チューブの中心に沿ったプロフィール (b)チューブの中心に垂直なプロフィール

表1. プラスチック製治療チューブからのチェレンコフ光から測定した線源間隔と治療機の設定値との比較. さまざまな線源強度、滞留時間、およびカメラ露光時間で測定した.

Methods	Conditions	Intervals 1	Intervals 2	Intervals 3
Cherenkov (mm)	380 GBq, 5 s	19.4 ± 0.2	19.6 ± 0.2	19.6 ± 0.2
	273 GBq, 5 s	19.8 ± 0.4	19.7 ± 0.2	19.7 ± 0.3
	273 GBq, 1 s	19.6 ± 0.2	19.6 ± 0.2	19.9 ± 0.2
	Camera trigger 5 s	19.6 ± 0.3	19.6 ± 0.4	19.8 ± 0.4
Preset (mm)	-	20.0	20.0	20.0

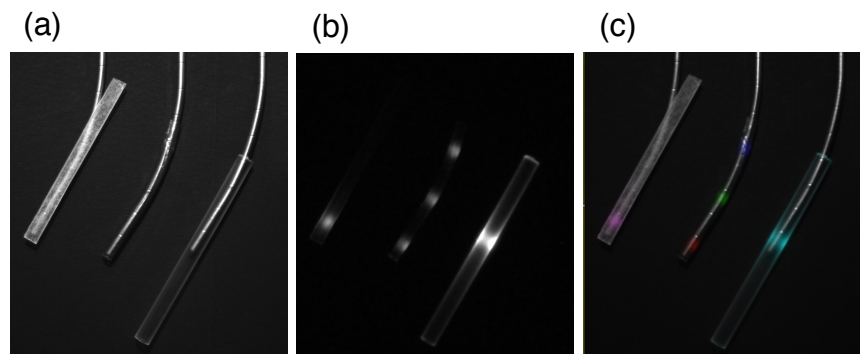


図5. ^{192}Ir 線源を照射した際に金属製治療チューブを覆うプラスチックに生じた発光の画像. (a)治療用チューブの画像(明室下) (b)線源によるプラスチックの発光画像(暗室下) (c)治療チューブと発光画像の合成画像. それぞれプラスチック板、プラスチックテープ、およびプラスチック円筒チューブで覆った(左から右へ). 擬似カラー表示.

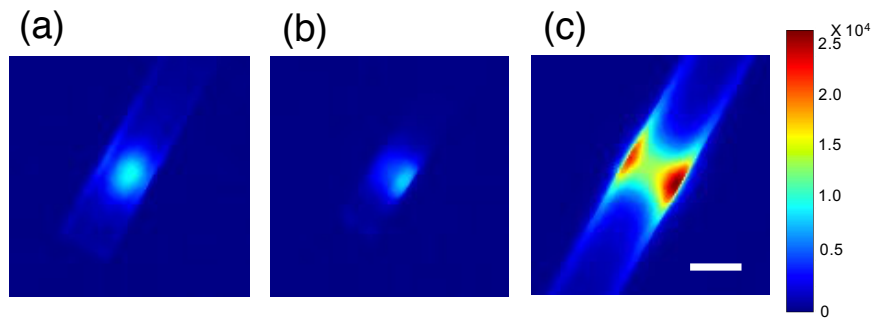


図6. ^{192}Ir 線源で照射された異なる形状のプラスチックからの発光(拡大図) (a)プラスチック板 (b)プラスチックテープ (c)円筒チューブ. スケールバー: 5mm.

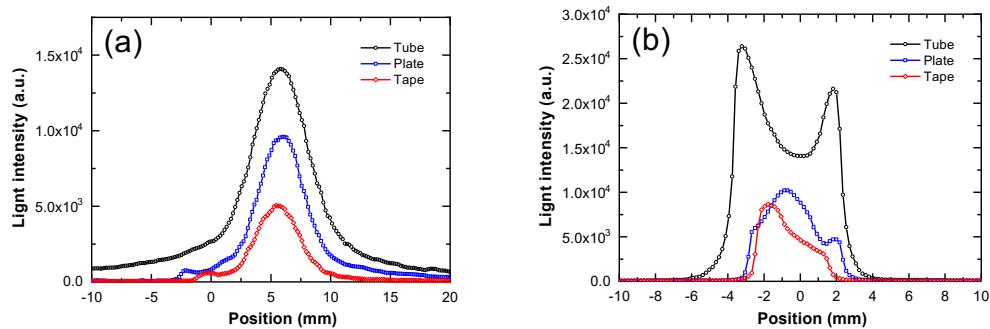


図7. ^{192}Ir 線源で照射された、金属製治療チューブを覆う様々な形状のプラスチックからの発光プロファイル. (a)チューブの中心に沿ったプロファイル (b)チューブの中心に垂直なプロファイル. プラスチック板、プラスチックテープ、およびプラスチック円筒チューブを金属製治療チューブに取り付けた.

表2. 金属製治療チューブを覆うプラスチックテープからのチェレンコフ光から測定した線源位置と滞留間隔、および模擬線源の測定値と治療機設定値との比較. 位置は治療チューブの先端から測定した.

Methods	Point 1	Point 2	Point 3
Cherenkov (mm)	5.7 ± 0.4	24.9 ± 0.5	43.2 ± 0.5
Dummy (mm)	6.0 ± 0.3	26.1 ± 0.3	45.7 ± 0.3
Methods	Intervals 1	Intervals 2	
Cherenkov (mm)	19.3 ± 0.4	18.2 ± 0.4	
Preset (mm)	20.0	20.0	

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 K Yogo, M Misawa, M Shimizu, H Shimizu, T Kitagawa, R Hirayama, H Ishiyama, T Furukawa, H Yasuda	4. 巻 16
2. 論文標題 Effect of gold nanoparticle radiosensitization on plasmid DNA damage induced by high-dose rate brachytherapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Nanomedicine	6. 最初と最後の頁 359-370
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2147/IJN.S292105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 K Yogo, Y Noguchi, K Okudaira, M Nozawa, H Ishiyama, H Yasuda, H Okamoto, H Oguchi, S Yamamoto	4. 巻 48
2. 論文標題 Source position measurement by Cherenkov emission imaging from applicators for high-dose-rate brachytherapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Physics	6. 最初と最後の頁 488-499
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/mp.14606	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 K Yogo, C Murayama, Y Fujisawa, T Maeyama, R Hirayama, Y Ogawa, K Matsumoto, I Nakanishi, H Yasuda, H Ishiyama, K Hayakawa	4. 巻 193
2. 論文標題 Protective Effect of D-Methionine on Plasmid DNA Damage Induced by Therapeutic Carbon Ions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Research	6. 最初と最後の頁 513-519
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1667/RR15502.1.	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 K Yogo, A Matsushita, Y Tatsuno, T Shimo, S Hirota, M Nozawa, S Ozawa, H Ishiyama, H Yasuda, Y Nagata & K Hayakawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Imaging Cherenkov emission for quality assurance of high-dose-rate brachytherapy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3572
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-60519-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 K Yogo, Y Tatsuno, H Souda, A Matsumura, M Tsuneda, Y Hirano, H Ishiyama, A Saito, S Ozawa, Y Nagata, T Nakano, K Hayakawa, T Kanai	4. 巻 129
2. 論文標題 Scintillator screen for measuring dose distribution in scanned carbon-ion therapy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiation Measurements	6. 最初と最後の頁 106207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radmeas.2019.106207	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 K Yogo, Y Tatsuno, H Souda, A Matsumura, M Tsuneda, Y Hirano, H Ishiyama, A Saito, S Ozawa, Y Nagata, T Nakano, K Hayakawa, and T Kanai	4. 巻 133
2. 論文標題 Scintillator screen for measuring low-dose halo in scanning carbon-ion therapy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Measurements	6. 最初と最後の頁 106299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radmeas.2020.106299	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4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 K Yogo, Y Noguchi, K Okudaira, M Nozawa, H Ishiyama, H Yasuda, H Okamoto, H Oguchi, S Yamamoto
2. 発表標題 Source position measurement by Cherenkov emission imaging from applicators for high-dose-rate brachytherapy
3. 学会等名 日本医学物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K Yogo, T Shimo, S Hirota, M Nozawa, H Ishiyama, H Yasuda
2. 発表標題 Imaging Cherenkov emission for quality assurance of high-dose-rate brachytherapy
3. 学会等名 日本医学物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 余語克紀, 下貴裕, 廣田 誠子, 保田浩志, 野澤茉莉花, 石山博條
2. 発表標題 チェレンコフ光の可視化による高線量率小線源治療の品質保証ツールの開発
3. 学会等名 第8回3Dゲル研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 余語克紀
2. 発表標題 Output characteristics of Cerenkov emission for a quality assurance tool in HDR brachytherapy
3. 学会等名 日本医学物理学会
4. 発表年 2018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
研究 分担者	前山 拓哉 (Takuya Maeyama) (70612125)	北里大学・理学部・助教 (32607)	

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
---------	---------