

2024年7月3日

早稲田大学

神戸陽子線センター

東北大学

大阪大学

## ポリエステル衣類の放射線照射発光を発見、陽子線ビームの画像化にも成功 ～放射線治療など様々な分野への応用に期待～

### 発表のポイント

- ポリエステル製の生地や衣類が放射線照射で発光することを発見
- 陽子線ビーム照射によるポリエステル衣類の発光画像化に成功
- ポリエステル生地は柔らかく、患者表面に密着して配置可能なため、放射線治療における表面発光計測など、さまざまな分野への応用が期待される

早稲田大学理工学術院の山本 誠一（やまもと せいいち）上級研究員（研究院教授）および片岡 淳（かたおか じゅん）教授らの ERATO プロジェクト研究チーム（プロジェクトリーダー：片岡 淳教授）は、神戸陽子線センターの山下 智弘（やました ともひろ）博士、東北大学未来科学技術共同研究センターの吉野 将生（よしの まさお）准教授、鎌田 圭（かまだ けい）准教授、東北大学金属材料研究所の吉川 彰（よしかわ あきら）教授、大阪大学大学院医学系研究科の西尾 禎治（にしお ていじ）教授と共同で、一般に市販されているポリエステル製の生地や衣類が放射線照射で発光することを発見しました。またポリエステル製の衣服が、放射線治療に使われる陽子線ビーム照射で発光している様子を短時間間隔の連続画像（リアルタイム画像）として可視化することにも成功しました。ポリエステル製の生地や衣類は柔らかく、自在に曲がるので、放射線治療のみならず、放射線計測に関連した様々な分野への応用が期待されます。

本研究成果は、2024年6月12日にネイチャー・パブリッシング・グループのオンライン総合科学誌『Scientific Reports』に発表されました。

### 【論文情報】

雑誌名：Scientific Reports

論文名：Scintillation of polyester fabric and clothing via proton irradiation and its utilization in surface imaging of proton pencil beams

DOI：<https://doi.org/10.1038/s41598-024-62456-7>

### (1) これまでの研究で分かっていたこと

放射線治療<sup>\*1</sup>では正確な放射線照射が求められます。しかし、種々の要因により、正確な位置に放射線が照射されない可能性もあります。精度の高い治療を提供可能にするために、治療中に患者の位置と体表面における放射線ビーム位置を短時間間隔の連続画像（リアルタイム画像）として計測する方法が研究されています。

これまで、患者の表面に照射された放射線領域のリアルタイム画像確認のために、放射線治療用高エネルギーX線照射で発生するチェレンコフ光<sup>\*2</sup>を画像化する方法が試みられてきました。しかし、陽子線治療ビームではチェレンコフ光がほとんど生成せず、リアルタイム画像化が困難でした。水や生体組織は、放射線に対して光を放出することが報告されていますが、放出される光はごくわずかであり、観察には暗箱と超高感度カメラが必要で、観察に長い時間がかかりました。放射線で良く光るシンチレータ<sup>\*3</sup>を用いる方法も試みられていますが、一般にシンチレータは固いため、平らな部分に配置する必要がありました。

### (2) 今回の研究で新たに実現しようとしたこと、明らかになったこと

今回の研究では、患者体表面の複雑な形状に密着して配置可能なシンチレータ材料として、放射線照射で発光する生地と衣類を探索しました。シンチレータ材料を探索する中で、木綿などは放射線照射で発光しませんでした。しかし、ポリエステル製の生地や衣類は、放射線照射で良く発光することが分かりました。さらに画像化実験により、ポリエステル製の衣類が、陽子線ビーム照射で発光し、リアルタイムに画像化できることを確認しました。

### (3) そのために新しく開発した手法

今回、生地や衣類の放射線による発光を探索するために、放射線の一種であるアルファ線を種々の生地切片に照射することで、基礎的な性能を評価しました。この探索により、ポリエステル製の衣類は、他の衣類、例えば綿などとは異なり、アルファ線照射により、プラスチックシンチレータ（代表的なシンチレータの一つ）の10%から20%もの強度で発光することが明らかになりました。

これらの結果をもとに、ポリエステル製のシャツなどをリアルタイム画像化実験の材料として選択し、陽子線照射中の発光画像を高速高感度カメラで計測しました（図1）。

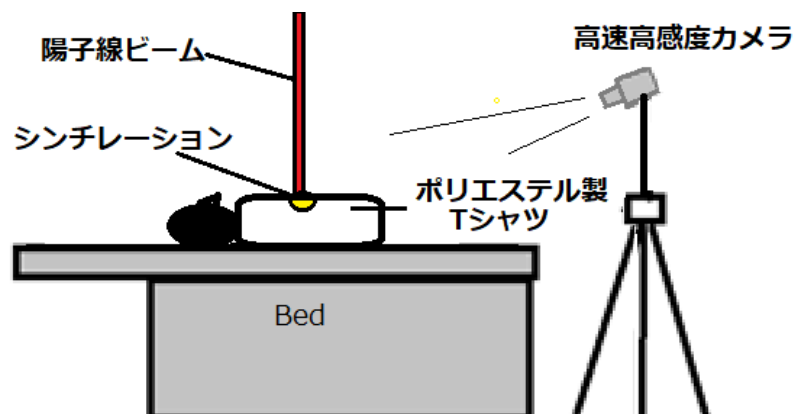


図1 陽子線照射中のポリエステル製 T シャツ画像化実験の模式図

その結果、部屋の電気を消した環境において、陽子線照射で発生する発光を、0.1 秒間隔のリアルタイム画像として得ることに成功しました。また得られた発光画像から、陽子線ビーム照射発光の積算画像も得られました（図 2）。

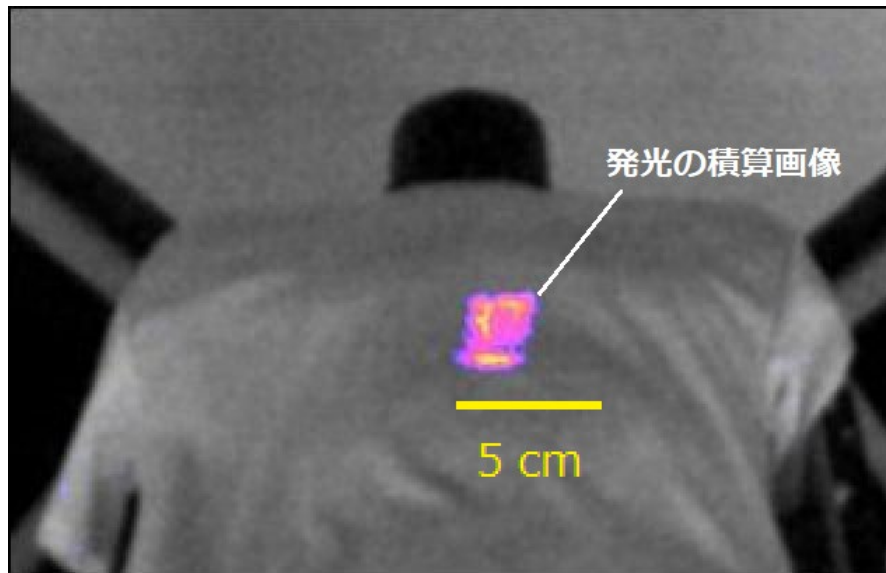


図 2 T シャツを着せたマネキン（白黒画像）と陽子線ビーム照射発光の積算画像（カラー表示の部分）

#### (4) 研究の波及効果や社会的影響

本研究により、陽子線ビーム照射中に衣服表面のリアルタイム発光画像を得ることが可能になりました。ポリエステル生地や衣類は柔らかく自在に曲がり、また縫い合わせることで任意の形状にすることが可能です。放射線治療を受ける患者さんにフィットするポリエステル製のシャツを着てもらうことで放射線照射による患者表面の発光を画像化できる可能性があります。またポリエステル生地や衣類は、衣料用に大量生産されているので低コストです。

これまでシンチレータというと、固く曲がらないものがほとんどでした。しかしポリエステル製の生地や衣類は自在に変形することから、今回発見した放射線照射発光現象は、これまでと異なる用途の広がりが期待されます。

#### (5) 今後の課題

今回、ポリエステル製の衣類を用いて、陽子ビームを 0.1 秒間隔でリアルタイム画像として観察できるようになりました。明るい環境で、より短い時間で陽子ビームを画像化するには、放射線照射発光の多い材料開発が必要です。陽子線以外にも、治療用 X 線や電子線、さらには診断用 X 線装置や CT 装置の放射線照射位置リアルタイム計測にも応用できる可能性があるため、今後、画像化実験を進めます。

## (6) 研究者のコメント

市販の廉価なポリエステル製の生地や衣類が放射線照射で発光することを発見できたのは大変幸運でした。この研究成果は、これまでシンチレータは硬くて変形しないのが常識の中で、柔らかく変形可能、さらに種々の形状に比較的容易に加工することが可能なシンチレータを実現したという新しさがあると思います。今後、さらに高性能で変形可能な新しいシンチレータ開発とその応用研究を積極的に進めていきます。

## (7) 用語解説

### \* 1 放射線治療

放射線を用いて患者のがんを治療する方法。放射線の種類としては、X線やガンマ線、粒子線などが使われる。

### \* 2 チェレンコフ光

荷電粒子が光よりも速い速度で物質を通過するときに発生する光。放射線治療におけるX線や電子線照射で発生するので、画像化して放射線治療に応用する研究がおこなわれている。

### \* 3 シンチレータ

放射線があたることにより発光する物質。放射線の検出や画像化するときに用いられる。

## (8) 論文情報

雑誌名 : Scientific Reports

論文名 : Scintillation of polyester fabric and clothing via proton irradiation and its utilization in surface imaging of proton pencil beams

執筆者名 : Seiichi Yamamoto<sup>1)\*</sup>, Tomohiro Yamashita<sup>2)</sup>, Masao Yoshino<sup>3)</sup>, Kei Kamada<sup>3)</sup>, Akira Yoshikawa<sup>3)</sup>, Teiji Nishio<sup>4)</sup>, Jun Kataoka<sup>1)</sup>

1. 早稲田大学 理工学術院 山本 誠一 (論文責任著者)、片岡 淳
2. 神戸陽子線センター 山下 智弘
3. 東北大学 未来科学技術共同研究センター 吉野 将生、鎌田 圭、吉川 彰
4. 大阪大学 大学院医学系研究科 西尾 禎治

掲載日 : 2024 年 6 月 12 日

DOI : <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62456-7>

## (9) 研究助成

本研究は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造推進事業 ERATO「片岡ライン X 線ガンマ線イメージング」（R3～8 年度； Grant 番号 JPMJER2102）、科学研究費補助金基盤研究(B)「チェレンコフ光閾値以下のエネルギーの放射線照射による水の発光現象の医療応用」（R4～8 年度； Grant 番号 22H03019）、および科学研究費補助金基盤研究(A)「マイクロ共晶体構造を応用した量子線弁別型超高解像度イメージング装置の開発」（R1～5 年度； Grant 番号 19H00672）の支援を得て実施したものです。

### 【研究内容に関するお問い合わせ先】

早稲田大学理工学術院 理工学術院総合研究所

上級研究員（研究院教授） 山本 誠一

Tel : 03-5286-8401 E-mail : s-yama@aoni.waseda.jp

### 【発信元】

早稲田大学 広報室広報課

Tel : 03-3202-5454 E-mail : koho@list.waseda.jp

兵庫県立粒子線医療センター附属神戸陽子線センター

Tel : 078-335-8001 E-mail : kobeyoshisen@pref.hyogo.lg.jp

東北大学未来科学技術共同研究センター 広報担当

Tel : 022-795-4004 E-mail : niche-pr@ml.tohoku.ac.jp

大阪大学医学系研究科保健学事務室庶務係

Tel : 06-6879-2504 E-mail : i-hoken-syomu@office.osaka-u.ac.jp