

令和 5 年 5 月 17 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K15607

研究課題名(和文) 4次元線量分布測定システムの開発と治療中の患者個別線量付与モデルの構築

研究課題名(英文) Development of plastic scintillation dosimeter for 4D dose measurement

研究代表者

恒田 雅人 (Tsuneda, Masato)

千葉大学・大学院医学研究院・特任講師

研究者番号：60800753

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)：プラスチックシンチレータから発生するシンチレーション光を撮影し、4次元線量分布を再構成する手法を開発した。本システムは、シンチレーションスクリーンで覆われた円柱状のプラスチックシンチレータ、円錐台形ミラー、冷却CCDカメラで構成されている。撮影された画像から、独自の再構成アルゴリズムを用いて3次元線量分布を再構成した。加えて、測定した4次元線量分布と比較検証するために、PHITSを用いた計算環境を開発した。本研究では、線量応答、線量率依存性、シンプルな放射線照射野を持つプランのガンマ解析を行った。これらの検証結果より、本システムが4次元線量分布の測定に適していることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来より、高精度放射線治療計画は治療開始前に患者QAとして点線量計測や多次元線量分布検証が行われてきた。しかし、肺や肝臓といった呼吸性移動を伴う部位ではinterplay effectといった腫瘍へ付与される線量の不確実性が生じる問題がある。このような治療においては、同様の患者QAではなく、“腫瘍へ正確に線量付与が行えるプランであるか”を検証する必要がある。そこで、本研究で4次元線量分布計測が可能なシンチレータとCCDカメラを用いたシステムを開発し、そのパフォーマンスを検証した。これに加えて、腫瘍の動きを模擬することで実際に腫瘍へ線量付与が可能であるか、新たな線量評価指標が構築できる。

研究成果の概要(英文)：To test the measurement technique of the 4D dose distribution measured image by capturing the scintillation light generated using a plastic scintillator and a scintillating screen. Our system constituted a column shaped plastic scintillator covered by a scintillating screen, a conical mirror and a cooled CCD camera. The 3D dose distribution was reconstructed from each captured image using the our original dose reconstruction algorithm. This algorithm includes the blurring correction deconvolution, image scaling, reconstruction and dose conversion. And, we developed the Monte Carlo simulation to compare with the measured 4D dose distribution. We tested the dose linearity, dose rate dependence and gamma analysis for the dose distributions. In this study, our system concept can act as a suitable technique for measuring the 4D dose distribution from the basic characteristic and the gamma results.

研究分野：医学物理学、放射線治療技術学

キーワード：4D dosimetry Plastic scintillator VMAT SBRT patient specific QA dose reconstruction CCD camera

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

放射線治療では、腫瘍体積 (GTV) に進展部位や生理的体動、セットアップエラーなどを加味した計画的標的体積 (PTV) に対して、多方向からかつ照射野内で強度を変化させるような強度変調放射線治療 (IMRT) が一般的に実施されるようになった。この治療は、PTV に線量を集中させることができ、緩和的な治療から根治治療へと様変わりしてきている。一方で、さらなる治療成績の向上のため、セットアップエラーや生理的体動が包含される PTV をより一層縮小させ、腫瘍体積にのみ限局的に照射する必要がある。それゆえ、ここ数年で追尾照射や生理的体動を考慮した同期照射といった 4 次元放射線治療がはじまっている。この治療では、呼吸などの生理的体動の時間情報と照射中の治療機器制御パラメータの時間情報が混在した複雑な治療である。よって、より GTV にのみ限局した高度な 4 次元放射線治療を実施するためには、混在する時間軸を正確に測定・管理し、それらデータから患者治療プランを定量評価することが重要課題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究では、放射線があたると可視光を放出するプラスチックシンチレータとガドリニウム系シンチレーティングスクリーン、CCD カメラを用いた高空間分解能・高時間分解能を有する 4 次元線量分布測定システムの開発を行う。本システムの測定データは、静止画が連なった動画データであり、それぞれの静止画が治療機器から射出されるビームの時間軸情報を持つ。そして、本システムの測定データと輪郭データを含む 4 次元 CT 画像、呼吸同期システムを用いて取得する患者呼吸波形の 3 つを管理、解析する。これより、治療機器から照射されるビーム (線量強度や照射野の形状などの情報) がどの呼吸位相で腫瘍に対してどのように線量を付与するのか、または線量誤差が生じるのか定量的な評価を行う。

### 3. 研究の方法

4 次元線量分布測定システムは、円柱型プラスチックシンチレータとその周囲にガドリニウム系シンチレーティングスクリーンを巻くことで検出器部分を作成した。この外側に円錐台形ミラーを設置し、放射線照射によって生じたシンチレーション光をミラーで反射させ、冷却式 CCD カメラで測定した。図 1 に測定システムの概略図を示す。CCD カメラで撮影される画像は図 2 に示す。このケースでは矩形照射野で検出器に対して照射した。ガドリニウム系シンチレーティングスクリーンによって生じた光を円錐台形ミラーで反射させ、照射野の形状に関する情報を取得する (赤点線円内)。また、円柱型プラスチックシンチレータ内部で生じた光を長軸方向に積算し、画像中央部で検出している (オレンジ色円内)。測定システムの基礎特性として、線量応答 (発光量と線量の関係性) と線量率依存性、光の拡散の影響および補正について検討した。また、実際に本システムを用いて矩形照射野や原体照射プラン、IMRT プランを用いた実験を行った。これらの評価にはガンマ解析を用いた。

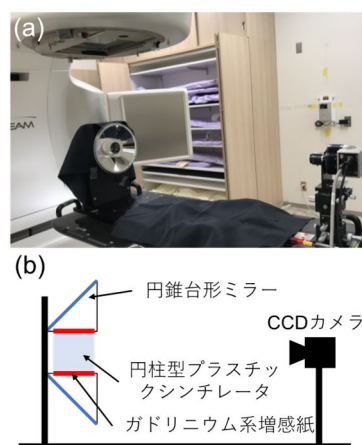


図 1 : 測定システム概略図

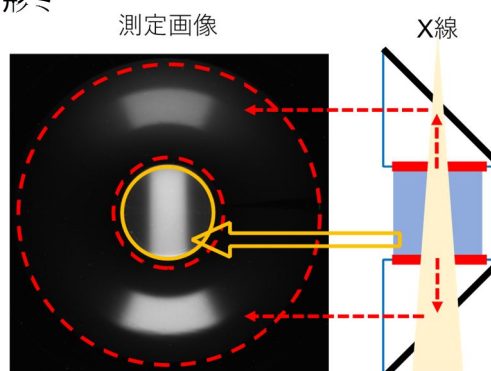


図 2 : 測定画像の概略図

測定画像より再構成された4次元線量分布と比較をするためにPHITSモンテカルロコードを用いた計算環境を構築した。線源に6MV-X線のphase space fileを用いた。水中にて測定されたPDDおよびOCR、TPR<sub>20,10</sub>を比較し、本計算環境の妥当性を評価した。

#### 4. 研究成果

- モンテカルロ計算の妥当性評価

放射線治療装置 (TrueBeam, Varian) の測定とモンテカルロ計算によって得られた計算のTPR<sub>20,10</sub>の比較を表1に示す。また、PDDおよびOCRもよく一致した結果であった。

表1：TPR<sub>20,10</sub>の比較

	TPR <sub>20,10</sub>
PHITS calc.	0.665
Meas.	0.666
Diff. [%]	-0.21

- 開発システムの基礎特性

放射線照射によって生じたシンチレーション光と照射線量の関係を図3に示す。良い線形性が得られた。また、線量率を変えながら一定の線量を照射した際の発光量と線量率の関係を図4に示す。線量率に依存しないことがわかった。

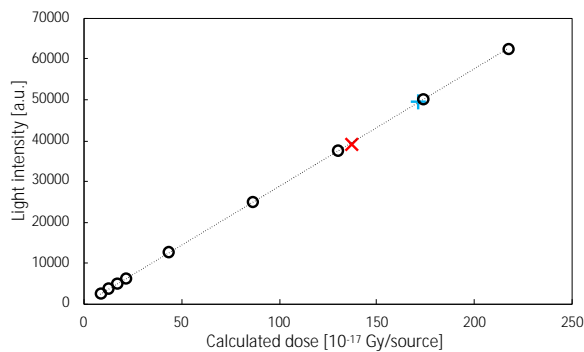


図3：シンチレーション光と照射線量の関係

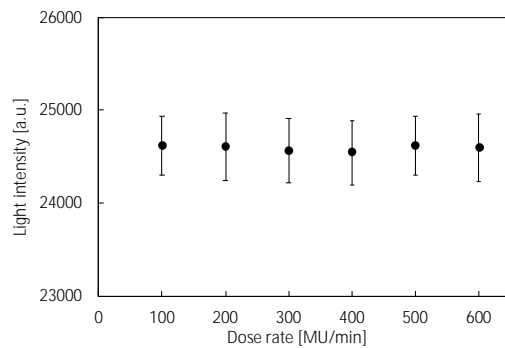


図4：シンチレーション光と線量率の関係

- 照射プランのガンマ解析による評価

図5に矩形照射野プランにおける測定画像より再構成した測定線量分布とモンテカルロ計算による計算線量分布の比較を示す。ガンマ解析の結果、ガンマパス率は99.9%であり、よく一致したことがわかる。図6に動的なIMRT照射プランのガンマ解析結果を示す。ガンマパス率は98.2%であった。これらの結果より、開発したシステムは4次元線量分布計測が可能であることが示された。これらの研究成果はMedical Physicsにて論文として掲載されている。

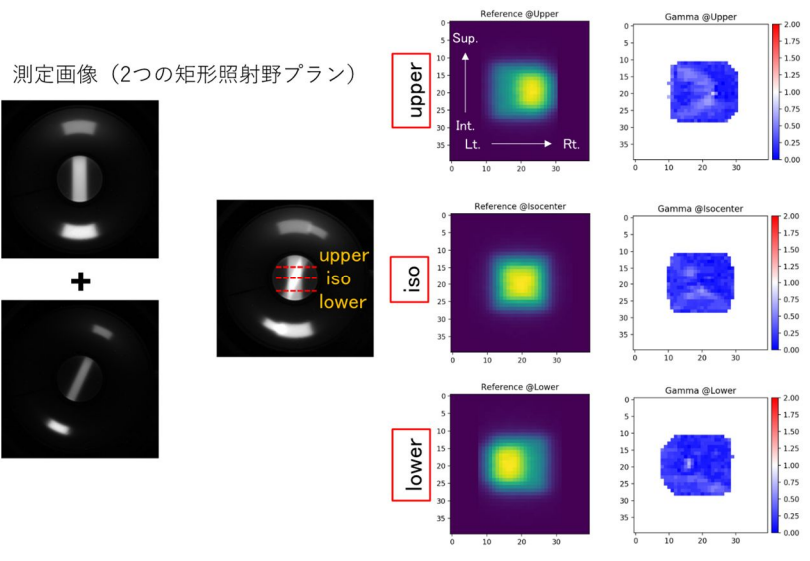


図 5 : 2 つの矩形照射野で構成される照射プランの定量評価結果

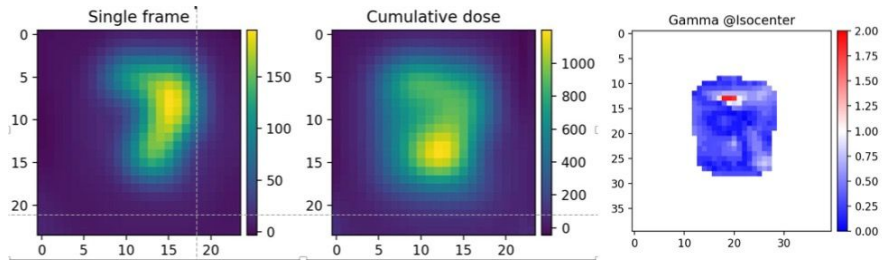


図 6 : IMRT 照射プランの定量評価結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Tsuneda Masato, Abe Kota, Fujita Yukio, Ikeda Yohei, Furuyama Yoshinobu, Uno Takashi	4. 巻 64
2. 論文標題 Elekta Unity MR-linac commissioning: mechanical and dosimetry tests	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Research	6. 最初と最後の頁 73 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jrr/rrac072	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 Tsuneda Masato, Nishio Teiji, Ezura Takatomo, Karasawa Kumiko	4. 巻 48
2. 論文標題 Plastic scintillation dosimeter with a conical mirror for measuring 3D dose distribution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Physics	6. 最初と最後の頁 5639 ~ 5650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mp.15164	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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Masato Tsuneda, Teiji Nishio, and Takashi Uno
2. 発表標題 Plastic scintillation dosimeter with a conical mirror for measuring 3D dose distribution
3. 学会等名 The 123rd Scientific Meeting of the Japan Society of Medical Physics
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masato Tsuneda, Teiji Nishio, Takatomo Ezura and Kumiko Karasawa
2. 発表標題 Development of the scintillator imaging system for the measurement of the dose volume with high-sampling rate
3. 学会等名 62nd AAPM annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Masato Tsuneda, Teiji Nishio, Takatomo Ezura and Kumiko Karasawa
2 . 発表標題 Measurement of the three-dimensional dose distribution using scintillator imaging system
3 . 学会等名 61st AAPM annual meeting ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masato Tsuneda, Teiji Nishio, Takatomo Ezura and Kumiko Karasawa
2 . 発表標題 Development of the scintillator imaging system for measurement of 3D dose distribution
3 . 学会等名 AOCMP&EPSM 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masato Tsuneda, Teiji Nishio, Takatomo Ezura, Yaichiro Hashimoto and Kumiko Karasawa
2 . 発表標題 Investigation of the dosimetric impact of breathing motion on lung VMAT-SBRT delivery using a 3D motion platform and a water tank-type lung phantom
3 . 学会等名 AOCMP&EPSM 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masato Tsuneda, Teiji Nishio, Takatomo Ezura and Kumiko Karasawa
2 . 発表標題 Measurement of the three-dimensional dose distribution using scintillator imaging system
3 . 学会等名 American Association of Physicists in Medicine ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 恒田雅人、西尾禎治、江面崇智、唐澤久美子
2. 発表標題 シンチレータイメージングシステムを用いた4次元線量分布測定の基本検討
3. 学会等名 第32回高精度放射線外部照射部会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 恒田雅人、西尾禎治、齋藤明登、小澤修一、唐澤久美子、永田靖
2. 発表標題 Kompeito Shot System: Development of a novel verification system for 3D/4D beam alignment (2)
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会 第31回 学術大会
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

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