

令和 3 年 4 月 20 日現在

機関番号：32607

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K15561

研究課題名(和文)高精度放射線治療装置に対応した新しい機器動作検出型線量検証システムの開発

研究課題名(英文) Delivery quality assurance system based on simultaneous verification of three-dimensional dose distribution and mechanical motion

研究代表者

橋本 成世 (Hashimoto, Masatoshi)

北里大学・医療衛生学部・講師

研究者番号：40375845

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)：高精度放射線治療の1つである強度変調放射線治療(IMRT)では治療前に実測による検証が必要である。しかしながら、3次元線量分布の実測は難しく、治療範囲全体を通じた検証をすることはまだ困難である。研究代表者は新たにプラスチックシンチレータから得られるシンチレーション光を外部からカメラを用いて取得することで、3次元線量分布並びに機器動作を同時に測定できる検出器を開発した。IMRTプランを用いた試験において、十分な精度で3次元線量分布を取得することができ、さらに照射範囲や照射方向を変化させる機器動作も同時に検出できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した検証システムを用いることで、照射領域全体の3次元線量分布を一度に測定することができ、さらに、機器動作も同時に捉えることができ、誤差が生じた場合にも発生原因を迅速に特定できる。このように、検証精度を向上させつつ検証時間も短縮できるため、より多くの患者に安全性が担保された高精度放射線治療を提供できるようになると期待できる。

研究成果の概要(英文)：Intensity modulated radiation therapy (IMRT) requires delivery quality assurance to ensure that treatment is accurate and safe. However, the currently used delivery quality assurance methods (films or two-dimensional (2D) semiconductor detector arrays) are difficult to detect errors locating outside of the measuring cross-sectional surface. We developed a novel delivery quality assurance system in which the radiation detector consists of a plastic scintillator and a charge-coupled device (CCD) camera to verify three-dimensional (3D) dose distribution and mechanical motion simultaneously. Through the test using the IMRT irradiation, it was confirmed that the developed system enabled verification of both dose distribution and mechanical motion with high accuracy and easiness to find the cause of errors.

研究分野：医学物理

キーワード：放射線治療 医学物理学 外部照射 放射線測定 プラスチックシンチレータ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年急速に普及した強度変調放射線治療 (IMRT) は、マルチリーフコリメータ (MLC) の機器動作によって X 線を細かいビームに成形して極限までに腫瘍に線量を集中させる治療法であり、治療効果の劇的な改善を成し遂げた。さらに近年、MLC の高速動作によって数十ミリ秒間隔でビーム ON-OFF を繰り返し、より強く強度変調をかけられる高精度放射線治療装置も普及し始めている。放射線治療技術の進歩により治療効果の高い放射線治療を提供できるようになったが、複雑すぎる機器動作に誤差が生じると重大な事故に繋がる恐れがある。現在のところコンピュータ計算で導かれた線量分布が実現できているかどうかを治療前に実測し、検証することで IMRT の安全性を担保している。

最も一般的な検証法は電離箱線量計とフィルムを併用した方法である。この方法は広く使用されているものの、測定位置以外に線量誤差が発生した場合に検出感度が低いという欠点がある。図 1 に故意に誤差を含めた IMRT の検証結果を示す。ホットスポットが測定範囲内にある矢状断面では誤差を検出できているが、冠状断面では検出できていないことが分かる。近年、半導体検出器を 2 次元平面に配置した測定器も販売されているが、これらの測定器を使用しても検出器が配置されていない位置に生じた誤差を検出することは困難である。

このような問題は 3 次元的に検出器を配置し、測定された 3 次元線量分布を基に検証することで解決できると考えられるが、現在そのような測定器は存在していない。また、高精度放射線治療装置のような複雑な機器動作を伴う治療では、線量分布に加え MLC 等の機器動作を同時に測定することで誤差の検出感度を向上させることができ、さらに誤差の発生源を特定することも容易となる。現在、広範囲の線量分布を確認するためにはフィルム等の 2 次元検出器を複数配置したり、位置を変えて何度も測定したりする必要があり、測定には多大な時間がかかることもある。3 次元線量分布を迅速に測定できる検証システムが存在すれば、検証時間を大幅に短縮でき、より多くの患者に安全性が担保された高精度放射線治療を提供できるようになると期待できる。

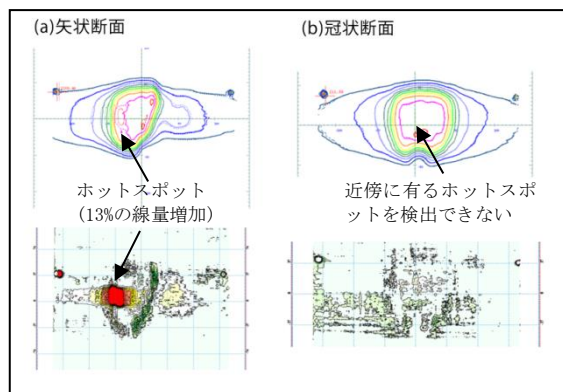


図 1 故意に誤差を付加した IMRT プランのフィルム測定による結果。アイソセンタを通る (a) 矢状断面と (b) 冠状断面。上段は等線量曲線、下段は誤差有プランと誤差無しプランの線量差。ホットスポットから 3 cm 程度しか離れていない位置にも関わらず冠状断面では検出できない。

2. 研究の目的

上記背景のもと、プラスチックシンチレータと電荷結合素子 (CCD) カメラを用いた検出器を提案した。本研究の目的は 3 次元線量分布の測定と共に IMRT における機器動作を検出できる放射線測定器を開発することである。

3. 研究の方法

図 2 に作成した検出器を示す。複数のプラスチックシンチレータから成る検出部と X 線照射によって検出部で生じるシンチレーション光を検出する CCD カメラから構成される。検出部は大きく 2 つの要素で構成される。1 つは直径 20 cm の円柱形状のプラスチックシンチレータで、線量分布の測定が主な役割である。もう 1 つは円柱形状のプラスチックシンチレータを取り囲むように配置されたリング形状の検出器であり、図 3 に示すように内部に小型のプラスチックシンチレータを複数内包する。X 線の照射位置と照射範囲を検出することが主な役割であり、この情報を用いて円柱形状のプラスチックシンチレータで得られた線量分布を 3 次元化する。また、小型のプラスチックシンチレータにはアクリル製のライトガイドが添付されており、シンチレーション

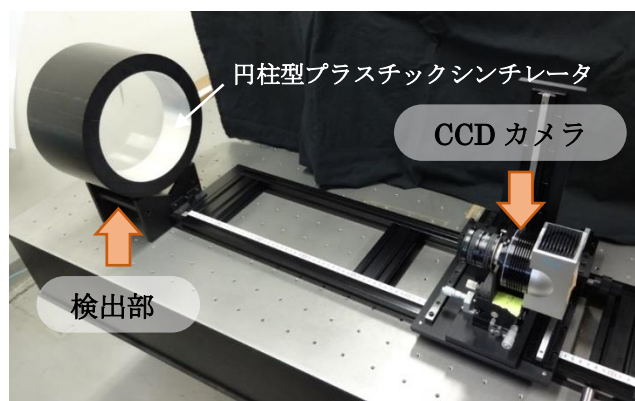


図 2 検出器の外観。

光を表面に導く構造となっている。この構造により、検出部で生じる全てのシンチレーション光を1台のCCDカメラで一度に記録することができる。また、シンチレーション光の時間的な変化を解析することで放射線治療装置の機器動作、さらには線量分布の時間変化も捉えることもできる。本研究では、開発した検出器を用いてIMRTの3次元線量分布と機器動作の測定が行えるか検討した。

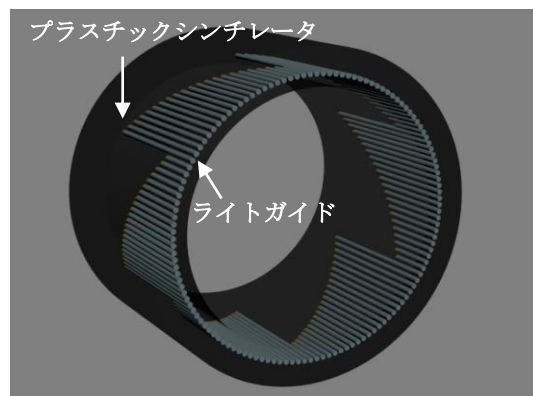


図3 リング型検出器の内部構造。

4. 研究成果

(1) IMRTの3次元線量分布測定

本検出器で測定した線量分布と放射線治療計画装置で計算した線量分布を図4に示す。前立腺がんのIMRTを模擬した治療計画を用いた例であり、照射には高精度放射線治療装置の一つであるTomotherapyシステム (Accuray Inc.) を使用した。実測、計算共に同様の線量分布を示していると分かる。両者の線量差は前立腺中心を通る軸位断面で $1.0 \pm 0.3\%$ 、判定基準 $3\% / 3\text{mm}$ でガンマ解析のパスレイトは 99% であり既存の検証機による結果と同様であった。また、照射範囲全域においては線量差とガンマ解析のパスレイトは $1.4 \pm 0.2\%$ と 99% であった。本検出器は一度の測定で照射範囲全域の線量分布を測定でき、従来法と比較して短時間で詳細にIMRTの検証が可能であった。さらに、シンチレーション光の時間変化から線量分布の動的な変化も検出できており、4次元線量分布検証にも用いることができると確認できた。

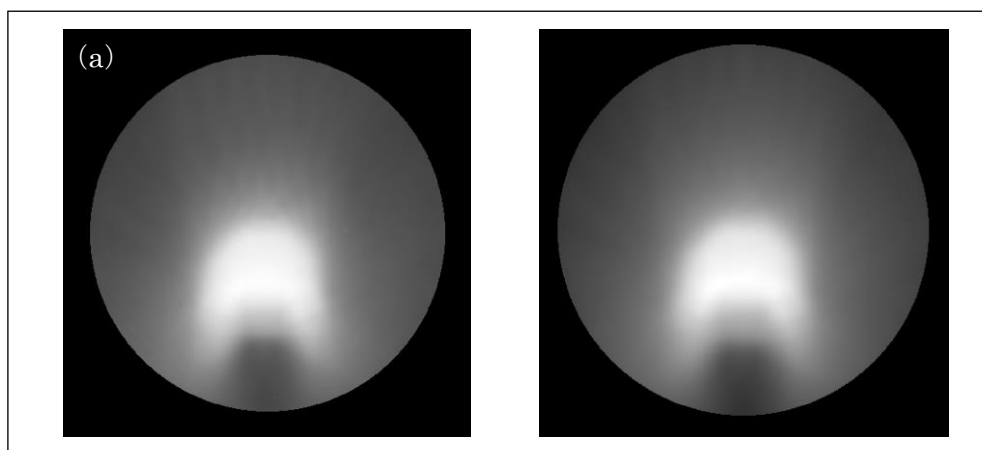


図4 軸位断面の線量分布比較。(a)は開発した測定器による実測値、(b)は治療計画装置の計算値。

(2) 機器動作の測定

CCDカメラで記録したシンチレーション光をフレーム毎に解析することでMLC動作を検出できるか検討した。研究成果(1)と同一の治療計画を用いた結果を図5に示す。この治療計画ではサイノグラムと呼ばれるファイルでMLC動作が定義されている。今回、本検出器による解析結果からサイノグラムを再構成して比較した。感度と特異度はそれぞれ 98% 、 97% であり、開閉時間の差は $3.9 \pm 7.8\%$ であった。MLCの開閉動作を数十ミリ秒間隔で繰り返す治療計画であるが、精度良く検出できていることが確認できた。開発した検出器を用いることで、3次元線量分布と機器動作を同時に検証することができ、誤差が生じた場合にも発生原因を迅速に特定できる。

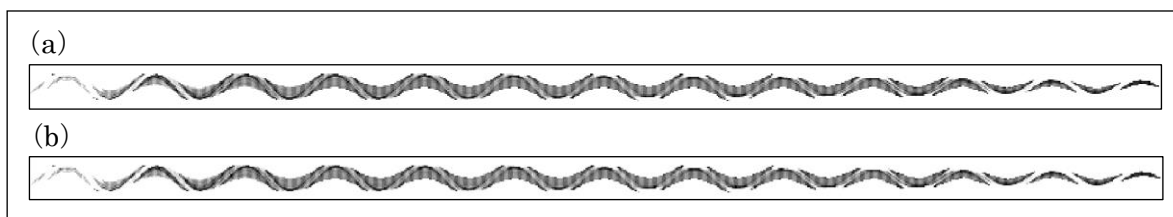


図5 MLC動作の比較。(a)は再構成したサイノグラム、(b)は照射に用いたサイノグラム。

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 Ota Ryosuke, Nakajima Kyohei, Ogawa Izumi, Tamagawa Yoichi, Shimoi Hideki, Suyama Motohiro, Hasegawa Tomoyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Precise analysis of the timing performance of Cherenkov-radiator-integrated MCP-PMTs: analytical deconvolution of MCP direct interactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics in Medicine & Biology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Ota R, Nakajima K, Ogawa I, Tamagawa Y, Shimoi H, Suyama M, Hasegawa T	4. 巻 64
2. 論文標題 Coincidence time resolution of 30ps FWHM using a pair of Cherenkov-radiator-integrated MCP-PMTs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics in Medicine & Biology	6. 最初と最後の頁 07LT01
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 F. Hashimoto, K. Ote, R. Ota, T. Hasegawa	4. 巻 5
2. 論文標題 A feasibility study on 3D interaction position estimation using deep neural network in Cherenkov-based detector: a Monte Carlo simulation study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomedical Physics & Engineering Express	6. 最初と最後の頁 35001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Ota R., Nakajima K., Hasegawa T., Ogawa I., Tamagawa Y.	4. 巻 923
2. 論文標題 Timing-performance evaluation of Cherenkov-based radiation detectors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 R. Ota, T. Hasegawa, R. Yamada, T. Moriya	4. 巻 45
2. 論文標題 Cherenkov radiation-based three-dimensional position-sensitive PET detector: A Monte Carlo study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Medical Physics	6. 最初と最後の頁 1999 ~ 2008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Yuichi Tanaka, Minoru Ishigami, Hikaru Miyauchi, Keinichi Takahashi, Masahiro Nakano, Tomoyuki Hasegawa, Masatoshi Hashimoto
2. 発表標題 Delivery quality assurance system based on simultaneous verification of three-dimensional dose distribution and mechanical motion
3. 学会等名 2020 Joint AAPM COMP Virtual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuichi Tanaka, Minoru Ishigami, Tsuyoshi Terazaki, Masahiro Nakano, Hikaru Miyauchi, Tomoyuki Hasegawa, Masatoshi Hashimoto
2. 発表標題 Development of a novel delivery quality assurance system based on simultaneous verification of dose distribution and MLC movement using plastic scintillator and CCD camera
3. 学会等名 61th Annual Meeting of the American Association of Physicists in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Nakano, Toshikazu Imae, Takahiro Nakamoto, Akihiro Haga, Kanabu Nawa, Yukihiro Nomura, Ritu Chhatkuli, Kazuyuki Demachi, Wataru Takahashi, Kentaro Yamamoto, Keiichi Nakagawa, Masatoshi Hashimoto, Yasuo Yoshioka, Masahiko Oguchi
2. 発表標題 Pseudo-CBCT Image Prediction of Head and Neck Cancer Patient Using Principal Component Vector Fields of Early Treatment Fractions
3. 学会等名 61th Annual Meeting of the American Association of Physicists in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichi Tanaka, Chihiro Heta, Yuri Honda, Masato Sekiguchi, Takeo Katakura, Genki Ishii, Minoru Ishigami, Tsuyoshi Terazaki, Tomoyuki Hasegawa, Masatoshi Hashimoto
2. 発表標題 Delivery quality assurance method using plastic scintillator and CCD camera in helical tomotherapy
3. 学会等名 第117回日本医学物理学学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Sekiguchi, Yuki Murakami, Risa Kimura, Takeo Katakura, Yuichi Tanaka, Yuto Matsumoto, Minoru Ishigami, Hiromichi Ishiyama, Tomoyuki Hasegawa, Masatoshi Hashimoto
2. 発表標題 Deep learning based auto segmentation in male pelvic CT images using texture analysis
3. 学会等名 第117回日本医学物理学学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Nakano, Toshikazu Imae, Takahiro Nakamoto, Kanabu Nawa, Akihiro Haga, Wataru Takahashi, Keiichi Nakagawa, Masatoshi Hashimoto, Yasuo Yoshioka, Masahiko Oguchi
2. 発表標題 Pseudo-CBCT image prediction of head and neck cancer patient using principal component vector fields of early treatment fractions
3. 学会等名 第117回日本医学物理学学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeo Katakura, Shogo Kawakami, Masato Sekiguchi, Yuichi Tanaka, Yuto Matsumoto, Genki Ishii, Masatoshi Hashimoto, Tomoyuki Hasegawa, Hiromichi Ishiyama
2. 発表標題 Potential prognosis value of the radiomics features based on CT images of prostate cancer patients treated with permanent interstitial brachytherapy
3. 学会等名 第117回日本医学物理学学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masatoshi Hashimoto, Masahiro Nakano, Akihiro Haga, Kanabu Nawa
2. 発表標題 Patient setup system using a virtual X-ray image
3. 学会等名 60th Annual Meeting of the American Association of Physicists in Medicine (国際学会)
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
研究協力者	田中 悠一 (Tanaka Yuichi)	北里大学大学院・医療系研究科	
研究協力者	宮内 輝 (Miyachi Hikaru)	北里大学大学院・医療系研究科	
連携研究者	長谷川 智之 (Hasegawa Tomoyuki) (10276181)	北里大学・医療衛生学部・教授 (32607)	
連携研究者	中野 正寛 (Nakano Masahiro) (50780384)	公益財団法人がん研究会・有明病院放射線治療部・その他 (72602)	

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