

令和 5 年 5 月 16 日現在

機関番号：32206

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12327

研究課題名(和文)人工ルビーを使用した放射線治療時の局所照射線量多数点リアルタイム測定に関する研究

研究課題名(英文) Study on multi-point measurement of local irradiation dose during radiotherapy using synthetic ruby

研究代表者

細貝 良行 (Hosokai, Yoshiyuki)

国際医療福祉大学・保健医療学部・教授

研究者番号：90451525

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目標である、放射線治療時の照射線量をリアルタイムに同時多数点で測定可能な線量計の開発を行い、基礎特性を得ることができた。我々が開発した線量計の問題点の1つであったリアレンス線量計との乖離が高エネルギーX線によるチェレンコフ光の影響である事を突き止め、それらの結果をまとめて、RPTEに報告した。また、同時多数点測定を目的としたMPPCモジュールを使用したシステムを組み上げ、当初の目的であった同時多数点測定に関し各種の実験を実施した結果、有意義なデータ取得ができ、開発したシステムの有用性が示唆された。本研究期間内に確認すべき内容はほぼ完遂できたが、今後の課題もいくつか挙げられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線治療時のトラブルは多数報告されているが、明確な対策はなされていない。トラブルの多くは投与線量の間違いに関する報告であるが、対策には照射中にリアルタイムで局所の線量を測定できるシステムが必要であり、我々はセンサーとして人工ルビーを使用したリアルタイムで多数点同時測定が可能な線量計の開発を行っている。本研究期間内において開発した線量計の基礎特性や問題点を把握し、とても有意義なデータが取得できた。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research was to develop a dosimeter that can measure radiation dose at multiple points simultaneously in real time, and to obtain basic characteristics. We found that one of the problems with the dosimeter, the discrepancy from the reference dosimeter was due to the effect of Cherenkov light from high-energy X-rays. We summarized these results and reported them to RPTE. In addition, we assembled a system using MPPC modules for multi-point measurements and conducted various experiments on simultaneous multi-point measurements. As a result, meaningful data acquisition was possible, suggesting the usefulness of the developed system. Although we were able to confirm almost all the content that needed to be verified during the study period, several future challenges were also identified.

研究分野：radiological technology

キーワード：radiotherapy synthetic ruby real-time dosimetry multi-point measurements

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

放射線治療で照射する線量は、放射線治療装置の内部に搭載されているモニタ線量計の値で管理されているが、患者体内における線量を放射線治療装置は把握していない。そのため、治療計画の検証や照射野外線量の把握は、擬人化ファントムに電離箱線量計や熱蛍光線量計 (TLD) などを取り付けて局所線量を測定する方法で行われてきた。これらの線量計は、照射開始直後の線量分布などの短時間特性が把握できない、あるいは検出器および測定装置の価格が高く、同時に複数点の検証ができない。さらに、放射線を散乱、吸収してしまうため、治療中のリアルタイム線量測定に用いることができないなどの課題があった。放射線治療中に局所照射線量をリアルタイムにモニタすることは、治療中に患者がわずかに動いてしまうなど、オペレータが見逃しやすいトラブルでも即座に見つけることができ、さらに、その信号を基に治療装置のフィードバック制御が可能となることで、今以上に放射線治療に安全性を付与することができる。

2. 研究の目的

我々は IVR (Interventional radiology) 時の局所照射線量をリアルタイムに測定する目的で開発した、人工ルビーセンサーを用いた放射線量計システム*を放射線治療用のリアルタイム線量計として応用することに着目した。人工ルビーは X 線透視装置にも写らず、放射線治療の線量分布に影響を与えることはない。さらに、時間応答特性に優れ、安価であるために多チャンネル測定にも使いやすい。本システムを放射線治療領域で使用できれば、X 線照射時にリアルタイムに多数点の局所照射線量の把握が可能となり、放射線治療に対し更なる安全性を付与できる可能性がある。

これらを踏まえ、放射線治療時の局所照射線量をリアルタイムに多数点測定するシステムの開発を行い、その基礎特性を得ることを目的とした。

* Yoshiyuki Hosokai, et al. DEVELOPMENT OF REAL-TIME RADIATION EXPOSURE DOSIMETRY SYSTEM USING SYNTHETIC RUBY FOR INTERVENTIONAL RADIOLOGY, RPD, pp. 1-6, 2017

3. 研究の方法

(1) 開発したシステムの放射線治療用高エネルギー X 線における基礎特性の把握

短時間特性の測定

データ測定時のバックグラウンドならびに人工ルビーの残光特性を把握するために、開発した線量計に対する短時間特性の把握を行った。

線量率とカウントとの関係

データの数え落としを把握するために、線量計と照射時の線量率との関係を測定した。

MU 値との関係

照射線量と得られたデータとの関係を把握するために、MU 値を変化させ測定を行った。

変動係数の算出

同一条件で照射した際の変動係数を求めた。

深部線量百分率 (PDD) の電離箱線量計との乖離

リファレンス線量計として電離箱線量計を使用し、開発した線量計との乖離を把握した。

チェレンコフ光の影響の把握

得られた電離箱線量計との乖離の理由は、ルビーからの光を導光している光ファイバーから発するチェレンコフ光の影響の可能性を疑い、ルビーを設置していない光ファイバーのみを使用して、チェレンコフ光単体の測定を行い、その影響を調べた。

(2) 半導体型光電子増倍管 (MPPC モジュール) を使用した多数点同時測定の可能性の把握

MPPC モジュールを使用して、同時多数点測定の可能性を把握するために、光ファイバー接続用金具を製作し、4 個の人工ルビーセンサーを 4 本の光ファイバーで導光し 4 点同時測定を行った。

4. 研究成果

(1) 開発したシステムの放射線治療用高エネルギー X 線における基礎特性

短時間特性の測定

短時間特性のデータを基にバックグラウンドの補正が可能であり、人工ルビーの残光補正の可能性が示唆された。

線量率とカウントとの関係

人工ルビーをセンサーとして使用しているため、高線量率における数え落としが確認されたが、一般的に使用されているシンチレーション検出器と同等の結果を得ることが可能であった。

MU 値との関係

総線量増加に伴ってリニアにデータが増加する傾向が確認できた (Fig.1)。

変動係数の算出

同一線量における変動率は一般的な線量計と同等の結果が得られた。

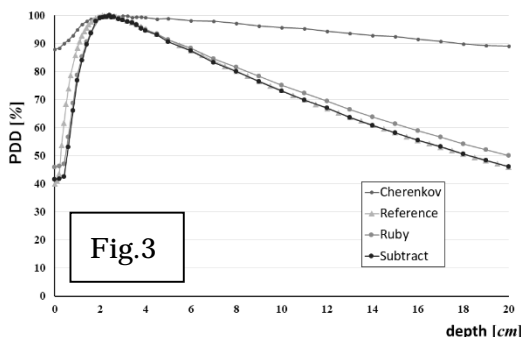
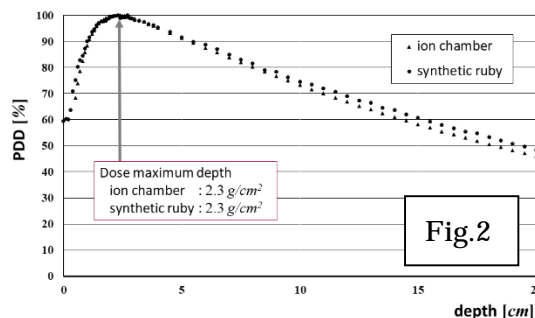
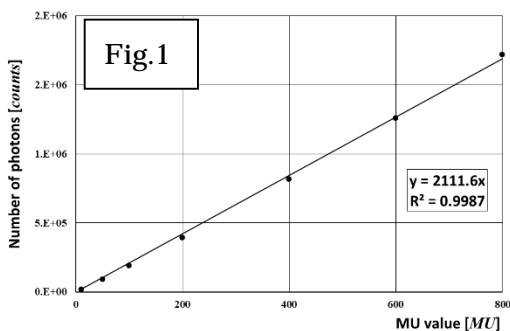
深部線量百分率 (PDD) の電離箱線量計との乖離

リファレンス線量計として使用した電離箱線量と最大線量深は同一の結果となった (Table.1) が、深部ならびに浅部で乖離が確認された (Fig.2)。

チェレンコフ光の影響の把握

上記の深部の乖離に関しては、光ファイバーのみで測定したチェレンコフ光のデータを差分することで補正が可能であった。浅部の乖離は使用した人工ルビーのサイズが直径 1mm の球状のものを使用しているため、電離箱線量計との大きさの違いによる影響ではないかと推測された (Fig.3)。

- (2) 半導体型光電子増倍管 (MPPC モジュール) を使用した多数点同時測定の可能性の把握
MPPC モジュールを使用して 4 点同時測定を行った結果、同時収集の可能性が示唆されたが、同時に測定するための固定方法やアプリケーションの開発が必要である事が解った。



Measurement conditions	Ion chamber (g/cm ²)	Synthetic ruby (g/cm ²)	Difference (g/cm ²)
10 MV 10×10 cm	2.3	2.3	0
10 MV 20×20 cm	2.1	2.0	0.1
6 MV 10×10 cm	1.4	1.5	0.1

No clear differences are observed between the ion chamber and synthetic ruby dosimeters

PDD percentage depth dose

Table.1

本研究結果より、我々が開発したシステムはリファレンスとして使用している電離箱線量計と同等結果を得られる可能性が示唆された。人工ルビーは工業用として製造されたものを使用しており、その製作コストは圧倒的に低額であるため、多数点設置を目的とした場合には非常にメリットがあると考えられる。さらに、直径 1mm の球状であり (体積 : 0.0005cm³)、電離箱線量計 (体積 : 0.35cm³) の 1/700 程度の大きさとなり、空間分解能に優れるため微小照射野時の線量測定にも追従可能である。これらを踏まえて、本システムを使用する事で放射線治療時のリアルタイム多数点同時測定の可能性が示唆され、放射線治療時の患者に対する安全性をより高めることができる可能性が示唆された。しかしながら、MPPC モジュールを使用した際の安定性や精度などは把握出来ていないため、今後はさらなる詳細なデータ収集の必要があると考えられる。さらに、多数点同時測定用のアプリケーションやセンサーの固定方法、チェレンコフ光の補正方法なども検討する必要があると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsumoto Kenki, Maruyama Ayaka, Watanabe Satoru, Tachibana Ryosuke, Yamaguchi Toshiya, Suzuki Kouki, Kurihara Yoshiki, Maehara Masayoshi, Arakawa Satoshi, Hosokai Yoshiyuki	4. 巻 16
2. 論文標題 Characteristics of a real-time radiation exposure dosimetry system using a synthetic ruby for radiotherapy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 69～76
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12194-022-00691-1	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 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 添野美幸、丸山采華、山口俊哉、桜庭裕貴、鈴木康公、平栗佳菜子、細貝良行
2. 発表標題 人工ルビー線量計を使用した頭部領域CT撮影時の水晶体被ばく線量の測定
3. 学会等名 第9回東北放射線医療技術学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮入拓未、丸山采華、山口俊哉、浅川百恵、岡田裕樹、森高野、細貝良行
2. 発表標題 放射線治療領域における人工ルビー線量計と電離箱線量計の相違について
3. 学会等名 第9回東北放射線医療技術学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細貝良行
2. 発表標題 人工ルビーを使用したリアルタイム放射線量測定システムの開発
3. 学会等名 とちぎテックプラングランプリ2019
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
---------	---------