

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25670526

研究課題名(和文) IVRにおけるリアルタイム式皮膚表面放射線量測定システムの開発

研究課題名(英文) Development of real-time radiation exposure dosimetry system for interventional radiology using synthetic ruby

研究代表者

細貝 良行 (Hosokai, Yoshiyuki)

東北大学・医学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：90451525

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：臨床において局所照射線量をリアルタイムに把握するシステムは存在しないため、過剰照射などで発生する医療事故を現状では防ぐのが難しい。一方、人工ルビーはシンチレータとしての特性を持っており、1mm程度の大きさでも十分放射線を検出する能力がある。この人工ルビーに放射線が照射されることによって発する光を光ファイバーで導光し、フォトンカウンティングシステムで検出することで、照射線量をリアルタイムにモニタリング可能なシステムの開発を行った。開発したシステムはX線照射時の視野の邪魔にならず、リアルタイムに照射線量の検出が可能であり、他の線量計と比較しても同等以上の安定性が得られ、非常に有用である結果を得た。

研究成果の概要(英文)：Radiation-induced injury is a considerable problem in performing interventional radiology (IVR). One of the reasons for this injury is that the local skin dose cannot be monitored in real time. There are systems to measure the exposure dose; however, some of these cannot measure in real time, and some of the real-time measurement systems that enter the field of view interfere with the IVR. The ruby scintillator is known to emit light in response to radiation. The emitted light, which is guided using an optical acrylic fiber, can be measured in terms of the number of photons using a photon counter unit in real time. We examined some basic characteristics of the system. The ruby used in this study did not interfere with the IVR. There was a strong correlation between the measured data and the change in the exposure dose condition. As a result, the local skin dose was obtained by dividing the number of photons. So, using the proposed system, the exposure dose can be measured in real time.

研究分野：放射線技術科学

キーワード：人工ルビー リアルタイム 放射線計測 シンチレータ フォトンカウント 校正曲線 X線計測システム 過剰照射

### 1. 研究開始当初の背景

原子力発電所の事故以来、放射線という言葉に過剰に反応する人々が増えてきた。医療の現場においても、X線撮影時に患者から被曝線量の問い合わせが増えてきたのは事実である。放射線を使用した診断・治療機器の放射線量はマスコミを含め多数の人々から大変な関心が持たれている。しかし、放射線治療時の過剰照射などの医療事故が多発している現状があり、これらの原因は局所照射線量を直接モニタすることができないことに一因している。局所照射線量がリアルタイムにモニタできない現状では、オペレータは医療事故が発生したのか否かも判断できない。リアルタイムで測定可能な線量測定システムが開発されれば、その信号を元に治療装置の制御が可能であり、正確な照射線量投与と同時に医療事故を激減させることができる可能性が示唆される。

血管カテーテル検査・治療(Interventional Radiology: IVR)は手技や治療対象によりX線照射時間の長短があり、IVRが長い場合には皮膚面の赤化や脱毛、ひどい場合には皮膚壊死などが発症し、患者の予後やQuality of Life(QOL)に大きく影響する場合がある。確定的影響から皮膚面の最大照射線量は2Gy以下にとどめるべきであるとICRPから勧告されている。

近年のIVR機器によっては照射線量の大きな把握が出来る装置も増えてきている。しかしながら、これらの装置は対象患者の皮膚面の照射線量の分布を把握できるのでは無く、全体としてどの程度のX線が全体に照射されたのかを把握するに留まる。すなわち、最も照射線量が高い部分が最も障害の発生しやすい部位であるにもかかわらず、その把握が出来ないのが現状である。これらを把握することはIVRに携わる医療関係者にとっては悲願であるにもかかわらず、それが出来ていない現状がある。一部の研究ではThermo Luminescence Dosimeter(TLD)素子を使用して、照射線量の局所的分布を得ようと試みている研究者もいて、照射線量の分布を等高線のように把握できるため有効であると述べている。しかしながら、TLDはIVR後に専用の測定器を使用して読み込みを行いデータが得られるため、リアルタイムで照射線量が得られるわけではない。すなわち、放射線障害の予防で行われるのでは無く、あくまでも確認の意味で行われているのが実際である。

これらをふまえ、X線照射時の照射線量をリアルタイムに把握することで、患者の局所照射線量をモニタリングし必要に応じた処置をその場で行うことにより、IVRなどの治療のみならずその先の患者のQOLにまで踏み込んだ医療を行う必要がある。これが可能となれば、患者のみならずオペレータの負担も大幅に低減される可能性もある。

### 2. 研究の目的

シンチレータとして直径2mm人工ルビーを使用し、リアルタイムに患者皮膚面の照射線量が局所的分布として把握可能で、さらに検査のじゃ間にならないシステムの構築を目的としている。

本システムは直径2mmの人工ルビーを使用し光を光子カウンタにて計測することで、定量性がよく、リアルタイムに照射線量の検出が可能なシステムである。診断領域のX線においては、他のX線照射線量を検出するためのシステムと同等以上の優れた特性を示し、IVR時の検査の邪魔にならないシステムを安価に製作する。本目的が達成されれば、IVR時の医療事故の可能性が大きく減少し、患者のみならず術者にとっても大きなメリットとなり、社会的貢献度は計り知れないと考える。

### 3. 研究の方法

人工ルビーが発する光を光ファイバーで検出し、光子カウンタにて計測することで基本的システムの構築を行った。さらに、開発したシステムの下記に示す基礎特性の把握を行った。

- 管電圧依存性
- 線量特性
- エネルギー依存性
- 高線量に対する安定性
- センサー部の角度依存性

これらのデータを基に光子家運ティンシステムで得られた値(count)を局所照射線量に変換するための校正曲線を作成することで、リアルタイム照射線量が把握できるシステムの構築を行った。これらの基礎特性は校正済みのRADOCAL社製Model9015線量計を基本線量計とした。

### 4. 研究成果

#### (1)システム開発

最初に特注の直径2mmの人工ルビーを発注し、それに接続する光ファイバーの設計を行った。光ファイバーは先端部分に人工ルビーが上手く接着できるようにくぼみを付けて設計した。光子の検出には浜松フォトニクス社製の光子カウンティングシステム

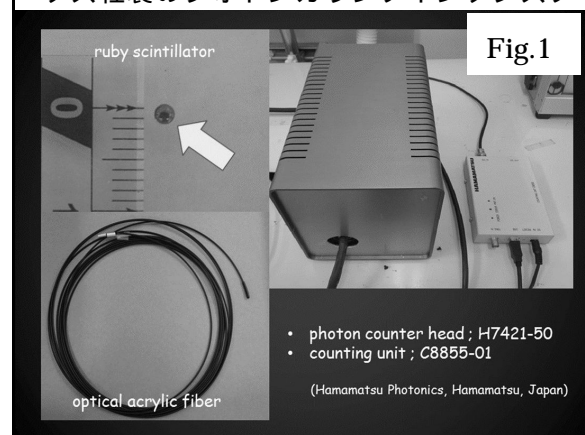


Fig.1

- photon counter head ; H7421-50
- counting unit ; C8855-01

(Hamamatsu Photonics, Hamamatsu, Japan)

ム (H7421+C9744) を使用した。光ファイバーは光子カウンティングシステムに専用のコネクタを用いて接続し、光子カウンティングシステムは持ち運びが可能なケースに固定した状態で使用した。開発したシステムの外観を Fig.1 に示す。

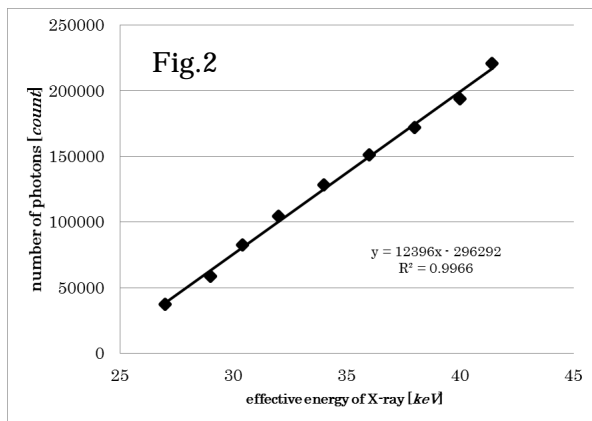
(2)基礎特性

管電圧依存性

管電圧変化に対する count は相関係数  $r^2$  が 0.99 以上となり、優れた直線性を示した。

線量特性

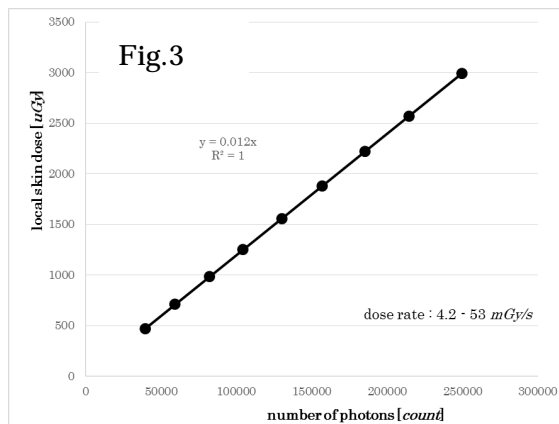
感電流ならびに照射時間を変化させることで線量特性の把握を行った結果、count は相関係数  $r^2$  が 0.99 となり、照射線量の変化に対しても直線関係が得られた。この関係を以下の Fig.2 に示す。



エネルギー依存性

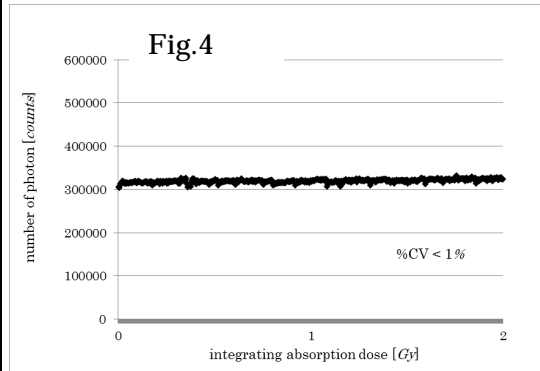
上記 および を基に count を照射線量に校正するための直線の式 ( $y=0.012x$ 、 $r^2=0.999$ ) を得た。また、半価層を求めることで X 線エネルギーを把握し、エネルギーに対する依存性を測定した。前記式とエネルギーの関係から、本システムは管電圧 130kV (エネルギー: 41.6KeV) じで最大 13%の過大評価となった。この値は前述した他の線量計 (TLD など) と比較しても同等以上の優れた特性となった。

得られた count から照射線量に変換するために式およびグラフを Fig.3 に示す。



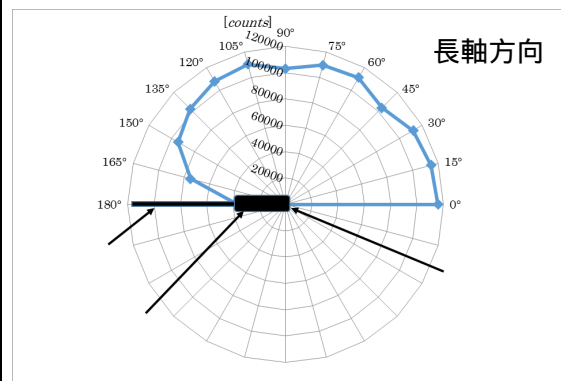
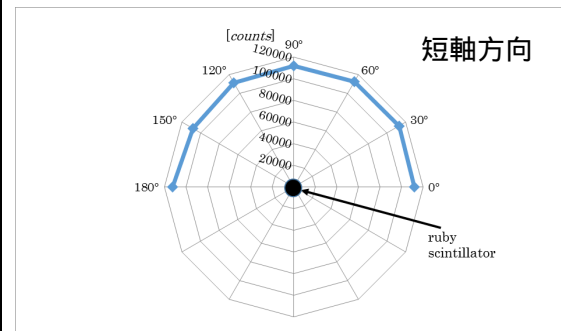
高線量に対する安定性

ICRP の勧告に基づき、2Gy 照射時までの安定性を 1 回曝射あたり約 3mGy で約 700 回ほど曝射することでシステムの安定性の把握を行った。変動係数は約 1%以下となり、システムの安定性が把握できた。Fig.4 にこの安定性を示すグラフを表示する。



センサー部の角度依存性

実際に臨床の場で使用する事を想定し、センサー部に入射される X 線の角度に対する角度依存性の把握を行った。センサー部への入射角度に対して、短軸方向では角度依存性は認められず一定の値を示したが、光ファイバーが設置されている長軸方向への角度依存性が見られ、150° 以上の後方からの X 線の入射に対しては count が減少する傾向が見られた。角度依存性は他の X 線線量計やシステムでも散見され、それらと比較しても同等以上に広範囲な X 線検出が可能であった。以下に短軸ならびに長軸の角度依存性を示す。



これらの結果より本研究にて構築したシ

システムは既存の線量計と比較しても同等以上の特性を示し、当初の目的である X 線線量を実際の臨床の状態リアルタイム検出するシステムの構築が理想的な形で実行することができたものと考え。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

現在投稿中

〔学会発表〕(計 6 件)

阿部凌那、細貝良行他、IVR 時に用いる人工ルビー被ばく線量測定システムの開発-実用化に向けた検討. 第 5 回東北放射線医療技術学会大会、山形セルサ、山形、2015 年 10 月 31 日~11 月 1 日

松本健希、細貝良行他、人工ルビーを使用した IVR 時における被ばく線量測定システムの開発-多数点同時計測に向けての検討. 第 43 回医会日本放射線技術学会秋期学会大会、パシフィコ横浜、横浜、2015 年 9 月 9 日

松本健希、細貝良行他、人工ルビーを使用した IVR 時における被ばく線量測定システムの開発-臨床条件における検討. 第 71 回医会日本放射線技術学会総合学会大会、パシフィコ横浜、横浜、2015 年 4 月 19 日

Y.Hosokai, M.Kozakai 他、Development of real-time radiation exposure dosimetry system for interventional radiology using synthetic ruby. ECR, Austria, Wien, April 4-8, 2015

小塚雅貴、細貝良行他、人工ルビーを使用した Interventional Radiology 時における被曝線量測定システムの基礎的検討、第 7 回リトリート大学院生研究会発表会、東北大学片平キャンパス、仙台、2014 年 1 月 18 日

大沼智哉、細貝良行他、人工ルビーを使用した IVR 時における被曝線量測定システムの基礎的検討. 第 3 回東北放射線医療技術学会大会、コラッセ福島、福島、2013 年 11 月 2 日~3 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

細貝良行 (HOSOKAI, Yoshiyuki)

東北大学・大学院医学系研究科・講師

研究者番号: 90451525

(2)研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者

( )

研究者番号: