

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24601020

研究課題名(和文) I VR用リアルタイム被曝線量位置分布計測システムの開発

研究課題名(英文) Development of a real-time dose distribution monitoring system for IVR

研究代表者

錦戸 文彦 (Fumihiko, Nishikido)

独立行政法人放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・研究員

研究者番号：60367117

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではIVR手技における被ばく線量をリアルタイムに測定するためのX線検出器の開発を行った。検出器がX線撮像装置に写ってしまうと治療の邪魔になってしまうために、検出器にはX線に対する透過性が要求される。そこでプラスチックシンチレータと光ファイバ、フォトダイオードからなる検出器の開発を行った。評価実験では動物用CTやヒト用のX線撮像装置を用いて実験を行った。その結果、1秒間隔のリアルタイム測定を行うことに成功し、また、検出器応答としては十分なX線に対するリニアリティが得られた。加えてX線撮像装置の画像に検出器が写りこむこともなく、X線に対すして十分な透明性を得ることに成功したといえる。

研究成果の概要(英文)：We proposed a real-time dose distribution monitoring system for Interventional radiology (IVR). Scintillation detectors which consist of low stopping power materials, such as plastic scintillators, are placed on a stretchable cap which can be worn by the patient. Scintillation light is fed to photo detectors outside the FOV through plastic optical fibers. This arrangement means that there are only radiolucent materials in the FOV and the proposed dose monitor does not interfere with the IVR procedure. As a result, the proposed monitor realizes real-time monitoring of the dose distribution on the patient's skin. We are developing a prototype of the proposed system which consists of three X-ray detectors. We conducted evaluation experiments of detector performance with the micro CT apparatus operating in the projection mode. The experimental results indicated that the proposed dose monitoring system could measure real-time dose distribution with at least a 1 s interval.

研究分野：放射線計測

キーワード：IVR リアルタイム線量計 X線検出器

1. 研究開始当初の背景

医療用放射線によるX線透視技術を用いた治療はインターベンショナルラジオロジー (IVR) と呼ばれ、従来の外科的手術法に比べ患者への侵襲が少ないことから様々な疾患の治療に広く利用されている。しかしながら IVR による放射線被曝による長期的な人体への影響が指摘されており、IVR 治療を行う場合にはX線診断装置からの被曝量の測定を行い、各患者個人の被曝量を記録しておくことがICRPからも勧告されている。また、頭頸部 IVR の様に照射部位を絶えず変化させる場合には部位によって被曝線量が異なってくるため、直接的に体表での被ばく線量分布を得ることが望まれる。これに加えて、リアルタイムに線量分布をモニタすることが可能となれば、術中に一つの部位に多くの線量が当たることを回避することが可能になるなど、更なるリスクの軽減が期待できる。そのような観点から、本研究では術中にリアルタイムに患者体表での被曝線量位置分布の計測を行うことが可能な計測システムの開発を行う必要がある。

IVR における被曝の測定を行うために様々な種類の検出器が提案・実用化されている。例えば直接的に線量の計測が可能な熱蛍光線量計(TLD)があるが、測定可能線量域が不十分であることや、後処理で線量を評価するためリアルタイムの計測が不可能であるなど本課題の目的では使用できない。また、電離箱はリアルタイムに線量計測が可能であるが、検出器の構成物質がX線撮像装置に写ることや検出器単価が高額であるため、多数配置して位置分布を得ることが難しい。面積線量計(DAP)、CAREGRAPH、NDD法はリアルタイムに線量計測を行うことが可能であるが、直接的に体表で線量測定を行っておらず、患者の体格差など反映することが難しい。加えて頭頸部 IVR の様に照射方向を術中に変化させる場合には、正確な体表での被曝線量を得ることが困難である。放射線感受性インジケータは色の変化でリアルタイムに線量を推定することが可能であるが、視認により線量を評価することになるため、術中に正確な値を得ることは困難であると考えられる。このように各検出法にはそれぞれに優れた点を持ちつつも、リアルタイムに線量の位置分布を得ようとする場合には十分とはいえない。

そこで本研究ではリアルタイムに線量分布を得ることが可能な測定装置の開発を目的としている。

2. 研究の目的

過去に連携研究者の盛武らは多数の放射蛍光ガラス線量計(RPLD)を伸縮性の高い帽子

に取り付ける被曝線量分布計測手法を提案し、精度の良い体表での被曝線量位置分布の直接測定に成功している。RPLDは後処理を行うことで線量の読み取りを行うため、精度の高い線量評価を行うという点では優れているものの術中にその線量を知ることは不可能である。そこで、RPLDをリアルタイム性の高いシンチレーション検出器に置き換えることができれば、リアルタイムに体表線量位置分布を計測することが可能となる。本課題では多数のプラスチックシンチレータを体表に配置し、シンチレーション光を光ファイバを通して読み出すことでリアルタイムに線量分布を得ることが可能となる。本研究ではそのためのX線検出器の開発を行った。

3. 研究の方法

リアルタイム線量分布測定装置に要求される特徴は次の通りである。

治療中リアルタイムに測定を行えること
被ばく線量の位置分布が得られること
(多素子読み出し)
体表での線量を直接的に測定が可能であること

検出部がX線診断装置に写らないこと
1 検出器あたりの値段が安くすむこと

これらを解決する手段として用いる方法を以下に示す。X線の検出には実行原子番号や密度が低く発光量の高いプラスチックシンチレータを使用する。40-50個程度のプラスチックシンチレータが伸縮性の高い帽子(頭部装着具と呼ぶ)上に固定され、図1の様に患者の頭部に被せられる。この頭部装着具を使用する手法は過去に連携研究者の盛武らによってRPLDを用いた研究において有用性が示されている。シンチレータからの発光は光ファイバを用いてX線診断装置の視野外に送られる。取り回しを考慮し、ファイバ径は1-2mm径、長さは1~2メートルものを使用する。これにより視野内には原子番号・密度の低いプラスチックシンチレータと光ファイバのみが設置されることになり、X線撮像装置に写ることなく体表での位置分布を得ることが可能となる()。最終的にシンチレーション光の検出はX線撮像装置の視野外に置かれた光検出器であるMulti-pixel photon counter(MPPC)で行う。MPPCはプラスチックシンチレータの発光波長中心(約420nm)で感度が高く、サイズも1辺1-3mm、厚さ1-2mmでありシステムをコンパクトにすることが可能となる。プラスチックシンチレータ・ファイバ・MPPCは安価であるため、本手法の様に多数用いる場合でも現実的なコストでの装置の制作が可能となる()。収集回路系からのデータはパソコンから読み出しを行い、最終的にリアルタイムに各検出器で計測された線量をディスプレイで表示を行う。

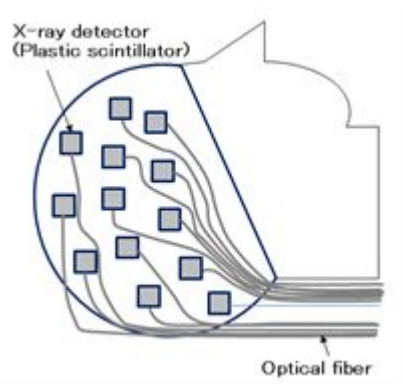


図1 提案する IVR 用リアルタイム線量計

4. 研究成果

図2、3に作成した IVR 用リアルタイム線量計測システムのための X 線検出器の構造を示す。10 mm × 10 mm × 1 mm のプラスチックシンチレータの角に、シンチレーション光を讀出すための 1 mm × 1 mm の切れ込みを入れ、そこに 1.5 m 長・直径 1 mm のプラスチック光ファイバ(Eska GH4001, Mitsubishi Rayon Co., Ltd.)を接続し、X 線装置の視野外にシンチレーション光を引き出した後、フォトダイオード (S1337-66BQ, Hamamatsu Photonics K. K.)で検出を行った。フォトダイオードからの出力は I-V 変換アンプ(C9051, Hamamatsu Photonics K. K.)で増幅した後、最終的に 16ch マルチファンクション DAQ (NIUSB-6351, National Instruments)でデータの収集を行った。図4に測定システムの写真を示す。

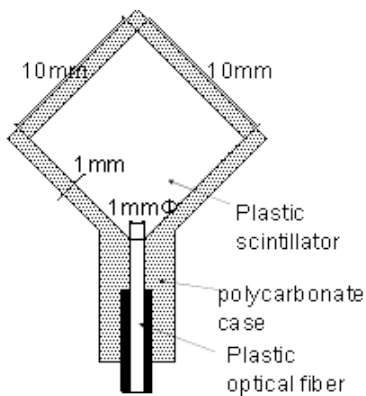


図2 X線検出部の構造

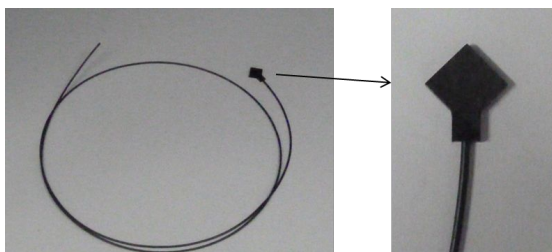


図3 評価システム全体図

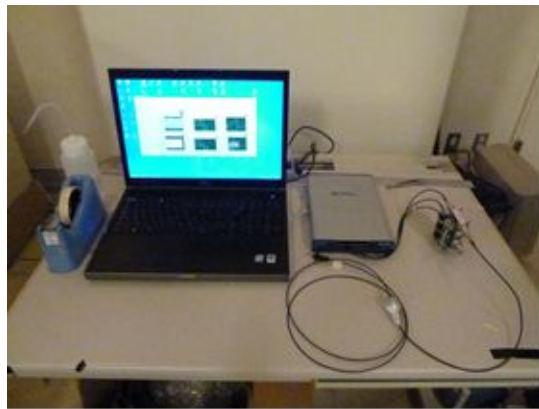


図4 評価システム全体図

はじめに動物用 CT (RmCT2, RIGAKU) を用いて検出器の X 線に対する応答を調べた。各プラスチックシンチレータを直径 4cm の円筒状の亚克力ファントム上に取り付け、X 線管球の位置を全周に渡って 90 度ずつ回転させながら、各位置で 30 秒ずつデータの測定を行った。また、検出器のリニアリティの測定は管電流を変えながら測定を行った。

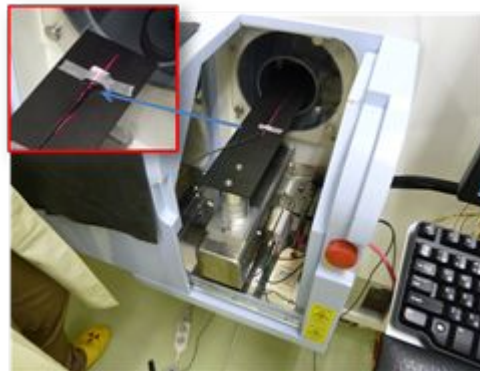


図5 実験セットアップ

図6に X 線管球の位置を全周に渡って 90 度ずつ回転させながら測定した結果を示す。0.1ms 毎の各検出器からの出力を 1 秒間で平均した値を縦軸に示しめしている。それぞれの出力は X 線を検出器の正面から当たった時の値で校正している。図からわかる通り、検出器の真上から照射された場合が最も大きな値を示し、180 度反対の方向から照射された場合には値が最も小さくなっており、X 線管球とシンチレータの位置関係の違いによる単位時間当たりの被曝線量の違いが測定できていると言える。実際の治療の現場で用いる際も 1 秒程度でのデータ更新で十分であり、IVR 用のリアルタイムモニタとしての十分な性能が得られていると言える。また、各検出器に対して X 線の入射方向が同じ場合には、どの検出器もほぼ同じ値をして示しており、X 線照射方向に対する応答の検出器ごとの違いは殆ど無いと言える。

図5に管電流に対する出力の平均値を示す。図からわかる通り 3 つの検出器のすべて

が同じ傾向を示しており、リニアリティも十分であるという結果が得られている。

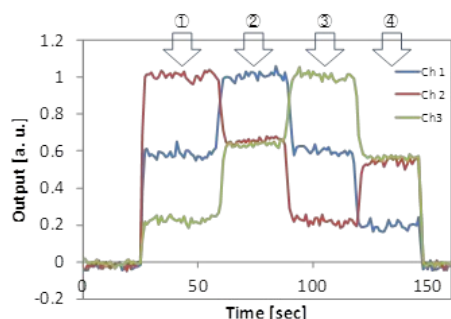


図6 X線照射方向をかえながらのリアルタイム測定の結果

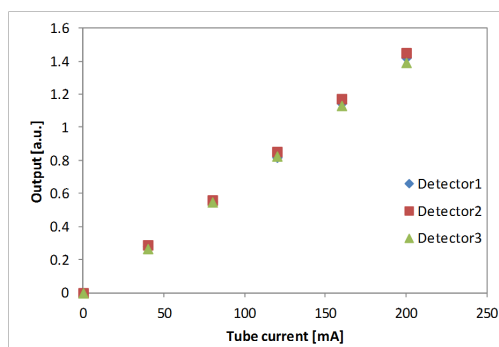


図7 検出器出力の管電流に対するリニアリティの測定

次に実際に治療に用いられているX線撮像装置を用い、プラスチックシンチレータのX線に対する透過度を調べた。X線撮像装置は Philips Allura Xper FD20/20 を用いて、検出器を図8の通りに頭部ファントム上に配置し撮像を行いその透過度の評価を行った。図9に得られたX線画像を示す。図からわかる通りX線検出器を視認することはできず、十分な透明性が得られているといえる

これらの結果から、本研究で開発したシステムは、リアルタイム性・X線に対する応答・X線透過性の観点から、IVR用リアルタイム被ばく線量分布測定システムとして十分な性能が得られると結論できる。



図8 頭部ファントムを用いた透明性の評価実験のセットアップ

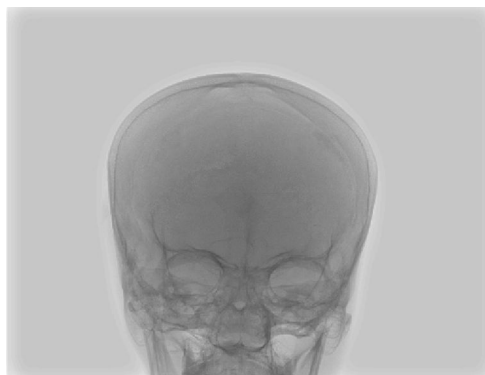


図9 試作システムの透明性の評価

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 1 件)

- [1] 錦戸 文彦, 伊藤 浩, 山谷 泰賀, 盛武 敬, 岸本 俊二、Prototype X-ray Detector of Real-time Monitoring System for Interventional Radiology Using Plastic Scintillators and Optical Fiber, RADIATION DETECTORS AND THEIR USES, , 12 - 20, 2014-01、査読付き

〔学会発表〕(計 7 件)

- [1] 錦戸 文彦, 高田 英治, 盛武 敬, 山谷 泰賀 Real-Time Monitoring System of Skin Dose Distribution in Interventional Radiology Using Organic Photo Diodes Combined to Plastic Scintillator, 2014IEEE NSS/MIC 2014-11-13
- [2] 錦戸 文彦, 盛武 敬, その他, ”プラスチックシンチレータと光ファイバを用いた IVR 用リアルタイム被曝線量分布モニタシステムの開発”, 2013年 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 日本応用物理学会, 2013-09-20
- [3] 錦戸 文彦, 盛武 敬, その他, ”IVR 用リアルタイム被曝線量位置分布計測のための X 線検出器の開発”, 第 105 回日本医学物理学会学術大会, 日本医学物理学会, 2013-04-14
- [4] 錦戸 文彦, 盛武 敬, ”プラスチックシンチレータと光ファイバを用いたIVR用リアルタイム線量計の開発”, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会放射線分科会, 2013-03-30
- [5] 錦戸 文彦, 盛武 敬, 岸本俊二、伊藤浩、山谷泰賀、「IVR 用リアルタイム

線量計測システムのための X 線検出器
の特性評価」、研究会「放射線検出器と
その応用」、KEK、2013

- [6] Fumihiko Nishikido, Takeshi Moritake, et.al,
“X-Ray Detector Made of Plastic
Scintillators and WLS Fiber for Real-Time
Dose Distribution Monitoring in
Interventional Radiology”, 2012 Nuclear
Science Symposium, Medical Imaging
Conference, Anaheim, CA, USA, 2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

綿戸 文彦 (Nishikido Fumihiko)
放射線医学総合研究所・分子イメージング
研究センター・研究員
研究者番号：60367117

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

盛武敬 (Takeshi Moritake)
筑波大学・医学医療系・講師
研究者番号： 50450432