

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K08709

研究課題名(和文)有機フォトダイオードを用いたIVR用リアルタイム線量分布測定システムの開発

研究課題名(英文)Real-time dosimeter using organic photodiode for IVR

研究代表者

錦戸 文彦(Nishikido, Fumihiko)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 計測・線量評価部・研究員(任常)

研究者番号：60367117

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、IVRの術中にリアルタイムに被曝線量測定を行うことを目的として、有機フォトダイオードを用いた新しいX線検出器の開発・評価を行った。本検出器はX線透視装置に対して透明かつ十分な信号出力が得られるものであるということの特徴としている。X線検出素子には有機フォトダイオードを10 mm×10 mm×1 mmのプラスチックシンチレータ上に直接作成を行ったものを用いた。その結果、透視画像上では、ほとんど視認することが不可能であり、十分な透過性やX線検出器としての特性を得ることに成功した。

研究成果の概要(英文)：Interventional radiology (IVR) is a medical subspecialty of radiology to realize image-guided surgical procedures using imaging modalities, such as x-ray fluoroscopy. However, skin injuries by prolonged x-ray exposure during the procedure have been reported. Therefore, real-time monitoring of skin dose is desired in clinical sites for reduction of excessive x-ray exposure. We developed a real-time dose distribution monitoring system using an organic photodiode directly fabricated on a plastic scintillator for the IVR. The organic photodiode is mainly composed of organic materials, which has good transparency for X-ray. In evaluation with a small animal CT, we obtained the sufficient signals from the OPD in real-time with 1 s interval. In addition, the OPD detector have a transparency enough to be used in the IVR procedure.

研究分野：放射線計測

キーワード：有機半導体 有機フォトダイオード IVR リアルタイム線量計

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事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曝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とその実証を目的とする。

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計測が可能であるが、検出器の構成物質がX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法も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、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。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。しかしながらRPLDは後処理を行うことで線量の読み取りを行うため、術中にその線量を知ることは不可能である。また、我々のグループでも多数のプラスチックシンチレータを体表に配置し、シンチレータからの発光を光ファイバを通してX線撮像装置の視野外まで導きだし、フォトダイオードなどの光センサで読み出す検出器の開発を行ってきた。しかしながら、この手法も光ファイバなどの取り回しに手間がかかり、50chなどの非常に多数の読み出しを行う際には適さない。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ず、新しい測定手法の開発が必要とされている。

2. 研究の目的

前述の背景より、本測定手法には、(1)治療中リアルタイムに測定を行えること、(2)被曝線量の位置分布が得られること(多素子読み出し)、(3)体表での線量を直接的に測定が可能であることが必要とされる。また、多数の検出器を配置するために、検出器がX線画像に写ってしまうと治療の邪魔になるため、(4)検出器がX線診断装置に写らないことが非常に重要である。また、(5)1検出器あたりの値段が安くすむことも多数の検出器を使用するために必要になる。本研究はこれらの条件を満たす新しい測定手法の開発を行う。最終的には試作検出器を作成し、実用性の評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 提案手法

そこで本研究課題では図1に示すような、プラスチックシンチレータ上に直接に有機フォトダイオードを作成する技術を用いた線量モニタシステムの開発を行う。有機フォトダイオードは有感部に有機物を使用し、加えて非常に薄い電極で出来ている光センサであるため、一般的なフォトダイオードと異なりX線に対して完全に透明である。また、電気信号を読み出すために非常に薄いフレキシブル基板などのX線に透過な材質を選ぶことで、多数の検出器を配置してもX線透視装置に写らない測定システムが可能となる。X線画像に写ってしまう電流計等はX装置の視野外に置く。また、シンチレータと光検出器を用いた、いわゆるシンチレーション検出器であるため、リアルタイムでの測定も可能となる。

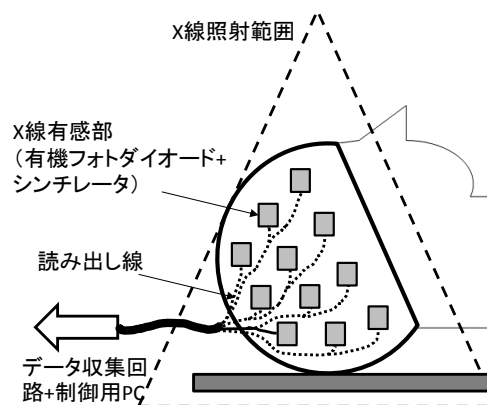


図1 提案手法の概略図

(2) 有機フォトダイオード検出器

試作験で使用した有機フォトダイオード検出器を図2に示す。有機フォトダイオード素子の、各層の厚さはIZO (100nm)/

PEDOT: PSS (30 nm) / PCBM: P3HT (200 nm) / Al (70 nm)となっている。有機フォトダイオードの有感領域は 6 mm×4 mm である。この構造を持つ素子が、10 mm×10 mm、厚さ 1mm のプラスチックシンチレータ上に、スピコート法を用いて直接作成されている。図 2 下に示すように、試作検出器では長さ約 35cm の極薄フレキ基板上に、3 つの有機フォトダイオード素子を取り付けられている。基板の厚みは全体で 50 μm 以下であり、伸縮性・透過性ともに十分である。また、電極の接着はカーボンペーストを使用している。評価実験は、小動物用 CT (R_mCT2, RIGAKU)を用いて行った。図 3 に示す通り、段ボール製のベッドの上に有機フォトダイオード検出器を置き、透過性の評価や、管電流や管電圧の変化を変化させた場合の X 線に対する応答についての評価を行った。

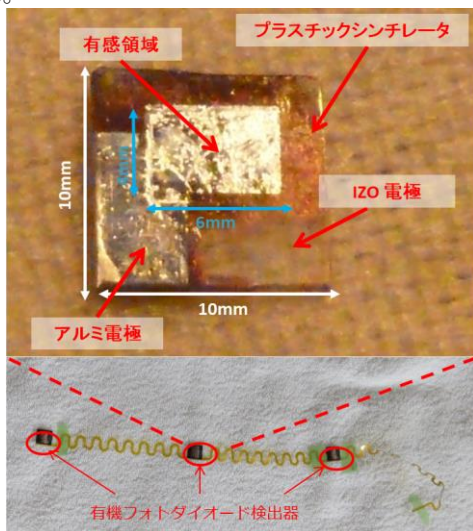


図 2 試作検出器

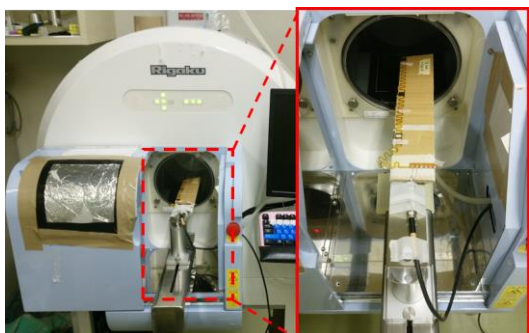


図 3 実験セットアップ

4. 研究成果

(1) 透過性の評価

はじめに透視画像を取得して、透過性の評価を行った。図 4 に得られた X 線透視画像を示す。左側に試作した有機フォトダイオード検出器が置かれており、右側に過去に開発を行った光ファイバとプラスチックシンチレータからなる検出器がおかれている。過去に頭部ファントムを用いた実験で、光ファイバを用いた検出器は十分な透過性を持って

ることが確認されており、それと比較しても試作有機フォトダイオード検出器は同等の透過性が得られていることがわかる。

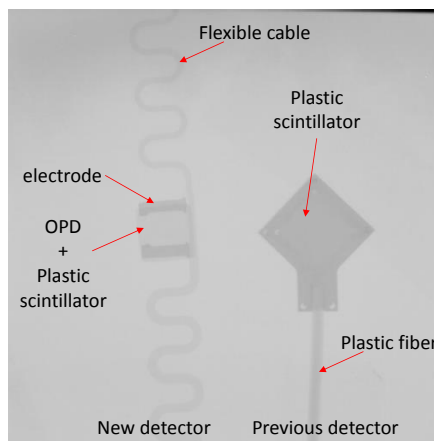


図 4 X 線イメージング結果

(2) リアルタイム測定の評価

次に、リアルタイム測定が可能かどうかの評価を行った。図 5 に管電流の値を 20 μA、40 μA、80 μA、120 μA、160 μA、200 μA と変化させながら、1 秒毎に電流計で得られた有機フォトダイオードからの電流値を示す。0 秒から 40 秒程度、200 秒以降は X 線照射を行っておらず、暗電流成分が計測されている。実際の治療の際には 1 秒毎で充分であるため、提案した手法のリアルタイム性は問題ないといえる。

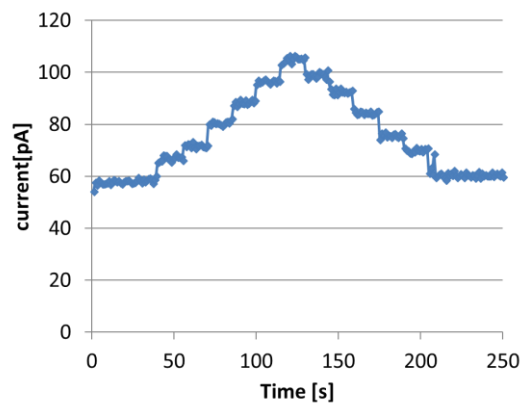


図 5 リアルタイム測定

(3) X 線照射に対する応答特性の評価

続いて、試作検出器の X 線照射に対する応答測定の評価を行った。図 6 に管電流を 20 μA、40 μA、80 μA、120 μA、160 μA、200 μA と変化させた場合に得られた平均出力電流の値、図 7 に管電圧を 30kV、50kV、70kV、90kV と変化させた場合に得られた平均出力電流の値を示す。図 7 については各管電圧での X 線の実効エネルギーを横軸に示している。どちらの場合も、非常に良い線形性が得られており、X 線検出器として優れた応答特性を示しているといえる。最後に有機フォトダイオードの出力の X 線照射方向に対する依存性に

ついでの評価を行った。X線管を360度回転させながら、電流計で出力電流を測定した(図8)。0秒から20秒、140秒以降はX線の照射は行っておらず、暗電流の成分が計測されている。図からわかる通り、照射方向によらずほぼ一定の電流値が得られており、照射方向依存性についても良好な結果が得られたといえる。

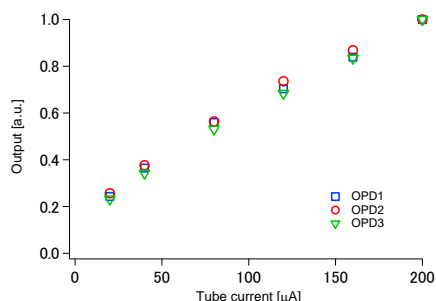


図6 管電流の変化に対する応答特性

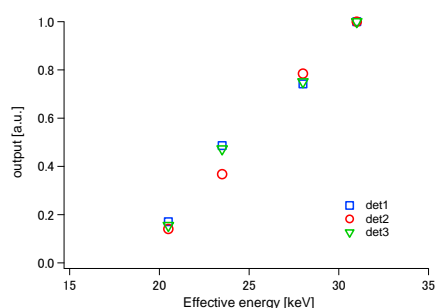


図7 出力の実行エネルギーに対する線形性

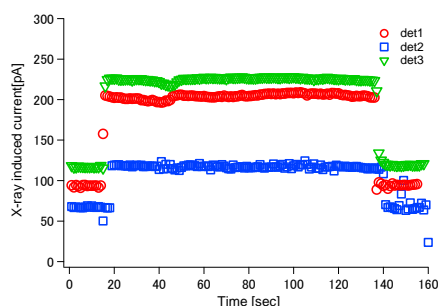


図8 出力の照射方向依存性

(4) まとめ

結果より、試作したIVRリアルタイム線量位置分布測定用の有機フォトダイオード検出器は、X線に対して十分な透過性を持っており、X線照射に対する応答も優れた性質を有していることがわかる。今後は、この結果をもとに、実用化に向けた研究を行っていく必要がある。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計5件)

[1] Fumihiko Nishikido, Eiji Takada, Mitsuhiro Nogami, Gen Shikida, Munetaka Nitta, Genki Hirumi, Taiga Yamaya, Organic photodiode detectors for heavy ion beam measurement, The 2017

Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, together with the 24th Symposium on Room-Temperature X- and Gamma-Ray Detectors, IEEE, 2017-10-26

[2] 錦戸 文彦, 高田 英治, 鋪田 巖, 野上 光博, 新田 宗孝, 蛭海 元貴, 田久創大, 山谷 泰賀, 炭素線に対する形状の異なる有機フォトダイオードの特性の違いの評価, 第78回応用物理学会 秋季学術講演会, 2017-09-06

[3] 錦戸 文彦, 高田 英治, 野上 光博, 新田 宗孝, 山谷 泰賀, 炭素線測定への応用に向けた有機フォトダイオードの特性評価, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 2017-3-16

[4] Fumihiko Nishikido, Eiji Takada, Mitsuhiro Nogami, Tetsuya Maeda, Takashi Moritake, X-ray transparent multi-channel dosimeter based on organic photodiodes and plastic scintillators for real-time IVR monitoring, 2016IEEE NSS&MIC, 2016-12-04

[5] Fumihiko Nishikido, Eiji Takada, Takashi Moritake, Taiga Yamaya, X-RAY Transparent Detector for IVR Dosimeter Using Organic Photodiodes Combined to Plastic Scintillators, MMND-ITRO Conference 2016, 2016-01-26

[6] 錦戸 文彦, 高田 英治, 野上 光博, 盛武 敬, 山谷 泰賀, プラスチックシンチレータと有機フォトダイオードを用いたIVR用リアルタイム線量計の開発, 2015年第76回応用物理学会秋季学術講演会, 2015-09-16

6. 研究組織

(1)研究代表者

錦戸 文彦 (NISHIKIDO Fumihiko)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 計測・線量評価部・研究員

研究者番号：60367117

(2)連携研究者

盛武 敬 (MORITAKE Takashi)

産業医科大学・産業生態科学研究所・准教授

研究者番号：50450432

高田 英治 (TAKADA Eiji)

富山高等専門学校・電気制御システム工学科・教授

研究者番号：00270885