

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月13日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22611001

研究課題名（和文） I V R患者放射線被曝測定用リアルタイム線量計の開発

研究課題名（英文） Fundamental study of a Real-time Dosimeter using a Diagnostic X-ray Apparatus for Interventional Radiology

研究代表者

洞口 正之（ZUGUCHI MASAYUKI）

東北大学・大学院医学系研究科・名誉教授

研究者番号：20172075

研究成果の概要（和文）：X線透視撮影下でのカテーテルインターベンション（IVR）は、患者の生命予後改善に極めて有用である。一方現在、IVRに伴う患者被曝は非常に重要な問題となっている。放射線障害回避のためIVR時の患者放射線被曝線量のリアルタイム測定評価が重要であり、それによって放射線障害が起こる前にIVRを中断すること等も可能である。しかし実用的なIVR用リアルタイム線量計は現在無い。よって当研究は、小型固体X線シンチレータ検出部と光ファイバーを用いた、IVR用リアルタイム患者被曝線量計の開発研究を行った。

研究成果の概要（英文）：Radiation protection is an important issue in interventional radiology (IVR) for which the radiation dose should be monitored. To protect against patient skin injury, the radiation dose should be monitored in real-time. When more than one effective working view is available, a combination of different viewing angles and real-time monitoring of patient dose can be used to prevent any one skin area from receiving excessive radiation, thereby reducing the risk of skin injury. However, no feasible real-time patient dose measuring method has been established. The purpose of this study was to evaluate the feasibility of using real-time dosimeter to measure patient skin exposure dose after exposure to diagnostic X-ray energies during IVR. The real-time dosimeter detector consists of x-ray scintillator, optical fiber and photodiode. The real-time dosimeter was not visible on X-ray images at diagnostic energies. Furthermore, the real-time dosimeter is easy to handle. Therefore, it will be feasible to use the real-time dosimeter at diagnostic X-ray energies for measuring patient dose during IVR.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：時限

科研費の分科・細目：医学物理学・放射線技術学

キーワード：放射線、医療、福祉、循環器、IVR

1. 研究開始当初の背景

(1) X線透視撮影下でのカテーテルインター

ベンション（IVR）時の患者放射線障害（放射線皮膚潰瘍や放射線発がん等）を、回避する

ための決定的な方策・手法は、現在無い。また1990年以降、IVRにおける多くの放射線障害例(難治性皮膚潰瘍等)が報告されており、IVR時の放射線障害防止が世界的に大きな課題となっている。

(2) さらに、今もなおIVR時の放射線皮膚障害例(Wong L. Images in clinical medicine: radiation injury from a fluoroscopic procedure. *N Engl J Med*, 350: e23, 2004)が報告されており、現在においてもIVRに伴う患者被曝は非常に重要な問題となっている。また報告された放射線障害例は氷山の一角であり、実際は多数の障害が発生している(Kato M, Chida K. Patient Skin Injury in Cardiac Intervention Procedures, *RSNA* 2009)。よって最適なIVR患者被曝防護対策を早急に講じる必要がある。

(3) 国際放射線防護委員会(International Commission for Radiological Protection: ICRP)は、2000年に「IVRにおける放射線障害の回避」(Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures)というICRP勧告(ICRP Pub. 85)を出し注意喚起した。さらに2007年のICRP新勧告では「患者線量評価」を医療被ばく防護の最適化における重要なものと位置づけを強調している。

(4) ICRP勧告やFDA(米医薬食品局)勧告では、放射線障害回避のためIVR時の患者放射線被曝線量のリアルタイム測定評価を求めており、リアルタイム測定によって放射線障害が起こる前にIVRを中断でき、またはIVR手技中に患者最大線量が確定的影響の閾値を超えないように対応すること、例えば別の撮影透視角度を用いる等も可能である。しかし、実用的なIVR用リアルタイム線量計は、」現在無い。

(5) 固体シンチレータを用いたリアルタイム被曝線量計として10数年前Skin Dose Monitor (SDM)が開発され、その有用性が報告されて以来、SDMは世界的に普及した(Hwang E, et al. Real-time measurement of skin radiation during cardiac catheterization. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1998;43:367-70)。だが、検出器としてカドミウムを使用しており毒性が極めて強いことから、現在は製造が中止され使用できない。

(6) 近年、シリコン検出器を使用したリアルタイム計測器が考案された(Unfors Instruments AB)。だがその検出部と信号ケーブルはX線画像によく写り邪魔になりIVRでは使用できない。(千田浩一:心血管IVRにおける被曝線量計測評価に関する諸問題. *日本放射線技術学誌*, 62. 1507-15. 2006)。

(7) 医用放射線測定器として、熱ルミネセンス線量計やフィルムバッジ線量計等が広く普及しているが、これらの計測器は「リアルタイム計測」が不可能であり、放射線障害

回避のためには、ほとんど役立たない。

(8) 一方、面積線量計測定値(DAP)を用いて、間接的に患者被曝線量を評価することも試みられている(Den Boer A. Real-time quantification and display of skin radiation during coronary angiography and intervention. *Circulation*. 2001; 104: 1779-84)。しかしその線量評価値はあくまでも推定値であり、信頼性がない。

以上、IVR時の患者放射線障害を回避するための、実用的なIVR用リアルタイム放射線測定器は現存せず、その早急な開発が世界的に強く望まれている。

2. 研究の目的

高感度でX線透過性が良く、耐久性に優れ毒性のないX線シンチレータを探索し、小型固体X線シンチレータ検出部と光ファイバケーブルを用いた、IVR用リアルタイム患者被曝線量計を、世界に先駆けて開発する。さらに開発した線量計の特許申請等を行い、同時に研究成果を世界へ向け発信する。そのために、(1)上述したようなX線シンチレータの探索、(2)X線シンチレータの劣化現象等の検討、(3)X線シンチレータの固型化の検討、そして(4)リアルタイム線量計システムの開発について、主に研究を行う。

3. 研究の方法

当実験に際し使用した主な機器および測定器を次に示す。X線発生装置は島津社のUD-150型インバータ式装置、輝度測定器はトプコン社BM型輝度計、基準線量計はラドカル社の9015型電離箱線量計等を使用した。

(1) X線シンチレータの探索

従来から使用されていた各種のX線シンチレータの発光波長は、緑色や青色系である。これは、受光系(フォトマルやX線フィルム)の分光波長特性とマッチングされるためである。今回は、受光検出部としてフォトダイオードを使用するため、その分光感度特性をマッチングさせるために、発光波長が赤色系のX線シンチレータを探索する。すなわち、毒性の強いカドミウム以外の、X線で発光する赤色系シンチレータを今回新たに探索する。そのために、イットリウム系の蛍光体の他に、バナフオス系蛍光体とジャーマナイト系蛍光体、そしてマグネシウム系蛍光体などについて、さらに、賦活剤や粒径を変化させるなど、種々のシンチレータに対してX線を照射し、詳細に基礎検討を行った。

(2) X線シンチレータの劣化現象等の検討

上記(1)のX線シンチレータの探索の過程で、当初予期していなかった、「X線照射に伴う発光量の一時的劣化」現象を示す興味深い特徴をもつX線シンチレータが存在するこ

とが分った。そこで、X線照射線量と輝度劣化の関係について、種々のシンチレータに対してX線を照射し、詳細に検討を行った。

(3) X線シンチレータの固型化の検討

各種の粉末状のX線シンチレータを、防爆型乾燥機を使用しないで固型化する方法を考案検討した。

(4) リアルタイム線量計の開発

上記の検討結果から、高感度かつ輝度劣化の無い最適なX線シンチレータを探索し、その赤色シンチレータを検出部として、光ファイバとフォトダイオードを用いたリアルタイム線量計を開発した。

4. 研究成果

(1) 赤色系のX線シンチレータの探索

各種の赤色系シンチレータ（イットリウム系、バナフォス系、ジャーマネイト系、そしてマグネシウム系：これらの蛍光体は、従来は、電子線用のシンチレータとして主に用いられていた）について、X線を照射し輝度測定を行った。それぞれ賦活物質や粒径を変化させたシンチレータに対して、診断領域エネルギーのX線を照射し、輝度を測定し、照射線量と輝度関係を求め、最適なX線シンチレータの探索を詳細に行った。

以上の検討結果から、イットリウム系A蛍光体、イットリウム系B蛍光体、イットリウム系C蛍光体、イットリウム系D蛍光体、およびマグネシウム系蛍光体を、最終候補として選び出した。なお、イットリウム系のA～Dの各蛍光体は、それぞれ賦活物質や粒径を変化させたイットリウム系シンチレータである。最終候補として選び出した5つのX線シンチレータにおける、X線照射時の蛍光体輝度のグラフを図1に示す。（なお、マグネシウム系蛍光体は、低輝度であるため、グラフから除外した。）

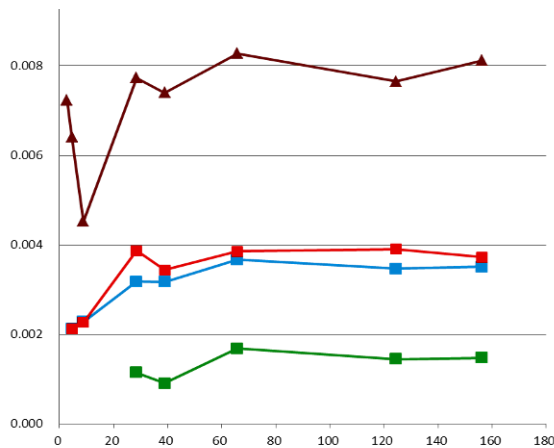


図1 各種蛍光体の輝度

横軸：線量率 (mGy · min⁻¹)

縦軸：輝度/線量率 (cd · min · mGy⁻¹ · m⁻²)

(2) X線シンチレータの劣化現象等

上記のX線シンチレータの探索研究の過程から、X線照射に伴う「一時的劣化と再結合による回復」現象を示す興味深い特徴をもつX線シンチレータが存在することが分った。診断領域X線エネルギーにおいて、この現象を示すシンチレータを発見したのは、我々の知る限りでは世界初であると思われる。

X線照射線量と輝度劣化の関係について、種々のシンチレータに対してX線を照射し、詳細に検討を行った。図1に示した4つの赤色系のX線シンチレータにおいて、2GyのX線照射に伴う輝度劣化の程度を調べた結果の一例を以下に示す。

イットリウム系A蛍光体	輝度劣化 約7%
イットリウム系B蛍光体	輝度劣化 約6%
イットリウム系C蛍光体	輝度劣化 なし
イットリウム系D蛍光体	輝度劣化 約10%

以上から、イットリウム系C蛍光体は、X線照射による蛍光体損傷がほとんど無いことが推測された。

(3) X線シンチレータの固型化の検討

上述の通り、イットリウム系C蛍光体が、X線に対して感度も十分あり、かつX線照射に伴う輝度劣化もないことから、最適なX線シンチレータと判断した。

そして、粉末状のX線シンチレータを、以下の方法により固型化した。

蛍光体に有機合成樹脂を有機溶剤等に溶解させた結合剤を加えて、蛍光体を結合剤中に懸濁させた塗料様の塗工液を調整し、この塗工液を支持体上に塗工乾燥させて固型化した。また乾燥は常温による乾燥を原則として行った。

(4) リアルタイム線量計の開発



図2 リアルタイム線量計の外観

開発したリアルタイム線量計の外観を図 2 に示す。上述の検討結果から、赤色シンチレータとしてイットリウム系 C 蛍光体を X 線センサー部とした。そしてその蛍光を光ファイバを用いてフォトダイオードまで導き、電気信号に変換する検出部を開発した。その検出変換部を拡大したもの（X 線センサ部、光ファイバー、光検出部）を、図 3 に示す。

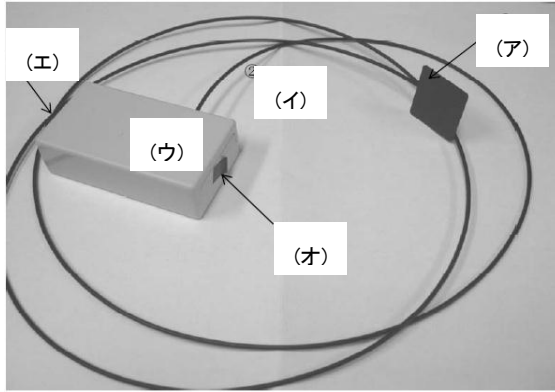


図 3 リアルタイム線量計の検出変換部

- (ア) X 線センサ部(蛍光体、遮光してある)
- (イ) 光ファイバーケーブル
- (ウ) 光検出部(フォトダイオード)
- (エ) 接続コネクタ(→同軸ケーブルを介してデータ表示部へ)
- (オ) 調整部(ゼロ点補正用)

そして、データ表示部も含めた、回路ブロックの概要を、図 4 に示す。

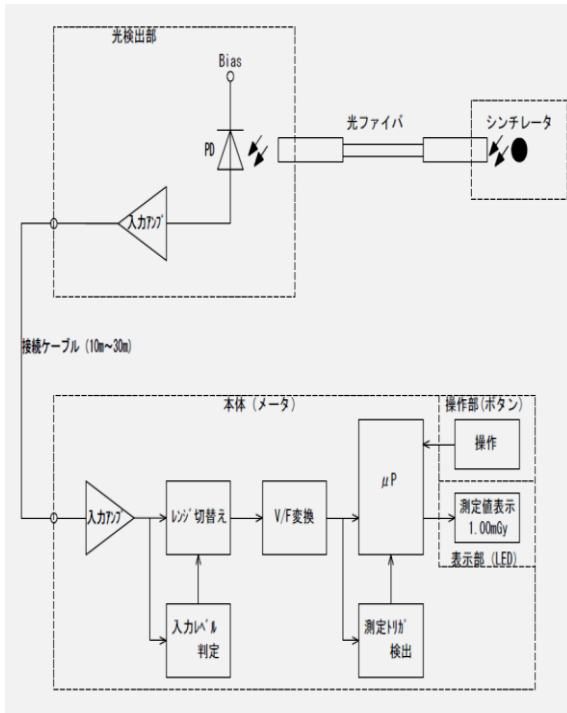


図 4 リアルタイム線量計の回路ブロック図

以上のようにして、高感度で X 線透過性が良く、毒性のない赤色発光の X 線シンチレータをセンサーとした、そして検出変換部として光ファイバーケーブルとフォトダイオードを用いた、リアルタイム患者被曝線量計を開発した。

さらに、基準線量計を用いて、吸収線量をグレイ単位で表示できるように、開発したリアルタイム線量計の比較校正を行った。

そして、開発したリアルタイム線量計の特許出願を行った。

(5) 今後の展望

大震災等の影響によって、例えば粉末状シンチレータを充填していた多数のバイアル容器が震災で破損し使用不能となったなど、研究の達成度はやや遅れた。しかしながら、リアルタイム線量計の開発に成功し特許を出願するなど、一定の成果を上げることができた。

今後は、研究成果の学会等での発表を積極的に行い、さらに論文化を行い広く成果の公表に努めたい。

また、新たに発見した現象（一時的劣化と再結合による回復現象）について、さらに基礎研究を進め、原因の解明等を優先的に検討したい。それと共に、開発したリアルタイム線量計のバージョンアップ、すなわちマルチ検出器化等を推進したい。

そして、IVR 時の被曝線量測定への臨床応用を行っていききたい。

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)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 千田浩一、血管内治療に携わる技師に知ってほしい知識：放射線被曝に関して、第 28 回日本脳神経血管内治療学会学術総会放射線教育セッションシンポジウム、24 年 11 月 16 日、仙台市
- ② 千田浩一、放射線の人体影響に関する基礎知識、日本消化器がん検診学会東北支部研修会、24 年 7 月 13 日、仙台市
- ③ 千田浩一、洞口正之、中村正明、ほか、Has the Radiation Dose of the X-ray Equipment Currently Used for Interventional Radiology Procedures Been Reduced?、97th Radiological Society of North America (RSNA 2011)、23 年 11 月 27 日、シカゴ (米国)
- ④ 千田浩一、洞口正之、稲葉洋平、ほか、Physician-received scatter radiation differs markedly among IVR X-ray systems、European Society of Cardiac

Radiology 2010、22年10月29日、プラ
ハ(チェコ)

[産業財産権]

○出願状況(計1件)

名称:線量計

発明者:洞口正之、千田浩一、中村正明、佐
藤公悦

権利者:同上

種類:特許

番号:特願2013-044772

出願年月日:25年2月06日

国内外の別:国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

洞口 正之 (ZUGUCHI MASAYUKI)

東北大学・大学院医学系研究科・名誉教授

研究者番号:20172075

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

千田 浩一 (CHIDA KOICHI)

東北大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号:20323123

(4) 研究協力者

中村 正明 (NAKAMURA MASAOKI)

(株)三菱化学・MSスクリーンセンタ・部長代理

加藤 守 (KATO MAMORU)

秋田県成人病医療センター・医療技術部・診
療放射線技師

稲葉 洋平 (INABA YOHEI)

東北大学・災害科学国際研究所・助手