

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K10392

研究課題名（和文）多機能型超高感度線量計の開発と被曝線量データベースの構築

研究課題名（英文）Development of a multi-function high-sensitivity dosimeter with a dose-management system

研究代表者

洞口 正之（ZUGUCHI, Masayuki）

東北大学・医学系研究科・名誉教授

研究者番号：20172075

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：X線透視撮影下によるInterventional Radiology（IR）は、患者の救命や生命予後改善等に有用であり広く普及しているが、IR時の被曝線量増加が問題となっている。さらに医療被曝に対する国民の関心は高い。そこで当研究課題では高機能リアルタイム被曝線量計の開発を行うことが目的である。高感度小型検出部を開発しさらに線量データ通信機能を備える等の多機能型高感度リアルタイム線量測定システムへの展開を行った。その結果、開発したX線検出部（小型センサー）は良好な特性があることを確認し、さらに開発した多機能型高感度リアルタイム線量測定システムの基本性能は良好であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IR時の被曝線量増加が問題となっている。さらに医療被曝に対する国民の関心は高い。また厚労省は「診療用放射線の安全利用の為に指針策定に関するガイドライン（医政地発1003）」を発出し、X線診療での線量記録や被曝説明等の対応が求められている。以上から当研究の成果は社会的意義が大きいと考える。一方、当研究成果の一部は既に論文をして学術雑誌に掲載されており、さらに特許出願も行っていること等から、学術的意義およびオリジナリティーがあると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Although interventional radiology (IR) offers great benefits for patients, there is a risk of radiation injury to patients, due to long-term X-ray radiation exposure. Thus, a system is needed to evaluate the radiation doses received by patients during IR. We have developed a wireless real-time dosimeter for IR patients that uses new small sensor. The basic performance parameters (linearity, uniformity, reproducibility, and wireless communication conditions) of the developed system were evaluated using an IR X-ray system. Furthermore, we investigated the influence of noise from other medical equipment on our wireless real-time dosimeter in the IR X-ray room. Overall, our wireless system exhibited excellent performance in terms of uniformity, reproducibility, and linearity; moreover, the wireless communication performance is good. The wireless system also includes patient dose management software. Therefore, the system is convenient for management of patient radiation dose during IR.

研究分野：放射線医学

キーワード：放射線

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

Interventional Radiology (IR)は、外科的手法に代わる低侵襲的かつ有用な治療法である。一方 IR は、患者が長時間 X 線透視撮影下で治療を受ける機会が増加する事で、最大吸収線量となる入射面に皮膚障害等に代表される放射線障害が発生することが重大な問題となってきた。

放射線皮膚障害の防止には IR 時の被曝線量管理が極めて重要であるが、現在 IR 時の患者被曝線量を正確に測定管理する方法は確立されているとは言えない。また同一の IR 手技でも術者や施設間で数倍～10 倍の線量較差が報告されているのが現状であり、つまり IR 時の患者被曝線量管理の最適化、標準化がされていないのが実情である。

国際放射線防護委員会 (ICRP)は、2000 年に勧告 (ICRP Pub.85「Interventional Radiology における放射線障害の回避」)を出し注意喚起を促した。さらに 2007 年の ICRP 新勧告では、「診断参考レベル」という患者被曝線量の目標値を提案し、患者線量評価を医療被曝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。よって患者被曝線量評価は必須である。

また 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 IR 時の患者被曝線量のリアルタイム測定評価を求めている。リアルタイム測定によって放射線障害が起こる前に IR を中断でき、または IR 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。しかし実用的かつ高感度な IR 用リアルタイム線量計は現在無い。シムラを用いたリアルタイム線量計として Skin Dose Monitor (SDM)が開発され普及した (Hwang E, et al. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1998;43:367-70)。だがセンサーとしてカドミウム (Cd) を使用しており毒性が極めて強いことから現在は製造中止され使用できない。更に SDM は数 mGy/分以下の低線量での測定感度が不十分である。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 (PSD, Unfors)。だがその検出部と信号ケーブルは X 線画像に明瞭に写り邪魔になり X 線検査で使用できない。(千田浩一: *日本放射線技術学誌*, 62. 1507-15.2006)。放射線測定器として、熱電対線量計やフィルムバック線量計等が広く普及している。だがこれらの計測器は「リアルタイム計測」が不可能である。なお、X 線検出部が X 線透視画像に明瞭に写り込むと診断等に支障を来す危険性があるため、小型センサーを持つ線量計が必要である。さらに無線通信によって線量表示や管理ができれば、IR 術者等にとって有用である。つまり有線接続では線量表示部の設置場所 (位置) が制限され、それに伴い IR 術者等が患者線量の確認把握に支障が生ずる危険性があるが、無線接続を行えば任意の場所 (位置) に線量表示部を移動可能となり、線量確認等が容易に実施できる。

### 2. 研究の目的

当研究の主な目的は、多機能型の高性能リアルタイム線量計を開発することである。そのために、小型の高感度センサーを有するリアルタイム線量計の開発と、多機能 (線量管理機能も有する無線通信型) 線量計システムへの展開を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 小型高感度センサーのリアルタイム線量計開発

X 線にて赤色に発光する高輝度蛍光体を用いて小型のセンサを試作した。そのセンサを用いてリアルタイム線量計を開発し諸特性を調査した。調査実験項目は、再現性 (10 回繰り返し測定し変動係数で評価)、個体差 (均一性。一定条件下で各々 4 センサを測定し、ばらつきを変動係数で評価)、管電圧特性 (60 から 120 kV まで変化させ相対比で評価。電離箱線量計を基準)、線量依存性 (直線性、電離箱線量計を基準)、線量率依存性 (電離箱線量計を基準)、角度 (方向) 依存性 (水平方向・垂直方向に角度を変えながら一定条件で測定。水平方向 0 度、垂直方向 0 度の測定値で正規化して評価) そして X 線画像 (胸部人体ファントムの X 線透視および撮影画像) の視認性影響などである。なお旧来のリアルタイム線量計 (SDM, PSD 等) との比較も行った。

#### (2) 多機能 (線量管理機能も有する無線通信型) リアルタイム線量計システムへの展開開発

上記の小型高感度センサー (4 チャンネル) 線量計に、Bluetooth 通信機能を付加し、測定値を無線通信にてパソコンに表示できるように開発を行った。さらに線量管理ソフトを追加して患者線量情報をできるように多機能化を図った。開発した多機能リアルタイム線量計システムの基本性能評価 (含む臨床 IR 装置を用いた基礎検討) を実施した。基本性能評価実験項目は、再現性 (10 回繰り返し測定し変動係数で評価)、無線通信状態の調査 (検査室のドア開閉を含む)、さらにリアルタイム線量計システム測定値と IR 装置表示の線量情報である Dose Area Product (DAP) および Air Kerma (AK) との相関等である。

### 4. 研究成果

#### (1) 小型高感度センサーのリアルタイム線量計開発

小型高感度センサーは  $Y_2O_3:Eu$  蛍光体を用いて開発した。新しい小型センサーは円形で直径 1.4mm である (Fig.1b)。なお旧型センサーは 2.5×2.5 mm の正方形である (Fig.1a)。この小型高感度センサーを 4 つ使用した 4 チャンネルの新リアルタイム線量計を開発した。新リアルタイム線量計の測定の再現性は優れており変動係数が 0.5% 程度であった。新リアルタイム線量計の 4 センサー間の均一性 (個体差) は約 5% と良好であった。Fig.2 は電離箱線量計 (ion) を基準とした管電圧依存性である。新リアルタイム線量計 (RTSD new) は他の線量計 (SDM および旧型センサー線量計の RTSD old) と同等の管電圧依存性を示した。Fig.3 は線量依存性 (線量直線

性)である。新リアルタイム線量計 (RTSD new) の直線性は良好であり、他の線量計 (SDM および旧型センサー線量計の RTSD old) と同等であった。Fig. 4 は線量率依存性であり、新リアルタイム線量計 (RTSD new) は良好な特性を示した。一方、他の線量計の線量率依存性は、SDM は低線量率において感度低下を示し、旧型センサー線量計の RTSD old は高線量率において感度低下を示した。Fig. 5 は角度 (方向) 依存性の測定結果である。センサーの前面からの X 線照射においては、水平方向・垂直方向共に、新リアルタイム線量計 (RTSD new) と他の線量計 (SDM および旧型センサー線量計の RTSD old) の角度 (方向) 依存性はおおむね同等であった。しかしながら、センサーの後面からの X 線照射においては、SDM のみ水平方向・垂直方向共に、角度 (方向) 依存性が良好であった。よって新リアルタイム線量計 (RTSD new) の後面からの X 線照射に対する性能を向上させる必要があることが示唆された。Fig. 6 は X 線画像への視認性影響についての検討結果である。X 線透視および撮影画像ともに、新リアルタイム線量計 (RTSD new) はセンサーが小型であるため、ほとんど影響が無いと考えられた。一方、旧型センサー線量計の RTSD old はセンサー陰影が影響を与える可能性があり、さらの PSD のセンサーとケーブルはかなり影響を及ぼすと考えられた。



Fig. 1 高感度センサ部外観 a)旧型 b)小型センサ(新型)

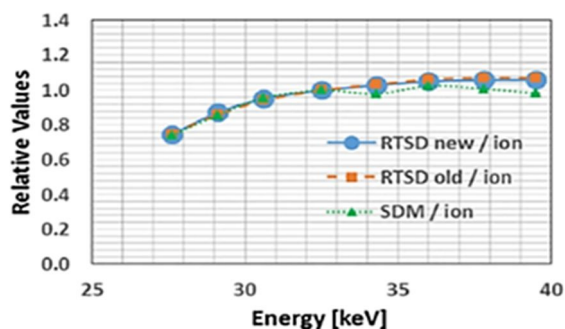


Fig. 2 管電圧(エネルギー)依存性 [電離箱線量計 (ion) を基準]

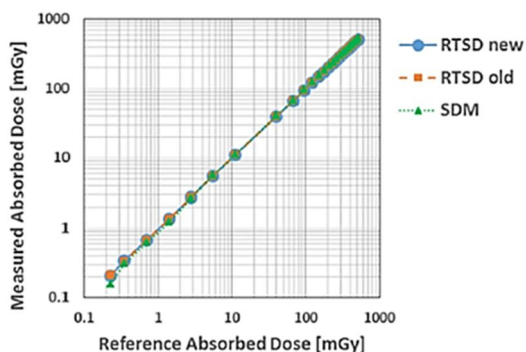


Fig. 3 線量依存性 (線量直線性)

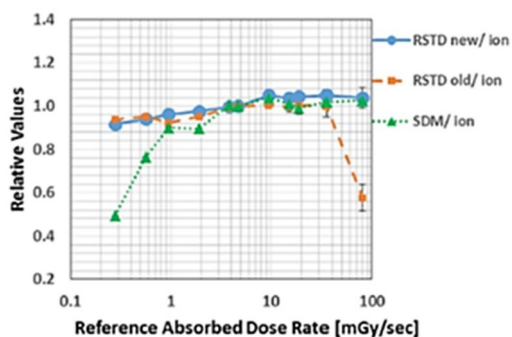


Fig. 4 線量率依存性 [電離箱線量計 (ion) を基準]

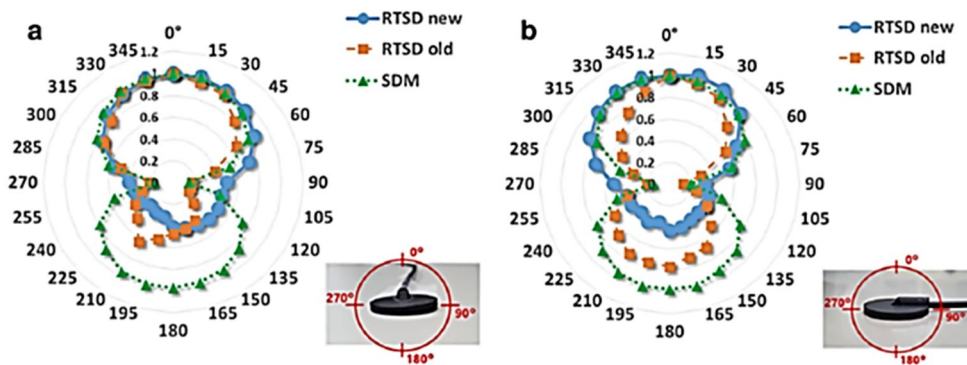


Fig. 5 角度 (方向) 依存性 a) 水平方向 b) 垂直方向

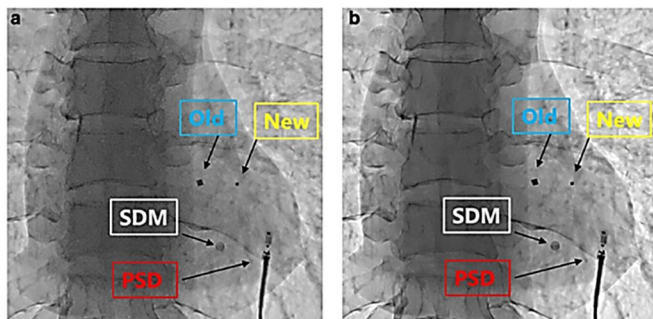


Fig. 7 各リアルタイム線量計の検出部の X 線画像への視認性影響 a) 透視画像 b) 撮影画像

(2) 線量管理機能も有する無線通信型線量計システムへの展開開発

試作した小型高感度センサーのリアルタイム線量計に対して、無線での通信機能である Bluetooth を装備し、測定データを離れた位置にある PC に表示出力ができるように開発を行った (Fig. 8, 9)。開発した無線通信型リアルタイム線量計システムの基礎実験の結果、全てのチャンネルで問題なく Bluetooth による通信測定が可能であり、測定中のリアルタイム線量値 (線量率) 表示や、測定中の積算線量値、測定終了後の積算線量値の結果が表示できることを確認した (Fig. 10)。さらに線量管理を行えるソフト機能によって、被曝線量等の集計管理が可能であることが確認できた (Fig. 11)。また開発した無線通信型リアルタイム線量計システムの測定の再現性は優れており変動係数で約 0.6% であった。臨床 IR 装置室においても良好な通信機能および通信状態を示し、検査室操作室のドアを閉めた状態でも Bluetooth 通信に支障が無いことが分かり (Table 1) また臨床機器からのノイズ等の混入も無いことが確認できた。さらに線量計測定値と Air Kerma (AK) の直線性が良好であることを確認できた (Fig. 12)。また Dose Area Product (DAP) との相関も同様に優れていた。無線での通信機能である Bluetooth が装備されているため、測定データを離れた位置にある PC に出力可能であることは有用であり、術者等の見やすい位置に線量表示部を容易に移動できるので、患者被曝の確認や低減につながると思われる。

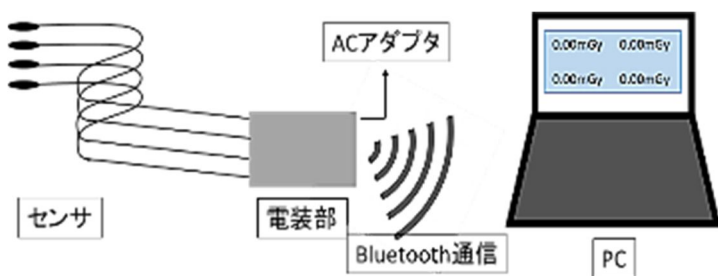


Fig. 8 無線通信型線量計システムの概要イラスト

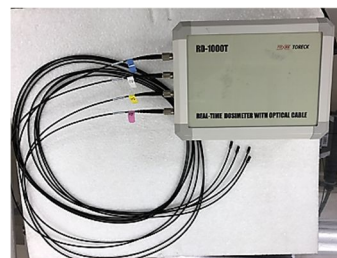


Fig. 9 無線通信型線量計の外観

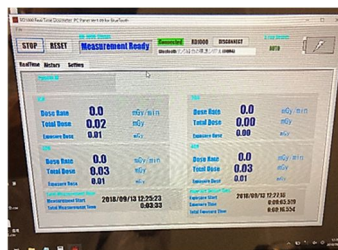


Fig. 10 無線通信型線量計 PC と線量測定値表示画面

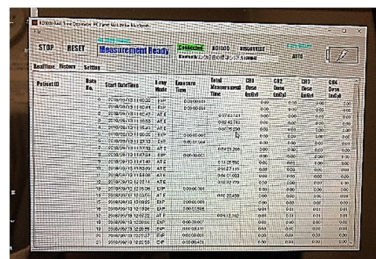


Fig. 11 線量情報等の測定値等管理画面例

Table. 1 無線通信型線量計の検査室操作室ドア開閉時の線量測定値(各チャンネルセンサ)の比較の一例

	1ch[mGy]	2ch[mGy]	3ch[mGy]	4ch[mGy]	Air kerma [mGy]	DAP [cGy・cm <sup>2</sup> ]
ドア Open	2.48	2.23	1.23	2.18	2.89	43.0
ドア Close	2.47	2.23	1.22	2.16	2.89	42.9

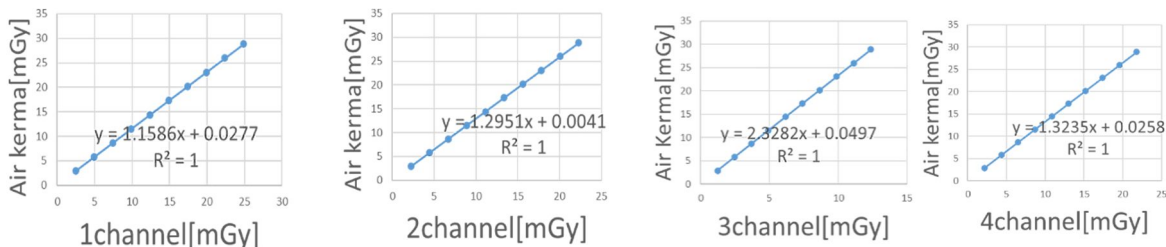


Fig. 12 無線通信型線量計測定値(各 4 チャンネルセンサ)と Air Kerma 測定値の関係の一例

< 引用文献 >

Effectiveness of a novel real-time dosimeter in interventional radiology: a comparison of new and old radiation sensors. *Radiol Phys Technol.* 2018;11(4):445-450.  
 An initial investigation of a wireless patient radiation dosimeter for use in interventional radiology. *Radiol Phys Technol.* 2020; 13: Accepted

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Inaba Yohei, Nakamura Masaaki, Chida Koichi, Zuguchi Masayuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Effectiveness of a novel real-time dosimeter in interventional radiology: a comparison of new and old radiation sensors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 445 ~ 450
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12194-018-0484-z	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 -

1. 著者名 K. Chida, Y. Inaba, M. Kato, Y. Morishima, M. Nakamura, M. Zuguchi	4. 巻 -
2. 論文標題 Real-time Management of Patient Radiation Dose during Interventional Radiology ( <a href="https://cdn.rsna.org/dps2017/media/PH110-ED-X/imagewisely/index.html">https://cdn.rsna.org/dps2017/media/PH110-ED-X/imagewisely/index.html</a> )	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSNA, Image Wisely (Dose Exhibits), <a href="https://www.imagewisely.org/Educational-Tools/RSNA-Radiation-Dose-Exhibits/Dose-Exhibits">https://www.imagewisely.org/Educational-Tools/RSNA-Radiation-Dose-Exhibits/Dose-Exhibits</a>	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Yohei Inaba, Koichi Chida, Yuuki Murabayashi, Mime Endo, Kazuki Otomo, Masayuki Zuguchi	4. 巻 13
2. 論文標題 An initial investigation of a wireless patient radiation dosimeter for use in interventional radiology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 Accepted
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) -	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Mamoru Kato, Koichi Chida
2. 発表標題 Study on New Real-time Patient Radiation Dosimeter for Use in Cardiac Interventional Radiology.
3. 学会等名 第74回日本放射線技術学会総会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村正明 千田浩一 洞口正之
2. 発表標題 X線照射で輝度低下した赤色発光蛍光体の光照射による輝度回復と波長依存性
3. 学会等名 第46回日本放射線技術学会秋季学術大会.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mamoru Kato, Koichi Chida
2. 発表標題 Fundamental study on real-time dose management in percutaneous coronary intervention .
3. 学会等名 RSNA2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Inaba Y, Chida K, Zuguchi M
2. 発表標題 Evaluation of Novel Radiation Dosimeter using a Multi-Channel Real-Time Monitor.
3. 学会等名 AOCMP2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲葉洋平 千田浩一 洞口正之
2. 発表標題 Usefulness of Novel Radiation Dosimeter using a Multi-Channel Real-Time
3. 学会等名 第74回日本放射線技術学会総会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K Chida Y Inaba M Kato M Nakamura and M Zuguchi
2. 発表標題 Real-time measurement of patient radiation dose during interventional radiology
3. 学会等名 RSAN 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 放射線検出装置及び線量計	発明者 千田浩一ほか	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-151013	出願年 2017年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 線量計及びシステム	発明者 千田浩一、洞口正之 ほか	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019 - 182073	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究協力者	稲葉 洋平  (INABA Yohei)  (70704667)	東北大学・災害科学国際研究所・助教   (11301)	
連携研究者	千田 浩一  (CHIDA Koichi)  (20323123)	東北大学・災害科学国際研究所・教授   (11301)	