

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K09063

研究課題名(和文) 小型無線カプセル型線量計開発のための基礎研究

研究課題名(英文) Basic research for development of compact wireless capsule type dosimeter

研究代表者

小山 修司 (Koyama, Shuji)

名古屋大学・脳とこころの研究センター・准教授

研究者番号：20242878

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)：小型無線線量計には、感度の方向依存性があるべく小さい検出器素子が必要である。本研究では、球形太陽電池素子と、フォトダイオード素子を背中合わせに接着して周りを研磨した検出器について検討を行い、後者が適していることが判明した。この検出器の出力の直線性、感度の線量率依存性、感度のエネルギー依存性について調べた結果、いずれも良好な結果が得られた。この検出器を、小型の電流電圧変換回路を介して小型無線アナログデジタル変換器に接続して、線量計ユニットを構成した。使用において、線量計ユニット自体にもX線が入射するが、この影響は、極めて小さかった。電子回路をさらに小型化して、カプセル化も可能であると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療被ばくの評価においては、実際に測定できない人体の代わりに人体の形を模したファントムと呼ばれるものに、線量計素子を埋め込んで測定したりする。現在、使用されている小型線量計素子は、X線照射の後、何らかの読取り装置を用いて積算された線量値を得るものが一般的である。本研究で開発した線量計により、被ばくの様子をリアルタイムで計測することが可能となり、より詳細な解析が可能となる。また、さらに小型化できれば、カプセル内視鏡のように、実際の人体内での測定も可能となると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A small-sized X-ray dosimeter needs a detector element whose sensitivity has the smallest directional dependence of sensitivity. In this study, the spherical solar cell element and the detector in which the photodiode element was adhered back to back and the periphery was polished were compared, and the latter was found to be suitable. The linearity of the output of this detector, the dose rate dependence of the sensitivity, and the energy dependence of the sensitivity were investigated, and good characteristics were obtained. A dosimeter unit was constructed by connecting this detector to a small wireless analog/digital converter via a small current/voltage conversion circuit. When using this unit, X-rays were incident on the dosimeter unit itself, but this effect was extremely small. It was thought that the electronic circuit could be further miniaturized and encapsulated.

研究分野：放射線計測工学

キーワード：半導体検出器 無線 線量計 フォトダイオード 電流電圧変換 太陽電池

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

電子機器の無線化・小型化が急速に進んでおり、医療機器においてもその流れに沿って色々なものが開発されている。中でも、開発が成功し実用化されているものにカプセル型内視鏡がある。平成26年から28年に日本学術振興会から交付を受けた研究の中で、X線の検出器に使用した球形フォトダイオードの出力が比較的大きいことが判明し、これと微弱な体表電圧を測定する心電計(無線型センサのもの)を組み合わせることで、小型無線線量計が開発できることに着想が至った。

### 2. 研究の目的

半導体素子(フォトダイオード)と小型無線アナログ/デジタル変換器(心電計など)を用いて、小型無線線量計を開発し、その応用について検討する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 検出器素子の検討

小型無線線量計のX線検出器として使用する半導体素子について検討を行う。検出器素子の候補として、球形太陽電池素子(図1: KSP-0C-1830MR-ER-X03, スフェラパワー)と、Si フォトダイオード(図2: S2506-04, 浜松ホトニクス; 二つを背面同士で接着)について、医療用X装置によりX線を入射し、出力の直線性、感度の線量率依存性、感度のエネルギー依存性、および感度の方向依存性について、検討を行う。なお、それぞれの検出器は遮光と電磁ノイズの遮断のためアルミ фольを被せグラウンド線と結線する。また、信号の読み取りには、自作の電流/電圧変換回路と、有線のアナログ/デジタルコンバータ(A/Dコンバータ)としてデータロガー(USB-6343, National Instruments社)を使用する。実験の配置の一例として、感度の方向依存性の検討における実験配置を図3に示す。



図1 太陽電池素子

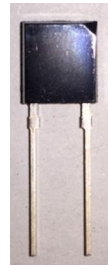


図2 Si フォトダイオード

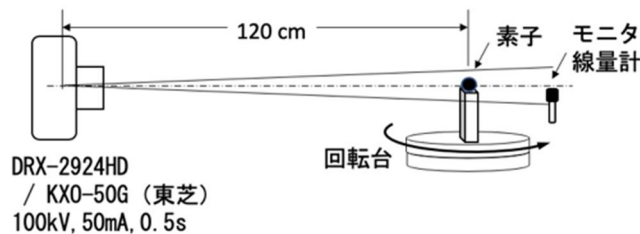


図3 感度の方向依存性の実験配置

#### (2) 小型無線アナログ/デジタル変換器との接続

(1)で得られた結果より、最適な検出器素子を、電流電圧変換回路を介して小型無線A/Dコンバータに接続して、この組合せでの各種特性を調べる。

### 4. 研究成果

#### (1) データの取得

データはリアルタイムで得られる(図4)ので、これを時間方向に積算、すなわち、グラフの下の部分の面積を求めることで出力とした。

#### 2種類の素子の特性

本機の特性としては感度の方向依存性が重要な要因となる。そこで、まず、この結果を図5と6に示す。図5は、太陽電池素子、図6はSi フォトダイオードの結果である。

太陽電池素子については、過去に作られていたものは出力の端子が下方の1方向に取り付けられていたが、現在作られているものは図1に見られるように素子の両端に付けられている。このため、90度と270度近辺でX線減弱を起こし、感度の方向依存性が悪くなっている。Si フォトダイオードでは背中合わせに接着した状態では図7の黒の線の様な特性であったため、素子のモールド樹脂の角に当たる部分を切削・研磨(図8)することによって、赤の点のような特性とすることができた。図6は、加工後のものである。

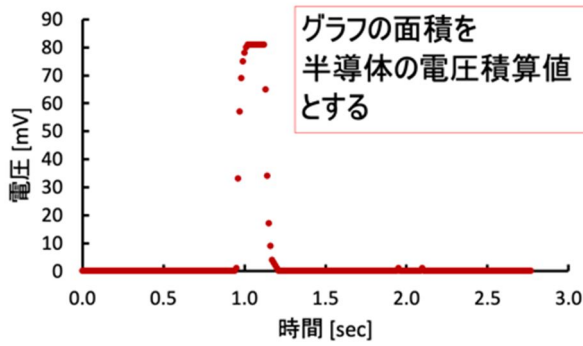


図4 出力の取り方

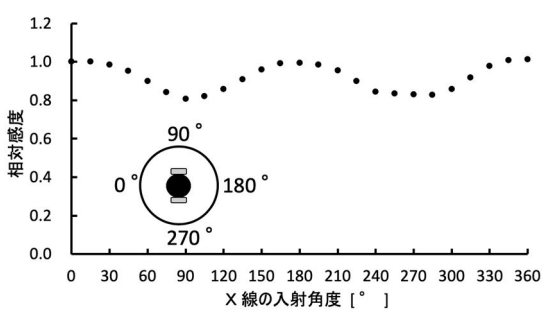


図5 太陽電池素子の方向依存性

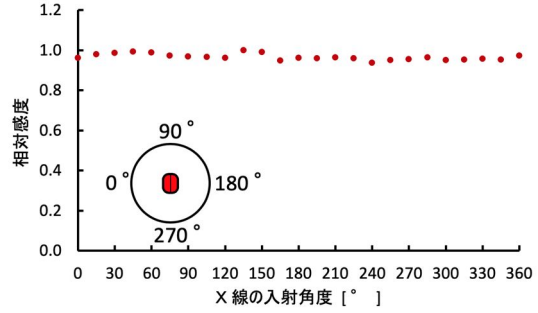


図6 Si フォトダイオード素子の方向依存性

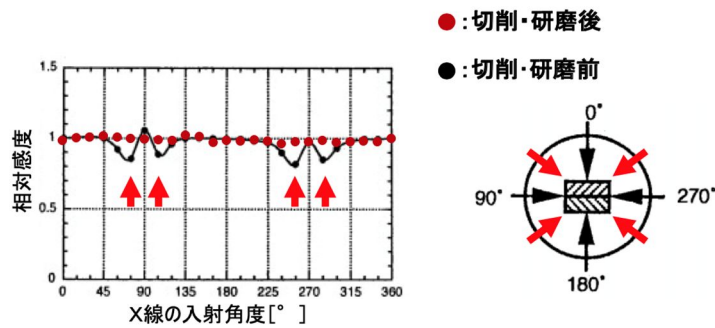


図7 加工前後の Si フォトダイオード素子の方向依存性



図8 加工後のフォトダイオード素子

このほか、図3と同様な配置において、線量の直線性（照射時間を0.5,1.0,2.0秒に変化）、感度の線量率依存性（管電流を、50~400mA 6段階で変化）、感度のエネルギー依存性（50~110kV 10kV 間隔で変化）について実験を行った結果、両者とも、それぞれ良好な結果を示した。

## (2) 小型無線アナログ/デジタル変換器との接続

小型無線アナログ/デジタル変換器については、当初、図9のような無線型心電計を使用する予定であったが、信号に心電図に適した処理が加わるため別の種類の装置を検討した。



図9 無線型心電計の例（日本光電HPより引用）

まず試したのが、データロガー用に開発された小型無線 A/D コンバータ (musin systems 製) で、本体の大きさは 26mm×26mm×20mm という小型のもので、データは Bluetooth で PC と通信する様になっている。これに、Si フォトダイオード検出器を自作の電流 / 電圧変換回路を介して取り付け小型線量計ユニットとした。これを実際の X 線撮影室に内に配置して実験を行ったところ、部屋の X 線遮蔽構造のため、データ通信が不安定となった。そこで、日本光電株式会社製の多チャンネルテレメータシステム WEB-1000 と直流信号送信機 (図 10) の組合せを使用することにした。



図 10 使用した直流信号送信機

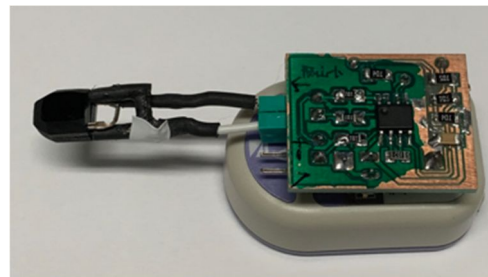


図 11 小型線量計ユニット

このシステムは、信号を飛ばすのに 420MHz の極超短波を使用しており、X 線撮影室の壁を越えて電波が届く。これに、Si フォトダイオードと電流 / 電圧変換回路を組み合わせ、小型無線線量計ユニットとした (図 11)。全体の大きさは、25mm×25mm×55mm である (実際には、写真よりフォトダイオードの足部分はさらに短くしてある)。このユニットにおいて、Si フォトダイオード以外の部分への X 線の入射の影響を調べた。すなわち、ユニット全体に X 線が当たった場合と、フォトダイオード部分にのみ X 線が当たった場合で、出力が変わるかを調べたところ、出力はほぼ同じで、回路への X 線入射は余り影響なかったものと考えられた。最後に、この構成での各種特性を調査した。この結果を図 12~14 に示す。

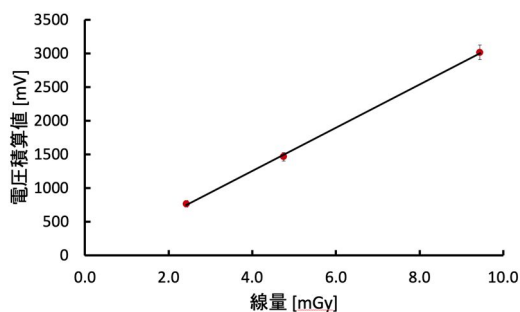


図 12 小型無線線量計の出力の直線性

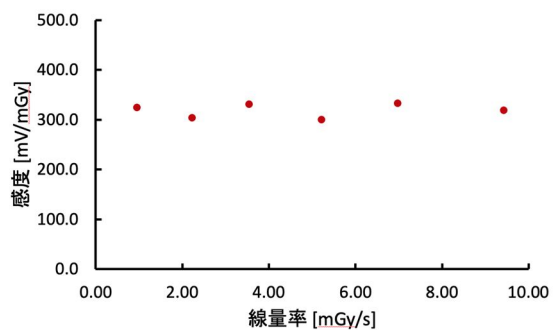


図 13 小型無線線量計の感度の線量率依存性

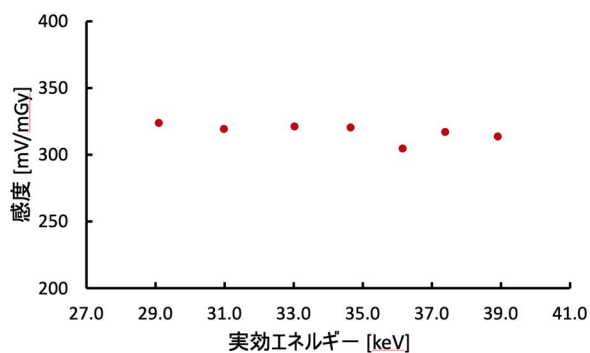


図 14 小型無線線量計の感度のエネルギー依存性

ユニットとしての感度の方向依存性において、下部方向からのX線入射では、本体の陰になるため、感度が約70%低下した。これについては、Si フォトダイオードを下部にもう1組配置してもとのフォトダイオードと並列接続するなどの方策が考えられる。今後、このユニットを使用した臨床現場での応用を行う。

なお、無線小型線量計ユニットとしては、電池のサイズの問題もあるが、電子回路はさらに小型にすることは可能と考えられ、将来的にはカプセル化して体内での線量測定も可能になると考えられる。なお、研究期間に得られた成果は、近く学術雑誌に投稿する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 津軽勇, 小山修司, 羽場友信
2. 発表標題 太陽電池用ダイオードによる小型線量計の特性
3. 学会等名 第7回全国大学夏季交流研修会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤菜月
2. 発表標題 小型無線線量計開発に向けた半導体素子の基礎特性の検討
3. 学会等名 第8回全国大学夏季交流研修会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 益田真帆, 阿知波正剛, 小山修司, 他
2. 発表標題 内視鏡併用透視検査における医療者の水晶体被ばく線量評価
3. 学会等名 第12回中部放射線医療技術学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	亀山 裕司  (Kameyama Hiroshi)	名古屋大学・医学部附属病院・副技師長  (13901)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	津軽 勇  (Tsugaru Isamu)		
研究協力者	近藤 菜月  (Kondo Natsuki)		