

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 8 月 21 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26461903

研究課題名(和文)水等価電離箱の開発

研究課題名(英文)Development water-equivalent ionization chambers

研究代表者

森下 雄一郎 (Morishita, Yuichiro)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・分析計測標準研究部門・主任研究員

研究者番号：20425747

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)：放射線によるがん治療において患者に投与される水吸収線量は、病院において空気式の電離箱を使って測定される。しかし、空気と水との違いが大きいため正確な線量の決定が難しい。この困難さを克服するため、水に近い材料で電離箱の吸収体になりえる絶縁材を実験的に調べた。そして、可能性のある材料で指頭型と平行平板型の電離箱を試作した。電離箱に放射線を当てて出力を測定しているが、いまだ出力は得られていない。現状では出力が得られない原因を探っている状態あり、これに平行して、電離箱の電極間距離を小さくし、印加電圧をさらに大きくすることで、電荷収集のための電界をさらに強くできるように改良を試みている。

研究成果の概要(英文)：Water-absorbed dose delivered to a patient in cancer therapy is usually measured using an air-filled ionization chamber in hospitals. However it is difficult with this method to determine the precise water-absorbed dose due to physical differences between air and water. In this study, we experimentally searched for a material which can replace the air in the ionization chamber, and we made a Farmer and a parallel type ionization chambers using possible materials. However the ionization chambers did not show the signals under the gamma-rays irradiation. Now we are rebuilding the ionization chamber to increase the electric field to collect the ionized charges.

研究分野：放射線量計測

キーワード：水吸収線量 固体電離箱 水等価

### 1. 研究開始当初の背景

放射線によるがん治療は主に高エネルギーの光子線が用いられる。治療の効果を高めるには、正常細胞に影響のない程度ではあるが、ガンを確実に殺す程度の放射線を正確に投与しなければならない。放射線治療ではこの放射線の量として、人体と組成の近い水の吸収線量を基準としている。研究代表者の産業技術総合研究所ではこの水吸収線量の標準を Co-60 のガンマ線源を使って開発し、標準供給を行っている。

しかしながら、病院で治療に使われる放射線は、主にリニアックで生成される高エネルギー光子線など Co-60 とは光子のエネルギーが違ふ。そして、病院で線量計測に使う線量計は通常、空気を吸収体とした電離箱が利用される。この光子のエネルギーと、吸収体の違い(空気と水)により、電離箱の感度にエネルギー(線質)依存性が生まれる。すなわち、同じ 1 Gy を照射したとしても、光子線のエネルギーに依存して電離箱の出力は増減する。

これを解決する方法の一つは、現在行われているようなモンテカルロ計算により線質による感度を補正する方法であるが、これは放射線を空気式の電離場で計測する限り、不確かさが大きい。一方、線量標準を光子線の違いに応じて用意する方法も考えられる。この方法は不確かさを最も小さくできると期待できるが、新しい放射線装置が登場するたび、ユーザーのニーズは細分化し、一方標準を維持するコストは増大するため、効率的ではない。

### 2. 研究の目的

背景で述べたように、多様さを増していく放射線装置の線質に対応した水吸収線量測定を可能にするには、不確かさ、もしくは、コストが犠牲になる。不確かさは治療の安全にかかわるし、コストは国民の治療費に最終的には繋がっている。このようになってしまう大きな原因の一つは、ユーザーが使用する電離箱の吸収材が空気であることにある。

この電離箱の吸収材を、例えば、水と物理的に性質の近いもので置き換えることができれば、その出力は放射線の線質に依存しないものになると期待され、例えば Co-60 線質 1 点で校正しておけばどのような放射線場でも不確かさの小さな線量計測ができると期待できる。

このような期待をもって開発されている電離箱は実際あって、ダイヤモンド電離箱や、イソオクタンを使った液体電離箱はその代表例である。ダイヤモンド電離箱については最近、出力が十分安定して得られるとして注目が集まっているが、ダイヤモンドを使用するため、価格は非常に高い。一方、液体電離箱は安価な材料ではあるが、電荷の移動度の

問題で、再結合の特性が複雑であり、商用の電離箱として使用可能であったが、最近では製造が中止されている。本研究では、高価なダイヤモンド以外で、水に近い物質で電離箱を試作し、実際放射線による照射で出力を得ることを目的とした。

### 3. 研究の方法

電離箱の吸収体となるには次の二つの、一見すると相反する性質をもつ必要がある。

①高抵抗の物質

②放射線により生成される電荷が移動するを満たさねばならない。このような材料を探すため、次のような測定を行った。

空気中に設置した空気式の電離箱の空気空洞の周りを、調べたい材料で出来たキャップで覆い、Co-60 のガンマ線で照射したときの電離箱出力を調べた。水と物理的に近い絶縁材はほとんどがプラスチックであり、測定では一般的に使用されるプラスチックを用いた。

結果は図 1 のようであり、アクリル (PMMA)、PEEK、ポリスチレン (HIPS,GPPS)、ポリエチレン(HDPE)などで

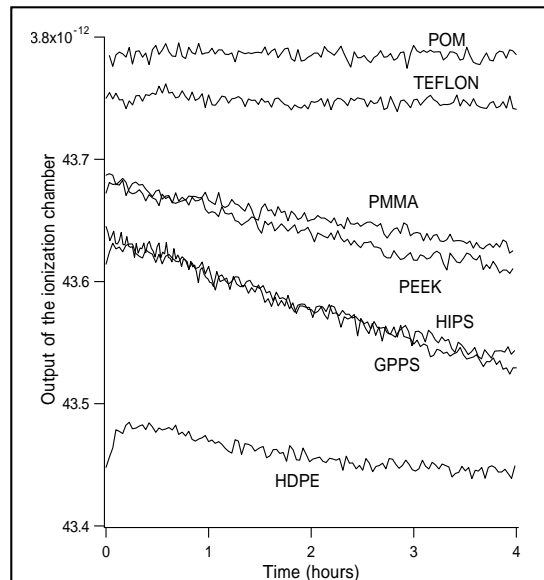


図 1: プラスチックのキャップを取り付けた電離箱の出力の時間変化

は、照射時間とともに出力電流は減少した。プラスチックを放射線で照射すると、構成原子はイオン化され正の電荷を帯びる。プラスチックは通常非常に大きな抵抗を持つので、この正電荷は長時間その場所に存在し続ける。このような正電荷は、電子平衡が成立するプラスチック内部では存在しないので、プラスチックの表面付近の放射線の線源側に遍在することになる。このような状態では、電離箱の出力の原因となる電子は正電荷により減速される。このため電離箱空洞に流入するエネルギーが減少する。電離箱出力は電

離箱に流入する電子のエネルギーに比例する。これが図1で電流が減少する理由である。正電荷が蓄積するという事は電荷が移動していないということなので、これらの材料は電離箱の吸収体には使えない。

一方、デルリン(POM)やテフロンでは、他のプラスチックと違い、電流変化は見られなかった。これらの材料も正電荷のたまる材料と同じ程度の高抵抗を持つことが知られている材料であるが、何らかの方法で正電荷が蓄積しないことを示している。これらの性質は電離箱の吸収体の条件④、⑤の両方を満たしていると思われる。

水等価な電離箱のためには、材料の物理的な性質が水と近い必要がある。これは、光子の減弱や、電子の阻止能が、エネルギーによらず水と同じような変化であることが必要である。本研究で調べた材料の水とのエネルギー減弱係数比、阻止能比は、図2のようであった。

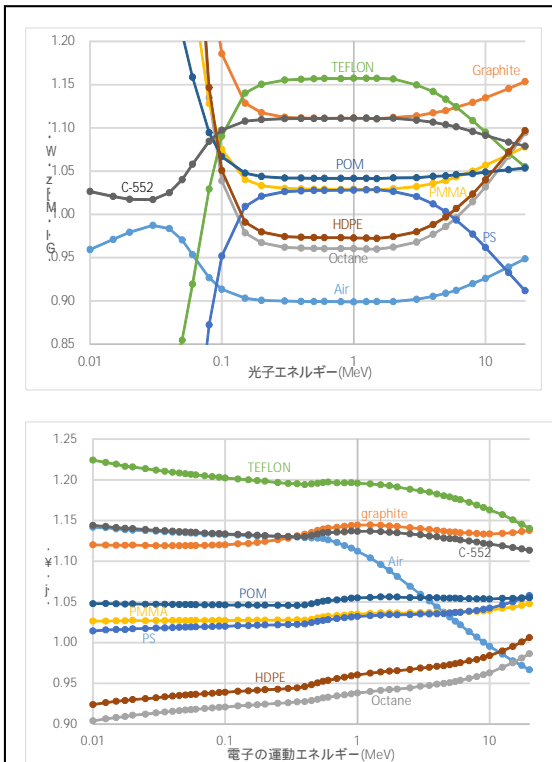


図2：プラスチックの水に対する光子のエネルギー減弱係数比と電子の阻止能比

デルリンについては水との等価性がエネルギーによらずとても良く、テフロンについては若干エネルギー依存性があるが空気と比べればよいことが分かる。

以上の結果よりデルリンを使って、実際に電離箱を試作した。図3(上図)のような平行平板型の電離箱を作成した。構造は高抵抗の抵抗測定を参考に、吸収体にガード電極、中心電極、集電極を取り付ける構造とした。この電離箱に実際Co-60ガンマ線を繰り返し照射したところ、当初は図3(下図)のように、

照射の繰り返しに応じたシグナルが得られた。

この結果をさらに調べるために、商用の指頭型の電離箱を改造し、空気空洞の部分プラスチック材に置き換えたものを用意し、同様にCo-60のガンマ線で照射した。こちらの結果では、印加電圧、電圧極性など様々変えて測定を行ったが、電流は全く観測されなかった。

二つの違う結果が出たため、平行平板の電離箱について再度検討を行った結果、シグナル線のガードが十分でないため、空気中で電離された電荷が中央電極の信号線に流入していることが分かった。中央電極のガードを十分行くと、平行平板でも電流が得られない結果となった。

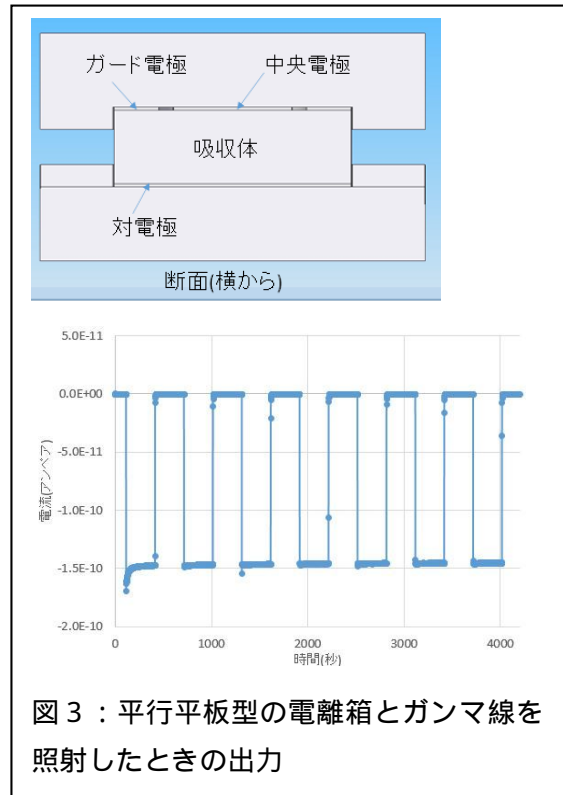


図3：平行平板型の電離箱とガンマ線を照射したときの出力

#### 4. 研究成果

電離箱の吸収体になりえる高絶縁性ではあるが電荷の移動し得る材料を調べ、デルリンとテフロンがその候補になりえることが分かった。これらの材料を使って実際に平行平板型と指頭型の電離箱を試作し、Co-60ガンマ線を照射して出力を調べたが、現状ではどちらでも出力は得られなかった。

図1のような電荷の蓄積には、電子の移動が関わっていると考えられ、それは材料の抵抗と関連があると考えられるため、図1の材料の抵抗の測定を行ったが、電荷蓄積の明確なアクリルと比べてデルリンやテフロンの抵抗が小さいということはなく、放射線による信号が得られない理由についてはまだ分かっていない。

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)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件) 森下雄一郎、“日本国内の水吸収線量標準について”  
応用物理学会放射線物理研究会・首都大学東京がんプロフェッショナル要請基盤推進プラン共催(2014/11/29 首都大学東京)  
河内徹、“小照射野の線量測定について”、第5回 JBMP 放射線治療品質管理講習会・医学物理講習会(2016/9/8 沖縄コンベンションセンター)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

森下 雄一郎 (MORISHITA Yuichiro)  
産業技術総合研究所・分析計測標準研究部門・主任研究員  
研究者番号：20425747

(2)研究分担者

河内 徹 (KAWACHI, Toru)  
千葉県がんセンター・放射線治療部・技師  
研究者番号：10594393

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし