

令和元年6月10日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K09027

研究課題名(和文) 金属含有放射線遮蔽紙を用いた新しい放射線防護体系の確立

研究課題名(英文) Establishment of a new radiation protection system using metal-containing radiation shielding paper

研究代表者

門前 一 (MONZEN, Hajime)

近畿大学・医学部・准教授

研究者番号：10611593

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)：タングステン含有機能紙は放射線遮蔽能力と紙の特徴を併せ持ち、人体に毒性もない。医学分野への新たな遮蔽材の適応拡大、新たな防護体系の確立を目指した。主な成果は(1)前立腺癌の小線源永久刺入治療において、患者の介護者、家族への被ばく低減を目的とした防護プロテクタを作製、(2)IVR時の患者からの散乱線を遮蔽し、術者被ばくを低減を可能とした、(3)皮膚上にタングステン機能紙で作ったGRIDコリメータを設置し、簡単に格子状の電子線治療の線量分布を実現した、(4)乳がん術中電子線照射での胸壁保護遮蔽材として使用し、より侵襲の少ない術中照射を可能とした等が挙げられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線遮蔽材として現在医療で用いられている主な物質は鉛であるが、人体への毒性や加工の難しさ、廃棄による環境汚染などが懸念されている。また、鉛フリーの放射線防護材が開発されているが、アンチモン、ビスマスの毒性の高い重金属が含まれているものが多い。このような現状の中、毒性が無く、断裁や折りたたみ、他材料への貼付けといった加工が容易で、さらにリサイクル可能なタングステン機能紙の医療分野における適応拡大は、放射線被ばく低減や放射線治療において大きな役割を果たす。また将来的に、様々な放射線防護の新たなデバイスとして活用されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Tungsten functional paper (TFP) has the features of both radiation shielding and paper, and also non-toxicity for human body. This study aimed the expanded adaption of the TFP to the medical field. We performed four experimental researches as follows, (1) Radiation shielding abilities in permanent prostate brachytherapy: The under garment made of the TFP has been developed and it reduced dose for care givers and family against the radiation from a patient who underwent the permanent prostate brachytherapy. (2) Radiation shielding for an operator in IVR: The TFP had enough shielding ability to reduce the exposed dose for the operator during IVR. (3) Application on the electron grid therapy: Grid irradiated field can be created by laying the TFP grid collimator on a patient's body. (4) Chest wall protector in intraoperative electron therapy for breast cancer: Implementation of safely insert the TFP into a patient body by the small range incision due to the flexible of the TFP.

研究分野：医学物理

キーワード：放射線防護 放射線遮蔽材 鉛フリー 放射線治療 IVR

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

医療分野における放射線の遮蔽は鉛の使用が中心であるが、人体への毒性や加工の難しさ、廃棄による環境汚染が懸念されている。本邦において、放射線遮蔽能力が高いタングステン紙を紙に担持させる世界初の技術を開発された。このタングステン機能紙(Tungsten Functional Paper: TFP)は放射線遮蔽能力と紙の特徴を併せ持ち、裁断や折りたたみ、他材料への貼付といった加工が容易であり、人体への毒性もない。先述の特徴を活かし、医学・工学への新しい放射線防護体系の確立を目指し、研究を開始した。

### 2. 研究の目的

本研究では、TFP を医療分野における新しい遮蔽材としての実用性を検討した。具体的には、(1)<sup>125</sup>I を用いた前立腺癌の小線源永久刺入治療における放射線防護 (2)Interventional Radiology (IVR)における術者の放射線防護、(3)電子線 GRID 照射で従来使用される低融点鉛の代替利用 (4)乳がん術中照射における胸壁保護のための放射線遮蔽材としての利用等について研究計画を立て施行。

### 3. 研究の方法

#### (1)<sup>125</sup>I を用いた前立腺癌の小線源永久刺入治療における放射線防護体系の確立

前立腺癌に対する<sup>125</sup>I を用いた小線源永久刺入治療後の患者は、前立腺内に線源が留置されているため、医療従事者や患者家族、介護者への放射線被ばくがある。<sup>125</sup>I から放出される $\gamma$ 線に対して、TFP の放射線被ばく低減の割合を市販鉛パンツと比較検討し、有用性を模索した。

#### (2) IVR における術者の放射線被ばく低減への取り組み

IVR における術者の被ばくの主な原因は、患者からの散乱線である。TFP がこの散乱線による被ばくを低減の実現性を検討した。図 1 に示されるアンダーチューブ方式の機器を使用した IVR を想定した測定体系にて、TFP の放射線（患者からの散乱線）遮蔽効果を検討した。水等価ファントムを寝台上に設置し、ファントム側壁に TFP を貼付、目・胸・腰・膝の高さ 4 点にて空気カーマより遮蔽率を求めた。

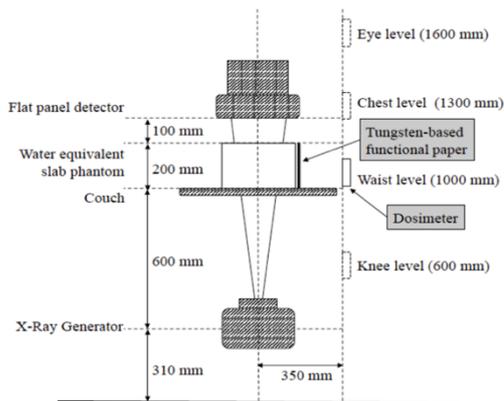


図 1 幾何学的配置：IVR における TFP の放射線遮蔽率測定

#### (3) 電子線 GRID 照射で従来使用される低融点鉛の代替利用

電子線 GRID 照射は表在性の巨大腫瘍の制御が期待される。従来の低融点鉛合金を用いる方法では、腫瘍の形状を形成することが困難であった。そこで、TFP を電子線 GRID 照射に成型し、モンテカルロシミュレーションと実測にて、低融点鉛合金と TFP の深部線量分布と側方線量分布を得た(図 2)。

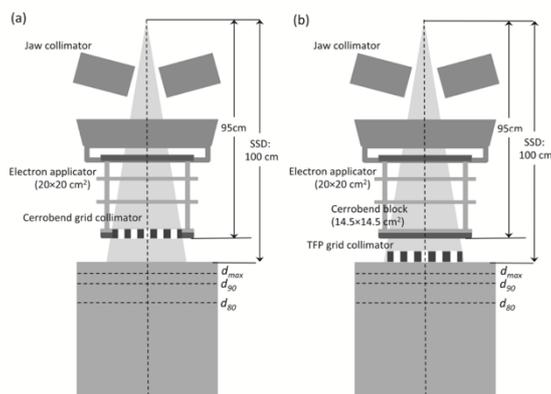


図 2 低融点鉛合金と TFP による電子線 GRID 照射の測定体系

(4) 乳がん術中照射における胸壁保護のための遮蔽材として

TFP が、乳がん術中照射中に体内に挿入する胸壁保護 (図 3) のための遮蔽材として利用、その有用性を検討した。

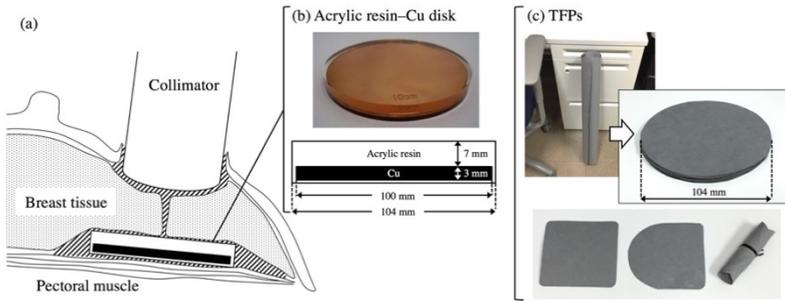


図 3 乳がん術中照射中に体内に挿入する胸壁保護遮蔽材への利用

#### 4. 研究成果

(1)  $^{125}\text{I}$  を用いた前立腺癌の小線源永久刺入治療における放射線防護

TFP4 枚で市販の鉛パンツと同等の遮蔽能力を有していた (図 4)。この基礎データを利用して、術後の患者が着用可能なプロテクタの開発し (図 5)、被ばく低減を実現した。

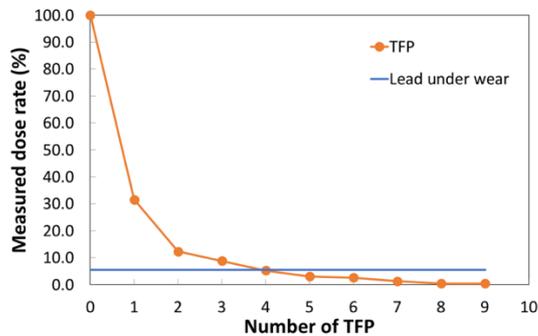


図 4 市販の鉛パンツと TFP の遮蔽効果の比較



図 5 防護プロテクタの開発

(左：市販の鉛パンツ、右：防護プロテクタ)

(2) IVR における術者の放射線防護

腰の位置では、1 枚の TFP で 40%放射線被ばくを低減できることを明らかにした (図 6)。TFP は術者の被ばくを低減でき、容易に裁断が可能のため臨床応用が可能である。

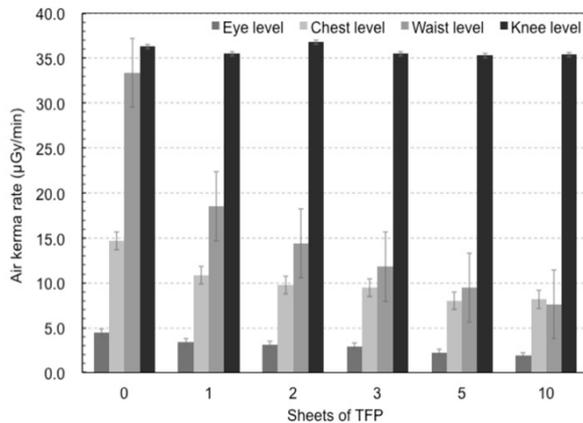


図 6 空気カーマ率の測定結果

(縦軸：空気カーマ、横軸：タン  
グステン機能紙の枚数)

(3) 電子線 GRID 照射で従来使用される低融点鉛の代替利用

0.52 cm 厚の TFP にて、低融点鉛合金と同等の線量分布を呈した (図 7)。上流にて腫瘍の形状に照射野を作成し、皮膚上に人体に無毒なタングステン機能紙 GRID コリメータを置くことで、簡便に格子状の線量分布を得られた。

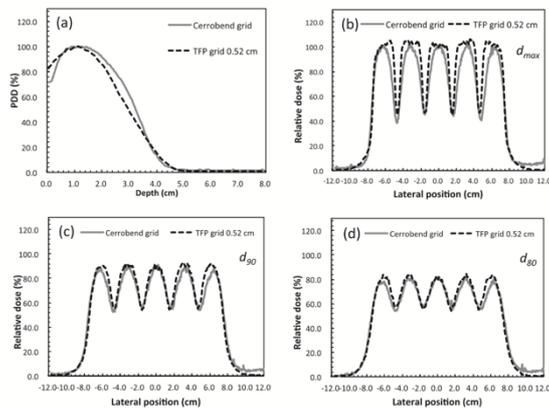


図7 低融点鉛合金(実線)とTFP(破線)の電子線 GRID 照射の深部線量分布(a)と各深さ(最大線量深( $d_{max}$ )、90%線量深( $d_{90}$ )、80%線量深( $d_{80}$ ))における側方線量分布(b-d)

#### (4) 乳がん術中照射における胸壁保護のための遮蔽材としての利用

電子線エネルギーごとにTFP積層枚数を調整することで、既存の遮蔽プレートと同等の遮蔽性能を有していた(図8)。TFPは、紙の特性である裁断や形状が可変であり、従来の遮蔽材の代替利用が可能であることを明らかにした。本技術が確立されれば切開範囲の縮小が得られ、より侵襲の少ない術中放射線治療施工が期待できる。

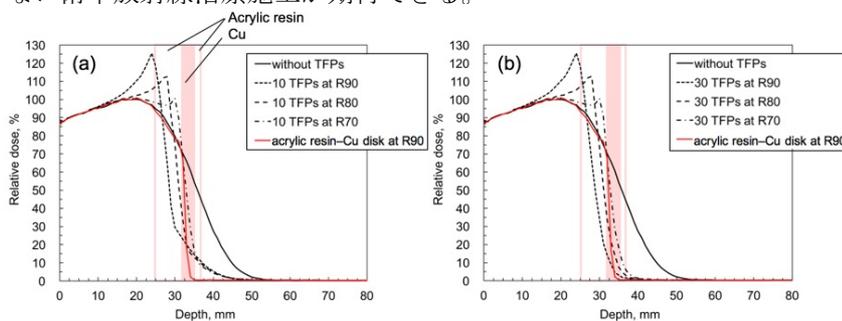


図8 9 MeV 電子線ビームに対するTFP10枚(a)、またはTFP30枚(b)の既存遮蔽プレートとの深部量百分率の比較

#### 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5件)

1. Kamomae T, Monzen H, Kawamura M, Okudaira K, Nakaya T, Mukoyama T, et al. Dosimetric feasibility of using tungsten-based functional paper for flexible chest wall protectors in intraoperative electron radiotherapy for breast cancer. *Phys Med Biol* 2018;63:015006. doi: 10.1088/1361-6560/aa96cf. (査読あり)
2. Inada M, Monzen H, Matsumoto K, Tamura M, Minami T, Nakamatsu K, et al. A novel radiation shielding undergarment using tungsten functional paper for patients with permanent prostate brachytherapy. *J Radiat Res* 2018;59:333-337. doi: 10.1093/jrr/rry030. (査読あり)
3. Monzen H, Kanno I, Fujimoto T, Hiraoka M. Estimation of the shielding ability of a tungsten functional paper for diagnostic x-rays and gamma rays. *J Appl Clin Med Phys* 2017;18:325-329. doi: 10.1002/acm2.12122. (査読あり)
4. Monzen H, Tamura M, Shimomura K, Onishi Y, Nakayama S, Fujimoto T, et al. A novel radiation protection device based on tungsten functional paper for application in interventional radiology. *J Appl Clin Med Phys* 2017;18:215-220. doi: 10.1002/acm2.12083. (査読あり)
5. Tamura M, Monzen H, Kubo K, Hirata M, Nishimura Y. Feasibility of tungsten functional paper in electron grid therapy: a Monte Carlo study. *Phys Med Biol* 2017;62:878-89. doi: 10.1088/1361-6560/62/3/878. (査読あり)

〔学会発表〕（計 10 件）

1. Kamomae T, Monzen H, Sugita K, Okudaira K, Amano M, Kawai Y, Oguchi H, Kumagai M, Kawamura M, Ohtakara K, Itoh Y, Naganawa S. Feasibility of novel thin bolus using tungsten functional paper for electron beam radiotherapy. The 18th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2018.
2. Takei Y, Sakurai R, Nambu H, Matsumoto K, Tamura M, Monzen H. The bolus effect with the tungsten function paper in build-up region for electron radiotherapy. The 18th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2018.
3. Kosaka H, Amano M, Matsumoto M, Tamura M, Monzen H. Exposure and image quality in computed tomography using tungsten functional paper. 第 34 回日本診療放射線技師学術大会・第 6 回アジア放射線治療シンポジウム, 2018 年.
4. Tamura M, Monzen H, Kosaka H, Kawanami R, Hattori S, Morimoto D, Goto Y, Yamada K, Okumura M, Nishimura Y. The shielding ability of the tungsten functional paper against scattered x-rays for operator in interventional radiology. The 10th Annual Scientific Meeting Thai Medical Physicist Society, 2018.
5. Matsumoto K, Monzen H, Otsuka M, Tamura M, Okumura M. The basic feasibility for radiation protection by using metal functional paper in <sup>125</sup>I seeds brachytherapy. The 8th Japan-Korea joint Meeting on Medical Physics, 2017.
6. Kosaka H, Monzen H. Characteristics of novel radiation protection device (Tungsten functional paper) and establish recycle model for environment. The 5th Vietnam Association of Radiological Technologists, 2017.
7. Monzen H, Tamura M, Kubo K, Hirata M, Nishimura Y. A study of the electron GRID therapy with a novel tungsten functional paper. The 22th International Conference on Medical Physics, 2016.
8. Monzen H, Tamura M, Matsumoto K, Hanaoka K, Kanno I and Nishimura Y. Tungsten functional paper: Shielding characteristics of a novel paper-based material for clinical use with x-rays and gamma rays. The 19th International Society of Radiographers and Radiological Technologists, World Congress, 2016.
9. Tamura M, Monzen H, Matsumoto K, Hanaoka K, Nishimura Y. Application of the tungsten functional paper as reduction of exposed dose to operators in interventional and therapeutic angiography using Monte Carlo calculation. The 19th International Society of Radiographers and Radiological Technologists, World Congress, 2016.
10. Tamura M, Monzen H, Kubo K, Hirata M, Nishimura Y. Feasibility study of tungsten functional paper in electron grid therapy with Monte Carlo calculation. 第 112 回日本医学物理学会学術大会, 2016 年.

## 6. 研究組織