

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25461877

研究課題名(和文) 金属粉含有機能紙による新しい放射線防護材の研究・開発

研究課題名(英文) Development and resarch of novel metal functional 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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：日本で開発された金属粉含有放射線遮蔽機能紙の特性を解明し、毒性を有す鉛の代替えとして医療への応用が目的であった。JIS規格に基づき、機能紙の引っ張り試験、耐久性、防水性、通気性、X線、ガンマ線の遮蔽効果を明らかにした。放射線診断領域への応用として、インターベンショナルラジオロジー時に生ずる散乱線からの術者被ばく低減を実証した。放射線治療への応用としては、金属機能紙を治療用電子線のコリメート物質として実用性の検証を行った。機能紙を用いた放射線防護衣の試作品は完成し、現在試用中である。

研究成果の概要(英文)：Metal functional paper (MFP) is a novel paper-based radiation-shielding material, which is based on tungsten. The MFP has a lot of future of lead-free, light, flexible, and easily processed, it contains very fine metal powder at as much as 80% by weight. We described evaluations of wet strength, tensile strength and air resistance according to Japanese Industrial Standard. The shielding characteristics were measured with x-ray and gamma-ray. We also investigated radiation protection for operators during interventional or therapeutic angiography and dosimetric changes due to MFP shielding for with 4, 6, and 9 MeV electron beams. MFP has shielding ability against x-ray and gamma-ray and is very promising as a useful tool for radiation protection.

研究分野：医学物理

キーワード：放射線 X線 ガンマ線 放射線防護 機能紙 タングステン

## 1. 研究開始当初の背景

医療分野では放射線が広く活用されてが、放射線検査室および放射線治療室の壁、扉、カーテンなど放射線に対する遮蔽は、鉛の使用が中心である。しかし、鉛は金属のため重く加工が困難なことや、その鉛廃棄物は環境への影響が懸念されることから、加工性に富み、より環境にやさしい代替の製品開発は急務である。特に医療分野への金属機能紙の応用を検討する。

## 2. 研究の目的

本研究ではタングステンを含有した機能紙の特性（放射線遮蔽率、平坦度、引っ張り、耐久性）を明らかにし、医療、工業で用いられている放射線の防護材、用品などへの代替の可能性を検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) タングステン機能紙の物理特性

JIS規格に準じて、引っ張り、防水、空気透過性などの機能紙の物理特性を明らかにする。

### (2) タングステン機能紙の放射線遮蔽率

放射線診断領域で用いられている単純X線撮影装置を用いてタングステン機能紙(密度 2.14 g/cm<sup>3</sup>、厚さ 0.3 mm)の放射線遮蔽率を皮膚用被ばく線量計 (Unfors PSD、Unfors Instrument Incorporated) で測定した。80-120 kVp の X 線に対してタングステン機能紙 1 枚で約 50%の遮蔽が可能であった。また JIS4501「放射線防護用品の鉛等量試験に方法」に準じて透過 X 線量を測定し鉛等量を求めた。ミニフォーカス X 線発生装置 (エクストロン・インターナショナル社 MG-452 型、平滑回路、焦点寸法 5.5 mm、Be 窓) を用いて、100 kV、12.5 mA、付加ろ過 0.25 mmCu、150 kV、12.5 mA、付加ろ過 0.7 mmCu で測定した。

### (3) 放射線治療(外部照射)への応用

金属機能紙を治療用のX線および電子線のコリメートに応用する。治療用の電子線では、一般的にコリメート用遮蔽材には鉛や低融点鉛を用いているが、これらは加工が困難であることや、鉛の毒性による鉛害などの問題点を抱えている。そこで、タングステン機能紙が低融点鉛の代替品になるか、4、6、9 MeV の電子線の遮蔽率を求め(Fig. 2)、治療に必要な深部電離量百分率 (percentage depth ionization: PDI)、軸外線量率 (off-center ratio: OCR)、表面線量 (surface dose) の測定を行った。

### (4) 放射線診断領域への応用

インターベンショナルラジオロジー (IVR) など検査・治療時に問題となっている散乱線による術者被ばくの低減を目的として放射線防護用品への応用とその効果の検証を行った。アンダーチューブ型Cアームを用いたIVR中における患者からの散乱遮蔽についてタングステン機能紙の遮蔽率を求めた。この実測を裏付けるためにモンテカルロ計算コードPHITSを使って術者被ばく線量および検査室内の空間線量を計算した。

### (5) 軽量化への取り組み

血管撮影検査や整形外科のX線透視手術、X線を使った内視鏡治療において医師、看護師、技術者が放射線防護エプロンを着用する機会が多いが、その防護エプロンの重さが肉体的、精神的負担を大きくしている。一般的に比重が重い物質ほど放射線遮蔽能力は高いが、金属元素は特定のエネルギー領域で極端に放射線遮蔽能力が高くなる吸収端をそれぞれもっている。タングステン機能紙を使った放射線防護エプロンのプロトタイプを作製する。

#### 4. 研究成果

##### (1) タングステン機能紙の物理特性

表1. JIS規格の測定によるタングステン機能紙の物理特性

Bone-Dry Basis Weight <sup>Ⓔ</sup>	(g・m <sup>-2</sup> ) <sup>Ⓔ</sup>	700 <sup>Ⓔ</sup>	JIS-P8124 <sup>Ⓔ</sup>
Thickness <sup>Ⓔ</sup>	(mm) <sup>Ⓔ</sup>	0.3 <sup>Ⓔ</sup>	JIS-P8119 <sup>Ⓔ</sup>
Tensile Strength <sup>Ⓔ</sup>	(N/15 mm) <sup>Ⓔ</sup>	118 <sup>Ⓔ</sup>	JIS-P8113 <sup>Ⓔ</sup>
Wet Strength <sup>Ⓔ</sup>	(N/15 mm) <sup>Ⓔ</sup>	5.9 <sup>Ⓔ</sup>	JIS-P8135 <sup>Ⓔ</sup>
Tear Strength <sup>Ⓔ</sup>	(mN) <sup>Ⓔ</sup>	220 <sup>Ⓔ</sup>	JIS-P8116 <sup>Ⓔ</sup>
Air Resistance <sup>Ⓔ</sup>	s/100 mL <sup>Ⓔ</sup>	67 <sup>Ⓔ</sup>	JIS-P8117 <sup>Ⓔ</sup>

##### (2) タングステン機能紙の放射線遮蔽率

80 - 120 kVpのX線に対してタングステン機能紙1枚で約50%の遮蔽が可能であった。タングステン機能紙10枚ではそれぞれ0.48 mm ± 0.02 mmPb (100 kV)、0.51 mm ± 0.02 mm (150 kV)であり従来の鉛板の代替として使用できる可能を示唆した。しかし、同等の遮蔽能力を有するためには従来の鉛より重い紙が必要となった。

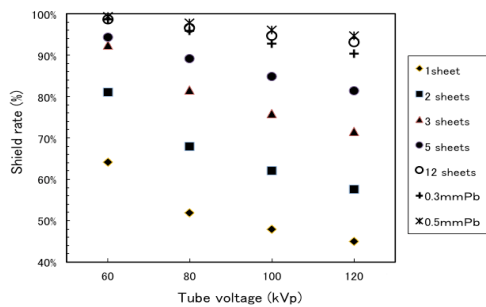


図 1. 一般撮影装置における各管電圧での放射線遮蔽率

##### (3) 放射線治療(外部照射)への応用

4、6、9 MeV の電子線を 95%減衰させるために必要なタングステン機能紙の厚みは、それぞれ 4.31、8.88、15.06 mm であった。この結果から、タングステン機能紙は実際の電子線治療に用いることが可能であることが示唆された。

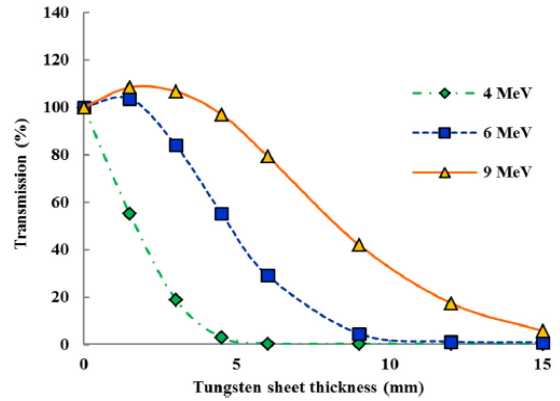


図 2. TFP の厚みと透過率と関係 (10 × 10 cm<sup>2</sup> field sizes with 4, 6, and 9 MeV electron energy.)

##### (4) 放射線診断領域への応用

Cine モード、撮影モードにおいて、1枚の機能紙で 50%以上の遮蔽率を有することがわかった。この実測を裏付けるため、そして空間線量を把握するためにモンテカルロ計算コード PHITS で結果を得た。

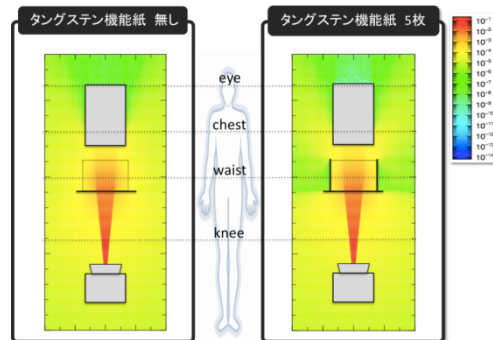


図 3. PHITS の計算による空間線量の変化

表 2. TFP の枚数の違いによる放射線遮蔽率

Mode <sup>Ⓔ</sup>	Fluoroscopy (μGy/min) <sup>Ⓔ</sup>				Cine (μGy/min) <sup>Ⓔ</sup>			
	0 <sup>Ⓔ</sup>	1 <sup>Ⓔ</sup>	3 <sup>Ⓔ</sup>	5 <sup>Ⓔ</sup>	0 <sup>Ⓔ</sup>	1 <sup>Ⓔ</sup>	3 <sup>Ⓔ</sup>	5 <sup>Ⓔ</sup>
papers <sup>Ⓔ</sup>	0 <sup>Ⓔ</sup>	1 <sup>Ⓔ</sup>	3 <sup>Ⓔ</sup>	5 <sup>Ⓔ</sup>	0 <sup>Ⓔ</sup>	1 <sup>Ⓔ</sup>	3 <sup>Ⓔ</sup>	5 <sup>Ⓔ</sup>
Eyes level <sup>Ⓔ</sup>	4.5 <sup>Ⓔ</sup>	3.4 <sup>Ⓔ</sup>	2.9 <sup>Ⓔ</sup>	2.2 <sup>Ⓔ</sup>	30.1 <sup>Ⓔ</sup>	22.6 <sup>Ⓔ</sup>	17.5 <sup>Ⓔ</sup>	14.9 <sup>Ⓔ</sup>
Chest level <sup>Ⓔ</sup>	14.7 <sup>Ⓔ</sup>	10.9 <sup>Ⓔ</sup>	9.5 <sup>Ⓔ</sup>	8.0 <sup>Ⓔ</sup>	98.5 <sup>Ⓔ</sup>	73.6 <sup>Ⓔ</sup>	64.1 <sup>Ⓔ</sup>	53.2 <sup>Ⓔ</sup>
Waist level <sup>Ⓔ</sup>	33.4 <sup>Ⓔ</sup>	18.5 <sup>Ⓔ</sup>	11.8 <sup>Ⓔ</sup>	9.5 <sup>Ⓔ</sup>	235.4 <sup>Ⓔ</sup>	137.7 <sup>Ⓔ</sup>	83.9 <sup>Ⓔ</sup>	68.9 <sup>Ⓔ</sup>
Knee level <sup>Ⓔ</sup>	36.3 <sup>Ⓔ</sup>	35.5 <sup>Ⓔ</sup>	35.5 <sup>Ⓔ</sup>	35.3 <sup>Ⓔ</sup>	240.4 <sup>Ⓔ</sup>	235.4 <sup>Ⓔ</sup>	235.4 <sup>Ⓔ</sup>	235.4 <sup>Ⓔ</sup>

(5) 軽量化への取り組み

プロトタイプの放射線防護着は完成した。動きやすさ、肩への負担の軽減は改善できたが、軽量化への課題は残っている。



図4. プロトタイプの放射線防護衣

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 2 件)

- ① 門前一, 田村命, 花岡宏平, 松本賢治, 早川典. 放射線遮蔽紙の開発と応用. 放射線. 2016;41(3):139-43 (査読なし)  
<https://annex.jsap.or.jp/radiation/>

- ② Fujimoto T, Monzen H, Nakata M, Okada T, Yano S, Takakura T, Kuwahara J, Sasaki M, Higashimura K, Hiraoka M. Dosimetric shield evaluation with tungsten sheet in 4, 6, and 9MeV electron beams. Phys Med. 2014;30(7):838-42. (査読あり)  
doi: 10.1016/j.ejmp.2014.05.009.

[学会発表] (計 6 件)

- ① Monzen H et al, Feasibility study on a metal functional paper for radiation protection in 125I seeds brachytherapy. May 25-29 2015, ICRR2015 (Kyoto international conference center) , Kyoto, Japan
- ② M Tamura, Monzen H et al. Use of a Monte Carlo method to verify reductions in radiation exposure upon application of

tungsten-functional paper during I-125 seed brachytherapy. 2015年11月19-21日 日本放射線腫瘍学会第28回学術大会 (ベイシア文化ホール、前橋市)

- ③ Matsumoto K, Monzen H et al. The basic feasibility study for radiation protection by using metal functional paper in 125I seeds brachytherapy. (14th meeting of the Asia Oseania Congress of Medical Physic, Oct 23-25 2014, Ho Chin Min city, Novotel hotel ,Vietnam)
- ④ Amano M, Monzen H et al. Radiation dose reduction in computed tomography: a new material method with TFP. (14th meeting of the Asia Oseania Congress of Medical Physic, Oct 23-25 2014, Ho Chin Min city, Novotel hotel , Vietnam)
- ⑤ Kamomae T, Itoh Y, Monzen H et al. Evaluation of dosimetric attenuation with new tungsten-based functional paper for intraoperative radiotherapy (IORT) for breast cancer. (14th meeting of the Asia Oseania Congress of Medical Physic, Oct 23-25 2014, Ho Chin Min city, Novotel hotel ,Vietnam)
- ⑥ Monzen H et al. Novel evaluation of a radiation protection for operator in interventional radiology with a tungsten-based functional paper. (14th meeting of the Asia Oseania Congress of Medical Physic, Oct 23-25 2014, Ho Chin Min city, Novotel hotel ,Vietnam)

- ⑦ Monzen H et al. Radiation protection during interventional radiology using tungsten functional paper. (ECR2016, March 2-6 2016, Austria Center Vienna, Vienna, Austria)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：低エネルギー X線用防護材  
発明者：三木 祐二、早川 典、平岡 真寛、  
門前 一  
権利者：同上  
種類：特許  
番号：特願 2014-134364  
出願年月日：2014. 6. 30  
国内外の別： 国内

## 6. 研究組織

### (1) 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