

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：21601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20246

研究課題名（和文）金属メッキ系の織布を利用した次世代型2次元個人線量計の開発

研究課題名（英文）The development of the next generating two-dimension personal dosimeter using the cloth with metal-covered strings

研究代表者

大葉 隆 (Ohba, Takashi)

福島県立医科大学・保健科学部・講師

研究者番号：00814055

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、金属メッキ系の織布を利用した次世代型の2次元個人線量計の基礎的開発を中心に実施した。X線検出器となりえる心電計測定装置の構成として、市販の心電計製作キットより信号をオシロスコープで取り出すことにより可能であることを示した。また、X線を検出するための受光面は、金属メッキ系による織布よりも繰り返しペーストを施した銀粒子ペースト布の方が検出効率を向上する事が示された。さらに、本研究の副産物として、銀粒子ペースト布はX線遮蔽能力を持っている可能性が示唆された。本研究の基礎開発により、将来的に銀粒子ペースト布による次世代型の2次元線量計開発を目指していきたい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線防護のための個人の外部被ばく線量は、均等被ばくの場合、線量計を1個のみ装着して評価していた。しかし、どの方向からどの程度量の放射線を個人が受けているかは、評価されていなかった。本研究では、放射線の入射方向とその線量を計測するための新たなデバイスとして、心電計のシステムを応用してかつ、金属メッキ系の織布を活用するための基礎研究を実施した。この研究が応用化され、2次元個人線量計となり得れば、個人の外部被ばく線量を定量的かつ、包括的に評価が可能となる。また、これにより放射線被ばくを低減するための放射線防護策も進化を遂げる。医療分野での放射線利用を本研究がより安全に導くことが可能となる。

研究成果の概要（英文）：This study aims to the basic development of a next-generation two-dimensional (2D) personal dosimeter using woven metal-plated strings. It was possible to construct an electrocardiograph that can serve as an X-ray detector by using an oscilloscope to extract signals from a commercially available electrocardiograph production kit. It was also shown that the detection efficiency of the X-ray detector could be improved by using a silver particle paste cloth with a repetitive paste on the light-sensitive surface, rather than a woven cloth with metal-plated strings. Furthermore, as a by-product of this study, it was suggested that the silver particle paste cloth may have X-ray shielding capability. Through the basic development of this study, we would like to aim at the development of a next-generation 2D personal dosimeter using silver particle paste cloth in the future.

研究分野：放射線防護

キーワード：放射線防護 個人線量計 X線検出器 外部被ばく線量 X線遮蔽 金属メッキ系 銀粒子ペースト布 心電計測定装置

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

現在、個人の外部被ばくを測定する手段は、個人線量計としてガラス素子や OS�(光刺激ルミネッセンス)素子による積算型と半導体を用いた電子型が主流で、1 点計測(不均等被ばくの場合は 2 点以上)である。個人線量計の放射線防護の概念は、ICRP Publication 74 にて実用量と防護量が規定されており、実用量の設定が ICRU Report 47 などで示されている(1,2)。現在の放射線防護の考え方では図 1 右の状況でも実用量が防護量を保証していれば問題ないとされている。現在の個人線量計では人体のどこの部分にどの程度の外部被ばく線量があったかとした、等方性に関する個人の外部被ばく線量について実測的な評価が配慮されていない。

実際に、人体への放射線の入射方向と線量レベルに関する等方性外部被ばく(図 1 右)は放射線防護の分野で、重要な解決されるべき課題となっている。例えば、福島第一原子力発電所(福島第一原発)事故を通して、3 次元的な個人の外部被ばくが話題になった。放射性セシウムは、生活環境中に様々な表面汚染レベルで存在するため、住民の日常生活における外部被ばくの傾向は 1 点計測が主であった(3)。また、医療分野では医療従事者の X 線の散乱線による不均等被ばくとなっている。特に、水晶体の被ばくは、ICRP Publication 118 より白内障のしきい線量が 500 mSv、水晶体の等価線量限度が 5 年間の平均で年 20 mSv となり(4)、医療従事者の特定臓器における外部被ばく線量の正確な評価及び、その防護対策が重要視されている(5)。

一方で、昨年度から金属メッキをした糸で織った布が市場へ登場した。金属メッキ糸の織布は肌着に組み込まれ、ウェアラブルな心電図として実用化されている(6)。放射線(特に X 線)による光電効果は原子番号の 4~5 乗に比例して電子を放出する作用を引き起こす。その電子は誘起的に作用した物質内で電位や電流を形成するため、物質による放射線の計測を可能にする。金属メッキ糸の織布は、高原子番号の金属を布として使用できるため、放射線による光電効果を誘起しやすい。また、織布である性質上フレキシブルであり、肌着のように軽量で、かつ、安価であり、個人外部被ばく線量の等方性被ばくの問題を解決するための理想的な 2 次元検出器となりえる可能性がある(図 1)。

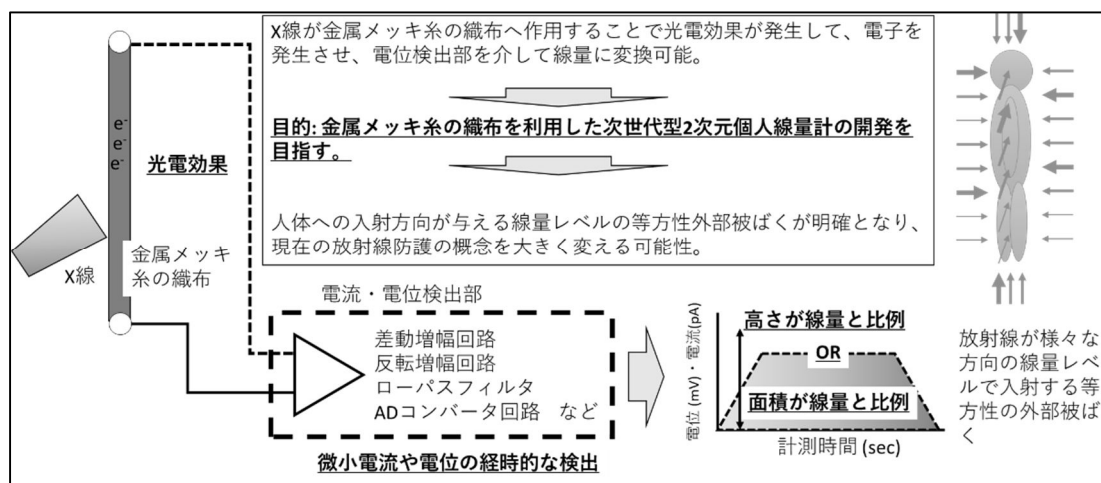


図 1 研究の概念図(右は等方からの外部被ばく概念図)

2. 研究の目的

本研究の目的は金属メッキ糸の織布を利用した次世代型の 2 次元個人線量計の臨床応用に向けた開発を目指すことである。

2 次元検出器を個人線量計として装着することにより、放射線の人体への入射方向と入射場が明らかになるため、今後の原発事故時における住民や作業員の外部被ばく線量の不均等な全身の外部被ばく線量だけでなく、医療従事者の X 線からの散乱線による不均等な被ばく線量も正確に評価できるようになる。個人外部被ばく線量の等方性被ばくの問題の解決は、将来的に 2 次元的な被ばく線量の評価を介して、具体的な放射線防護対策を提示できる環境を作り出すことができると考える。

3. 研究の方法

1) X 線検出器となりえる心電計測定装置の構成

本研究では、2 種類の心電計を検討した。まずは、市販されているウェアラブル端末として利用可能な心電計測定装置(以下、ウェアラブル端末による心電計測定装置)であった。この装置は、心電図を取得するための銀メッキ糸による電極素材とトランスミッター、スマートフォン端末を利用したソフトウェアで構成されていた。また、市販の心電計製作キットを用いて、単純な心電計モデルを立ち上げ、ここからの電流情報をオシロスコープにより抜き出した(以下、心電計製作キット)。

本研究の X 線曝射条件は、医療用の X 線発生装置を用いて、管電圧 70 kV、管電流×曝射時間 10mAs、距離 60 cm とした。検出したシグナルの面積は 2 次元の面積計算ソフトを用いて算出した。

2) X線検出面となる織布の選定

銀メッキ系を用いた布の種類検討

市販のサンプルとして、銀メッキ系は電磁波の遮蔽素材やウエラブル端末の電極素材として使用されている。ここでは、市販のサンプルで代表的な織布を検討した。本研究で使用した試料は、試料 A(ウエラブル端末の電極素材)、試料 B(電磁波の遮蔽素材)、試料 C(ナイロン生地素材)、試料 D(メッシュの目の粗い素材)の4項目を検討した。

さらに、試料として、これらの織布のベースとなる糸は3本の糸を撚って作成している。そのため、糸の中にナイロン糸と銀メッキ糸を組み合わせ、織布の試料 A を作成することとした。ここでは、試料 E-1 をナイロン糸2本と銀メッキ糸1本の撚合わせ、試料 E-2 をナイロン糸1本と銀メッキ糸2本の撚合わせ、そして、試料 E-3 を銀メッキ糸3本の撚合わせとした。

本研究の X 線曝射条件は、医療用の X 線発生装置を用いて、管電圧 70 kV、管電流×曝射時間 10mAs、距離 60 cm とした。検出したシグナルの面積は 2 次元の面積計算ソフトを用いて算出した。

銀粒子を布へペーストした場合の X 線検出の検討

近年、銀粒子ペースト手法が開発され、本研究のサンプルは、この銀粒子ペースト布を使用することで、X 線検出が可能か検討した。今回の試料は、試料 F-1(銀粒子ペースト布の銀粒子のペースト回数3回の布)、試料 F-2(銀粒子ペースト布の銀粒子のペースト回数6回の布)を使用した。銀粒子のペーストの厚さは、ペースト回数1回あたり、約 1 mm の厚みを持っている。この銀粒子のペーストは均一に塗布されており、すべての試料におけるペースト面積は 25 cm×18 cm であった。

本研究の X 線曝射条件は、医療用の X 線発生装置を用いて、管電圧 70 kV、管電流×曝射時間 10mAs、距離 60 cm とした。検出したシグナルの面積は 2 次元の面積計算ソフトを用いて算出した。

3) 本研究で使用した銀メッキ系を用いた織布及び銀粒子ペースト布の X 線遮蔽能力

ここで使用したサンプルは、銀メッキ系による織布として、試料 A(ウエラブル端末の電極素材)、試料 B(電磁波の遮蔽素材)、試料 E-3(3本の銀メッキ糸で撚られた織布)と試料 F-2(銀粒子ペースト布の銀粒子のペースト回数3回の布)、試料 F-3(銀粒子ペースト布の銀粒子のペースト回数6回の布)を使用した。

ここでの X 線遮蔽能力は X 線防護用品類の鉛当量試験方法(JIS Z4501)をベースに測定した。本研究の X 線曝射条件は、医療用の X 線発生装置を用いて、管電圧 100 kV、管電流 300mA、距離 150 cm とした。また、X 線測定機器は、6 cc チャンバーにて Accu-Gold 2.80.2(Radcal®)を使用した。減弱率曲線を作成するために、事前に鉛当量が決まる鉛試料を測定して、指数近似で補間した。

4) 統計解析

本研究の統計解析は、JMP バージョン 14.3.0 を使用した。本研究の多群間比較は、ANOVA を用いて、*post hoc* に Tukey-Kramer の HSD 検定を実施した。本研究は有意水準を 5% に設定した。

4. 研究成果

1) X線検出器となりえる心電計測定装置の構成

今回は、ウエラブル端末による心電計測定装置の出力と心電計製作キットの出力を比較した。その結果、これらの出力値は図2のように、 $y=3.59 \times 10^{-4}x+0.106$ ($R^2=0.613$) となり、比例することが示された。そのため、本研究は、次の項目よりマイナーチェンジが可能な、心電計製作キットの出力を用いて、計測することとした。

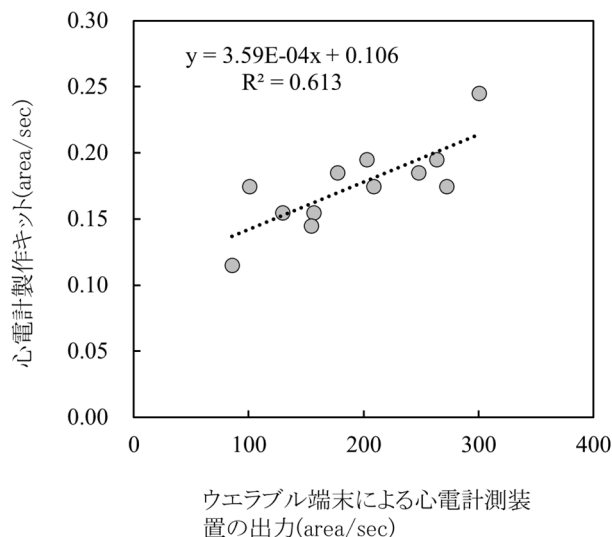


図2 X線検出器となりえる心電計測定装置の比較

2) X線検出面となる織布の選定

銀メッキ系を用いた布の種類を検討

市販織布の4種類について、X線検出面として、検討を試みたが、図3より試料A、試料B、試料C、試料Dの間で有意な傾向は得られなかった。つまり、銀メッキ系を使用している場合、その網目の大きさに影響を受けず、一定のX線出力を示すことが分かった。以上の結果より、本研究では、試料A(ウエラブル端末の電極素材)を中心に検討することとした。

また、図4より織布のベースとなる糸は3本の糸を撚って作成しているが、この糸について、1本、2本、3本と銀メッキ糸を加えていき織布のベースとなる糸を準備した。この糸による織布のX線検出による検出能力は、銀メッキ糸が撚糸へ増加するほど、増加する傾向が見えたが、有意差はみられなかった。市販のサンプルは、撚糸の銀メッキ糸が3本以上使用されており、傾向を鑑みて、市販サンプルを改良せずを使用することとした。

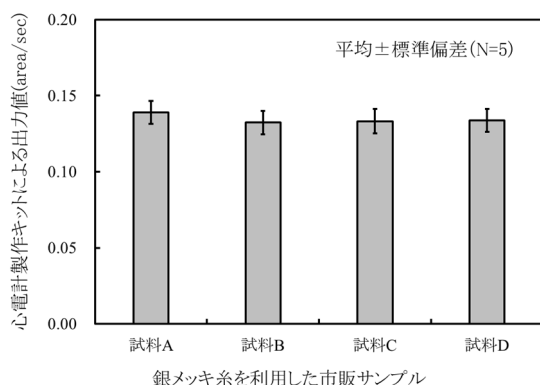


図3 銀メッキ系を利用した市販サンプルの出力比較

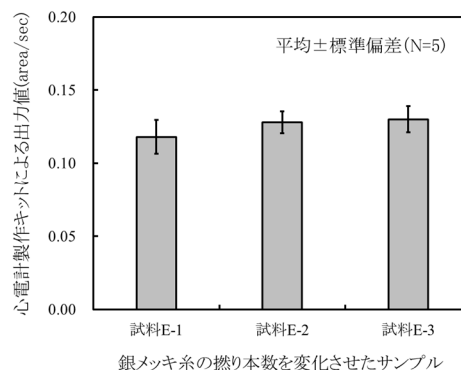


図4 銀メッキ糸の撚り本数を変化させたサンプルの出力比較

銀粒子を布へペーストした場合のX線検出の検討

約1mmの厚みを持って、均一に織布へペーストした場合、図5よりペースト回数(1回ペースト当たり約1mmの厚み)は試料A(銀粒子ペースト無)と銀粒子ペースト6回で有意に検出能力が向上することが分かった($p < 0.01$)。ここで、1cm×1cmの面積で、約1mmの厚みの銀粒子をペーストした場合、銀の密度(10.49 g/cm³)より、約1.05gとなる。成人(身長170cmで体重70kg)を仮定した場合、全身の表面積が18,100cm²(デュボア:Du Bois式を利用)となる。全身の3分の2を本研究で検討している銀粒子ペースト布で覆う場合、約12,066cm²(約109.8cm×109.8cmと同じ面積と仮定)が対象面積となる。そのため、ここから、銀粒子ペースト布を成人へX線検出面として用いる場合、ペースト回数が1回で115g程度の重量となる。実際には、銀粒子ペースト布に6回程度のペースト回数が必要となるため、約691gの重量となる。つまり、それほど重量感の無いX線検出面を作成可能であることが分かった。

また、銀粒子をペーストする布の種類(台紙となる布)について試料F-1の銀メッキ糸を用いた織布による台紙と試料F-3のように一般のナイロン繊維布と比較したところ、X線検出に有意な傾向がみられなかった。つまり、銀粒子ペーストする台紙となる布は、導電性でなく良いことが明らかになった。

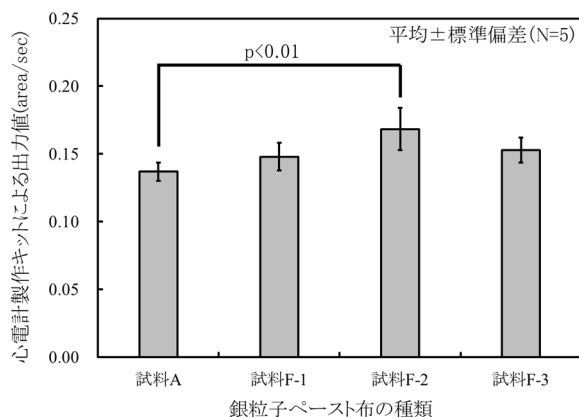


図5 銀粒子ペースト布を使用した場合の出力比較

3) 本研究で使用した銀メッキ糸を用いた織布及び銀粒子ペースト布の X 線遮蔽能力

上記の X 線検出面となる織布の選定で使用したサンプルに対して、これらの X 線遮蔽能力を検討した。その結果、図 6 より、銀メッキ糸を用いた布の編み方で使用したサンプル(試料 A、試料 B、試料 E-3)については、鉛当量換算が不可能なレベル ~ 0.01 mmpbeq 程度であり、遮蔽能力を有しなかった。しかし、銀粒子ペースト布の場合の X 線検出の検討で使用した銀粒子ペースト布について、鉛当量換算は銀粒子のペースト回数 3 回(試料 F-1)の布で 0.08 mmpbeq、銀粒子のペースト回数 6 回の布(試料 F-2)で 0.13 mmpbeq となることが分かった。つまり、銀粒子のペースト回数が増加するほど X 線遮蔽能力が増加する傾向となった。一般的に、医療施設で用いられる X 線防護資材の鉛当量換算は、0.25 mmpbeq、もしくは、0.35 mmpbeq となる。そのため、このような結果より銀粒子のペースト回数を推定すると、鉛当量換算で 0.25 mmpbeq を得るためには銀粒子のペースト回数は 11 回相当が、鉛当量換算で 0.35 mmpbeq を得るためには 16 回相当が必要になる。上記より、その重量は、鉛当量換算で 0.25 mmpbeq 相当の銀粒子ペースト布で約 1.28 kg、0.35 mmpbeq 相当の銀粒子ペースト布で約 1.84 kg と推定できる。そのため、銀粒子ペースト布による X 線防護資材を提供する場合、X 線防護材として相当な重量構造となることが予想された。

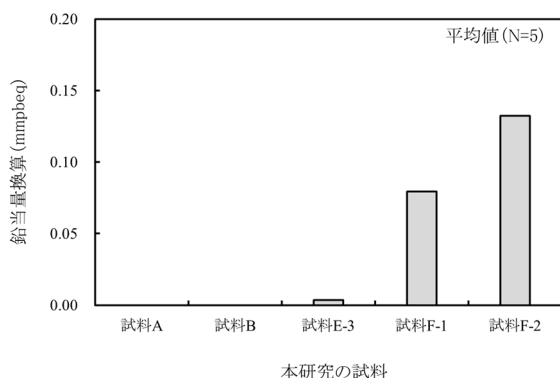


図 6 本研究で使用した織布及びペーストした布の X 線遮蔽能力

5. 研究のまとめ

本研究は、金属メッキ糸の織布を利用した次世代型の 2 次元個人線量計の基礎的開発を中心に実施した。X 線検出器となりえる心電計測定装置の構成として、市販の心電計製作キットより信号をオシロスコープで取り出すことにより可能であることを示した。また、X 線を検出するための受光面は、金属メッキ糸による織布よりも繰り返しペーストを施した銀粒子ペースト布の方が検出効率を向上する事が示された。さらに、本研究の副産物として、銀粒子ペースト布は X 線遮蔽能力を持っている可能性が示唆された。ただし、銀粒子ペースト布で現状の医療施設における X 線遮蔽能力を期待する場合、相当な重量となるため、現状では、改善が必要であると考えられる。

本研究の基礎的な開発により、将来的に銀粒子ペースト布による次世代型の 2 次元線量計、つまり、着用して、丸洗い可能な 2 次元線量計の開発を目指していきたい。

6. 参考文献

- 1) ICRP. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP. 26: 1-205; 1996.
- 2) ICRU. ICRU Report 47, Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations. Maryland, USA: 1-40; 1992.
- 3) Miyazaki, M. Using and Explaining Individual Dosimetry Data. Asia. Pac. J. Public Health. 29(2_suppl): 110S-119S; 2017.
- 4) ICRP. ICRP statement on tissue reactions / early and late effects of radiation in normal tissues and organs – Threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann ICRP. 41: 1-322; 2012
- 5) Haga, Y, Chida, K, Kaga, Y, et al. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. Sci. Rep. 7(1): 569; 2017.
- 6) Hafiz, P, Bardram, JE. The Ubiquitous Cognitive Assessment Tool for Smartwatches: Design, Implementation, and Evaluation Study. JMIR Mhealth Uhealth. 8(6): e17506; 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

企業との共同研究により、企業が持っていた商品開発能力を放射線防護の分野という別角度からサポートすることができた。

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------