

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月 4日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21611012

研究課題名（和文） IVR患者被ばく測定法の標準化に関する基礎的研究

研究課題名（英文） Standardization of patient dosimetry for interventional radiology

研究代表者

盛武 敬（MORITAKE TAKASHI）

筑波大学・医学医療系・講師

研究者番号：50450432

研究成果の概要（和文）：患者の身体に低侵襲であるインターベンショナル・ラジオロジーでは、被ばく線量が1回の手技あたり数 Gy（グレイ）に達することがある。そこで、精密な患者被ばく線量情報を得るために、蛍光ガラス線量計を配した専用装具と、線量分布を医療情報として活用し、これを患者単位で管理するためのシステムを構築した。この線量分布は直ぐに表示することはできないが、リアルタイムに把握可能な X 線透視時間や面積線量計の情報と組み合わせることで、被ばく線量を効果的に低減できることが示された。

研究成果の概要（英文）：Interventional radiology is increasingly being adopted in the treatment of various diseases because of its low invasiveness. However, the entrance skin doses (ESDs) exceed several Gy for each procedure in most cases. We therefore built a system for precise mapping of ESDs using a number of radiophotoluminescence glass dosimeters to reduce the dose of patient. We also concluded that the precise dose mapping accompanied by monitoring of angiographic parameters during the procedure should contribute to reducing X-ray dose accumulation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：放射線科学，放射線・化学物質影響科学，脳神経外科学

科研費の分科・細目：医学物理学・放射線技術学

キーワード：インターベンショナル・ラジオロジー、医療被ばく、蛍光ガラス線量計、皮膚透過線量、診断参考レベル、国際放射線防護委員会

## 1. 研究開始当初の背景

インターベンショナル・ラジオロジー（IVR）による患者の被ばく線量は1回の治療手技で数 Gy を超え、照射時間も数時間単位になることが多い。そのため、放射線による患者の被ばくが問題となっており、ICRP（国際放射線防護委員会）は2001年に Publication 85 として「IVRにおける放射線傷害の回避（和題）」を出した。この中で、

患者の皮膚線量に応じて（3Gy 以上、繰り返す手技の場合は 1Gy 以上）経過観察等の処置をとるべきであると述べている。また、2007年の新勧告では「診断参考レベル」の適用を医療被ばく防護の最適化における重要なものと位置づけ強調している。この「診断参考レベル」を適切に評価する為には、何より実際の患者の皮膚線量の測定あるいは推定が不可欠であるが、我が国の対応策を検討する

に資する被ばく線量のデータはまだ出揃っていない。

国内においては、以下の様な IVR 被ばく線量の測定・推定方法が報告されている。

- (1) TLD (熱蛍光線量計) : 線量計としての精度は高いが測定可能線量域が不十分。
- (2) SDM (皮膚線量計) : リアルタイム表示が可能で術中の線量警告に有用。
- (3) NDD 法 : X 線の条件や距離の記録から計算により線量を推定する。
- (4) DAP (面積線量計) : X 線出力側の数値。最高線量との相関性は高く、術中の線量警告に有用。
- (5) ケアグラフ(CAREGRAPH) : リアルタイム線量分布表示、シーメンス製撮影装置専用。
- (6) 患者照射線量管理ネットワーク (PEMNET) : テーブル表面の空中照射線量リアルタイム表示。
- (7) フィルム法 : 患者背部にフィルムを設置する。様々な管球位置条件に対応出来ない。
- (8) インジケーター : 被ばく線量を色で表示する。使用直後にその場で分布が把握出来る。

これらは大きく分類して、直接線量を測定する方法(1)(2)と、計算など他のパラメーターから推定する方法(3)(4)(5)(6)とに分けられる。しかし前者では臨床上必要とされる数十か所以上を一度に網羅することが困難な為、線量分布として被ばくを把握することが出来ない。一方後者は、リアルタイムに表示される点は理想的であるが、基本的にある定められた部位での線量をシミュレートしているため、患者個人の体格が反映されにくく、線量分布精度の点でもさらなる改善が必要である。(7)は管球位置が理想的な条件においては線量分布を表示することが出来るが、読み取りには手間がかかる。

このようななか、毛髪の生えた球面状の頭部に多くの線量計を短時間で設置する方法として、蛍光ガラス線量計 (RPLD) 素子 (Dose Ace, 千代田テクノル) を頭頸部一体型の帽子の上にあらかじめ装着し、更にその帽子を患者に被せるという手法を考案して特許出願を行った(後に特許第 4798476 号取得)。これにより、今までの TLD などによる直接測定法で報告されている欠点、すなわち測定作業労力の問題を大幅に改善することに成功した。

## 2. 研究の目的

RPLD を用いた直接的な患者被ばく測定法を広める為には、対象患者数が多い成人の胸部領域や、長期的な放射線影響が懸念される小児領域に対応可能な標準装具の開発が喫緊の課題であると考えている。その際に必

要となる基盤技術としては、様々な施設でのエックス線透視条件に対応出来る線量計読み取り値校正アルゴリズムの標準化が重要であり、また線量表示方法や患者への線量通知方法についても、その善し悪しが普及を左右すると考えている。具体的に以下を目的とした。

- (1) 幅広い疾患や患者を想定した IVR 患者被ばく測定用標準装具の開発と高精度被ばく線量分布データの収集
- (2) RPLD 素子読み取り値から皮膚透過線量を算出するための標準化手法の確立
- (3) 従来の他の方法による測定値との互換性評価
- (4) 医師・患者に満足される標準的線量測定・通知方法の確立

## 3. 研究の方法

- (1) 頭頸部領域 (成人)、心血管領域 (成人)、新生児・小児心血管領域に用いる標準装具の開発を行う。まずこれらの代表的な疾患で実際に RPLD 素子を用いた測定を行い、線量分布の傾向を把握する。次にこの結果を基に RPLD 設置位置と個数の最適化を行った後、引き続き実際の患者での高精度な線量分布データ収集を行う。
- (2) RPLD 素子の線量応答はエックス線のエネルギーに影響を受け、特に診療領域の比較的低いエネルギー領域 (30-50keV) で高い応答性を示すことが知られている。ところが診療用エックス線のエネルギーは被写体の条件によって自動で最適化されるように設計されているため、RPLD 素子の読み取り値を線量値 (Gy) に換算するためには、代表的なエネルギー値での校正定数決定作業が不可欠である。しかし現在のところ、どのように校正定数を求めるかについては定まっておらず、標準的な校正手法の確立が望まれる
- (3) RPLD 素子を用いた本法と従来の他の線量評価方法により導かれる線量値とを比較する。施設毎に異なった環境や方法で測定されたデータの互換性を高めることで、現在までに行われてきた種々の測定方法による結果を生かすことが期待される。結果として限られたコストで数多くの測定データを得ることが出来る。本研究では患者の最大皮膚透過線量とその部位の推定法を考察する。
- (4) 測定によって得られた被ばくデータをどのように臨床に生かしていくのかを探る。詳細な線量分布の情報は、次回の IVR 照射条件を決める際の重要なデータとなることが予測されるが、実際の患者に試すことでその効果を実証する。

## 4. 研究成果

- (1) 頭頸部領域（成人用 3 サイズ）、心血管領域（標準成人）に用いる標準装具を開発した。頭頸部用装具の実績は H24 年 3 月末現在で 100 症例を超えており、現在も順調に運用を重ねている。胸部に関しては H24 年 3 月末現在 10 例に実施している。



図 1：頭頸部用装具（左：正面，右：後面）



図 2：胸部用装具（後面）

- (2) RPLD 素子は、特に診療領域の比較的低いエネルギー領域（30-50keV）で高い応答性を示すことが知られている。そこで、本研究では 2 種類の RPLD 素子（図 3）を用いて、X 線の実効エネルギーの関数で線量-応答曲線を求め（図 4）、代表的エネルギー値から実際の線量への換算を行った。

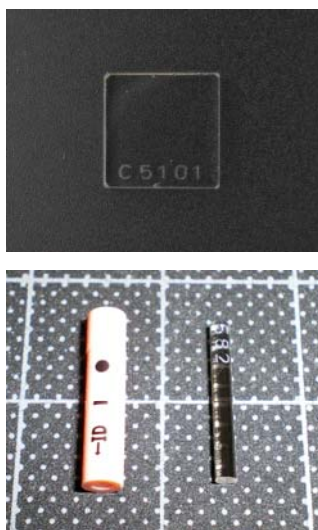


図 3：RPLD 素子（上：板状，下：棒状）

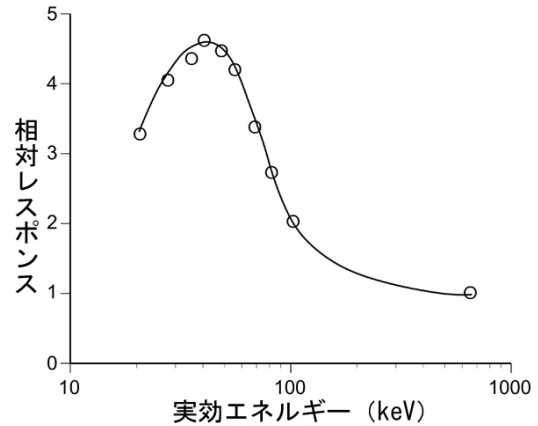


図 4：板状 RPLD 素子の線量応答曲線（例）

- (3) RPLD 素子を用いた本法ではリアルタイムに線量を表示することができないので、リアルタイムに求めることができる血管造影装置関連パラメーターから簡易的に最大皮膚透過線量を求めることを目的として、透視時間と面積線量計の最大皮膚透過線量との相関解析を行った。

結果は、透視時間（図 5）との総関係数：

$$r = 0.74$$

面積線量（図 6）との相関係数：

$$r = 0.67$$

と、いずれも高い相関があることが明らかになった。

そこで、明らかな皮膚障害を来しうる 3Gy を超えないように、これらのパラメーターをモニターしながら、必要に応じて術者に注意を促すよう心がけ、1 回目の治療終了後には詳細な線量分布図を注意深く観察し、2 回目以降の治療では管球角度を変えるなどして、同一部位に過度な放射線が当たらないように工夫することが望ましいと考えた。

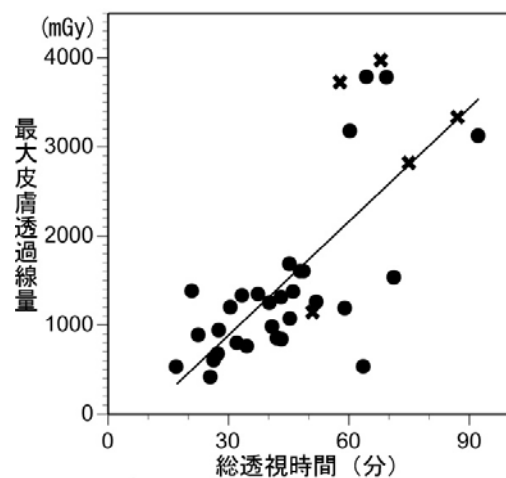


図 5：透視時間と最大皮膚透過線量の関係

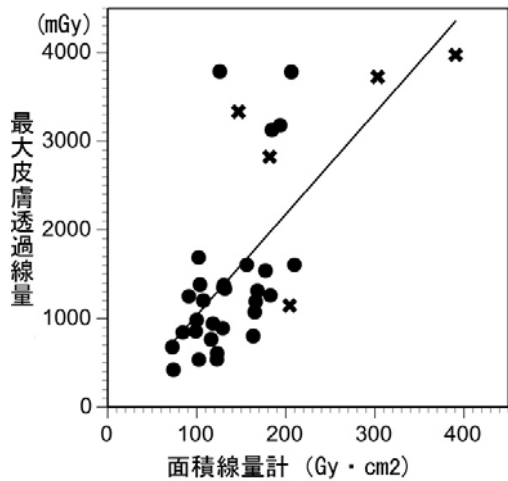


図6：面積線量計と最大皮膚透過線量の関係

(4) 測定によって得られた被ばくデータの効果的表示法を検討した。現状はグラフソフトにより作成したヒートマップ画像をDTPソフトに取り込み、カルテに綴じ込むことができる線量分布シート(図7)を印刷出力して、これを医療機関に返送している。

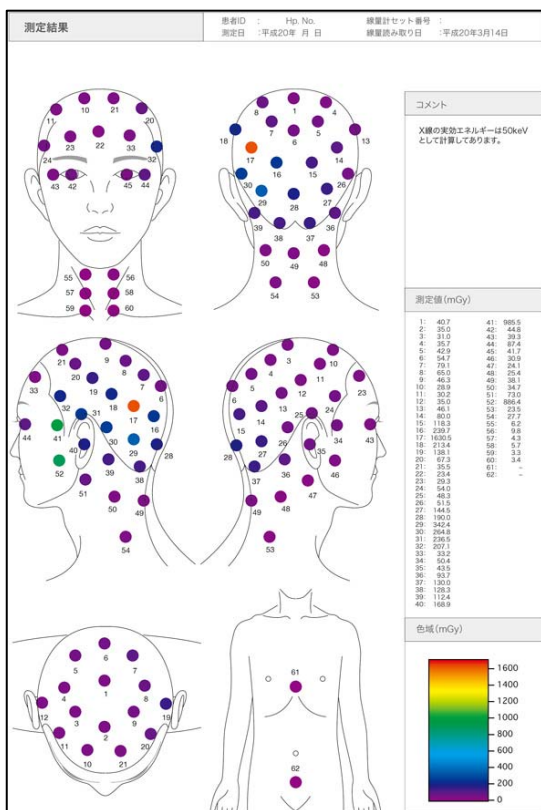


図7：カルテ用線量分布シート見本(頭頸部)

しかし、この作業には専任のオペレーターが行っても1症例で30~40分ほどの時間を要するため、今後症例数を増やしていく際の制限要因となってしまう。そのた

め、現在新たに自動で線量分布を出力し、そのまま電子カルテに取り込むことができるシステムを準備している。これが完成することで、RPLD素子の読み取りデータから一瞬で出力することが可能になり、今後の実用性の向上が期待される。

#### 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 Moritake T, Hayakawa M, Matsumaru Y, Takigawa T, Koguchi Y, Miyamoto Y, Mizuno Y, Chida K, Akahane K, Tsuboi K, Sakae T, Sakurai H: Precise mapping system of entrance skin dose during endovascular embolization for cerebral aneurysm. *Radiation Measurements*, 46, 2103-2106, 2011, 査読有  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.08.008>
- ② Hayakawa M, Moritake T, Kataoka F, Takigawa T, Koguchi Y, Miyamoto Y, Akahane K, Matsumaru Y: Direct measurement of patient's entrance skin dose during neurointerventional procedure to avoid further radiation-induced skin injuries. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 112, 530-536, 2010, 査読有  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clineuro.2010.03.019>, How to Cite or Link Using DOI

[学会発表] (計12件)

- ① 盛武 敬:医療からみた医療機器等へのニーズ、現状と課題:日々の臨床からのもの作り 医工連携セミナー(招待講演), 6月28日, 2011
- ② 大山高一, 盛武 敬, 松丸祐司, 小泉洋人, 磯辺智範, 高橋英希, 赤羽恵一, 早川幹人, 宮本俊男, 鶴岡伊知郎, 渡邊和洋, 坪井康次: 眼球水晶体遮蔽装置の開発と効果の検証. 第26回日本脳神経血管内治療学会総会(幕張), 11月24-26日, 2011
- ③ 加藤 守, 千田浩一, 盛武 敬, 赤羽恵一, 小口靖弘, 吉田恭平, 佐々木文昭, 佐々木正文, 大阪 肇, 土佐鉄雄: 経皮的冠動脈インターベンションにおける蛍光ガラス線量計を用いた患者被曝線量測定に関する基礎的検討. 第40回日本IVR学会総会, 青森, 5月19日-21日, 2011年
- ④ 大山高一, 磯辺智範, 盛武 敬, 高橋英希, 小泉洋人, 赤羽恵一, 藤井啓輔, 早川幹人, 松丸祐司, 宮本俊男, 鶴岡伊知郎, 渡邊和洋, 鈴木貴子, 坪井康次, 榮 武二: 水晶体被ばく軽減システムの構築とその検証.

- 第 40 回日本 IVR 学会総会, 青森, 5 月 19 日-21 日, 2011 年
- ⑤ 加藤 守, 千田浩一, 盛武 敬, 磯辺智範, 小口靖弘, 大阪 肇, 土佐鉄雄: Flat Panel Detector (FPD)搭載血管撮影装置における蛍光ガラス線量計の諸特性について. 日本医学物理学会第 101 回学術大会, Web 開催, 5 月, 2011 年
- ⑥ 岸本 彩, 錦戸文彦, 稲玉直子, 吉田英治, 盛武 敬, 片岡 淳, 村山秀雄, 山谷泰賀: IVR 用リアルタイム被曝線量分布モニタリングシステムの基礎研究. 日本医学物理学会第 101 回学術大会, Web 開催, 5 月, 2011 年
- ⑦ Moritake T, Hayakawa M, Matsumaru Y, Takigawa T, Koguchi Y, Miyamoto Y, Mizuno Y, Chida K, Akahane K, Tsuboi K, Sakae T, Sakurai H: Precise mapping of entrance skin dose during endovascular embolization for cerebral aneurysm to avoid radiation-induced skin injury. 16<sup>th</sup> International Conference on Solid State Dosimetry, Sydney, Australia, Sep. 19-24, 2010.
- ⑧ Moritake T, Hayakawa M, Matsumaru Y, Koguchi Y, Miyamoto Y, Mizuno Y, Chida K, Akahane K, Tsuboi K, Sakae T and Sakurai H: Precise mapping of entrance skin dose during neurointerventional procedure: what is the most effective method to avoid radiation-induced skin injury? 56<sup>th</sup> Annual Meeting Radiation Research Society, Maui, Hawaii, USA, Sep. 25 -29, 2010.
- ⑨ 高橋英希, 磯辺智範, 盛武 敬, 大山高一, 小泉洋人, 赤羽恵一, 早川幹人, 松丸祐司, 榮 武二: 脳血管 IVR における水晶体被ばく低減システムの開発とその効果の検証. 日本医学物理学会 第 100 回学術大会, 東京(一ツ橋), 9 月 23-25 日, 2010 年
- ⑩ 早川幹人, 盛武 敬, 片岡章勝, 滝川知司, 小口靖弘, 宮本由香, 赤羽恵一, 松丸祐司: 脳血管内治療における蛍光ガラス線量計を用いた医療被ばく評価追跡システムの臨床的有用性. 第 25 回日本脳神経血管内治療学会総会, 富山, 11 月 19-21 日, 2009 年
- ⑪ 盛武 敬, 早川幹人, 片岡章勝, 滝川知司, 松丸祐司, 小口靖弘, 宮本由香: 頭頸部 IVR における詳細な皮膚透過線量分布の解析とその臨床応用の可能性. 日本医学物理学会 第 98 回学術大会, 京都, 9 月 17-19 日, 2009 年
- ⑫ Hayakawa M, Moritake T, Kataoka F, Takigawa T, Koguchi Y, Miyamoto Y, Matsumaru Y: Precise mapping of skin

dose to avoid further radiation-induced epilation. World congress on medical physics and biomedical engineering, Munich (Germany), September 9-12, 2009

[産業財産権]

○取得状況 (計 2 件)

1. 名称: Dosimeter fitting wear and body surface exposure dose distribution measuring method and apparatus using the same

発明者: Moritake T, Fujisaki S, Koguchi Y, Mizushima H, Matsuno K, Uchida T

権利者: National Institute of Radiological Sciences, Chiyoda Technol Corporation

種類: 特許

番号: US 7,541,599 B2

取得年月日: Jun.2, 2009

国内外の別: 国外

2. 名称: 線量計装着ウェア、これを用いた体表面被曝線量分布測定装置

発明者: 盛武 敬, 藤崎三郎, 小口靖弘, 水島浩, 松野 陽, 内田 敬

権利者: 独立行政法人放射線医学総合研究所, 株式会社千代田テクノル, 株式会社ゴールドウインテクニカルセンター, 蝶理株式会社

種類: 特許

番号: 特許第4798476号

取得年月日: 平成23年8月12日(2011.8.12)

国内外の別: 国内

[その他]

<http://www.tsukuba.ac.jp/update/awards/20120126103936.html>

<http://www.tsukuba.ac.jp/update/awards/20120322144859.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

盛武 敬 (MORITAKE TAKASHI)

筑波大学・医学医療系・講師

研究者番号: 50450432

(2) 研究分担者

榮 武二 (SAKAE TAKEJI)

筑波大学・医学医療系・教授

研究者番号: 60162278

千田 浩一 (CHIDA KOICHI)

東北大学・医学研究科・教授

研究者番号: 20323123

松丸 祐司 (MATSUMARU YUJI)  
沖中記念成人病研究所・沖中研究所・研究員  
研究者番号：70323300

水野 祐介 (MIZUNO YUSUKE)  
横浜市立大学・医学部・講師  
研究者番号：80433192  
(H21→H22：連携研究者)

(3) 連携研究者

早川 幹人 (HAYAKAWA MIKITO)  
沖中記念成人病研究所・沖中研究所・研究員  
研究者番号：80450229