

労災疾病臨床研究事業費補助金

デジタルトランスフォーメーションを活用した医療従事者の被ばく  
低減プログラムの開発と有効性の検証

令和4年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 藤淵 俊王

令和5（2023）年3月



## 目 次

### I. 総括研究報告

デジタルトランスフォーメーションを活用した医療従事者の被ばく低減プログラムの開発と有効性の検証 研究代表者 藤淵俊王

----- 1

(資料) アクションチェックリスト

### II. 分担研究報告

1. 放射線防護教育教材 web サイトの構築 ----- 8

(資料) 放射線防護教育教材 web サイト

2. 血管造影における 3 次元散乱線分布の可視化と表示ツールによる比較  
----- 57

3. WebVR を利用した X 線透視における放射線防護教材の開発  
----- 85

4. Augmented Reality 技術を用いた血管造影撮影時の 3 次元散乱線分布の可視化  
----- 94

5. ピンホールカメラを用いたリアルタイムでの散乱線の可視化に関する検討  
----- 102

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ----- 129





労災疾病臨床研究事業費補助金  
総括研究報告書

デジタルトランスフォーメーションを活用した医療従事者の被ばく低減プログラムの  
開発と有効性の検証

研究代表者 藤淵 俊王 九州大学大学院医学研究院保健学部門医用量子線科学分野 教授

研究要旨

研究の目的: 医療現場における職業被ばくについて、被ばく量の高い放射線診療従事者も存在することから被ばく低減に向けた取組と有効性の評価が求められる。そこでこれまでの知見とデジタルトランスフォーメーションの技術を活用して実効性の高い放射線診療従事者の被ばく低減対策プログラムを開発し、被ばくの低減を図ることを目的とする。

1 年目の成果として、放射線防護教育教材として医療現場の状況に応じた放射線防護、被ばく低減対策に関する説明資料の他、アクションチェックリスト、電子教材を作成し、Web サイトにまとめている。以下に成果物を報告する。

1. 放射線防護教育教材 web サイト

教材を web サイトにまとめ、電子教材として活用しやすいようまとめた。

具体的な内容として、外部放射線防護の 3 原則や X 線照射中の放射線の広がり方という基礎的な事項に加え、IVR や透視、CT 等、様々な状況に応じた被ばく低減の要点について、防護具の紹介や活用法、画像や動画を踏まえた資料を作成した。内容に関して臨床的および放射線医学・技術学教育の視点から、実務上理解しやすいものになるよう検討した。また、先行研究の情報を統合してアクションチェックリストを作成し、被ばく低減対策についての改善例を提示する資料も組み込んだシステムとした。

2. 3次元放射線可視化教材

放射線業務を行う上で、放射線は目に見えないことが放射線診療従事者にとって放射線や防護の理解を妨げる要因となっている。仮想現実および拡張現実技術を利用した VR-learning 教材として Web ブラウザや iPad 用アプリを通じて、自由な方向から 3 次元の放射線分布を可視化する教材を開発した。

3 リアルタイム被ばく警告システム

RGB-D カメラにより術者の全身の動きをトラッキングし、あらかじめシミュレーションした 3 次元散乱線分布と重ね合わせることで、リアルタイムに術者の指先や水晶体を含めた全身の線量を推定し、一定の線量や線量率になると警告音や警告画面を発生するシステムを開発した。また、シミュレーションには構造の再現等の限界があることから、散乱線を実際に測定して可視化するために、散乱線可視化カメラを開発した。

## 研究分担者

石神 康生	九州大学大学院医学研究院 臨床放射線科学分野 教授
筒井 裕之	九州大学大学院医学研究院 循環器内科学 教授
小川 佳宏	九州大学大学院医学研究院 病態制御内科学 教授
佐々木 雅之	九州大学大学院医学研究院 保健学部門 医用量子線科学分野 教授
馬場 眞吾	九州大学病院 放射線部 准教授
岡崎 龍史	産業医科大学 産業生態科学研究所 教授
富澤 登志子	弘前大学大学院 保健学研究科 教授

## 研究協力者

牛島 泰宏	九州大学病院放射線科 講師
坂本 和生	九州大学病院循環器内科 助教
藤森 尚	九州大学病院肝臓・膵臓・胆道内科 助教
中島 美沙希	九州大学大学院医学系学府保健学専攻医用量子線科学分野 大学院生
岸田 大典	九州大学大学院医学系学府保健学専攻医用量子線科学分野 大学院生
川島 理愛	九州大学医学部保健学科放射線技術科学専攻 学部生
長友 亜未	九州大学医学部保健学科放射線技術科学専攻 学部生

### A. 目的

2011年に国際放射線防護委員会(ICRP)で水晶体等価線量限度引下げの勧告が出て以降、国内では法令取入に向けた実態調査や被ばく低減対策の検討が進められてきた。放射線診療従事者の中でも業務内容と被ばくの関係を調査すると、X線管に接近して操作が必要な透視下手技に携わる医師や看護師の被ばくが特に高いことが明らかになっている。法令改正後も線量限度を超過する可能性のある放射線診療従事者が存在し、その要因として以下のことが考えられる。

#### 1. 医療現場の実務に即した放射線防護教材の不足

放射線防護教材は多く用意されているが、被ばくに関する概念・法令・理論に関するも

のがほとんどで、放射線診療従事者の実務に反映することが難しいように感じる。より理解しやすくするために、放射線診療従事者に対して事前に放射線被ばくの軽減の重要性を説明するとともに臨床現場のスタッフの視点で、様々な理解度や業務内容、さらに所持している防護具に応じた教材が求められる。

#### 2. 放射線は五感に感じないこと

放射線は五感に感じないことから、危険を察知しづらい。放射線の広がりや危険な場所を可視化、可聴化することで危険を予知することが可能になると考えられる。

#### 3. 放射線防護具の適正な使用法をはじめとした放射線防護法の理解不足

被ばく低減対策として放射線防護眼鏡や防

護板の有効性が報告され活用されているが、現場で所持しているだけでなく適切に使用しないと防護効果を発揮できない。手技によっては装置や患者と緩衝してしまうことから、全ての放射線診療で使用できるわけではない。防護具だけでなく、照射条件や人員配置等から総合的に対策を図る必要がある。

そこで我々は、医療現場における職業被ばくについて、被ばく量の高い放射線診療従事者も存在することから被ばく低減に向けた取組と有効性の評価が求められる。そこでこれまでの知見と“放射線の可視化”をキーワードとして、デジタルトランスフォーメーション(DX: digital transformation)の技術を活用した放射線診療従事者の被ばく低減対策プログラムを開発し、被ばくの低減を図ることを目的とする。

## B. 方法

本研究において提案する被ばく低減プログラムは、DXを活用したこれまでにない効率的なシステムの開発と有効性の評価を実施できる点が特色である。開発するコンテンツは上記背景の課題を解決策として、下記の3項目の開発を実施した。

### 1. 放射線防護教育教材を取りまとめたwebサイト

放射線診療従事者への聞き取りにより、被ばく低減対策について知りたいことを調査した。また様々な被ばく低減対策について、先行研究の情報を統合してアクションチェックリストと現場の意見を取り入れた診療に支障なく実現可能な改善例の資料を作成した。個々の従事者に対して資料によるリスクの意識づけや業務改善方法の理解

度の評価と資料の改善を効率よく分析できるようにE-learning放射線防護教材としてシステムを構築した。

### 2. 3次元放射線可視化教材

放射線の「見える化」による放射線診療中の検査室内の散乱線の広がり認識し、放射線防護に関する理解度を向上させることを目的に、モンテカルロシミュレーションを基に放射線診療室内の散乱線分布を計算し、PCやタブレット端末等で場所を問わず容易に確認するシステムを構築した。

またWebVRによりソフトのインストール不要で動作する環境や、iPadやiPhoneに対応したARアプリを開発した。

### 3. リアルタイム被ばく警告システム

これまでリアルタイムに測定することが困難であった末梢や眼を含め、全身の被ばく量分布をボディトラック技術を利用してリアルタイムに推定し、医師や看護師に音や画像で提示することで被ばく低減につながるシステムのプロトタイプを開発した。

またシミュレーションには構造の再現等の限界があることから、散乱線を実際に測定して可視化するために、ピンホールとCsIシンチレータ、C-MOSカメラを組み合わせた散乱線可視化カメラを開発した。

(倫理面への配慮)

本研究は開発した教材を放射線診療従事者が使用した前後での被ばく量の変化を調査することで有効性を評価することから、九州大学病院臨床試験倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

## C. 結果

### 1. 放射線防護教育教材webサイト

教材を web サイトにまとめ、電子教材として活用しやすいようまとめた。(Web サイトの URL は <https://arp.kyushu-u.ac.jp/dxrpp/>)

具体的な内容として、外部放射線防護の 3 原則や X 線照射中の放射線の広がり方という基礎的な事項に加え、IVR や透視、CT 等、様々な状況に応じた被ばく低減の要点について、防護具の紹介や活用法、画像や動画を踏まえた資料を作成した。内容に関して臨床的および放射線医学・技術学教育の視点から、実務上理解しやすいものになるよう検討した。また、先行研究の情報を統合してアクションチェックリストを作成し、被ばく低減対策についての改善例を提示する資料も組み込んだシステムとした。アクションチェックリストは別添 1 に示す。資料作成にあたり、研究分担者である放射線科、循環器内科、肝臓・膵臓・胆道内科の診療科および放射線部や看護部(から、臨床現場の状況に応じた防護方法や現場からの要望、知りたいことの情報を取り入れた教材を作成した。アクションチェックリストでの不明点は、関連する説明資料にリンクさせた。

## 2. 3次元放射線可視化教材

3次元放射線可視化教材として、3次元可視化ソフトウェアである ParaView で動作可能な散乱線データと web ブラウザ上で動作する環境を構築した。

VR-learning 教材として、Web ブラウザを通じて自由な方向から 3次元の放射線分布を可視化する教材を開発した。下記からアクセス可能としている。

<https://contsrv.icer.kyushu->

[u.ac.jp/Medu/XraySim3/fluolo/](https://contsrv.icer.kyushu-u.ac.jp/Medu/XraySim3/fluolo/)

使用者はサーバーにアクセスしてブラウザ上で PCI、X 線透視、CT 検査といった放射線検査の種類および防護具の有無を選択し、散乱線分布を可視化できるようにしている。ブラウザ上で動作することから OS の種類を問わず、PC だけでなく iPad 等のタブレット端末やスマートフォンからも確認することができる。これにより場所を問わず観察ができ、診療室の装置と見比べながら臨場感のある放射線の広がりを確認することもできる。

さらに血管造影の 3次元散乱線可視化ツールとしては、インターネット環境のない場所でも使用できるよう、iPad のアプリとしても開発し、無料アプリとして公開した。このアプリは CG をライフサイズで AR 表示することで、血管造影室で使用すれば実際の装置と重ねて散乱線の広がりや距離感を認識することができる。また CG は画面上で縮小することもできることから、講習など机上で使用することも可能である。

## 3. リアルタイム被ばく警告システム

深度カメラである Azure Kinect により術者の全身の動きをトラッキングし、あらかじめシミュレーションした 3次元散乱線分布と重ね合わせることで、リアルタイムに術者の指先や水晶体含めた全身の線量を推定し、一定の線量や線量率になると警告音や警告画面(モニタ、表示灯等)を発生するシステムのプロトタイプを開発した。本研究では、1年目にこのプロトタイプを完成させた。このシステムの機能を以下に説明する。

①ポイントクラウドによる第三者視点の表

示

3次元計測カメラを使用することで映し出されているものの形状をリアルタイムに取得でき、システム使用者は任意の方向から室内の人や散乱線の広がりを確認、表示することができる。

②複数の医療スタッフのトラッキングへの対応

室内にいる患者を除く複数の医療スタッフの動きを同時にトラッキングできる。ただし人数が増えるほど動作が重くなる。

③医療スタッフの複数点の被ばく推定値の表示

医療スタッフの眼、頸部、胸部、腹部、骨盤部、指、膝の線量を同時に推定、表示することができる。また放射線防護メガネやエプロンをつけている場合は、防護具の遮蔽率を掛けることで防護効果を加味した被ばく推定値を表示することができる。

④線量計との連動

自作の無線式線量計と連動させ、線量計をX線管近くに配置しておくことで、X線照射時のみこのシステムが動作できるようにした。

⑤放射線防護板との連動

放射線防護板にARマーカーをつけることで防護板の位置を画面上で認識し、あらかじめ計算しておいた複数の3次元線量分布データ（防護板有り）からX線管と防護板の位置関係の近いデータをシステムに取り込み、防護板の効果を加味した3次元散乱線分布の表示とスタッフの線量推定ができるようにした。

またリアルタイムに散乱線を測定して可視化するカメラのプロトタイプを開発した。Cアーム透視装置から1.5m離れた場所で、

7秒間照射した際の散乱線をイメージングすることが出来た。

## D. 考察

### 1. 放射線防護教育教材 web サイト

今回作成したwebサイトは、医学部保健学科放射線技術科学専攻での放射線管理学の講義内容から職業被ばくに関する放射線防護情報を抜粋して作成している。放射線に馴染みのない医療従事者にとっては、馴染みのない言葉も含まれており、より容易な表現や違和感のない話の導入をするなど、原稿の修正が課題となる。また各ページが長いことからサイドバーを上手に活用し、目的とする小項目に素早くアクセスできるようにするといったwebサイトの改修を今後実施する。

### 2 3次元放射線可視化教材

3次元で放射線を可視化する手法として、モンテカルロシミュレーションをベースとした散乱線分布をVR、AR技術と組み合わせたコンテンツを作成した。眼に見えない放射線を可視化することは、特に放射線に対する専門教育を受けていない医療従事者に対して放射線や防護の理解に有効であるといえる。今後はこれらの教材を利用した実習のシナリオを作成し、教員クのポイントを絞って教材の目的を明確にすることと、その有効性の評価が求められる。

### 3. リアルタイム被ばく警告システム

シミュレーション技術とデプスカメラによるリアルタイムの3D位置情報を重ね合わせたシステムを開発した。今後はこのシステムによる医療従事者の被ばく推定精度

の検証を行い、過小評価することなく推定することが求められる。

リアルタイム散乱線可視化カメラは、より高感度化を目指し、短時間での照射や装置の動き、照射条件の変化にも対応できるよう改良させる必要がある。

#### E. 結論

本年度の研究において、デジタル技術を活用し、放射線の可視化に焦点を当てた様々な法さ線可視化教材を開発した。次年度以降、これらの教材の改良と、放射線診療従事者が使用し被ばく低減効果があるかを検証することで有効性の評価を実施する。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

なし

##### 2. 学会発表

#### H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし

(資料) アクションチェックリスト

職業被ばく低減対策アクションチェックリスト

(別添1)

診療前の準備				
放射線防護具	1	放射線防護エプロンを着用している	Yes	No
	2	放射線防護メガネを着用している	Yes	No
	3	ネックガードを着用している	Yes	No
個人線量計	4	体幹部（胸部または腹部）に線量計をつけている	Yes	No
	5	（防護エプロンを着用する場合） 体幹部用の線量計をエプロンの内側に着用している	Yes	No
	6	（防護エプロンを着用する場合） 頸部の防護具の外側に線量計をつけている	Yes	No
	7	（指先が照射野に近い場所で作業する場合） 指輪型の線量計をつけている	Yes	No
	8	電子式線量計をつけている	Yes	No

診療中の防護				
放射線防護具 (遮蔽による防護)	9	天吊りの防護板を使用している	Yes	No
	10	天吊り防護板を術者および患者に近接させ配置している	Yes	No
	11	放射線防護衝立を使用している	Yes	No
	12	放射線防護カーテンを使用している	Yes	No
	13	その他の放射線防護具を使用している	Yes	No
照射時間 (時間による防護)	14	透視画面を見ない際は透視を切っている	Yes	No
	15	総透視時間を意識している	Yes	No
手技中の位置 (距離による防護)	16	X線管にできるだけ近づかないようにしている	Yes	No
	17	患者からの散乱線の広がりを意識し、 できるだけ近づかないようにしている	Yes	No
照射条件	18	可能な範囲で照射野を絞っている	Yes	No
	19	患者と画像検出器をできるだけ近づけている	Yes	No
	20	透視のパルスレートを可能な範囲で小さくしている	Yes	No
	21	撮影枚数を可能な範囲で少なくしている	Yes	No
	22	照射野に手を入れない	Yes	No

放射線影響の理解				
被ばくのリスク	23	自身の毎月の被ばく量を把握している	Yes	No
	24	法令で定められた線量限度を知っている	Yes	No
	25	水晶体被ばくによる白内障のリスクがあることを知っている	Yes	No
	26	被ばくによる発がんリスクがあることを知っている	Yes	No
	27	被ばくによる皮膚障害リスクがあることを知っている	Yes	No

労災疾病臨床研究事業費補助金  
分担研究報告書

放射線防護教育教材 web サイトの構築

研究代表者 藤淵 俊王 九州大学大学院医学研究院保健学部門医用量子線科学分野 教授

研究要旨

血管造影検査は放射線検査の中でも被ばく量が高く、医療従事者への放射線防護強化の必要性が高まっている。術者の被ばく低減のためには放射線の挙動を知ることが重要である。そこで、先行研究で作成された血管造影撮影時における散乱線分布シミュレーションデータを、**Augmented Reality(AR)** 技術を用いて可視化することで被ばく管理への活用を試みた。AR 用デバイスにはタブレットを使用し、**Unity** で散乱線分布を現実空間に可視化する **AR** アプリケーションを開発した。2次元断面分布と3次元散乱線分布をボタンで切り替え表示することで、散乱線の広がりや認識しやすくなった。実物大の散乱線分布の表示により、散乱線との距離の取り方を実感できた。また、縮小によって卓上での観察が可能となったことから本アプリケーションの使用用途の幅を広げることができた。このアプリケーションを使用することは、直感的な散乱線の広がりや防護具の遮蔽効果の理解に有効である。

研究分担者

石神 康生	九州大学大学院医学研究院 臨床放射線科学分野 教授
筒井 裕之	九州大学大学院医学研究院 循環器内科学 教授
小川 佳宏	九州大学大学院医学研究院 病態制御内科学 教授
佐々木 雅之	九州大学大学院医学研究院 保健学部門 医用量子線科学分野 教授
馬場 眞吾	九州大学病院 放射線部 准教授
岡崎 龍史	産業医科大学 産業生態科学研究所 教授
富澤 登志子	弘前大学大学院 保健学研究科 教授

研究協力者

牛島 泰宏	九州大学病院放射線科 講師
坂本 和生	九州大学病院循環器内科 助教
藤森 尚	九州大学病院肝臓・膵臓・胆道内科 助教

A. 研究目的

医療現場における職業被ばくについて、被ばく量の高い放射線診療従事者も存在することから被ばく低減に向けた取組と有効性の評価が求め

られる。多くの分野で利用される放射線防護教材は多く用意されているが、被ばくに関する概念・法令・理論に関するものがほとんどで、放射



線診療従事者の実務に反映できないものもある。より理解しやすくするために、放射線診療従事者に対して事前に放射線被ばくの軽減の重要性を説明するとともに臨床現場のスタッフの視点で、様々な理解度や業務内容、さらに所持している放射線防護具に応じた教材が求められる。そこで本研究では、これまでの知見を活用し、また画像や動画等のコンテンツを充実させわかりやすく実効性の高い放射線診療従事者の被ばく低減対策教材を取りまとめたポータルサイトの作成を目的とした。

## B. 研究方法

Web サイトの構成として下記のようにした

### 1. はじめに

#### 1. 1 本臨床研究の背景

#### 1. 2 新着情報

### 2. 放射線防護の重要性

#### 2. 1 医療従事者への放射線防護の重要性

#### 2. 2 人への放射線影響

#### 2. 3 医療従事者の放射線障害の事例

### 3. 職業被ばくの線量限度と実態

#### 3. 1 被ばくの種類

#### 3. 2 放射線業務従事者の線量限度

#### 3. 3 推奨合値等価線量限度引き下げの経緯

#### 3. 4 改正電離放射線障害防止規則のポイント

#### 3. 5 国内の放射線診療従事者の水晶体被ばくの実態

### 4. 線量評価・モニタリング

#### 4. 1 個人線量計

#### 4. 2 外部被ばく線量の評価法

#### 4. 3 個人モニタリング結果の活用

### 5. 医療現場での放射線防護の原則

#### 5. 1 医療現場における外部放射線防護の原則

#### 5. 2 医療放射線での散乱線の特徴

#### 5. 3 遮蔽による放射線防護・放射線防護具の利用

#### 5. 4 時間による放射線防護・照射時間の短縮

#### 5. 5 距離による放射線防護・散乱線分布の把握

#### 5. 6 照射条件・手技による防護

#### 5. 7 X線装置の管理

#### 5. 8 X線透視における従事者防護の要点

#### 5. 9 医療従事者からよくある質問

### 6. 部門別防護対策

#### 6. 1 職業被ばく低減で医療現場に求められること

#### 6. 2 一般撮影・ポータブル撮影（病棟、手術室等）

#### 6. 3 X線透視（非血管系）

#### 6. 4 血管造影

#### 6. 5 CT検査

#### 6. 6 核医学・PET検査

#### 6. 7 放射線治療

#### 6. 8 放射線管理室

### 7. アクションチェックリスト

### 8. 放射線防護教材・関連資料

#### 8. 1 WebVR/AR 散乱線可視化教材

#### 8. 2 AR X線室散乱線可視化アプリ X-SERVE

#### 8. 3 可視化ソフト ウェア ParaView

#### 8. 4 関連資料

#### 8. 5 リンク集

従来の紙面の教科書と異なり電子教材であることから、視覚的に理解しやすいよう画像や動画等の視聴覚教材をできるだけ多く用意した。能動的な理解ができるよう他の分担研究で報告するWebVR教材とリンクさせた。さらに説明内容の根拠を明確にするために、公的機関や文書、論文とリンクさせた。作成したサイトを研究分担者間でレビューし、改善内容を検討した。

（倫理面への配慮）

本研究は開発した教材を放射線診療従事者が使用した前後での被ばく量の変化を調査することで有効性を評価することから、九州大学病院臨床試験倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

#### C. 結果

作成した Web サイトは資料として本報告書に資料として示す。Web サイトは令和 4 年 12 月 27 日に公開した。

#### D. 考察

本サイトでは多くの画像や動画を貼り付けることで、放射線に対する専門教育を受けていない医療従事者にも理解しやすいよう作成したが、専門用語の説明が不足していることから、それらの補足説明を追加する必要がある。また動画では映像が流れるだけであり、より理解度を上げるために音声や字幕等で今後補足をする。アクションチェックリストについては部門別に対策が異なることから、部門別のリストを作成し、サイトで確認できるように改修する必要がある。

#### E. 結論

本研究において、放射線診療従事者の職業被ばくに関する情報を取りまとめた web サイトを作成した。次年度以降、閲覧者の感想や要望を調査し有効性を評価しながら、継続してコンテンツの充実を図る。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

なし

##### 2. 学会発表

1: なし

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

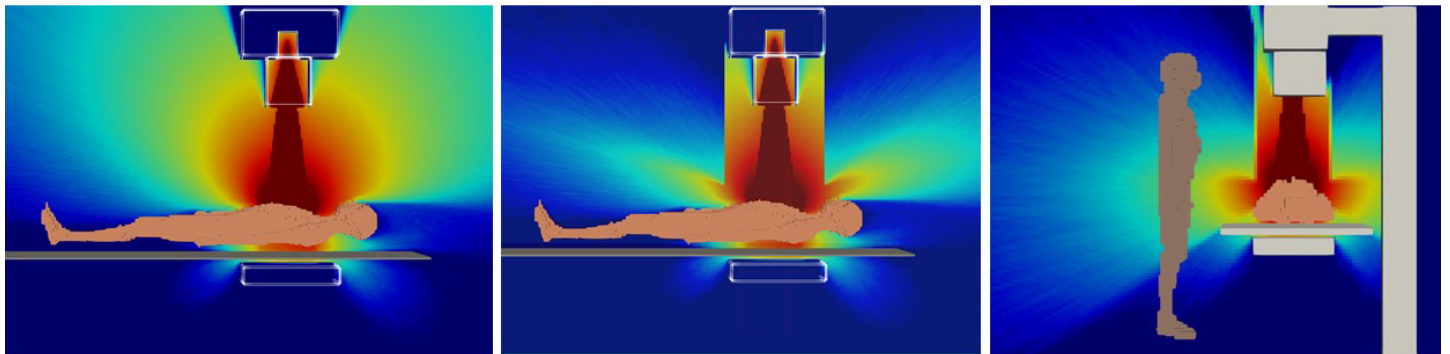
なし

放射線防護の  
重要性職業被ばくの  
線量限度と実態線量評価  
・モニタリング医療現場での放  
射線防護の原則

部門別防護対策

アクション  
チェックリスト

放射線防護教材



## はじめに

2011年に国際放射線防護委員会で水晶体等価線量限度引下げの勧告が出て以降、国内では法令取入に向けた実態調査や被ばく低減対策の検討が進められてきました。放射線診療従事者の中でも業務内容と被ばくの関係性を調査すると、X線管に接近して操作が必要な透視下手技に携わる医師や看護師の被ばくが特に高いことが明らかになってきました。法令改正後も線量限度を超過する可能性のある放射線診療従事者が存在し、その要因として以下のことが考えられます。

- **医療現場の実務に即した放射線防護教材の不足**：放射線防護教材は多く用意されていますが、被ばくに関する概念・法令・理論に関するものがほとんどで、放射線診療従事者の実務に反映するのは困難です。多くの医療従事者がより理解しやすくするために、放射線診療従事者に対して事前に放射線被ばくの低減の重要性を説明するとともに、医療従事者の視点で様々な理解度や業務内容、さらに所持している防護具に応じた教材が求められていると考えられます。
- **放射線は五感に感じないこと**：放射線は五感に感じないことから、危険を察知しづらいです。放射線の広がりや危険な場所を可視化、可聴化することで危険を予知することが可能になると考えられます。
- **放射線防護具の適正な使用法をはじめとした放射線防護法の理解不足**：被ばく低減対策として放射線防護眼鏡や防護板の有効性が報告され活用されていますが、現場で所持しているだけでなく適切に使用しないと防護効果を発揮できません。手技によっては装置や患者と緩衝してしまうことから、全ての放射線診療で使用できるわけではありません。防護具だけでなく、照射条件や人員配置等から総合的に対策を図る必要があります。

そこで本労災疾病臨床研究では、これまでの知見とデジタルトランスフォーメーション(DX)の技術を活用して実効性の高い放射線診療従事者の被ばく低減対策教材を開発して被ばくの低減を図ることを目的とし、その成果を本ホームページにおいて紹介いたします。

## Contact

〒812-8582  
福岡県福岡市東区馬出3-1-1

九州大学大学院医学研究院  
保健学部門医用量子線科学  
分野内

デジタルトランスフォーメーションを活用した医療従事者の被ばく低減プログラムの開発と有効性の検証

TEL:  
092-642-6721

E-mail:  
fujibuchi.toshioh.294@m.kyushu-u.ac.jp

学生実習用ページ

管理者専用ページ

## Link

九州大学

※デジタルトランスフォーメーション(DX)とは、デジタル技術を使って社会生活や事業の在り方を変革させることで、本研究ではデジタル技術の活用による新たな放射線防護方法や放射線防護教材を開発し、医療従事者の被ばく低減に役立てることを目的としています。

医用医用量子線科学分野・  
がんプロ・医学物理教育コ  
ース

実践的な課題解決能力を持  
つ高度放射線防護人材育成  
プログラム

### Introduction of Scatter rays Visualization using Radiation Protection Teaching ...



## 新着情報

2022年12月27日 WEBサイトを公開しました。

Copyright © digital transformation All Rights Reserved.

放射線防護の  
重要性職業被ばくの  
線量限度と実態線量評価  
・モニタリング医療現場での放  
射線防護の原則

部門別防護対策

アクション  
チェックリスト

放射線防護教材

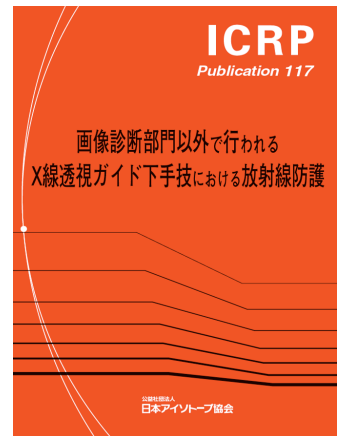
## Contents

医療従事者への放射線防護  
の重要性医療従事者の放射線障害の  
事例

## 放射線防護の重要性

## 医療従事者への放射線防護の重要性

- 放射線診療は増加しており、医療従事者の被ばくを伴う処置も頻繁に実施。
- 放射線科、循環器内科に加え、脳神経外科、整形外科、泌尿器科、消化器外科等の医師はX線透視で放射線障害の可能性。
- 水晶体混濁が報告され、眼の放射線防護を強化する必要性への関心が高まっている。
- 手術室でX線装置を使用する医療従事者の防護に、可能な限り放射線防護板を使用することを推奨。
- 放射線防護の原則に関する医療従事者および学生への教育と訓練が、これまで以上に求められる。



ICRP 117 画像診断部門以外で行われるX線透視ガイド下手法における放射線防護 (2010)

## 医療従事者の放射線障害の事例

## 医療従事者の電離放射線に係る皮膚がんの労災認定について

(平成24年度～平成29年度(9月7日現在))

## 【認定事例】

職種	主な業務内容	電離放射線業務 従事通算年数
准看護師	エックス線透視を使用した大腸内視鏡検査時における患者補助等	19年
整形外科医	エックス線透視を使用した脊髄造影、神経根ブロック、椎間板造影ブロック等	16年
診療放射線技師	胃・腸エックス線透視撮影等	30年
整形外科医	エックス線透視を使用した脊髄造影、神経根ブロック、骨折整復固定、矯正骨切り術等	26年

※ いずれも慢性放射線皮膚障害の認定要件である25,000mSv以上被ばくしていた。

## 医療従事者のがん発生率コホート調査

- 1病院 25年間での調査例
- 放射線診療従事者 156名
- 非放射線診療従事者 158名



	被ばく [mSv]	累積がん発生率	オッズ比	P 値
基準：被ばくをしない医療従事者	-	4% (7/158)	1.04	
医師以外の医療従事者	7.5 (0.0-186)	6% (6/107)	1.07	0.901
整形外科医以外の医師	2.3 (0.0-17.9)	11% (2/18)	2.18	0.349
<b>整形外科医</b>	<b>35.2 (0.04-517.8)</b>	<b>29% (9/31)</b>	<b>5.37</b>	<b>0.002</b>

Mastrangelo G: Increased cancer risk among surgeons in an orthopaedic hospital. Occupational Med 55 498-500, 2005

**整形外科のIVR中に術者の指が照射野に入っている例**

- 手外科における X 線透視下手術の例が示され、「対象が小さいため術者の手指の直接被ばくが避けられない」と説明

石垣大介. 手外科手術における手指職業被曝と対策. 臨床整形外科. 55(2), 149-153. 2020.

**Association of occupational direct radiation exposure to the hands with longitudinal melanonychia and hand eczema in spine surgeons: a survey by the society for minimally invasive spinal treatment (MIST)**

Y. Hijikata, et al. Eur Spine J. 2021 Aug 24.

脊椎外科医における職業上の手指への被ばくと爪の色素沈着である縦走性黒色斑(LM)および手指湿疹との関連を日本低侵襲脊椎治療学会を対象としたウェブ上のアンケート調査を行った。直接被ばくが多い手の群（高被ばく群）と少ない手の群（対照群）に分け、高被ばく群の手におけるLMと手湿疹の有病率の調整オッズ比3.18（95%CI：2.24-4.52）、手指の湿疹は調整後のORは2.26（95%CI：1.67-3.06）であった。本研究では、医師の手の被ばくがLMおよび手湿疹と関連することが示唆された。

**NHK：放射線業務により健康障害（皮膚がん）が出た医師への取材**

[https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci\\_cul/2021/03/story/story\\_210302/](https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci_cul/2021/03/story/story_210302/)

**血管造影検査に係る医療従事者の水晶体混濁**

- Contorol9%の有病率に対して、血管造影術者（医師）の有病率は52%、同領域での看護師の有病率は45%
- 相対リスクはそれぞれ5.7倍、5.0倍



**TABLE I. Basic Demographic Data and Lifetime Cumulative Radiation Dose to the Lens of the Eye for the Interventional Cardiology Staff**

Subjects	Number	Age <sup>a</sup> (years)	Number of years of work in interventional cardiology <sup>a</sup>	Cumulative dose to the lens (Gy) <sup>a</sup>
Interventional cardiologists	56	42 ± 7 (31–64)	9.2 ± 6.9 (1.0–33)	3.7 ± 7.5 (0.02–43)
Nurses	11	38 ± 11 (25–53)	6.0 ± 4.6 (1.0–14)	1.8 ± 3.1 (0.01–8.5)
Control group	22	44 ± 9 (29–57)	n/a	n/a

<sup>a</sup>Mean ± standard deviation; values in parentheses are ranges.

**TABLE II. Dose Response for Posterior Lens Changes in Cardiologists and Nurses and Associated Odds Ratios (OR), Relative Risk (RR), and 95% Confidence Intervals (CI)**

Dose (Gy)	Number of subjects	Number of subjects with posterior lens changes <sup>a</sup>	OR	95% CI	RR	95% CI
0 (Control)	22	2 (9%)	1.0	n/a	1.0	n/a
<1	31	12 (39%)	6.3	1.2–32	4.3	1.0–17
1<2	11	5 (45%)	8.3	1.3–54	5.0	1.1–22
2-<3	9	5 (55%)	12.5	1.7–89	6.1	1.4–26
≥3	16	12 (75%)	30	4.7–189	8.3	2.1–32
	Total exposed: 67	34 (51%)	10.3	2.2–48	5.6	1.4–21

<sup>a</sup>Cataract grade 0.5 or higher in one eye.

Catheterization and Cardiovasc Interv 2010; 76:826–834.



- 放射線防護の重要性
- 職業被ばくの線量限度と実態
- 線量評価・モニタリング
- 医療現場での放射線防護の原則
- 部門別防護対策
- アクションチェックリスト
- 放射線防護教材

Contents

被ばくの種類
線量限度
水晶体等価線量限度引き下げの経緯
改正電離放射線障害防止規則のポイント
国内の放射線診療従事者の水晶体被ばくの実態

## 職業被ばくの線量限度と実態

### 被ばくの種類

職業被ばく	業務の過程で職業人として受ける被ばく
医療被ばく	放射線診断や治療の過程で患者や介助者として受ける被ばく
公衆被ばく	それ以外の被ばく



### 職業被ばく：業務によって作業者が被るすべての被ばく

#### 放射線業務従事者

- 放射性同位元素または放射線発生装置の取扱い、管理またはこれに付随する業務に従事するものであって、**管理区域に立ち入るもの**（RI規制法施行規則第1条）
- 管理区域内において放射線業務に従事する労働者（電離放射線障害防止規則第4条）
- 【放射線診療従事者】エックス線装置等の取扱い、管理またはこれに付随する業務に従事するものであって、**管理区域に立ち入るもの**（医療法施行規則第30条の18）

放射線業務従事者の被ばくによる組織反応（体のある臓器への障害）の発生を抑え、確率的影響（全身のがんのリスク）の発生を「容認できるレベルに抑える」ために、法令において**線量限度**が設定されています。

### 線量限度

（電離放射線障害防止規則 第4条）

	実効線量限度	等価線量限度
通常作業	100 mSv/5年 <sup>※1</sup> かつ 50 mSv/年 <sup>※2</sup>	水晶体：100 mSv/5年 <sup>※3</sup> かつ50 mSv/年 <sup>※2</sup> 皮膚：500 mSv/年 <sup>※2</sup>
緊急作業	100 mSv	水晶体：300 mSv 皮膚：1 Sv
女子 <sup>※4</sup>	5 mSv/3月 <sup>※5</sup>	
妊娠中の女子	内部被ばく：1 mSv <sup>※6</sup>	腹部表面：2 mSv <sup>※6</sup>



- ※1: 平成13年4月1日以後5年ごとに区分した各期間 (2001.4.1~2006.3.31, 2006.4.1~2011.3.31,...)
- ※2: 4月1日を始期とする1年間
- ※3: 令和3年4月1日以後5年ごとに区分した各期間 (2021.4.1~2026.3.31, 2026.4.1~2031.3.31,...)
- ※4: 妊娠不能と診断された者、妊娠の意思のない旨を使用者等に書面で申し出た者および妊娠中の者を除く
- ※5: 4月1日、7月1日、10月1日および1月1日を始期とする各3月間
- ※6: 本人の申出等により管理者等が妊娠の事実を知ったときから、出産までの間について (医療法施行規則・RI等規制法施行規則)、妊娠と診断されたときから出産までの間について (電離放射線障害防止規則)

**線量限度 考え方のポイント**

- 計画被ばく状況(平常時の業務)から個人が受ける、管理上超えてはならない実効線量又は等価線量の値。
- 安全と危険の境界を示す線量、放射線障害のしきい線量ではない
- 医療被ばくには適用しない  
個々のケースで正当化、最適化が重要
- 自然放射線による被ばくを除く
- 実効線量限度：確率的影響について受け入れられるレベルを考慮して決定
- 等価線量限度：組織反応を考慮

**水晶体等価線量限度引き下げの経緯**

1984年	ICRP Publ.41で視覚障害性白内障の急性被ばくによるしきい線量は5 Gy、水晶体の等価線量限度を150 mSvと勧告
2003年	ICRP Publ. 92で、白内障のしきい線量がより低い可能性を指摘
2006年	TG 63 「(低LET放射線の) 組織反応と非がん影響」を立ち上げ 低LET放射線の疫学的知見 (比較的長期間の追跡結果) 原爆被爆者の被ばく後55-57年の白内障や、チェルノービリ事故清掃員における被ばく後12-14年の白内障が有意に増加⇒しきい線量 0.5 Gy
2011年	ICRP主委員会会合で「組織反応に関する声明」を発表 (ソウル声明)
2012年	ICRP Publ. 118 「組織反応に関するICRP声明」を刊行

ICRP Publ.118は2つの仮定に基づくもので、この妥当性は今後も検証が必要

- 生物影響は急性被ばく、多分割・遷延被ばく、慢性被ばくで同じ
- 全ての微小混濁が被ばく後20年以降で視覚障害性白内障に進行

影響	しきい線量			水晶体の等価線量限度
	急性被ばく	多分割・遷延被ばく	慢性被ばく (数年以上の長期被ばく)	
ICRP 41 (1984)				
検出可能な混濁	0.5- 2 Gy	5 Gy	> 0.1 Gy/年	150 mSv/年
視覚障害性白内障	5 Gy (2-10 Gy)	> 8 Gy	> 0.15 Gy/年	
ICRP 118 (2012)				
検出可能な混濁	N.A.	N.A.	N.A.	5年平均20 mSv、かつ いかなる1年間も50 mSvを超えないこと
視覚障害性白内障	0.5 Gy	0.5 Gy	0.5 Gy	

**生涯線量1 Sv (20 mSv/年 × 50年) となるので最適化が必要**

**日本国内での対応**

- 放射線審議会 「眼の水晶体の放射線防護検討部会」を2017年6月に設置し、「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」として報告書を作成し関係行政機関へ意見具申 (2018.3)

- 厚生労働省「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」6回の検討会后、報告書を作成(2019.9)、パブコメを経て、法令改正

#### 労働安全衛生法

- 職場における労働者の安全と健康を確保  
電離放射線障害防止規則（電離則）  
（放射線障害防止の基本原則）第1条 事業者は、労働者が電離放射線を受けることできるだけ少なくするように努めなければならない。

### 改正電離放射線障害防止規則のポイント

令和3年4月1日施行

- 水晶体等価線量限度を1年につき**50 mSv**に引き下げ、**5年間で100 mSv**を追加（新電離則第5条関係）
- 外部被ばく線量に**3mm線量当量**が加えられ、放射線の種類とエネルギーに基づき、適切と認められるもので測定する（新電離則第8条関係）  
※保守的に算定する場合は、1cm線量当量及び70 $\mu$ m線量当量について測定する。
- 水晶体等価線量について、3月ごと及び1年ごとの合計に加え、**5年ごとの合計を算定して記録**し、原則として30年間保存（新電離則第9条関係）
- 令和3年4月1日から令和5年3月31日までの間、対応の困難な医師に対して、**経過措置**を設ける（改正省令附則第2条関係）

#### 防護眼鏡等を使用する場合

(基発1027第4号 2020.10)

水晶体等価線量を低減する効果がある個人用防護具（防護眼鏡等）を使用している場合、法定の部位に加え、防護眼鏡等によって受ける等価線量が低減されている状態の**水晶体等価線量を正確に算定するために適切な測定が行える部位に放射線測定器を装着**し、当該測定器の結果に基づき算定した線量を水晶体等価線量としても差し支えない。



DOSIRIS（千代田テクノル）

[https://www.c-technol.co.jp/radiation\\_monitoring/monitoring07](https://www.c-technol.co.jp/radiation_monitoring/monitoring07)



ビジョンバッジ（長瀬ランダウア）

<https://www.nagase-landauer.co.jp/luminess/vision-badge.html>

#### 水晶体等価線量のモニタリングについて

頭部バッジと水晶体専用線量計の線量比

- 本データは頭頸部用ルミネスバッジと眼部用ビジョンバッジの両方が返却され測定した7,713件(1,823名分)の線量を対象に集計。

1ヶ月当たりの平均値は、頭頸部1.331 mSvに対し、眼部0.332 mSvと、約4分の1程度の線量になった。(表1) 7713件中296件(4%)は1.7mSv/月を超えていた。

表1 7,713件の頭頸部と眼部の平均線量

頸部バッジの平均値	水晶体線量計の平均値	頸部と水晶体の比
1.331 mSv	0.332 mSv	0.249

長瀬ランダウアNLだよりNo.531 2022/03

## 改正省令附則第2条関係 「経過措置対象医師」

適切な防護措置を講じても水晶体等価線量が100 mSv/5年を超えるおそれのある医師で、高度の専門的知識経験を要し、後任者を容易に得ることができないもの

令和3年4月1日～令和5年3月31日:50 mSv/年  
 令和5年4月1日～令和8年3月31日:60 mSv/3年、かつ50 mSv/年  
 令和8年4月1日～:100 mSv/5年、かつ50 mSv/年 } 経過措置期間

\* 令和5年3月31日までに事業者が衛生委員会での調査審議等を経て指定する必要がある

眼の水晶体に受ける等価線量が継続的に1年間に20 mSvを超えるおそれのある者\*に対する健康診断(基発第568号)

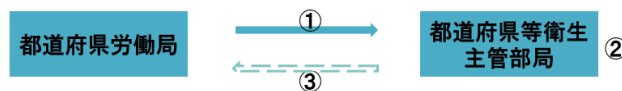
- 白内障に関する眼の検査を電離則第56条第3項の規定により省略することは適当でない
- 白内障に関する眼の検査は、眼科医により行われることが望ましい

\* 健康診断を行う前年の1年間に眼の水晶体に受けた等価線量が20 mSvを超えており、かつ、当該健康診断を行う年の1年間に水晶体等価線量が20 mSvを超えるおそれのある者

## 都道府県労働局と都道府県等衛生主管部局との連携

令和3年1月28日付け基安労発 0128 第1号

実効線量又は眼の水晶体の等価線量が年間20mSv～50mSvの労働者がいる病院・診療所の事業場の情報について、都道府県労働局と都道府県等衛生主管部とで共有する仕組みの運用を令和3年度から開始 ※眼の水晶体の等価線量については令和4年度から開始



- 電離放射線障害防止規則第58条に基づき事業場から労働基準監督署に提出された電離放射線健康診断結果報告書に、前年の実効線量又は水晶体等価線量が20～50 mSvである労働者がいる旨の記載がある病院・診療所の情報を、都道府県労働局から衛生主管部局に提供する。
- 主管部局は、医療法に基づく立入検査の参考資料とするほか、労働局より情報提供があった旨を連絡する等、注意喚起を行う際の参考資料として活用する。
- 立入検査において実施した指導内容等を、必要に応じ都道府県労働局へ回報する。

## 国内の放射線診療従事者の水晶体被ばくの実態

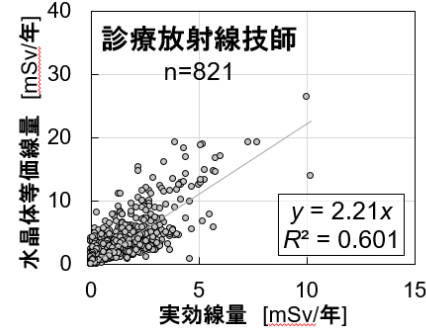
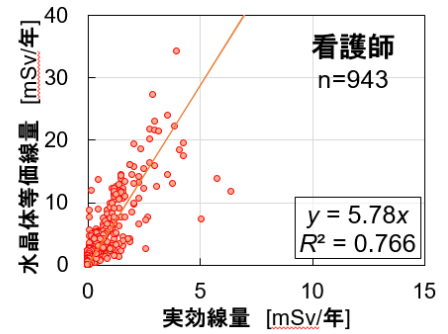
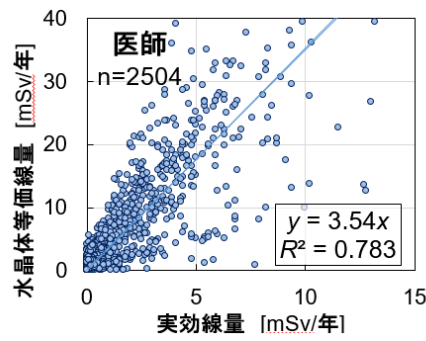
2017,18 JSRT学術調査研究班

- 国立病院機構の放射線診療従事者の職種別・業務別水晶体等価線量を調査(延べ4493名・年)不均等被ばく管理をしている医療従事者のうち、2.9%が20mSv/年を超えている\*
- \*防護眼鏡の効果は考慮していない

水晶体等価線量/年 [mSv/y]	医師	看護師	診療放射線技師	その他の職種	総数
0	1151	505	94	115	1865
≤2.5	711	257	446	104	1518
≤5	191	67	152	5	415
≤10	173	57	86	1	317
≤20	159	46	41		246
≤30	67	7	1		75
≤50	37	2	1		40
≤75	10	1			11
≤100	5	1			6
総数	2504	943	821	225	4493

藤淵 他：放射線診療従事者の不均等被ばく管理の実態に基づく水晶体被ばく低減対策の提案、日放技誌 (2021)

職種別実効線量と水晶体等価線量の関係



- 看護師は女性が多くバッジ位置が腹部と頸部で距離があるため
- 職種による防護衣の鉛当量、体幹部と頸部バッジ装着間違い
- 職種による被ばく状況の違い

(男女での比較)

男性：  $y = 3.29x$   $R^2 = 0.754$

女性：  $y = 4.67x$   $R^2 = 0.711$

医師の診療科別年間水晶体等価線量分布

管理 水晶体 mSv/年	均等		不均等被ばく管理										
	整形外 科	整形外 科	循環器 内科	消化器 内科	消化器 外科	放射線 診断科	整形外 科	泌尿器 科	放射線 科	脳神経 外科	呼吸器 内科	臨床研 修	不明
0	62	62	63	73	32	63	78	49	54	57	87	142	9
≤2.5	6	6	71	85	27	37	38	40	20	39	69	158	7
≤5			28	37	3	7	6	8	5	14	31	26	1
≤10			49	28	5	16	4	2	14	9	15	9	5
≤20	1	1	58	45	1	6	10		9	9	6	3	4
≤30			30	11	3	6	4	2	3	2	3	2	1
≤50	1	1	18	11	2	2	1	2					1
≤70			1	6			2			1			
≤100				5									
総計	317	317	318	301	73	137	143	103	105	131	211	340	28
>20	1	1	49	33	5	8	7	4	3	3	3	2	2
	0.3%	0.3%	15.4%	11.0%	6.8%	5.8%	4.9%	3.9%	2.9%	2.3%	1.4%	0.6%	7.1%

①循環器内科318人中、49人（15%）、次いで②消化器内科301人中、33人（11%）、③消化器外科（6.8%）以下と差が大きい。

看護師の所属別年間水晶体等価線量分布

水晶体 mSv/年	外来	救急 救命 センター	血管撮 影	歯科	手術室	心臓 血管 外科	診療 看護師	内視 鏡	病棟	不妊 診療 科	放射 線科	放射 線治 療科	放射 線診 断科	麻酔 科	集計
0	178	1		1	255	2	5	1	57		2			3	505
≤2.5	137	2	11		52	2	13		27	1	8	1	1	2	257
≤5	48	2	2		2		2	1			10				67
≤10	31		4		1		1		3	1	16				57
≤20	25		7					5			9				46
≤30	4							3							7
≤50								2							2
≤70								1							1
≤100								1							1
総計	423	5	24	1	310	4	21	14	87	2	45	1	1	5	943

- 看護師の所属は回答がまばらなため判定は難しい。
- 病棟や手術室ではなく、外来でX線透視室、内視鏡室での検査に携わる看護師が超える可能性が分かる。

診療放射線技師の主要業務別月間水晶体等価線量分布

水晶体 等価線量 [mSv/月]	一般撮影	CT	血管造影	X線透視	MRI	放射線治療	核医学	PET
N.D.	284	136	48	16	169	124	3	10
≤ 0.5	2693	528	419	35	432	267	132	144
≤ 1.0	441	116	24	5	15	11		1
≤ 1.5	146	58	7	2	3	1		
≤ 2.0	50	17		2	1	2		
≤ 5.0	41	19			2	1		
≤ 10	2	5	1					
≤ 20								
≤ 20.5		1						
計	3657	880	499	60	622	406	135	155
>2 超の割合 [%]	1.18	2.84	0.20	0	0.32	0.25	0	0

- 月別主担当業務を集計
- CTと一般撮影が高く、X線透視室、血管造影を担当して20 mSv/年を超える可能性は低い
- MRIは、当直等の業務の影響と考えられる

実態調査結果のまとめ

- 水晶体等価線量が20 mSv/年を超える可能性の比較的高い職種は、透視業務に携わる医師と看護師

- 水晶体被ばくの高い所属や業務は、
  - 医師：循環器内科、消化器内科、消化器外科、放射線科、整形外科、  
部署として血管造影室、X線透視室、内視鏡室、手術室
  - 看護師：X線透視室、内視鏡室での検査に携わる者
  - 診療放射線技師：CTと一般撮影であり、X線透視室、血管造影を担当して20 mSv/年を超える可能性は低い
- 今回のデータは防護眼鏡による遮蔽は考慮していない
- 水晶体被ばくの可能性の高い部署での適切な不均等被ばく管理と防護対策が求められる⇒防護の最適化

Copyright © digital transformation All Rights Reserved.

放射線防護の  
重要性職業被ばくの  
線量限度と実態線量評価  
・モニタリング医療現場での放  
射線防護の原則

部門別防護対策

アクション  
チェックリスト

放射線防護教材

## Contents

個人線量計

## 線量評価・モニタリング

## 個人線量計

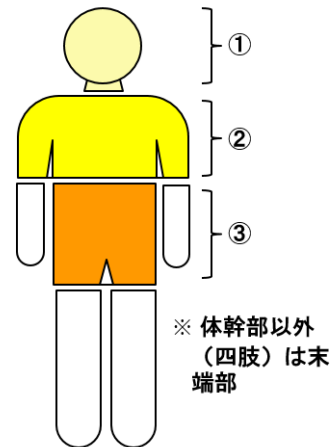
- 放射線取扱者の外部被ばく測定は原則として個人線量計を用いて行う。
- 線量計装着部位は**胸部**（妊娠可能な女性（女子）\*は**腹部**）であるが、それら以外の体幹部（頭頸部など）が**最大被ばく時はその部位も測定**（1 cm線量当量、70 $\mu$ m 線量当量）する。
- また**手足指などが最大被ばく**となる時はその部位の70 $\mu$ m 線量当量も測定する。
- 測定は、管理区域立入り中は継続して行う。
- なお一時的立入者（放射線業務従事者以外）で**実効線量が100  $\mu$ Sv を超えない場合**は測定しなくてもよい。

## 外部被ばく線量の評価法

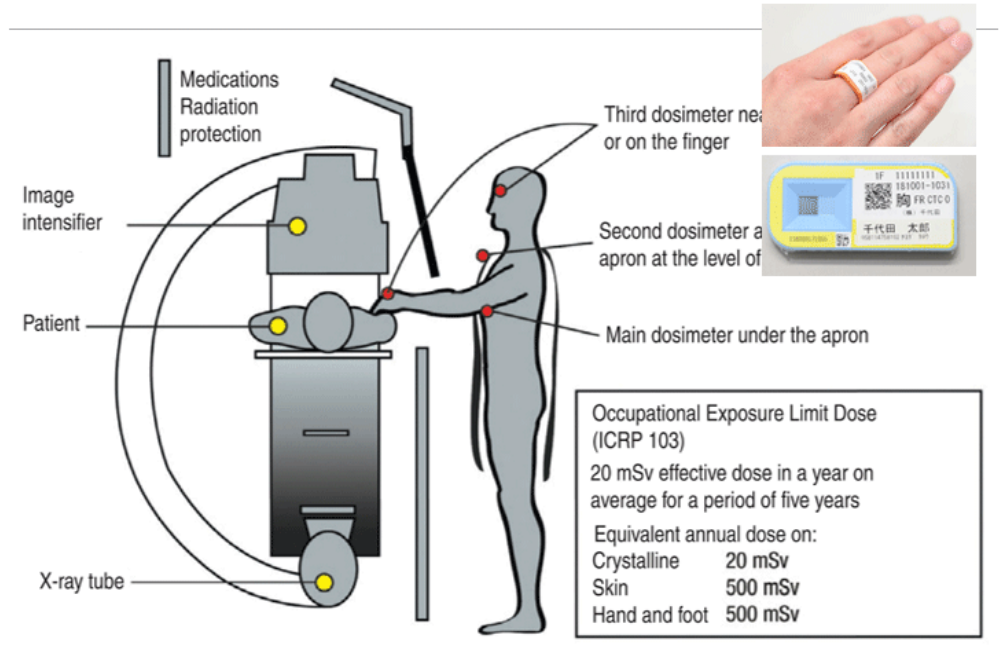
## 体幹部の分類

- ①頭部・頸部
- ②胸部・上腕部
- ③腹部・大腿部

体幹部が均等に放射線を受ける場合

→**均等被ばく**他の箇所が多く放射線を受ける場合  
（防護衣を着ている場合）→**不均等被ばく**





Rev Bras Cardiol Invasiva 2014;22:87-98

線量およびカウント

Point 1	2.426 $\mu$ Sv	Point 2	2.036 $\mu$ Sv
Point 3	2.742 $\mu$ Sv	Point 4	1.894 $\mu$ Sv

各検出器の波高分布

1 m ケーブル

タブレット端末

4 検出器

送信器

体に装着した放射線検出器からの信号をリアルタイムにタブレットに表示

ワイヤレス線量計システムの例

透視手技中に手を触れることなくリアルタイムに画面表示、警告音等で被ばく量を示すことで、術者自身の被ばく状況や危険な場所を把握することができ、不要な被ばくの低減につなげることができる。

個人モニタリング結果の活用

被ばく線量の超過・増加が認められた



原因を調査



(スタッフ)業務内容・作業手順の見直し  
(管理者)防護対策の提案、整備

防護の最適化

放射線診療従事者が受けている値がどの程度のものか把握し、結果をフィードバックすることが大切

T. Fujibuchi, Development of a wireless multisensor active personal dosimeter-tablet system, Progress in Nuclear Science and Technology, 6, 73-76, 2019.



- 放射線防護の重要性
- 職業被ばくの線量限度と実態
- 線量評価・モニタリング
- 医療現場での放射線防護の原則
- 部門別防護対策
- アクションチェックリスト
- 放射線防護教材

Contents

- 医療現場における外部放射線防護の原則
- 医療放射線での散乱線の特徴
- 遮蔽による放射線防護・放射線防護具の利用
- 時間による放射線防護・照射時間の短縮
- 距離による放射線防護・散乱線分布の把握
- 手技による対策

## 医療現場での放射線防護の原則

### 医療現場における外部放射線防護の原則

- 距離： 放射線源、散乱線源を意識し、可能な限り距離をとる。
- 時間： 放射線照射時間は、最小限にとどめる。
- 遮蔽： 散乱線源と作業者の間に放射線遮蔽板を配置する。

その他、医療での放射線防護 適切な条件の設定や装置の品質管理を実施する

(照射条件の最適化)

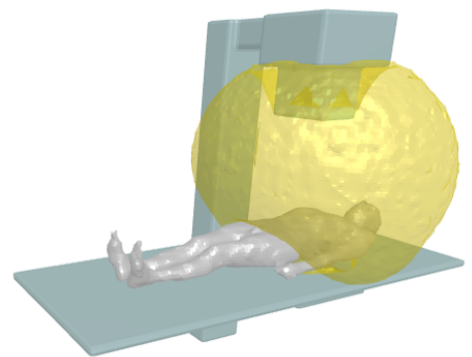
- 診療可能な最低限の画質となるよう、出力、パルスレートや撮影枚数、照射野を調整する、画像検出器と患者を可能な限り近づける

(照射野に手を入れない)

- 照射野内外で100倍以上線量が異なる。手指の皮膚障害、皮膚がんの可能性

### 医療放射線での散乱線の特徴

- X線が患者に衝突し、患者を中心に広がる
- 患者からの後方散乱成分が多い
- 患者による吸収もある



## Scattar doses at mobile radiography

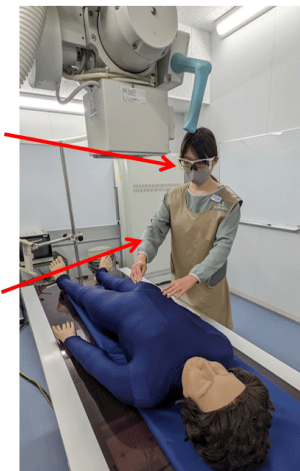


<https://contsrv.icer.kyushu-u.ac.jp/Medu/XraySim/>

## 遮蔽による放射線防護・放射線防護具の利用

**放射線防護眼鏡**  
 ・鉛当量により、遮蔽能力、重量が異なる  
 ・顔との隙間がないようにする

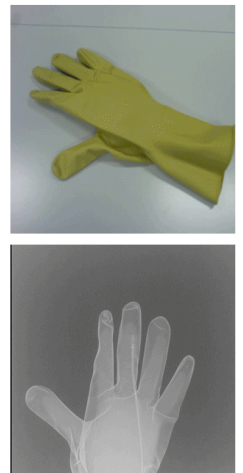
**放射線防護衣**  
 ・鉛当量により、遮蔽能力、重量が異なる  
 ・甲状腺被ばく対策用にネックガードもある。



## 放射線防護衝立



## 放射線防護手袋

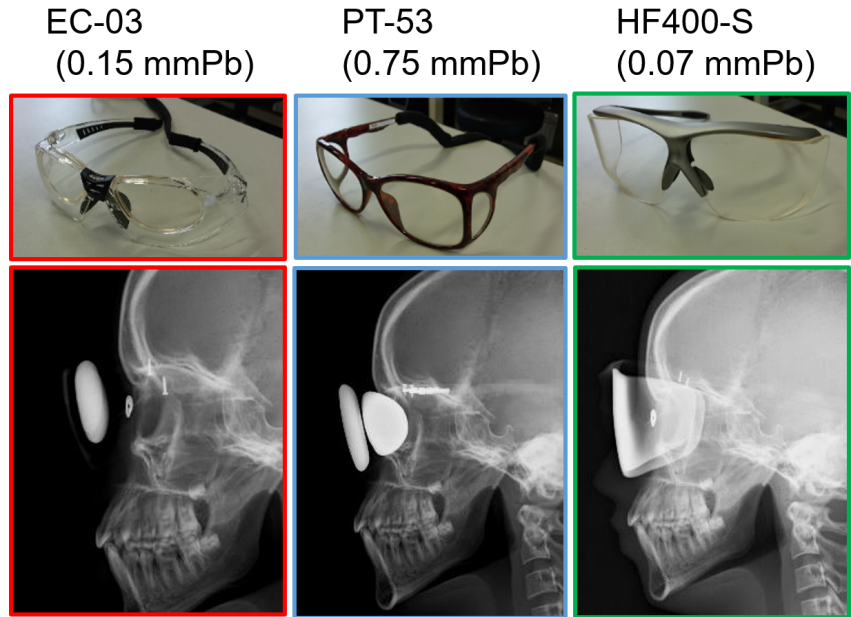


## 放射線防護眼鏡と水晶体の位置関係の評価

頭部ファントムの水晶体位置に金属マーカーを配置してX線画像を取得

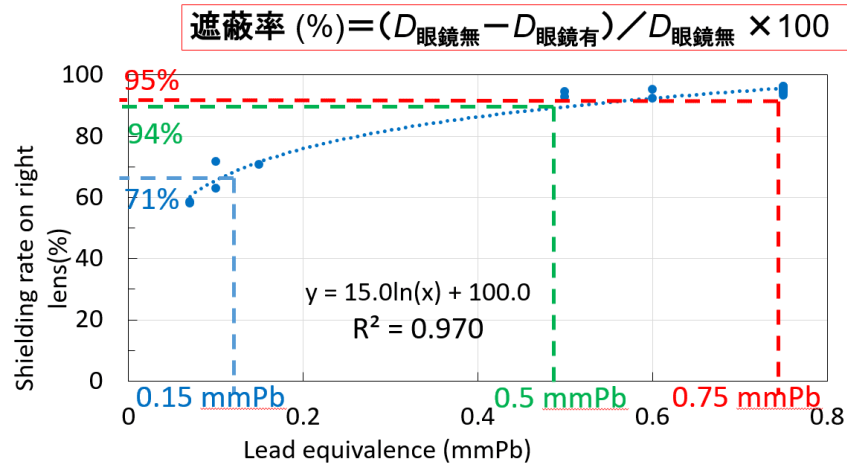
- ・散乱線源を把握し、隙間から水晶体へ届かないようにする
- ・業務時間や手技内容から適切な放射線防護眼鏡を選択する





放射線防護眼鏡と水晶体の位置関係の評価

1. 正面から照射した際の鉛当量と遮蔽率の関係

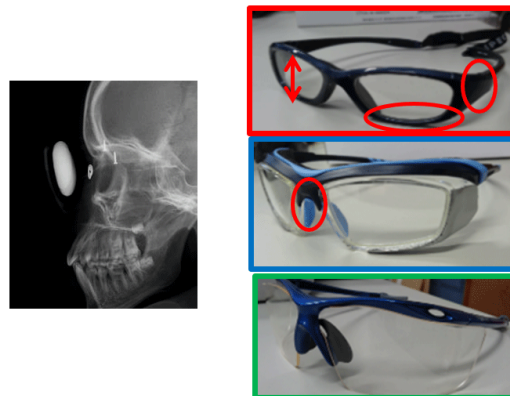


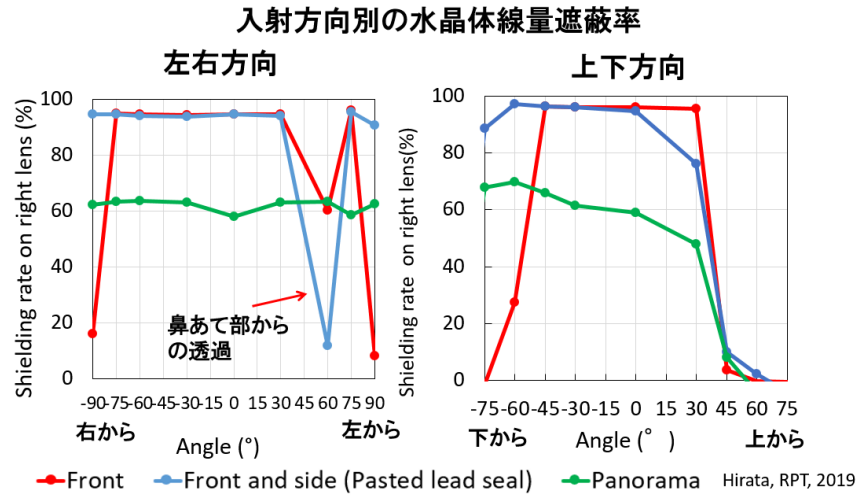
Hirata, Angular dependence of shielding effect of radiation protective eyewear for radiation protection of crystalline lens, RPT, 2019

放射線防護眼鏡

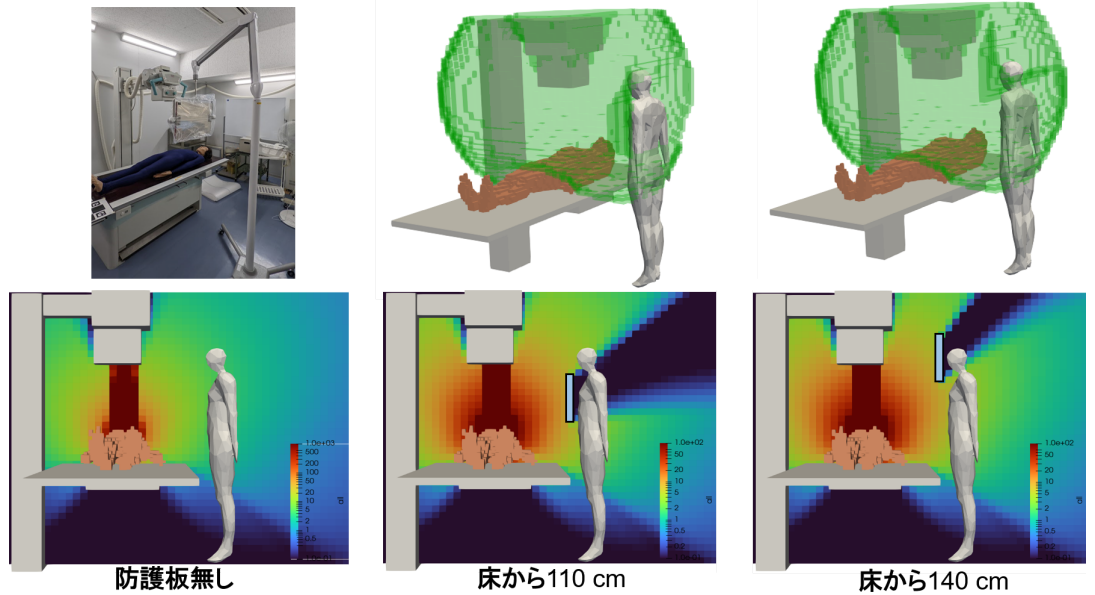
- 種類により遮蔽できる範囲が異なる(サイドも遮蔽しているか)
- 遮蔽部分と顔(頬)との隙間から入射する散乱線に注意する

頭部ファントムの水晶体位置に金属マーカーを配置してX線画像を取得





放射線防護板の位置による散乱線分布の変化



時間による放射線防護・照射時間の短縮

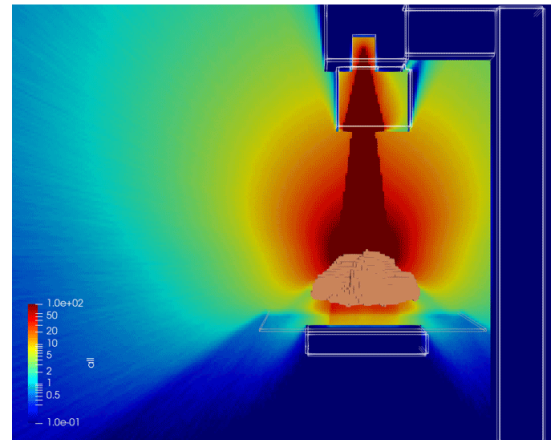
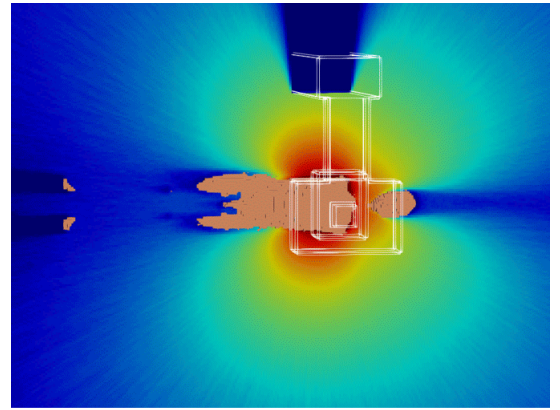
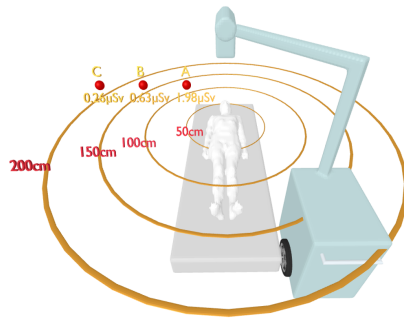
- スタッフの被ばく量は透視時間に比例する
- 透視時間を最小限に留める
- 透視画像を見ないときは透視を切る
- 近年の装置は透視を停止した際の画像が表示され続ける
- 透視のパルスレートを診療に支障のない範囲で下げる



<https://www.xray-art.com/fluoroscopy/>

距離による放射線防護・散乱線分布の把握

- 放射線量は、線源からの距離の2乗に反比例
- スタッフへの主な散乱線源は患者
- 患者からの距離が50 cmから100 cmに離れることで被ばく量は約1/4に



### 手技による対策

- 高被ばく放射線診療従事者への業務内容の把握と対応
- 消化器内科（透視業務担当）の若い医師が毎月3 mSvを超える水晶体等価線量
- 医師、患者の了承を得た上で手技の一連の流れを**監視カメラ**で録画し検証

### 透視作業時の被ばくの要因について、指導医に対する新人医師の特徴

- **透視時間が長い**ように感じた。（透視時間が被ばく量に影響）  
患者体位の調整に時間がかかっている。→体位変換時に一度を透視を切る。  
カテーテル作業時に、透視を出してから開始している。
- **照射野が常に全開**だった。→可能な範囲で絞る。
- 腹部圧迫時に**顔が照射野付近**まで近づいていた。

- 無線でリアルタイムに被ばくを表示する線量計システムにより、被ばく状況を把握する
- 一定の線量率で被ばくするわけではなく、線源に近づくことで一気に増える可能性がある
- 高被ばく者には今回のように動画を撮って検証し、改善策を**フィードバック**することが有用



- 放射線防護の重要性
- 職業被ばくの線量限度と実態
- 線量評価・モニタリング
- 医療現場での放射線防護の原則
- 部門別防護対策
- アクションチェックリスト
- 放射線防護教材

Contents

職業被ばく低減で医療現場に求められること
一般撮影・ポータブル撮影（病棟、手術室等）
X線透視（非血管系）
血管造影
CT検査
核医学・PET検査

## 部門別防護対策

### 職業被ばく低減で医療現場に求められること

線量限度を超過する可能性のある医療スタッフをいかになくすか

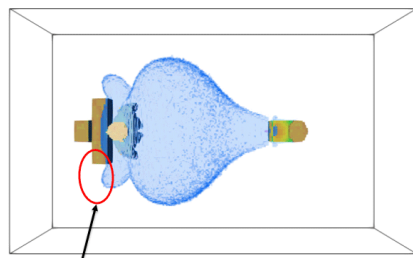
被ばく低減対策	放射線診療従事者	管理者
1. 放射線防護教育	防護法の理解	教材の作成と実施
2. 防護器具による対策	a.放射線防護具（防護衣、眼鏡、防護板） 適切な使用	防護具の配備
3. 装置、手技による対策	a.適切な装置の取扱 b.適切な手技 トレーニング	装置管理
4. 線量モニタリング	a.適切な装置の取扱	装着忘れの防止
	b.被ばく量の把握	自身の被ばく量の把握と振り返り
	c.水晶体線量計	使用
	d.リアルタイム線量計	高被ばく手技の認識
5. 放射線管理体制の構築	規程等の遵守	委員会等の設置、規程・マニュアル等の作成

### 一般撮影・ポータブル撮影（病棟、手術室等）

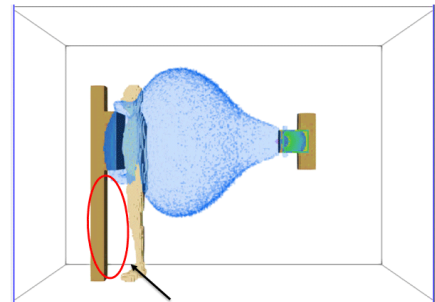
### Monte Carlo simulation for scatter dose in chest radiography



#### 立位胸部単純撮影時の散乱線分布



介助者の被ばくの少ない位置

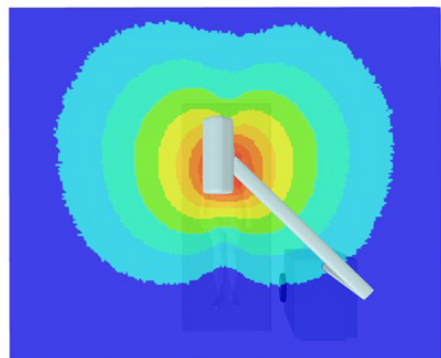
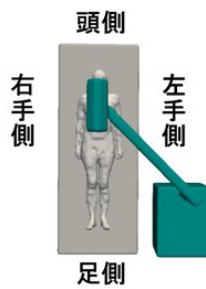


介助者の被ばくの少ない位置

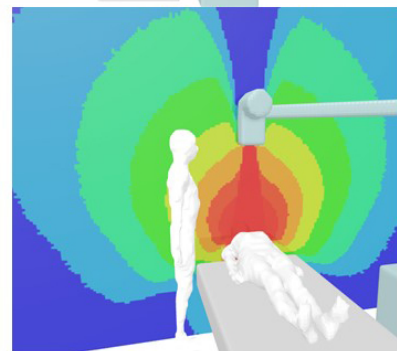
- 散乱線の広がりを意識する
- 被ばく量はX線の照射条件（管電圧、管電流、照射時間）に依存する

#### 散乱線の広がり

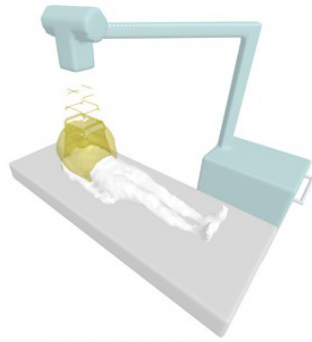
患者が散乱源および吸収体になる



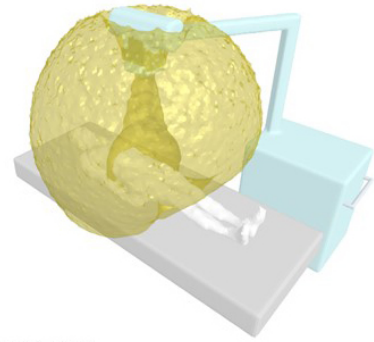
散乱線は患者から斜め後方に跳ね返る



照射条件、照射部位による線量は異なる



胸部撮影

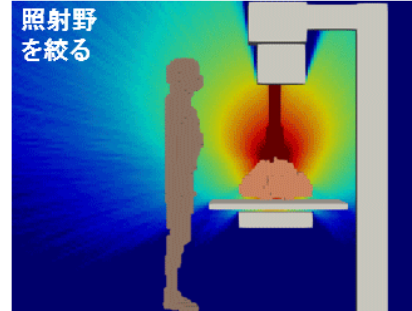
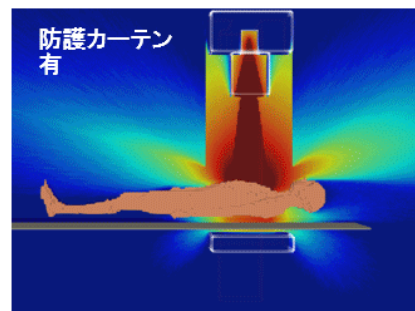
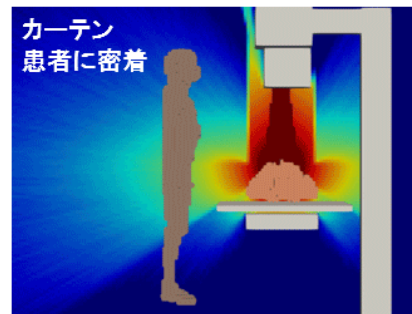
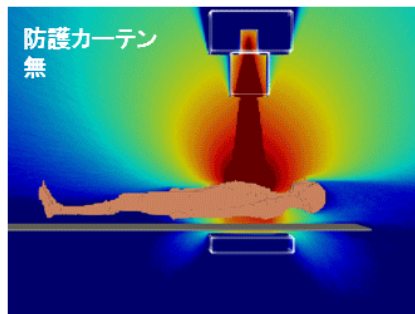
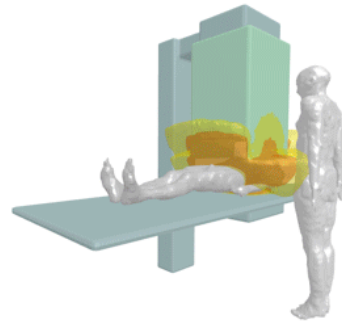


骨盤撮影  
(管電流時間積[mAs]が胸部の10倍だと、散乱線量も10倍)

X線透視 (非血管系)

X線透視での放射線防護

ERCPCや非血管系IVR等では患者介助など散乱線源に近づくこともあり被ばくが多い

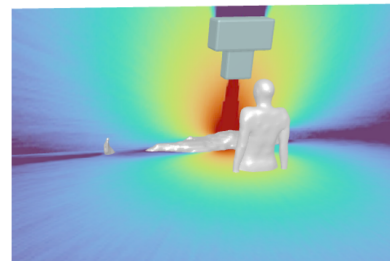
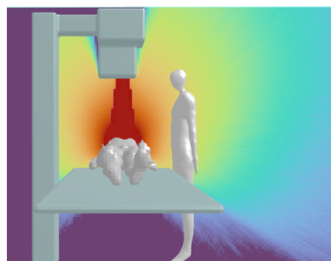
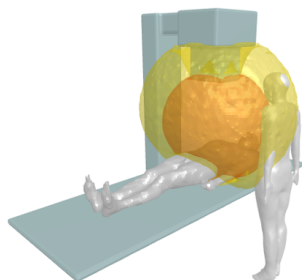




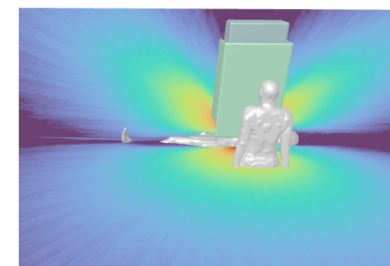
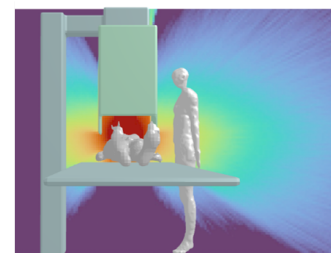
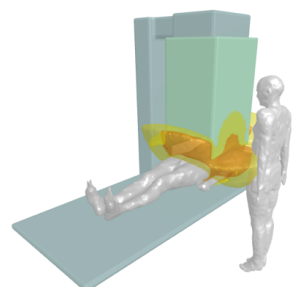


**X線透視室における散乱線分布**

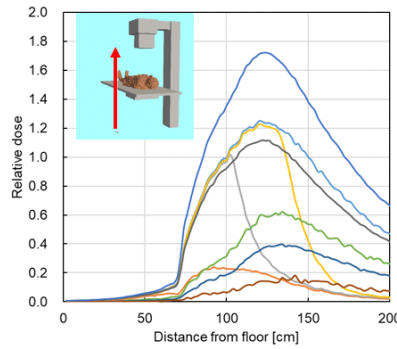
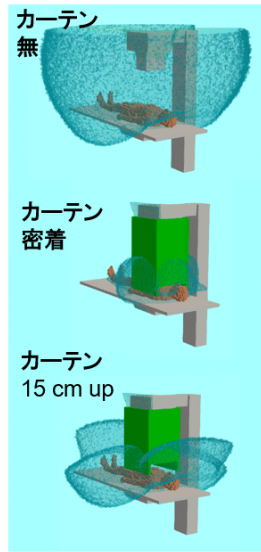
No protective devices



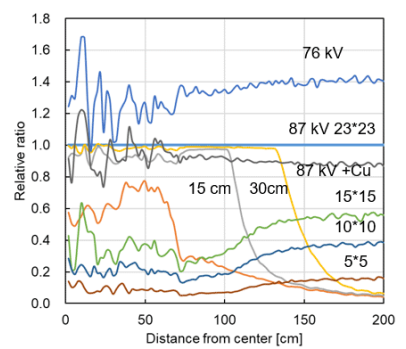
Using protective devices



**術者位置(照射野中心から患者横に50 cm)での線量プロファイル**



- 87kV no Curtain 23\*23
- 87kV Curtain
- 87kV Curtain 15 cm up
- 87kV Curtain 30 cm up
- 87kV no Curtain 15\*15
- 87kV no Curtain 10\*10
- 87kV no Curtain 5\*5
- 87kV+0.1Cu no Curtain
- 76kV no Curtain

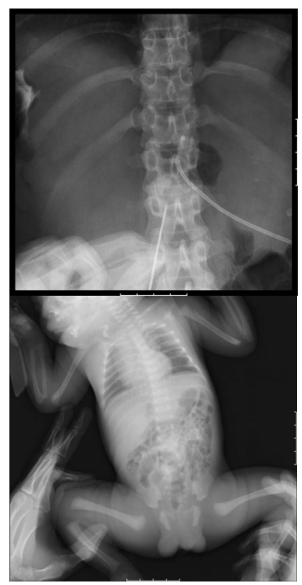


床から150cmでの87 kVカーテン無に対する線量比

カーテン有	0.09	15*15	0.54	87 kV+ 0.1Cu	0.87
15 cm up	0.11	10*10	0.35	76 kV	1.38
30 cm up	0.42	5*5	0.14		

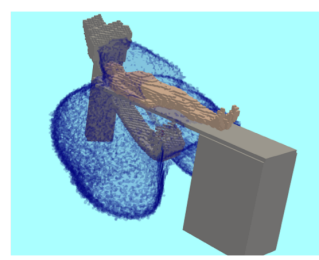
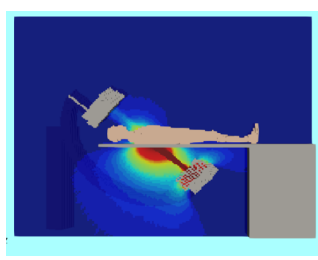
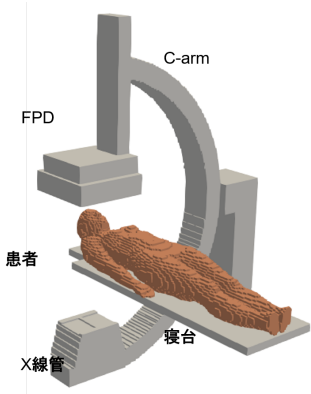
透視、非血管系IVRと手指被ばく

- 術者の手指は手技上、直接照射野内に入ってしまうことがある
  - 照射野内に術者の手指が映ると、高線量の被ばくになる
  - CTガイド下生検も同様
- (対策)
- 放射線防護手袋の着用
  - 患者を抑える場合は、補助具を使用する
  - 可能な範囲で照射野を絞る



血管造影

散乱線の広がり



### Monte Carlo simulation for Abdominal IVR examination scatter dose distribution



### Monte Carlo simulation and visualization of scattered radiation distribution in a...

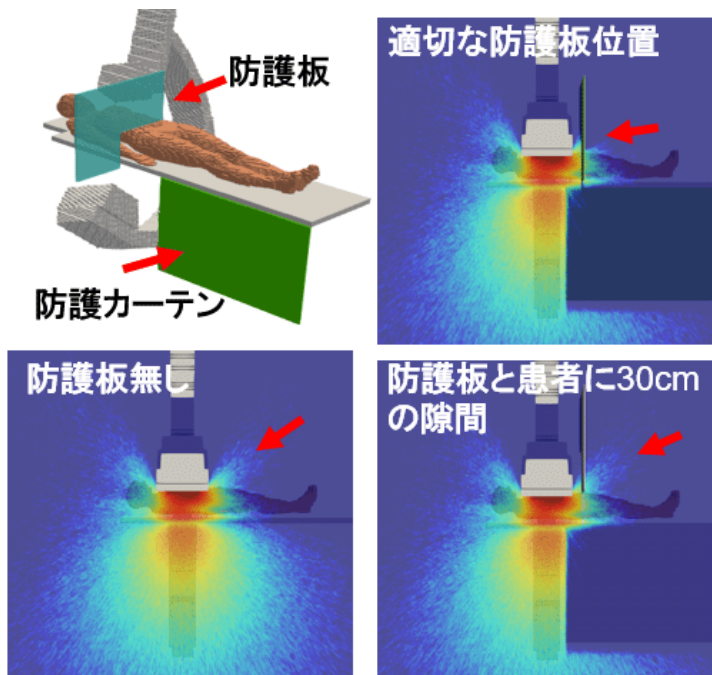
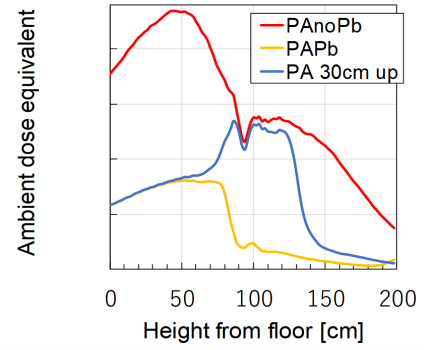


### Scatter dose distribution in angiography



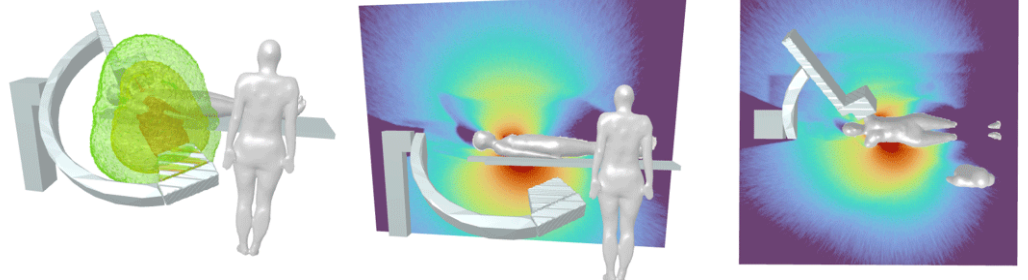
#### 血管造影：防護板の位置による遮蔽効果の違い

- (A) 防護板が患者に接近し、有効に散乱線が遮蔽されている
- (B) 防護板と操作者の間の距離が大きいため、散乱線が様々な方向から到達し、防護効果が低くなる

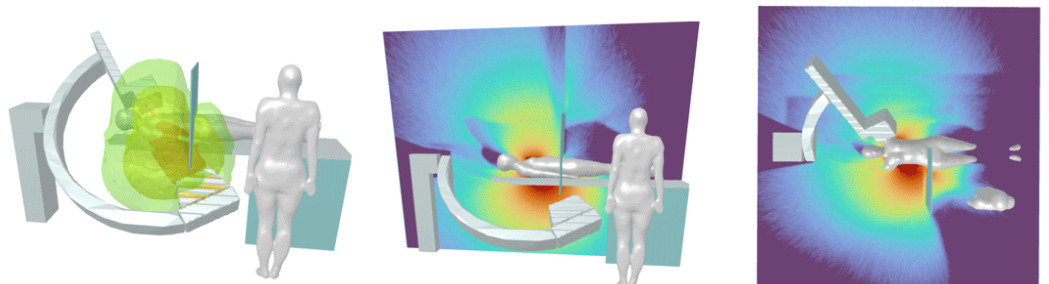


血管造影室における散乱線分布例

No protective devices



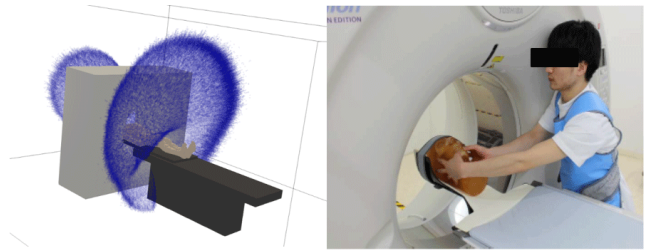
Using protective devices



CT検査

散乱線分布

- CTではX線の出力が高く、数秒の介助でも介助者の被ばくは高くなる
- 散乱線源は患者で、防護具の使用と少しでも距離を取ることが被ばく低減につながる



頭部介助時の低減例

- スキャン方法を工夫することで低減可能（ただし画質とのトレードオフ）
- 解除位置の工夫により大幅な低減が可能

スキャン方式	helical		volume					
	ガントリー中心から 50 cm		ガントリー中心から 50 cm		ガントリー中心から 62 cm		ガントリー密着	
	左眼	右眼	左眼	右眼	左眼	右眼	左眼	右眼
1cm線量当量(μSv)	598	612	245	256	137	178	97	42
低減効果(%)	—	—	59.0	58.2	77.1	70.9	83.8	93.1

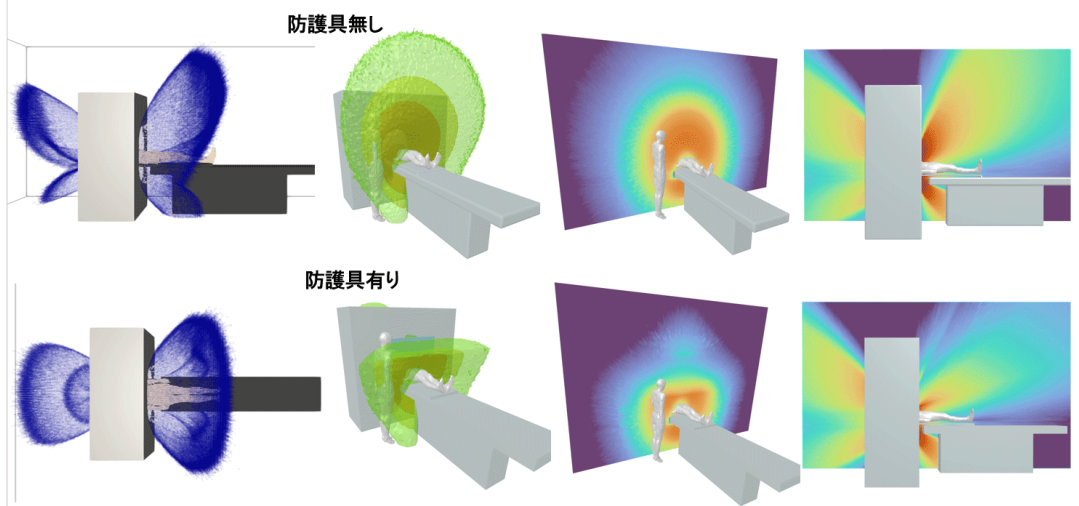
宮島,日本放射線技術学会雑誌, 2018

CT検査室の3次元散乱線分布

モンテカルロシミュレーションを使用 測定値と計算値の差は平均約10% (n=110)

Fujibuchi, Radiation protection education using virtual reality by visualization of scatter distribution in radiological examination, JRP, 2021

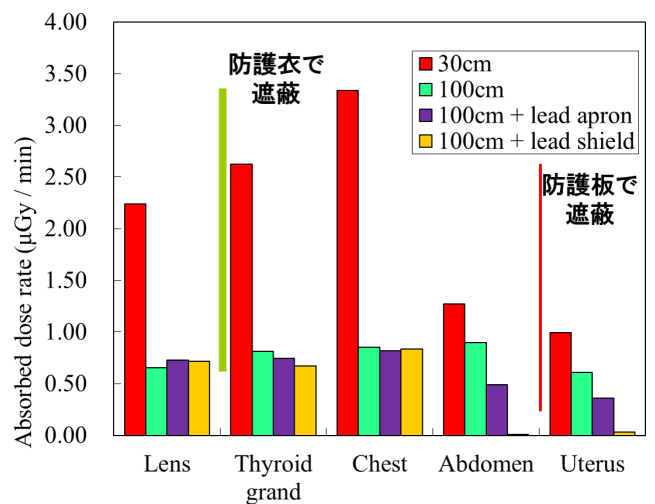
CT検査時の散乱線分布



核医学・PET検査

介助時の放射線防護

- 距離による防護は有効
- ガンマ線はエネルギーが高く、防護衣による遮蔽が困難







1)線源から30 cm

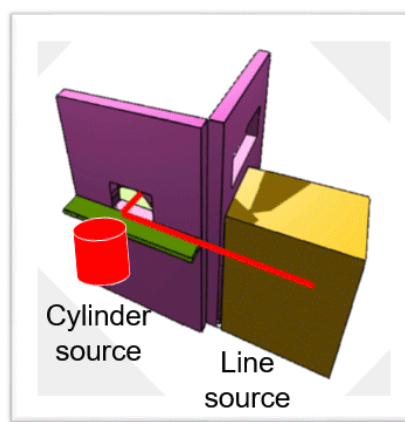


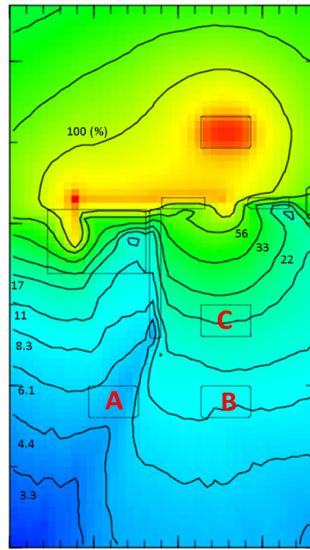
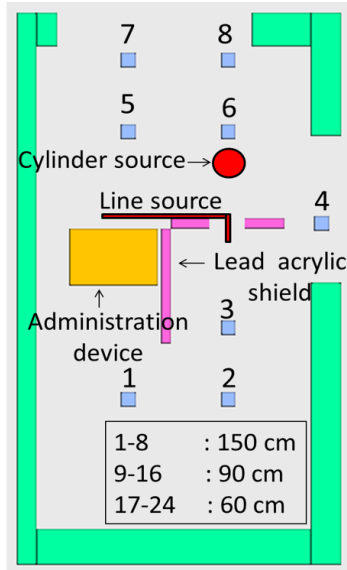
2)線源から100 cm

3)線源から100 cm  
+プロテクタ着用4)線源から100 cm  
+3 cm鉛防護板

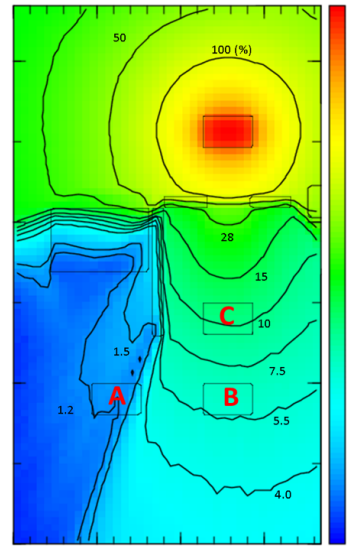
### 18 投与室内の周辺線量当量分布

- 防護板があっても、患者の腕を出す穴からガンマ線が漏洩するため、可能な範囲で距離をとり観察する





A / C : 31%、B / C : 52%



A / C : 13%、B / C : 58%

Nagamine, RPT, 2016

Copyright © digital transformation All Rights Reserved.





- 放射線防護の重要性
- 職業被ばくの線量限度と実態
- 線量評価・モニタリング
- 医療現場での放射線防護の原則
- 部門別防護対策
- アクションチェックリスト
- 放射線防護教材

Contents

アクションチェックリスト
集計結果

## アクションチェックリスト

### アクションチェックリスト

YesまたはNoにチェックを付けて、送信ボタンを押してください。  
 お問合せご相談がある方はお名前とご連絡先メールアドレスのご記入をお願い致します。

診療前の準備			Yes	No	参考
放射線防護具	1	放射線防護エプロンを着用している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	2	放射線防護メガネを着用している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	3	ネックガードを着用している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
個人線量計	4	(防護エプロンを着用する場合) 体幹部用の線量計をエプロンの内側に着用している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	5	(防護エプロンを着用する場合) 頸部の防護具の外側に線量計をつけている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	6	(防護エプロンを着用する場合) 頸部の防護具の外側に線量計をつけている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	7	(指先が照射野に近い場所で作業する場合) 指輪型の線量計をつけている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	8	電子式線量計をつけている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
診療中の防護			Yes	No	参考
放射線防護具 (遮蔽による防護)	9	天吊りの放射線防護板を使用している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	10	天吊り防護板を術者に近づけ患者と隙間のないよう配置している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	11	放射線防護衝立を使用している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	12	放射線防護カーテンを使用している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	13	その他の放射線防護具を使用している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
照射時間 (時間による防護)	14	透視画面を見ない際はX線を出さないようにしている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	15	総透視時間を意識している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

手技中の位置 (距離による防護)	16	X線管にできるだけ近づかないようにしている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	17	患者からの散乱線の広がりを意識し、できるだけ近づかないようにしている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
照射条件	18	可能な範囲で照射野を絞っている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	19	患者と画像検出器をできるだけ近づけている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	20	透視のパルスレートを可能な範囲で小さくしている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	21	撮影枚数を可能な範囲で少なくしている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	22	照射野に手を入れない	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

放射線影響の理解			Yes	No	参考
被ばくのリスク	23	自身の毎月の被ばく量を把握している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	24	法令で定められた線量限度を知っている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	25	水晶体被ばくによる白内障のリスクがあることを知っている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	26	被ばくによる発がんリスクがあることを知っている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	27	被ばくによる皮膚障害リスクがあることを知っている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

## コメント・相談のある方は以下を記入してください

お名前	<input type="text"/>
メール	<input type="text"/>
本文	<div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>

送信

## 集計結果

- [第1回集計結果](#)

- 放射線防護の重要性
- 職業被ばくの線量限度と実態
- 線量評価・モニタリング
- 医療現場での放射線防護の原則
- 部門別防護対策
- アクションチェックリスト
- 放射線防護教材

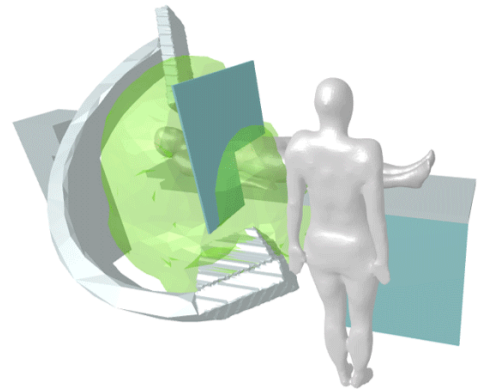
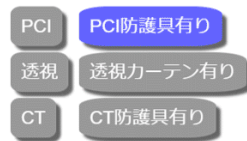
Contents

- WebVR/AR散乱線可視化教材
- ARX線室散乱線可視化アプリ
- X-SERVE
- 可視化ソフトウェア  
ParaView
- 関連資料
- リンク集

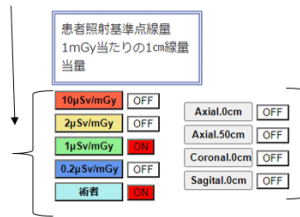
## 放射線防護教材

### WebVR/AR散乱線可視化教材

#### 装置、防護具の有無を選択



#### 3次元散乱線分布と術者の表示を切り替え



#### 患者に対して横断、冠状断、矢状断の2次元線量分布の表示の切り替え

三次元空間は、マウスにより回転、拡大、縮小、平行移動。  
webARもボタンのレイアウトは同じ。

- [ポータブル撮影のWebVR散乱線可視化教材](#)
- [PCI、透視、CTのWebVR散乱線可視化教材](#)
- [PCI、透視、CTのWebAR散乱線可視化教材](#)

スマートフォンやタブレットでQRコードからサイトにアクセスし、カメラ操作の許可をした上で下記ARマーカを映すと、装置や散乱線が表示されます。

[ARマーカダウンロード](#)



### WebVR教材動画例

### WebVR mobile radiography

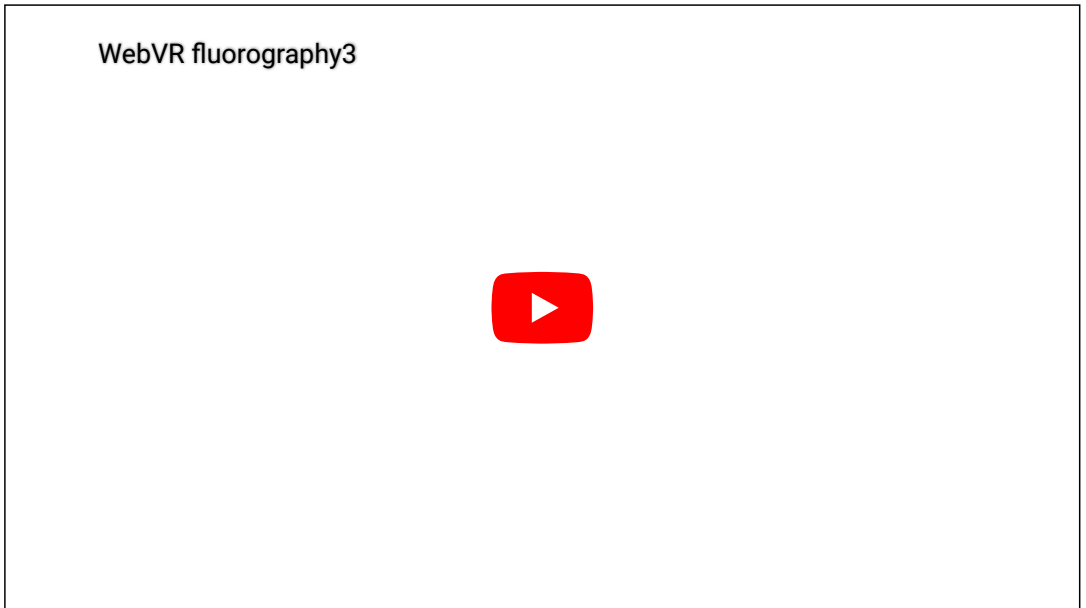


### WebAR Angiography



### WebVR fluorography 1

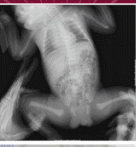





実習の流れ

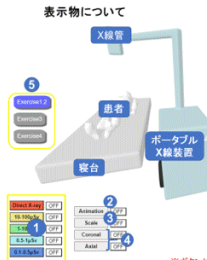
1. 導入 (20分)
2. 実習 (35分)
3. 確認テスト (10分)
4. 解説 (10分) + iPadでの体験 (15分) 計90分

**どのようなスタッフが高い放射線量を被ばくする可能性があるか？**

- 放射線治療やCT検査では、検査時の介助を除き、照射中に立ち入る機会はほとんどないことから被ばくは少ない。
- X線透視での診療は、従事者がX線源(X線管や散乱X線源となる患者)の近くでの手技が必要となる。
- 被ばくは、X線透視時間、使用する遮蔽器具、手技中の立ち位置、装置の照射条件に依存する。

**表示物について**



**ボタンの機能について (ON, OFFを押すことで切り替えます。)**

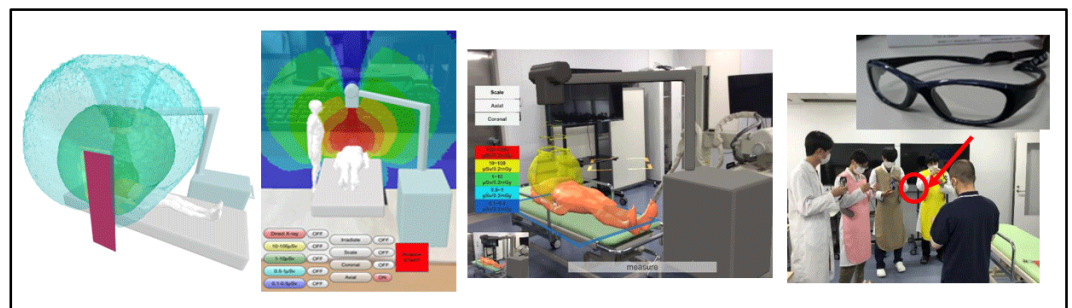
- 1 3D 描像表示 ボタン 記してある線量の散乱線が3D表示されます。(Direct X-rayは、X線からの直接線が主です。)
- 2 Animation ボタン 照射して散乱線が広がる二次元断面の様子が動画表示されます。
- 3 Scale ボタン 患者表面の高さで照射野中心からの距離と、A(50 cm)、B(100 cm)、C(150 cm)点における胸の高さの線量値が表示されます。
- 4 Coronal/Axial ボタン 2D散乱線分布が表示されます。 ※演習1のみ介助者が表示されます。
- 5 演習1/2 ボタン 記載されている演習番号で用いるシステムに切り替わります。

◆ 表示物はマウスの左クリックで回転、右クリックで移動、拡大、縮小することができます。

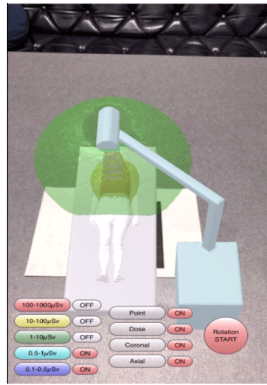
※ボタンは連続で押すと反応が悪いので1,2秒おいてボタンを押して下さい。

**実習の目的の説明 (20分)**

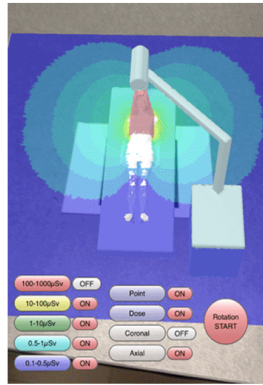
**操作方法の説明 (5分)**



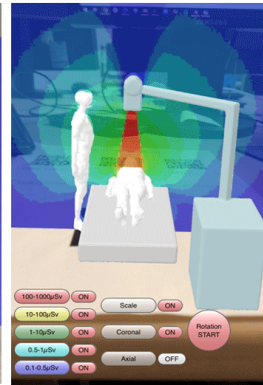
実習項目

① 散乱線の3次元的な広がり  
的理解

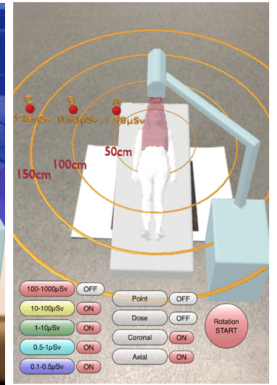
## ② 散乱線の水平面での広がり



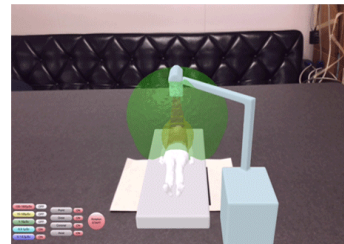
## ③ 散乱線の垂直面での広がり



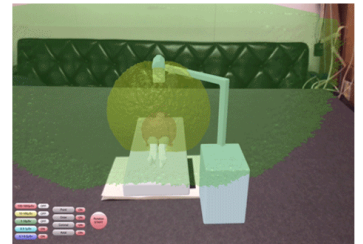
## ④ 照射野中心からの距離と線量の関係



## ⑤ 放射線防護具の効果

⑥ 胸部撮影と骨盤撮影の広がり  
の違い

胸部撮影での線量分布



骨盤撮影での線量分布

## 教材を使用した感想と要望

- 自由に任意の位置から散乱線分布を確認でき**理解しやすい**
- 放射線の挙動が動画で示されることで発生源が**わかりやすい**
- 防護板の効果や危険な位置を認識できた

WebAR：デバイスを動かすだけで手軽に観察ができた

機種によっては動作が重い、ARマーカーの印刷が必要

WebVR：安定して動作する、マウス操作に慣れるのに少し時間がかかる  
テキストと同時に見るのが難しい

iPadアプリ：実物大で、危険な位置の距離感がつかみやすい

初学者に対して防護の原則を理解する上で有用

要望（今後の課題）

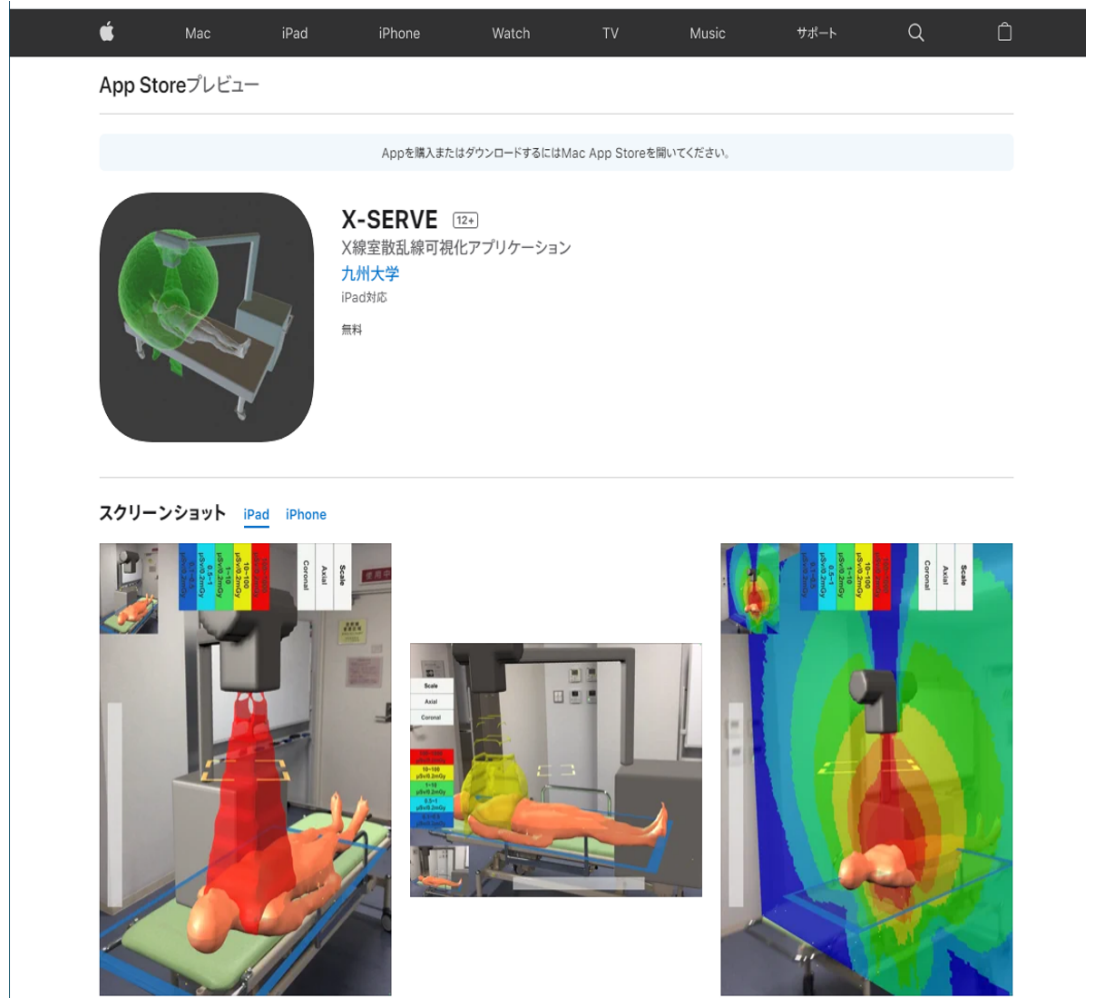
- 他のモダリティや患者体型の違いによる分布への影響、任意の位置の線量を知りたい
- 放射線検査室で装置を見学しながら**散乱線分布を確認**したい

ARX線室散乱線可視化アプリ  
X-SERVE

## X線室散乱線可視化アプリ

モンテカルロ計算に基づいたポータブルX線撮影装置使用時の散乱線の挙動を拡張現実（AR）で可視化





App Storeプレビュー

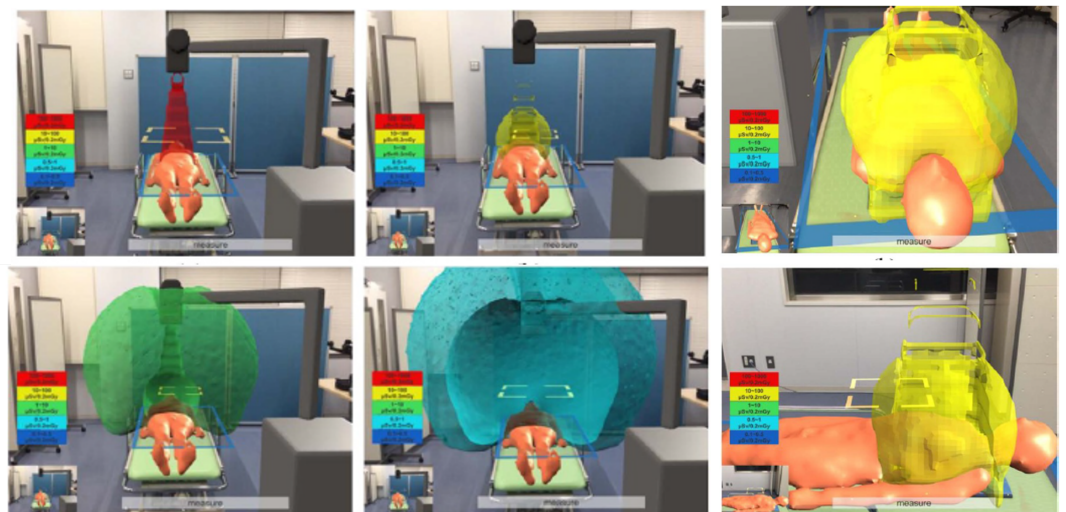
Appを購入またはダウンロードするにはMac App Storeを開いてください。

**X-SERVE** <sup>12+</sup>  
X線室散乱線可視化アプリケーション  
九州大学  
iPad対応  
無料

スクリーンショット iPad iPhone

Nishi, Development of an application to visualise the spread of scattered radiation in radiography using augmented reality, JRP, 2020

### 拡張現実を利用した散乱線分布の可視化



Nishi, Development of an application to visualise the spread of scattered radiation in radiography using augmented reality, JRP, 2020

Application to visualise the spread of scattered radi...



可視化ソフト ウェア ParaView



ParaViewはオープンソースのデータ可視化ソフトウェアで、インタラクティブに3次元のデータを表示、分析することが可能です。

<https://www.paraview.org/>

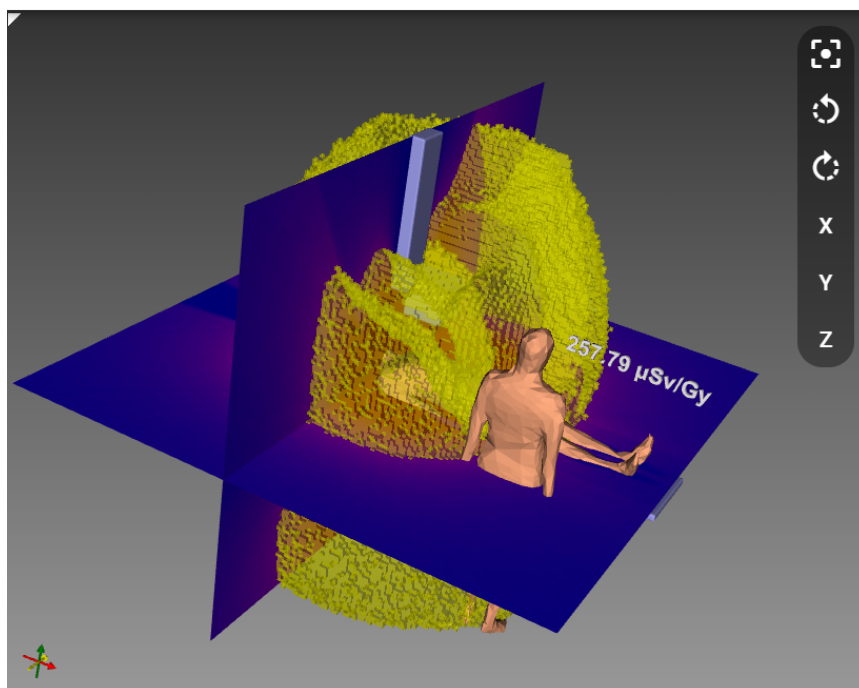
## ParaView Glance

ParaViewの一部機能をブラウザ上で使用しデータを可視化できるWebアプリケーションです

[ParaViewGlance](#)

[サンプルファイル](#)

PaRaViewGlance サイト上部のOPEN A FILEにサンプルファイルをドラッグしLoadすると、添付のような画面を表示できます。



## 関連資料

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン

1 適用の範囲

このガイドラインは、光子、電子（700 keV以上）、中性子による計画被ばく状況における放射線業務従事者の眼の水晶体の等価線量のモニタリングに適用する。

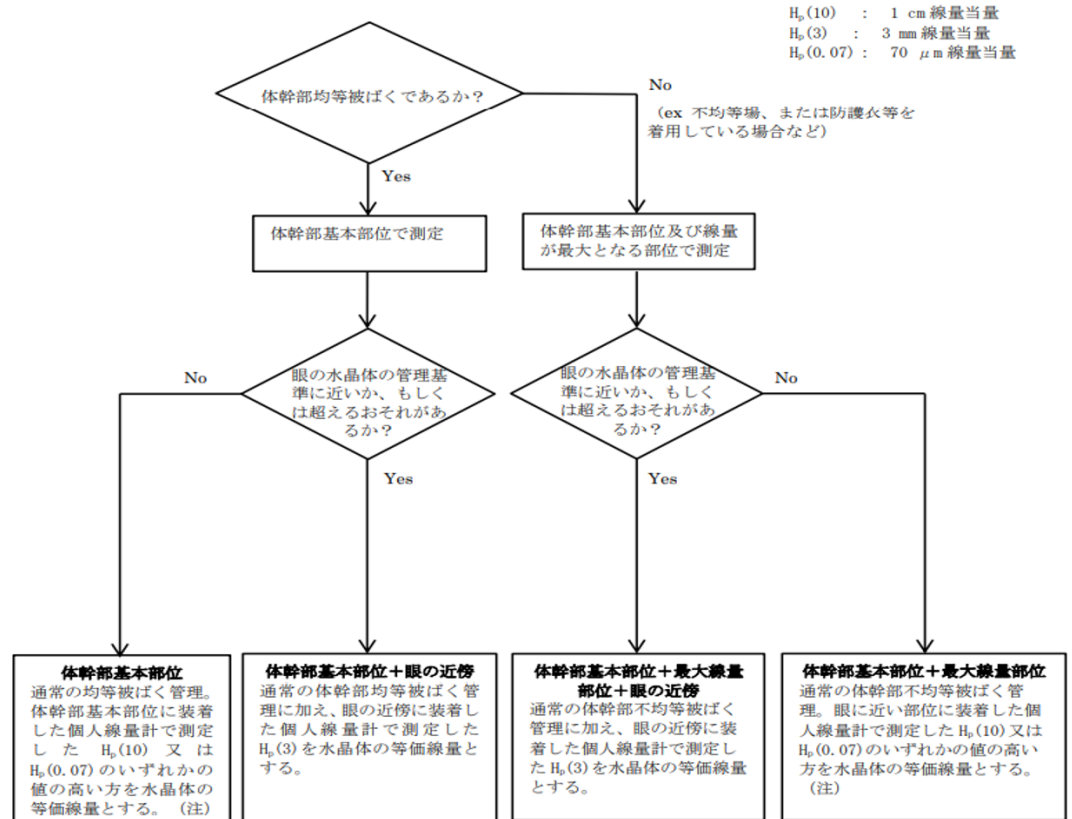
2 線量モニタリングの考え方

事業所の線量管理に責任を有する者（事業者、放射線取扱主任者等）は、眼の水晶体の等価線量限度の遵守及び防護の最適化を実施するために、以下に示す考え方に従い、眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位及びモニタリングに使用する実用量を決定する。

また、眼の近傍で線量を測定することを開始すべきかを判断する線量レベル（管理基準）及び線量の記録を開始するレベル（記録レベル）は、作業環境に応じて設定する。

<http://www.jhps.or.jp/upimg/files/suishotai-guideline.pdf>

眼の水晶体の等価線量の算定方法を決定するためのフロー図



【例題3】

眼の近傍で線量を測定することを開始すべきかを判断する線量レベル（管理基準）は、事業所の線量管理責任者が作業環境に応じて設定するとあるが、どのような数値を採用すれば良いか？

眼の近傍に個人線量計を装着することによる作業者への負担および、放射線管理者の個人線量計管理の手間等を考慮の上、眼の近傍に個人線量計を装着するための通常の実用条件として、眼の水晶体の等価線量が5年間の年平均の等価線量限度20 mSvを超える可能性がある場合が考えられる。

例

- 個人線量計の不確かさ1.5を考慮し、年間 13 mSv(=20/1.5)を超える可能性がある場合
- 個人モニタリングの不確かさが1.2と評価できるような場合は、管理基準を年 17 mSv(≒20 mSv/1.2)
- 防護の最適化を図ってもやむを得ず年間 20 mSv を超える作業者がいる場合、その時点で、眼の水晶体の等価線量の5年間管理の対象者として、水晶体の専用の個人線量計を装着

【例題5】

眼の水晶体被ばくに対する防護の最適化において、線量モニタリング結果はどのように使えばよいか？

しきい線量が0.5 Gyであることから、線量限度を遵守するだけでなく、**防護の最適化**を考慮する必要がある。

#### 防護の最適化

- 防護手段に係る時間、金銭、諸機材等のコストを考慮しながら、防護手段により達成される被ばく低減対策を必要に応じ実施 (ICRP Publ.75)
- モニタリング結果は、防護の最適化の施策の妥当性の確認に使用し、想定と異なった場合は原因を分析し、改善することが必要

### 防護の最適化のステップ

#### 1. 工学的対策

- 作業員から線源を物理的に隔離し、外部被ばくを低減する
- 線源と術者の適切位置関係や、防護板や防護眼鏡等の効果的活用

#### 2. 管理的対策

- 環境測定やシミュレーション等により事前に被ばく量を把握し、作業手順、工学的管理である遮蔽の追加等により低減の可能性を検討
- 作業員は、自身の作業を適切に行うための知識と技術が必要
- そのために被ばく低減の啓発普及とともに模擬作業による手順の確認と課題検討が有効

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン

### 2021年改訂版 循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン

日本循環器学会

日本インターベンショナルラジオロジー学会

日本医学放射線学会

日本核医学会

日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構

日本不整脈心電学会

日本心血管インターベンション治療学会

日本放射線技術学会

放射線被ばくの現状と考え方

放射線安全管理の基礎知識

放射線被ばく管理の実際

2021年3月27日発行

2019-2020年度活動

**2021年改訂版**  
**循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン**  
 JCS 2021 Guideline on Radiation Safety in Cardiology

合同研究班参加学会

日本循環器学会 日本インターベンショナルラジオロジー学会 日本医学放射線学会  
 日本核医学会 日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構  
 日本不整脈心電学会 日本心血管インターベンション治療学会 日本放射線技術学会

**班長**

上妻 謙  
東京大学医学部  
循環器内科

**班員**

<p>池田 隆徳 <small>東邦大学大学院医学研究科 循環器内科学</small></p> <p>近藤 浩史 <small>帝京大学医学部 放射線科学</small></p> <p>谷澤 貞子 <small>藤田医科大学 循環器内科</small></p> <p>松原 孝祐 <small>金沢大学医薬保健研究域 保健学系分子医療技術学</small></p>	<p>石綿 清雄 <small>日比谷石綿クリニック</small></p> <p>坂本 肇 <small>順天堂大学保健医療学部 診療放射線科学</small></p> <p>近藤 大志郎 <small>東京医科大学 循環器内科</small></p> <p>松本 一真 <small>兵庫医科大学病院 放射線技術部</small></p>	<p>小船井 光太郎 <small>東京ベイ・浦安市川医療センター 循環器内科</small></p> <p>鈴木 滋 <small>東京女子医科大学東医療センター 放射線科</small></p> <p>橋本 順 <small>聖広大学医学部 専門診療学系循環器診断学</small></p> <p>松本 直也 <small>日本大学病院 循環器内科</small></p>	<p>加藤 守 <small>秋田県立循環器・脳血管センター 放射線科診療部</small></p> <p>岡島 京子 <small>杏林大学医学部付属病院 循環器内科</small></p> <p>本江 純子 <small>聖広記念病院 循環器センター</small></p>
--	---	--	---

**協力員**

<p>阿部 光一郎 <small>東京医科大学 放射線医学</small></p> <p>河合 秀樹 <small>藤田医科大学 循環器内科</small></p> <p>仲間 達也 <small>東京ベイ・浦安市川医療センター 循環器内科</small></p>	<p>天野 英夫 <small>東邦大学大学院医学研究科 循環器内科学</small></p> <p>小菅 寿徳 <small>東京医科大学 循環器内科</small></p> <p>日置 純文 <small>帝京大学医学部附属病院 循環器内科</small></p>	<p>飯森 隆志 <small>千葉大学医学部附属病院 放射線部</small></p> <p>鈴木 康之 <small>日本大学病院 循環器科</small></p> <p>山下 高史 <small>東海大学医学部附属病院 放射線科</small></p>	<p>上田 明子 <small>杏林大学医学部 不整脈先進治療学</small></p> <p>武田 和也 <small>横浜記念病院 放射線科</small></p>
--	--	---	--

1

[https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2021/03/JCS2021\\_Kozuma.pdf](https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2021/03/JCS2021_Kozuma.pdf)

**改正電離則への対応を支援するコンテンツ**

<改正電離則の解説動画>

<医療機関における被ばく線量管理のヒント>

- 事故事例から学ぶ放射線安全管理
- 個人の被ばく線量管理
- 医療分野における職業被ばくと放射線防護

▼ 本文へ ▶ お問い合わせ窓口 ▶ よくある御質問 ▶ サイトマップ ▶ 国民参加の場



ひと、くらし、みらいのために  
**厚生労働省**  
Ministry of Health, Labour and Welfare

↑ ホーム

Google カスタム検索

テーマ別に探す | 報道・広報 | **政策について** | 厚生労働省について | 統計情報・白書 | 所管の法令等 | 申請・募集・情報公開

↑ ホーム > 政策について > 分野別の政策一覧 > 雇用・労働 > 労働基準 > 安全・衛生 > 電離放射線障害防止に関する参考資料

## 電離放射線障害防止に関する参考資料

- [令和3年4月1日施行 改正電離則の解説動画 \(令和2年12月作成\)](#)
- [医療機関における被ばく線量管理のヒント \(動画\)](#)
  - 事故事例から学ぶ放射線安全管理 (令和3年1月作成)
  - 個人の被ばく線量管理 (令和2年12月作成)
  - 医療分野における職業被ばくと放射線防護 (令和2年12月作成)
- [廃炉作業被ばく低減ウェブサイト \(1 F E d u\)](#)

### 令和3年4月1日施行 改正電離則の解説動画 (令和2年12月作成) (約21分)

スライドのダウンロードは[こちら](#)から

- ▶ **政策について**
- ▼ 分野別の政策一覧
  - ▶ 健康・医療
  - ▶ 子ども・子育て
  - ▶ 福祉・介護
  - ▼ **雇用・労働**
    - ▶ 雇用
    - ▶ 人材開発
    - ▶ **労働基準**
    - ▶ 雇用環境・均等

[https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou\\_roudou/roudoukijun/anzen/0000186714\\_00001.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/anzen/0000186714_00001.html)

### 医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン

# 医療スタッフの 放射線安全に係る ガイドライン

～水晶体の被ばく管理を中心に～



1. ガイドライン作成の背景と目的
2. 放射線の安全利用
  - 2-1 放射線安全利用の基礎知識
  - 1) 放射線領域で用いる単位、2) 医療放射線の安全衛生管理の原則、3) 被ばく管理の基本と法令
  - 2-2 透視を用いた検査・治療
  - 1) 防護衣の着用効果、2) 防護メガネの効果、3) 遮へい板の具体的利用方法、簡易な防護方法の紹介、4) 立ち位置への配慮、5) 手指の被ばくへの配慮、6) パルスレート、7) X線撮影、8) 絞りの活用、9) 拡大透視とデジタルズーム、10) 手技時の線量記録、11) 手技内容の共有、12) 患者線量低減と術者の線量低減の関係、13) 放射線診療時の検査室内の線量分布、14) 水晶体の線量が高くなる恐れがあるときの対応策
3. 歯科領域の放射線防護
4. 参考文献

## IVRにおける放射線防護教材 (IAEA)

<https://www.iaea.org/resources/rpop/resources/training-material#14>

Radiation Protection in Interventional Procedures:  
Practical Tutorials



1. Effect of fluoroscopic projection on staff radiation dose
2. Effect of collimation on staff radiation dose
3. Virtual collimation and its effect on staff radiation dose

4. Effect of patient size on staff radiation dose
5. Effect of ceiling suspended screens on staff radiation dose
6. Effect of lead aprons on staff radiation dose
7. Effect of fluoroscopy mode on patient and staff radiation dose
8. Effect of magnification on patient and staff radiation dose
9. Effect of patient-X ray tube distance on patient radiation dose
10. Effect of patient-image receptor distance on staff radiation dose
11. Effect of radiation protection gloves on patient and staff radiation dose
12. Real time dose monitoring systems
13. Radiation and cataract

## リンク集

### 関係機関

(国内機関・団体)

#### 放射線審議会

##### ■眼の水晶体の放射線防護検討部会 (2017-2018)

- [検討会議事録\(第1-7回\)](#)
- [眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について \(2018\)](#)

#### 厚生労働省

##### ■眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会

- [検討会 議事録、資料等](#)
- [眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会 報告書 \(2018\)](#)

##### ■[電離放射線障害防止対策について](#)

##### ■[電離放射線障害防止に関する参考資料](#)

##### ■労災疾病臨床研究事業費補助金研究報告書

- [不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究 \(平成30年度～令和2年度 研究代表者：樺田 尚樹\)](#)
- 令和元年度新規採択課題 7-1. 放射線業務における被ばくの実態と被ばく低減対策に関する調査研究  
[放射線業務における被ばくの実態と被ばく低減対策に関する調査研究 \(令和元年度～令和3年度 研究代表者：工藤 崇\)](#)  
[医療分野の放射線業務における被ばくの実態と被ばく低減に関する調査研究 \(令和元年度～令和3年度 研究代表者：細野 真\)](#)
- 令和2年度新規採択課題 7. 眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的調査研究  
[眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的調査研究 \(令和2年度～令和4年度 研究代表者：千田 浩一\)](#)
- 令和3年度新規採択課題 6.放射線防護マネジメントシステムの適用と課題解決に関する研究  
[放射線防護マネジメントシステムの適用と課題解決に関する研究 \(令和3年度～令和5年度 研究代表者：樺田 尚樹\)](#)

#### 原子力規制庁

##### ■[国際基準等の出版物の翻訳](#)

#### 個人線量測定機関協議会

##### ■[実効線量の分布表](#)



(国際機関・団体)

[国際放射線防護委員会 ICRP : International Commission on Radiological Protection](#)

■ [翻訳版ICRP刊行物](#)

(医療関係者の職業被ばくに係る勧告 (翻訳版))

- [84勧告 妊娠と放射線 \(2000\)](#)
- [85勧告 IVRにおける放射線障害の回避 \(2000\)](#)
- [97勧告 高線量率 \(HDR\) 小線源治療事故の予防 \(2005\)](#)
- [105勧告 医療における放射線防護 \(2008\)](#)
- [113勧告 放射線診断およびIVRにおける放射線防護教育と訓練 \(2009\)](#)
- [117 勧告 画像診断部門以外で行われるX線透視ガイド下手技における放射線防護 \(2011\)](#)
- [118勧告 組織反応に関するICRP声明 \(2011\)](#)
- [120勧告 心臓病学における放射線防護 \(2013\)](#)
- [121勧告 小児の放射線診断とIVRにおける放射線防護 \(2013\)](#)
- [127勧告 粒子線治療における放射線防護 \(2014\)](#)

[国際原子力機関 IAEA : International Atomic Energy Agency](#)

■ [TECDOC \(技術報告書\)](#)

- [TECDOC No. 1731 Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye \(2013\)](#)

[環境省 放射線による健康影響等に関するポータルサイト](#)

[内閣府 原子力委員会](#)

| [関係法令](#)

[労働安全衛生法](#)

■ [電離放射線障害防止規則](#)

[医療法](#)

■ [同 施行規則](#)

[放射性同位元素等の規制に関する法律](#)

■ [同 施行規則](#)

| [関係学会等ガイドライン](#)

[日本保健物理学会, 眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン \(2020\)](#)

[日本医学放射線学会 他, 医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン\(2020\)](#)

[日本放射線看護学会, 看護職のための眼の水晶体の放射線防護ガイドライン \(2020\)](#)

[日本循環器学会 他, 2021年改訂版 循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン \(2021\)](#)



労災疾病臨床研究事業費補助金  
分担研究報告書

血管造影における3次元散乱線分布の可視化と表示ツールによる比較

研究代表者 藤淵 俊王 九州大学大学院医学研究院保健学部門医用量子線科学分野 教授  
研究協力者 中島 美沙希 九州大学大学院医学系学府保健学専攻医用量子線科学分野

研究要旨

心臓カテーテル検査室内の散乱線分布を把握することは放射線防護対策のために重要である。そこで本研究では、モンテカルロシミュレーションにより計算した様々な条件における検査室内の散乱線ボリュームデータをもとに適切な可視化表現手法について検討した。表現法として、線量プロファイル、2次元断面、3次元散乱線分布、4次元散乱線分布を行った。また、表示ツールは ParaView、ParaViewGlance や ParaViewLite の3つを比較した。モンテカルロシミュレーションコード PHITS を用いて、心臓カテーテル検査室内の散乱線分布を計算し、.VTK ファイルを出力した。それをそれぞれの表示ツールを使って分布を見て、比較した。角度や防護の有無による散乱線分布の違いが確認できた。散乱線分布の可視化により、危険な位置や放射線防護具の適切な配置位置を容易に把握することができた。表示ツールについても特徴を理解し、それぞれの環境に合ったものを使用すべきである。

A. 研究目的

A.1 背景

2011年4月に International Commission on Radiological Protection (ICRP)より、組織反応に関する声明 118[1]が出された。ICRP118の声明前後による計画被ばく状況での職業被ばくの線量限度を表1に示した[1,2]。声明では、計画被ばく状況での職業被ばくについて、眼の水晶体等価線量限度を年間 150 mSv を超えないから定められた5年間の平均で 20 mSv/年かついずれの1年においても 50 mSv を超えないに変更された。このため、水晶体の白内障や発がんのリスクを下

げるためにも適切な放射線防護対策が求められている。放射線診療の中でも、血管造影検査や血管内治療は近年、実施数が増加しており、検査を実施する医療従事者の放射線防護が重要となっている[3]。特に、心臓カテーテル検査の循環器内科の医師は他の医療従事者に比べて、被ばくが多いことが知られている[4]。

X線透視装置の利用で放射線診療従事者の被ばくに寄与するのは、主に患者からの散乱線である[5]。放射線診療従事者の被ばくを減らす方法として、被ばく時間の制限や遮蔽の使用、距離を置くことがある[6]。

これは防護の三原則の時間、距離、遮蔽につながる。中でも、天吊り防護板や防護カーテンのような放射線防護具の有効性が示されている[7,8]。一方で、患者からの散乱線による被ばくは、撮影条件や防護具の条件で大

きく変化する。診療室内の散乱線分布を把握することは適切な放射線防護具の配置や危険な位置からの退避といった放射線防護対策に役立つ。

Table.1 ICRP118 の声明前後による計画被ばく状況での職業被ばくの線量限度

	2007 年勧告	ICRP118 声明発表後
実効線量	定められた 5 年間の平均で 20 mSv/年, かついずれの 1 年においても 50 mSv を超えない <sup>a)</sup>	
眼の水晶体	150 mSv/年	定められた 5 年間の平均で 20 mSv/年, かついずれの 1 年においても 50 mSv を超えない
皮膚 <sup>b,c)</sup>	500 mSv/年	

a) 妊娠女性の職業被ばくには追加の制限が適応される。

b) 実効線量のこの制限は、皮膚の確率的影響に対して十分な防護を与える。

c) 被ばく面積に関係なく、皮膚面積 1 cm<sup>2</sup> 当たりの平均である。

## A.2 放射線防護における可視化研究

放射線防護対策資料として、近年、X線撮影装置による散乱線分布の可視化に関する研究が盛んに行われている[9-11]。散乱線分布を評価する方法として、放射線検出器で複数の点を測定する方法とモンテカルロシミュレーションによって評価する方法がある。散乱線分布を表示する場合、実測では1点だけでなく、複数の位置での測定が必要であり、サーベイメータなどで測定するのは時間がかかり、空間分解能が悪くなる。しかし、モンテカルロシミュレーションでは三次元の線量分布を高い空間分解能で評価することが可能である。そのため、線量評価ツールや散乱線分布表示として多くで用いられている[12-16]。

線量分布については、心臓カテーテル検査室内についても活発に研究されている。しかし、実測の場合、分布が論文により異なる

[17,18]。また、心臓カテーテル検査は他の検査と異なり、様々なCアーム角度による検査を行っている。しかし、シミュレーション研究でもある特定の角度における断面や散乱線分布のみ得られている[16]。そして、術者への線量はCアームの角度によって変化する[19]。そのため、放射線防護対策として多くのCアーム角度における散乱線分布も必要である。加えて、放射線防護教育を目的とした、散乱線の時間変化を示す4次元分布[20]や放射線防護板の位置による術者の低減効果への影響について研究はあまりされていない。

## A.3 表示ツールの説明

1.1 や 1.2 ではオープンソースのマルチプラットフォーム化学分析および可視化ツールの ParaView[21]を用いて、様々な条件における散乱線分布を表示した。様々な操作が

できるという利点はあるが、アプリケーションであるため、インストールを行わなければならないという欠点がある。多くの人に簡単に散乱線分布を表示してもらい、放射線防護について学んでもらいたい。そこで、アプリケーションではなく、Web ブラウザ上で操作できる表示ツールを使用した。今回は ParaViewGlance と ParaviewLite の 2 点である。この 3 つの表示ツールによる比較はされていない。

#### A.4 目的

本研究の目的は、モンテカルロシミュレーションコード PHITS を用いて、心臓カテーテル検査室内における散乱線分布を様々な照射角度、防護の有無による条件で表示し、それに対しての適切な放射線防護方法の検討することである。そして、ParaView、ParaViewGlance、ParaViewLite の 3 つの可視化の表示ツールに対する特徴を提示した。

## B. 研究方法

### B.1 散乱線分布のシミュレーション

本研究ではモンテカルロシミュレーションコード Particle and Heavy Ion Transport code System(PHITS)[ver.3.24][22]を使用した。血管造影検査室は、Sato らが作成したモデル[23]を利用した。血管造影検査室の空間は床が 300×300 cm<sup>2</sup> であり、床から天井の高さは 230 cm であった。この空間には X 線管、X 線源、画像検出器、C アーム、患者、術者を設置した。Source Image receptor Distance(SID)は 105 cm、線源アイソセンタ間距離は 70 cm、床から寝台までの距離は 83 cm、照射野は 15×15 cm<sup>2</sup> に設定した。患者については、ICRP110 の男性のボクセル

ファントム[24]を使用した。照射する X 線光子数は 1×10<sup>10</sup> とし、室内全体の光子フルエンスを 1 辺 2 cm の 3 次元分布として出力した。フルエンスから患者照射基準点を基準とした際の周辺線量当量  $b$  [μSv/Gy]への変換式は下記の式 1 に示した。

$$b = \frac{a \times t}{x} \quad \dots \text{式 1}$$

$a$  は 1 線源あたりのフルエンス [1/cm<sup>2</sup>/source]、 $t$  は ICRP74 の「光子フルエンスから周辺線量当量  $H^*(10)$ への換算係数」[25]、 $x$  は患者照射基準点での空気カーマ [mGy]を示した。分子の  $a \times t$  は 1 線源あたりの周辺線量当量 [pSv/source]を示している。この条件で PHITS により、Visualization Toolkit(VTK)のフォーマットのファイルを出力させた。

臨床現場では、様々な C アーム角度や放射線防護具を使用して、作業を行う。そのため、ここでは、以下の 2.1.1、2.1.2 の条件において計算を行った。

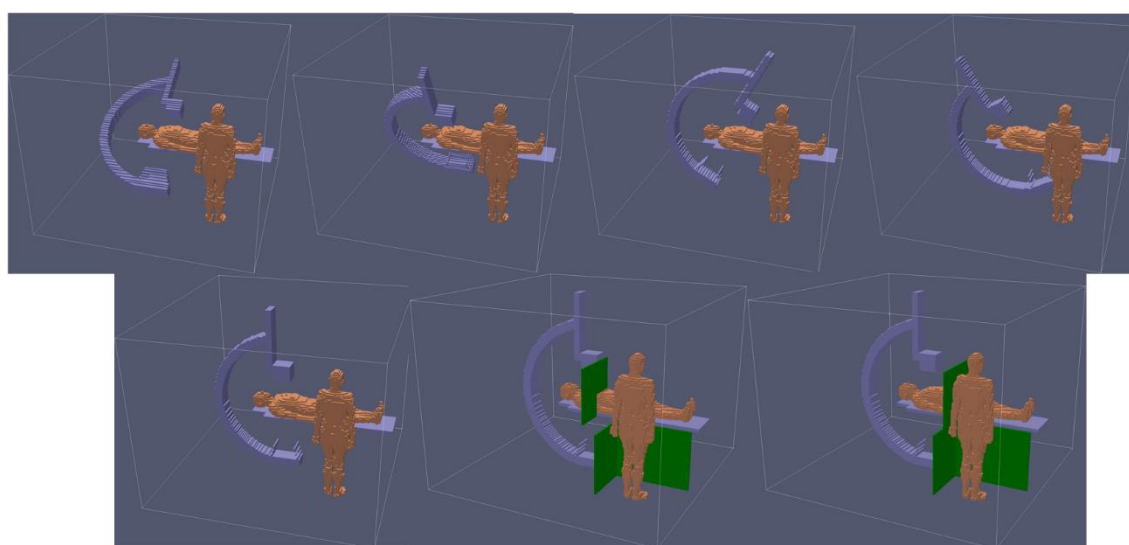
### B.1.1 様々な C アーム角度の透視条件

照射条件としては臨床で用いる角度を想定し、表 2 に 10 種類の角度条件を示した。C アーム角度の LAO 60,RAO 30,CAU 30,CRA 30,PA 条件での傾いている様子を図 1 の a-e に示した。線源は、診断 X 線スペクトル計算ソフトウェアである X-spectrum (2023 年 1 月 13 日時点では X-ray-Spectrum に変更されている) [26]を用い、管電圧 73–85 kV、ターゲット角度 12 度、総濾過 3.4 mmAl + 0.9 mmCu での光子の連続エネルギースペクトルとした。また、C アーム角度によって体厚が変わる。そのため、C アーム角度によって使用した管電圧を表 2 に示す。この管電圧は九州大学病院で使用されてい

る透視条件より引用した。

Table.2 管電圧と C アーム角度

管電圧	C アーム角度
73 kV	Posterior-Anterior view(PA)
77 kV	Right Anterior Oblique position 30(RAO 30)
78 kV	Cranial 30(CRA 30)
81 kV	Left Anterior Oblique position 60(LAO 60)、 Left Anterior Oblique position 60 Caudal 25(LAO 60 CAU 25)
82 kV	Caudal 30(CAU 30)
84 kV	Right Anterior Oblique position 15 Cranial 30(RAO 15 CRA 30)、 Right Anterior Oblique position 30 Caudal 30(RAO 30 CAU 30)、 Right Anterior Oblique position 30 Cranial 30(RAO 30 CRA 30)
85 kV	Left Anterior Oblique position 45 Cranial 25(LAO 45 CRA 25)



a | b | c | d  
e | f | g  
a. LAO60 b. RAO30 c. CAU30 d. CRA30  
e. PA f. PA\_tube side g. PA\_physician side

Figure.1 C アーム角度、放射線防護具による位置関係

a から順に Left Anterior Oblique position 60(LAO60)、Right Anterior Oblique position 30(RAO30)、Caudal 30(CAU 30)、Cranial 30(CRA 30)、Posterior-Anterior view(PA)の5つの条件の C アーム角度の位置関係を示している。ここでは、X 線管、検出器、寝台、C アーム、患者、術者を表示している。

下段には防護具なしの PA、天吊り防護板をアイソセンタ側に近づけ、防護カーテンを置いた時の PA\_tube side 条件、先ほどの天吊り防護板の位置から術者側に 30 cm 移動してかつ、防護カーテンを置いた時の PA\_physician side 条件の3種類を示した。

### B.1.2 術者の位置での放射線防護具の遮蔽効果の検証

放射線防護板の術者への遮蔽効果を検証する上で2通りの角度条件で検証した。ひとつは基準となるPA方向の照射角度で、もう一つは全ての角度の術者の水晶体の位置での線量が高かったLAO 60からの照射角度である。それぞれ、L字型の直角の防護カーテンと天吊り防護板をつけて、散乱線分布を表示した。防護具の位置関係については図1のe-gに示した。これより、防護具なしの時のPA条件、天吊り防護板をアイソセンタ側に近づけ、防護カーテンを置いた時のPA\_tube side条件、先ほどの天吊り防護板の位置から術者側に30 cm移動してかつ、防護カーテンを置いた時のPA\_physician side条件の3種類の位置を示した。天吊り防護板はL型で縦は70 cm、横は65 cmの大きさであり、防護カーテンも同様にL型で寝台に垂直に35 cm、寝台に平行に60 cm、高さは75 cmの大きさである。どちらの防護具も厚さは0.5 mmであり、0.5mm鉛当量である。

### B.2 散乱線分布の表示、評価方法

PHITSでそれぞれ出力した.VTK ファイルを可視化のためのアプリケーションParaView [ver.5.10.0][27]を用いて、仮想空間画面上にX線管、X線源、画像検出器、Cアーム、患者、術者を表示した。ParaViewとはオープンソースのマルチプラットフォーム化学分析および可視化ツールである。術者は患者の鼠径部あたりで手技を行う術者を想定した位置であり、アイソセンタから75 cm足側の位置とした。評価方法として、

それぞれの条件に対し、術者の位置での線量プロファイル、2次元断面、3次元散乱線分布、4次元散乱線分布がある。

線量プロファイルについて、術者の位置で床から高さ200 cmまでの線量をそれぞれの条件で取得し、比較した。

次に2次元断面では以下の3つの断面を表示した。XY断面として、床から95 cmのアイソセンタの位置での断面、床から160 cmの術者の水晶体の位置での断面を示した。また、YZ断面として、アイソセンタから患者の足側に75 cmの位置での断面を示した。これは術者の位置での断面である。2次元断面のカラースケールは全て最小値5、最大値500[ $\mu\text{Sv}/\text{Gy}$ ]とした。

続いて、3次元散乱線分布では患者照射基準点Gyを基準とした際の周辺線量当量 $\mu\text{Sv}$ を出力した。1000[ $\mu\text{Sv}/\text{Gy}$ ]以上を赤色、1000[ $\mu\text{Sv}/\text{Gy}$ ]未満で300[ $\mu\text{Sv}/\text{Gy}$ ]以上を黄色で示した。1000[ $\mu\text{Sv}/\text{Gy}$ ]は術者の位置において、全ての角度で一番線量が高いところ、300[ $\mu\text{Sv}/\text{Gy}$ ]は術者の水晶体の位置で一番高い線量を示している。

最後に4次元散乱線分布について、防護具なしのPAにおける放射線がX線管から放出されてから、8 nsまでの変化を1 nsごとに追った挙動を示した。

同様に、角度別の線量プロファイル、160 cmの位置での2次元断面、95 cmの位置での2次元断面、YZ断面の2次元断面、3次元散乱線分布を示した。そして、防護具の線量プロファイル、160 cmの位置での2次元断面、95 cmの位置での2次元断面、YZ断面の位置での2次元断面、3次元散乱線分布を示した。そして、最後に防護なしの

PA 条件における 4 次元散乱線分布を示した。

### B.3 他の可視化の表示ツール

2.2 の様々な条件における散乱線分布の表示は全て ParaView で行ったが、アプリケーションであるため、インストールしなければならないという欠点がある。その欠点を改善するためにブラウザ上で操作できる ParaViewGlance や ParaViewLite を使用した。それぞれこの 2 つの使い方を下記に説明した。

#### B.3.1 ParaViewGlance

ParaViewGlance[ver.4.20.0][28] は Kitware で開発された軽量のオープンソース Web アプリケーションである。ここでは、ParaView と異なり、.VTK ファイルが対応されていないため、Visualization Toolkit for Javascript(VTK.JS)ファイルに変更する必要がある。作成方法として、上記と同様に PHITS で散乱線分布を計算し、.VTK ファイルを出力した。次にその.VTK ファイルを ParaView に入れ、患者、術者、装置、2次元断面、3次元散乱線分布、患者照射基準点 Gy

を基準とした際の術者の水晶体の位置での周辺線量当量を表示した。その際にデータ容量を減らすために 3D モデリングソフトウェアの Metasequoia[ver.4.8.2][29]で平滑化処理を行った。ファイル容量の比較を表 3 に示した。表 3 には 2 種類の分解能による PHITS で出力した.VTK ファイル、加工無しの VTK.JS ファイル、加工有の VTK.JS ファイルのデータ容量を示した。また、図 2 に分解能による見た目の違いを示した。図 2 は ParaView で分解能が異なる.VTK ファイルを表示しているものであり、ファイルサイズは大きく変わるが、見た目はあまり変わらないことが分かる。また、ファイルサイズについては重いほど、動きにくくなる。そのため、本研究では表の中で一番小さい 3,690 KB の間隔が 2 cm の加工を行った VTK.JS ファイルを使用した。最後に、再度、ParaView に入れ、全てを一つの VTK.JS ファイルとして出力した。その VTK.JS ファイルを ParaViewGlance に入れ、検討した。使用方法としては ParaViewGlance にアクセスし、作成した VTK.JS ファイルをインポートして表示した。

Table.3 ファイル容量の比較

	PHITS の出力における散乱線分布の分解能	
	1 cm 間隔	2 cm 間隔
.VTK file	431,927 KB	53,999 KB
VTK.JS (加工無し)	35,000 KB	3,904 KB
VTK.JS (加工有)	-	3,690 KB

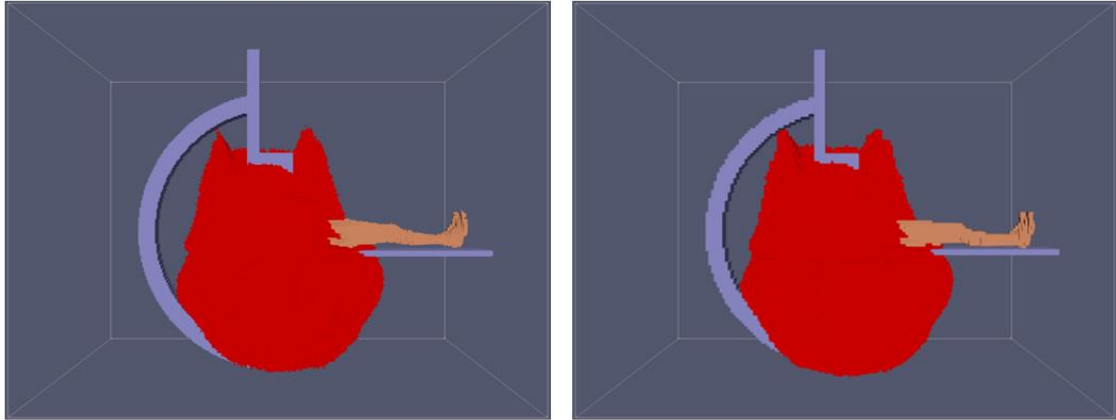


Figure.2 分解能による見た目の違い  
(左：間隔が 1 cm、右：間隔が 2 cm)

### B.3.2 ParaViewLite

ParaViewLite[30][31]とは、ParaView サーバーに接続して、データ処理と可視化を実行するクライアントアプリケーションである。図 3 にはこの仕組みを示した。ここでのサーバーはデータや情報などのコンテンツを提供するコンピュータであり、ここでのクライアントはそのコンテンツを受け取る側である。そのため、クライアント、利用者が Paraview サーバーにアクセスすることで Web ブラウザ上において Paraview と同等の操作ができる。この ParaViewLite では 2 種類のファイルを使用した。一つは ParaView と同様に 3 次元空間の情報を持っている.VTK ファイルであり、もう一つは ParaView state file(PVSM)ファイルである。これは ParaView 内で設定した条件を ParaViewLite で表示できるように保存した。そのため、これらのファイルで表示するためには事前に ParaView を用いて、作成しな

ければいけない。まず、.VTK ファイルを ParaView に入れ、そこから患者や散乱線分布等の表示したいものを作成し、選択した。この.VTK ファイルから上記のような条件で表示するという設定を保存するのが PVSM ファイルである。そのため、ParaViewLite で表示するためには PVSM ファイルが持っている条件を.VTK ファイルから持ってきて表示するという仕組みである。ParaViewLite で操作するためには ParaviewLite が搭載された PC で規定されている IP アドレスを自分自身が使用したい PC に入力することで繋がり、使用することが可能である。

(倫理面への配慮)

本研究では、ヒトに関するデータを使用することはなく、倫理面への配慮に関する項目はない。

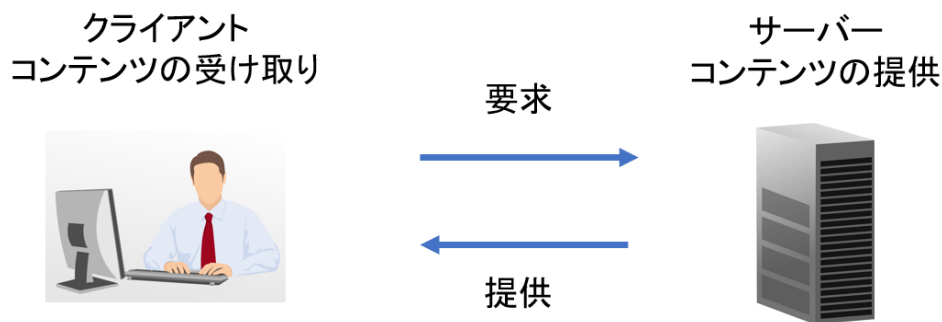


Figure.3 クライアントアプリケーションシステム

## C. 結果

### C.1 様々なCアーム角度の透視条件

図4に角度別の術者の位置での線量プロファイルを示した。縦軸は患者照射基準点を基準とした際の術者の位置での周辺線量当量を示し、横軸は術者の位置での床からの高さを示した。これより、測定では難しい複数の高さでの線量、様々な条件との比較を見ることができた。また、術者の足側ではLAO 45CRA 25条件での線量が高かった。70 cmには放射線感受性が高い生殖腺がある高さとなり、その高さではLAO 45CRA 25条件とLAO 60条件の角度が高かった。反対に水晶体の位置、160 cmの位置ではLAO 60CAU 25条件、LAO 60条件、PA条件の方向で高くなっていた。術者の位置での床から120 cm以降のLAO 60CAU 25条件やLAO 60条件では、線量が減っているのが分かった。しかし、同じく術者の位置での床から120 cm以降のPA条件やCAU 30条件ではある位置で急激に線量が高くなっていた。

図5にXY断面の床から160 cmの水晶体の位置での断面、図6にXY断面の床から

95 cmのアイソセンタの位置での断面、そして、図7にYZ断面のアイソセンタから患者の足側に75 cmの位置での断面を示した。図より、術者と装置の位置関係とともに角度による散乱線分布の広がりを確認することができた。2次元断面から、Cアーム角度により、X線の進行方向上の位置に患者による減弱が影のように現れた。LAO方向とRAO方向を比べると、術者の位置では、LAO方向の方が高線量となり、それは患者の減弱がないことによる。また、それぞれのCアーム角度において、X線管近傍では線量が高くなる傾向がみられた。

図8に3次元散乱線分布を示した。3次元散乱線分布より、LAO 60条件では術者の位置の頭頸部の辺りまで、300[ $\mu$ Sv/Gy]の散乱線分布が広がっている。また、3次元散乱線分布より、CRA 30条件の時、PA条件やCAU 30条件の時と比べて、散乱線分布が術者にあまりかかっていない。しかし、2次元断面をみると、CAU 30条件は患者として使った人体ファントムの腹部と腕の隙間によって患者の減弱を受けなかった。



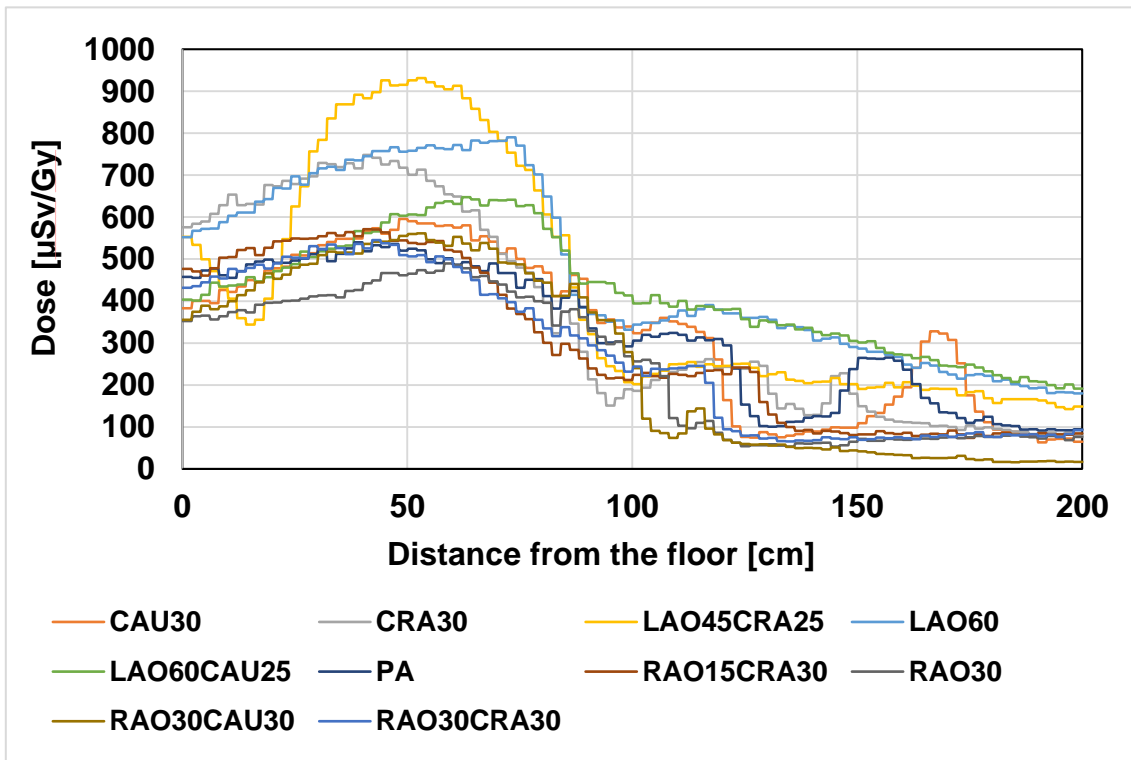


Figure.4 角度別の術者の位置での線量プロファイル  
 縦軸は患者照射基準点を基準とした際の術者の位置での周辺線量当量を示し、横軸は術者の位置での床から 200 cm までの高さを示した。角度は 10 種類の角度で比較を行った。

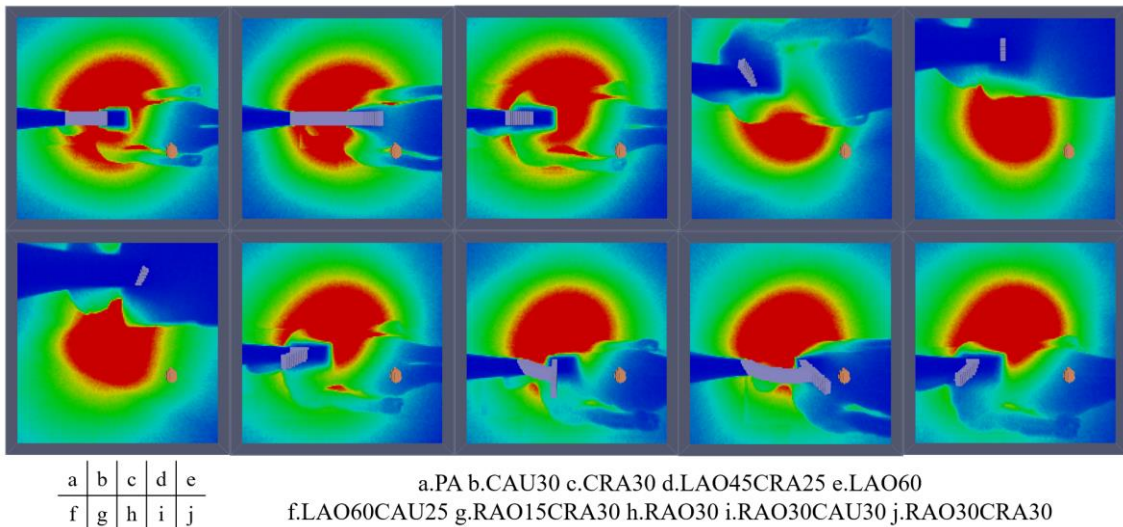
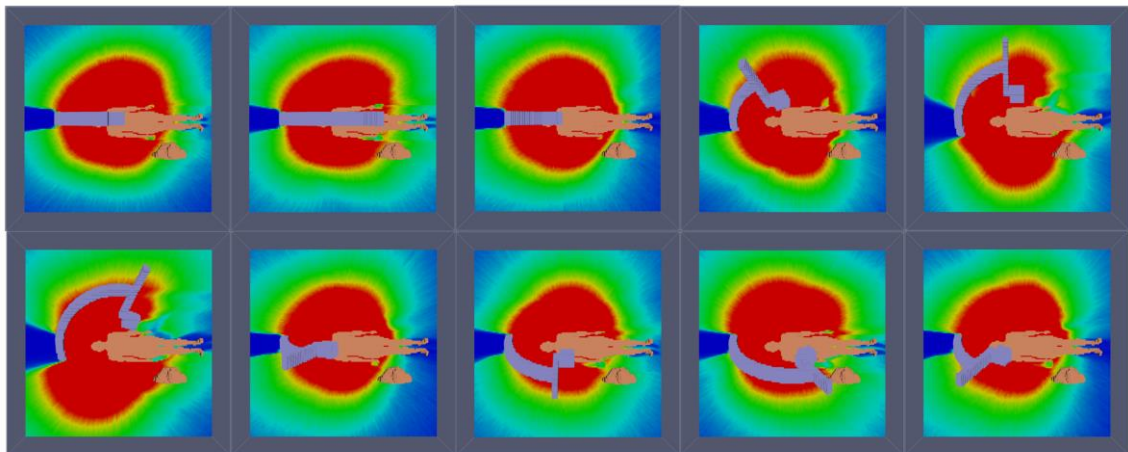
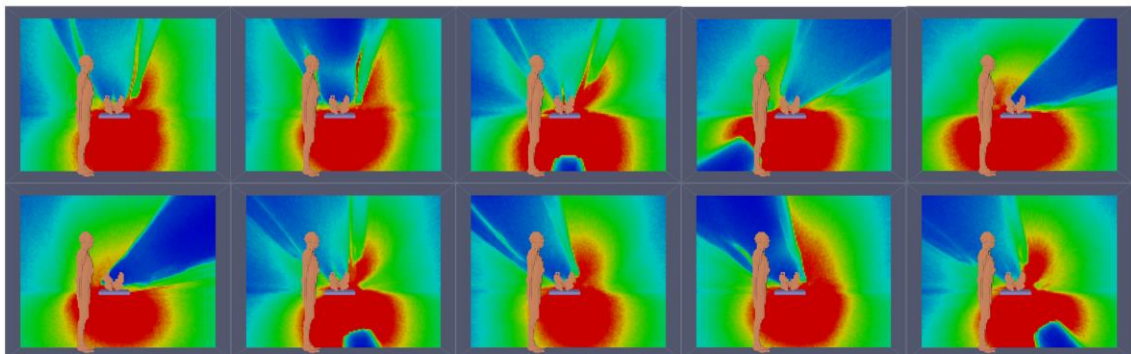


Figure.5 XY 断面の床から 160 cm の水晶体の位置での断面



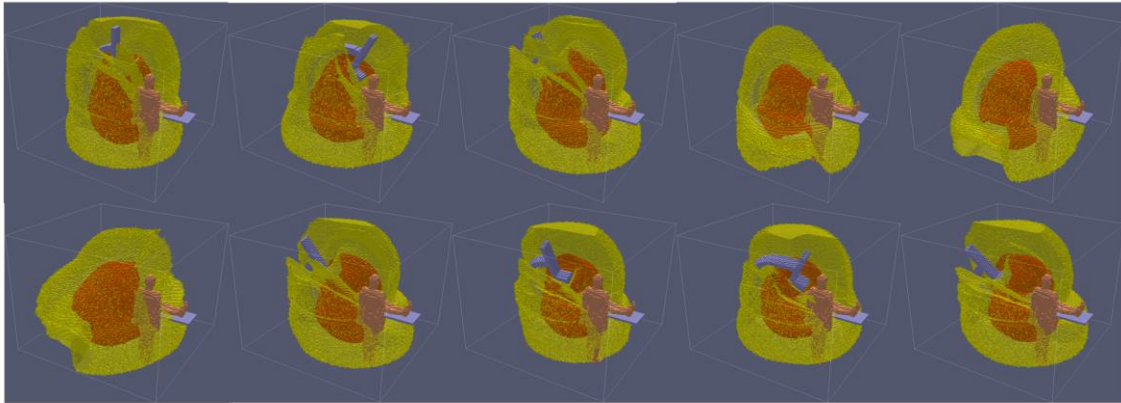
a	b	c	d	e	
f	g	h	i	j	a.PA b.CAU30 c.CRA30 d.LAO45CRA25 e.LAO60 f.LAO60CAU25 g.RAO15CRA30 h.RAO30 i.RAO30CAU30 j.RAO30CRA30

Figure.6 XY断面の床から95cmのアイソセンタの位置での断面



a	b	c	d	e	
f	g	h	i	j	a.PA b.CAU30 c.CRA30 d.LAO45CRA25 e.LAO60 f.LAO60CAU25 g.RAO15CRA30 h.RAO30 i.RAO30CAU30 j.RAO30CRA30

Figure.7 アイソセンタから患者の足側に75cmの位置での断面



a	b	c	d	e	
f	g	h	i	j	

a.PA b.CAU30 c.CRA30 d.LAO45CRA25 e.LAO60  
f.LAO60CAU25 g.RAO15CRA30 h.RAO30 i.RAO30CAU30 j.RAO30CRA30

Figure.8 3次元散乱線分布

## C.2 術者の位置での放射線防護具の遮蔽効果の検証

放射線防護具の遮蔽効果の結果を示した。まず、防護有の PA における線量プロファイルを図 9 に示した。図より、放射線感受性が高い生殖腺があるあたりの 80 cm 前後では防護カーテンにより大幅に線量が低減していた。また、水晶体の位置がある 160 cm の位置では PA 条件と PA\_tube side 条件はあまり変わらず、約 17% の低減だった。しかし、PA\_physician side 条件では約 95 % の低減しており、防護板を術者に近づけて設置した方が大きな防護効果が見られた。PA\_tube side 条件のように隙間があると、あらゆる角度から散乱線が入ってきて、このような結果となる。また、放射線防護具を付けた際に放射線防護具がない時より、全体的に線量が下がっているが、術者の位置での 90cm、120cm、150cm のあたりでは線量が高くなっていた。

次に防護有の LAO60 における線量プロファイルを図 10 に示した。放射線感受性が高い生殖腺があるあたりの 80 cm 前後では

防護カーテンにより大幅に線量が低減しているのが分かる。また、水晶体の位置がある 160 cm の位置では LAO60 条件と比べて LAO60\_tube side 条件は約 47 % 低減した。LAO60\_physician side 条件では約 97 % の低減しており、防護板を術者に近づけて設置した方が大きな防護効果が見られた。そのため、意識的に放射線防護板を近づけることで散乱線漏洩を減らすことができる。

PA 条件における術者の位置での 3 点の上昇に関わる様々な 2 次元断面を図 11 に示した。図 11 の a,d に寝台に平行かつ術者の位置を通る断面を示した。これより、図 9 の 90 cm の位置での線量の上昇は放射線防護板と防護カーテンの隙間によるものだと考えられる。次に図 11 の b,e にアイソセンタと術者の位置を通る断面を示した。患者から外側に 2 本の線が伸びている。これは、防護板と患者の隙間からもれた散乱線を示す。この散乱線で図 9 の 120 cm と 150 cm の位置での線量の上昇につながる事が分かった。そして、図 11 の c,f と本研究で使用した人体ファントムより、150 cm の位置

による線量は患者の腰と腕の隙間よりもれた散乱線とみられる。

続いて、図 12 に防護具をつけた際の PA、LAO 60 条件の床から 95 cm の術者の位置での 2 次元断面、図 13 に同様に防護具をつけた際の PA、LAO 60 条件の床から 160 cm の術者の位置での 2 次元断面、図 14 に防護具を付けた際の PA、LAO 60 条件の YZ 断面のアイソセンタから患者の足側に 75 cm の位置での 2 次元断面を示した。図 12.13.14 より、適切な放射線防護具の配置とともに角度による散乱線分布の広がりが得られた。PA、LAO60 条件ともに防護板の位置によって、術者の位置での線量に変化した。防護板を術者により近づけることで術者の位置での線量が低減されている。これは、防護板と術者の間に距離があることで、様々な方向から散乱線が到達してしまうことを示す。そのため、術者にできる限り近くに置くことによって、高い放射線防護対策ができる。そして、図 14 より術者の水晶体の位置より、足側の線量が後方散乱によって高くなっていた。しかし、散乱線源と術者の間に防護カーテンを置いたことにより、高い防護効果が見られた。

図 15 に PA\_tube side 条件と PA\_physician side 条件の 3 次元散乱線分布を示した。図 15 より、様々な視点から散乱線の広がりや防護具による散乱線分布の広がりの抑制を確認することができた。術者の足側は防護カーテンによる高い防護効果があると分かった。防護板については術者の水晶体の位置での PA\_tube side 条件と比べて、PA\_physician side 条件で高い防護効果がみられた。

図 16 に PA 条件の患者の心臓と術者を通る断面における 4 次元散乱線分布から得られた結果を示す。X 線照射から 8 ns まで 1 ns ごとの結果を 2 次元断面図として示した。図 16 より、散乱線分布の時系列での広がり方を見るのが可能である。ここでは患者の心臓と術者を通る断面においての時系列を示している。スケールは 2 次元断面と同様に 5-500[ $\mu\text{Sv/Gy}$ ]としている。これより、X 線管から放出した放射線は患者や寝台に当たり、患者による後方散乱が術者に影響を与えていた。そして、術者の頭側より足側に散乱線分布が広がっており、散乱線源を中心に広がっているのが見られた。

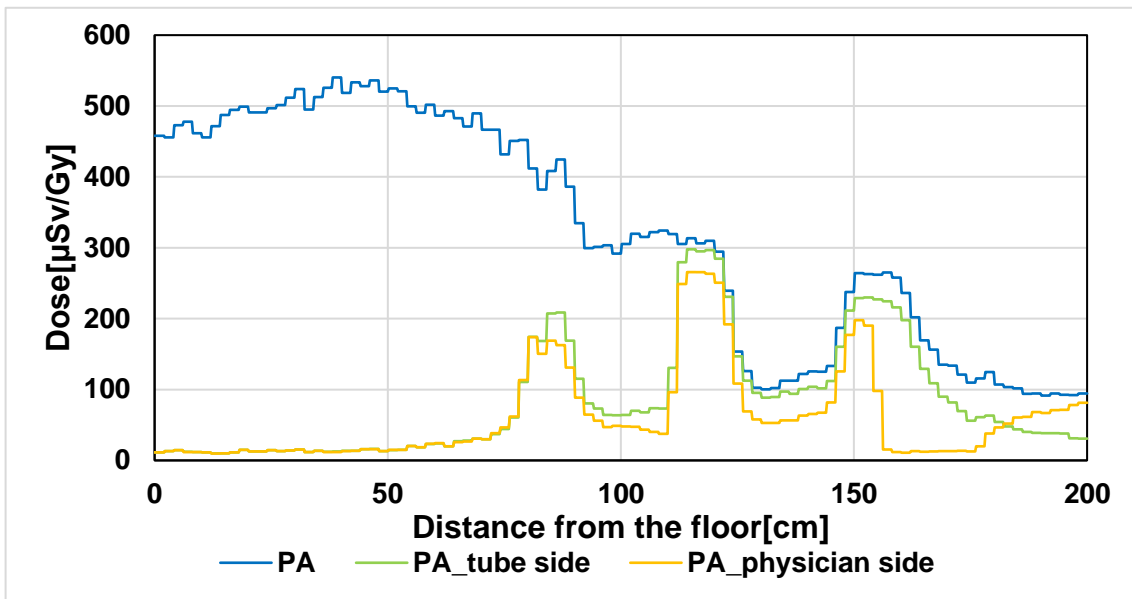


Figure.9 防護有の PA における線量プロファイル

縦軸は患者照射基準点を基準とした際の術者の位置での周辺線量当量を示し、横軸は術者の位置での床から 200 cm までの高さを示した。PA、PA\_tube side、PA\_physician side の 3 種類の条件で比較を行った。

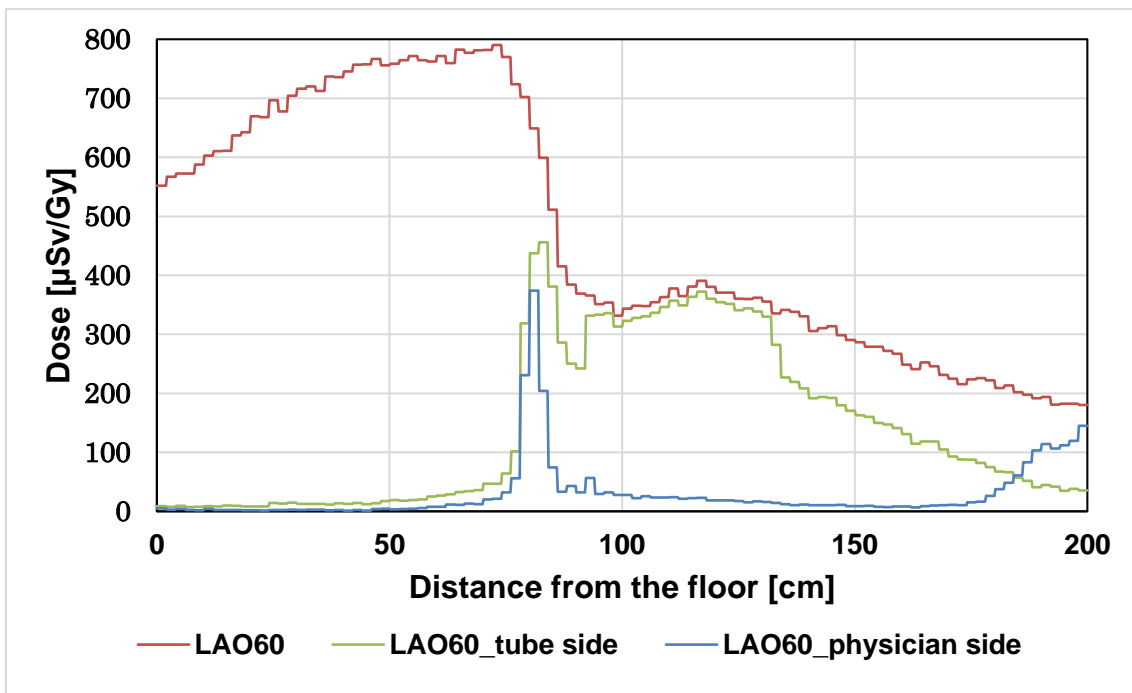


Figure.10 防護有の LAO60 における線量プロファイル

縦軸は患者照射基準点を基準とした際の術者の位置での周辺線量当量を示し、横軸は術者の位置での床から 200 cm までの高さを示した。LAO60、LAO60\_tube side、LAO60\_physician side の 3 種類の条件で比較を行った。

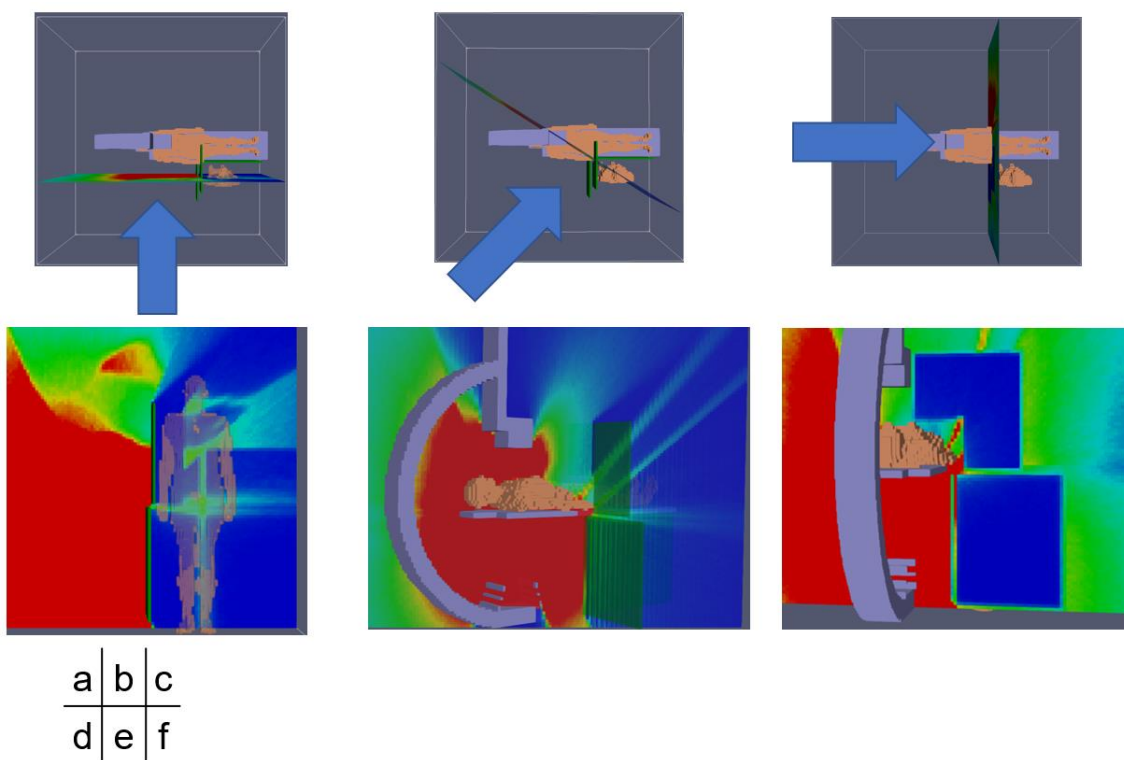
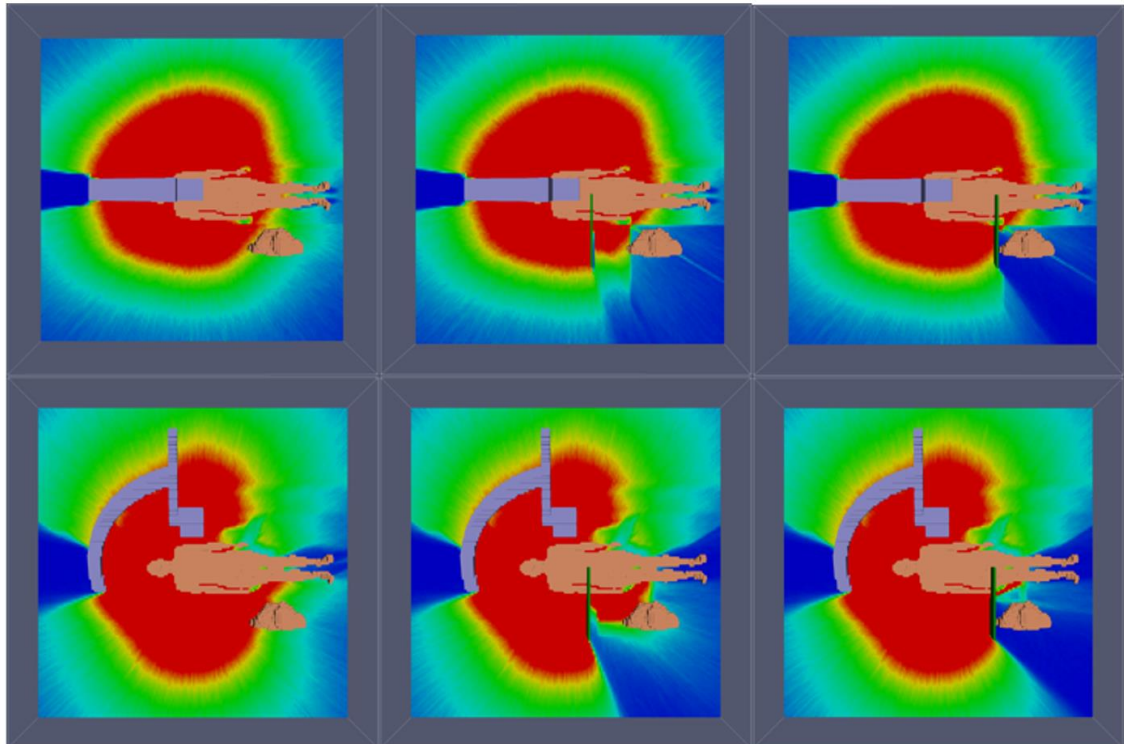


Figure.11 様々な2次元断面の表示

(a)天井から見て寝台に平行かつ術者の位置を通る2次元断面の位置 (b)天井から見てアイソセンタと術者を通る2次元断面の位置 (c)天井から見て放射線防護板と同じ位置のアイソセンタと術者を通る2次元断面の位置 (d) 天井から見て寝台に平行かつ術者の位置を通る2次元断面 (e)天井から見てアイソセンタと術者を通る2次元断面 (f)天井から見て放射線防護板と同じ位置のアイソセンタと術者を通る2次元断面



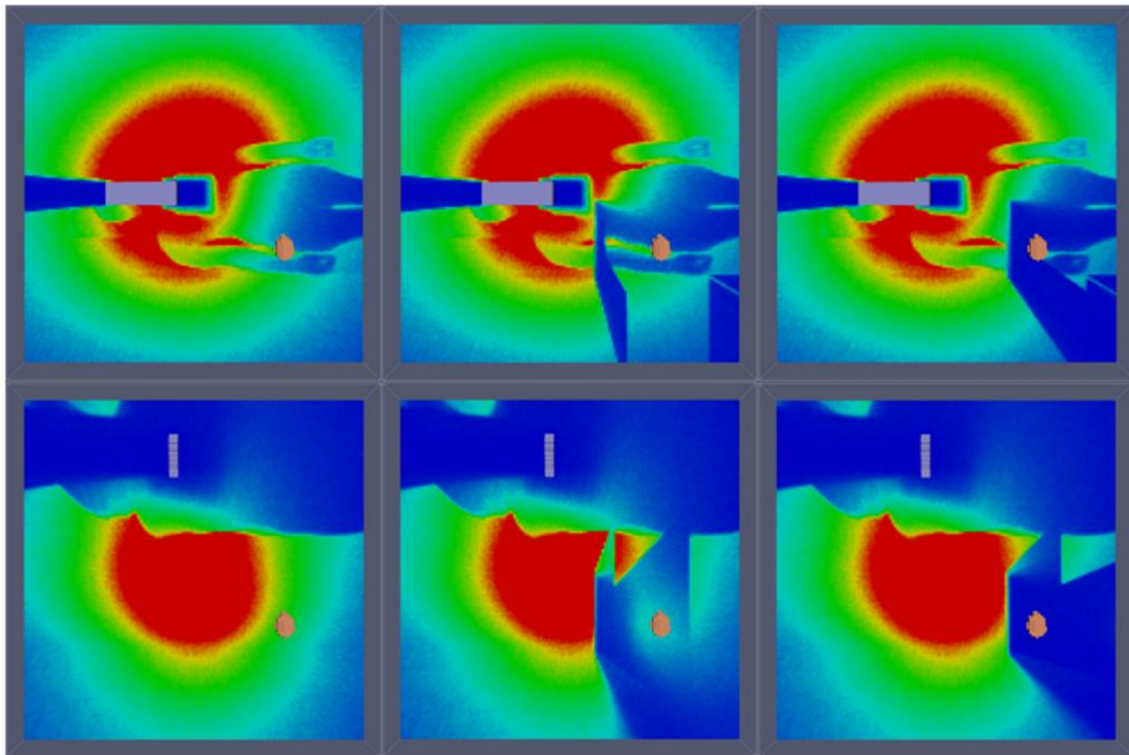


a	b	c	a. PA	b. PA_tube side	c. PA_physician side
d	e	f	d. LAO60	e. LAO60_tube side	f. LAO60_physician side

Figure.12 防護具をつけた際の PA、LAO 60 条件の床から 95 cm の術者の位置での 2 次元断面

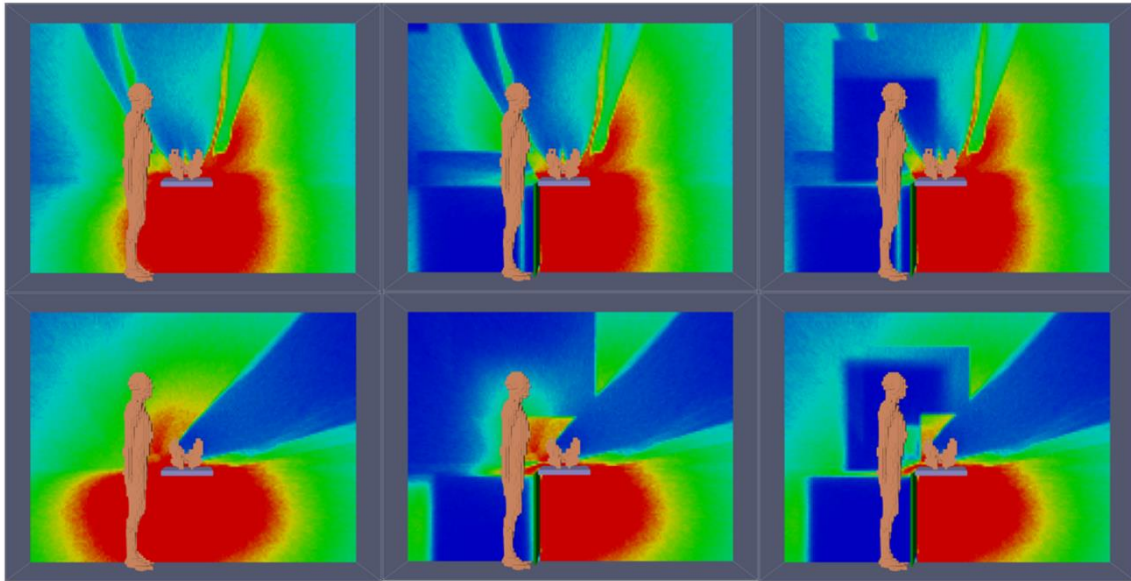
防護具をつけた際の床から 95 cm の術者の位置での 2 次元断面上段に PA、下段に LAO60 の防護無し、防護有の 2 次元断面を示した。カラースケールは 5 - 500[ $\mu$ Sv/Gy]とした。





a	b	c	a. PA	b. PA_tube side	c. PA_physician side
d	e	f	d. LAO60	e. LAO60_tube side	f. LAO60_physician side

Figure.13 防護具をつけた際の床から 160 cm の術者の位置での 2 次元断面  
 上段に PA、下段に LAO60 の防護無し、防護有の 2 次元断面を示した。カラースケールは 5  
 - 500[ $\mu\text{Sv}/\text{Gy}$ ]とした。

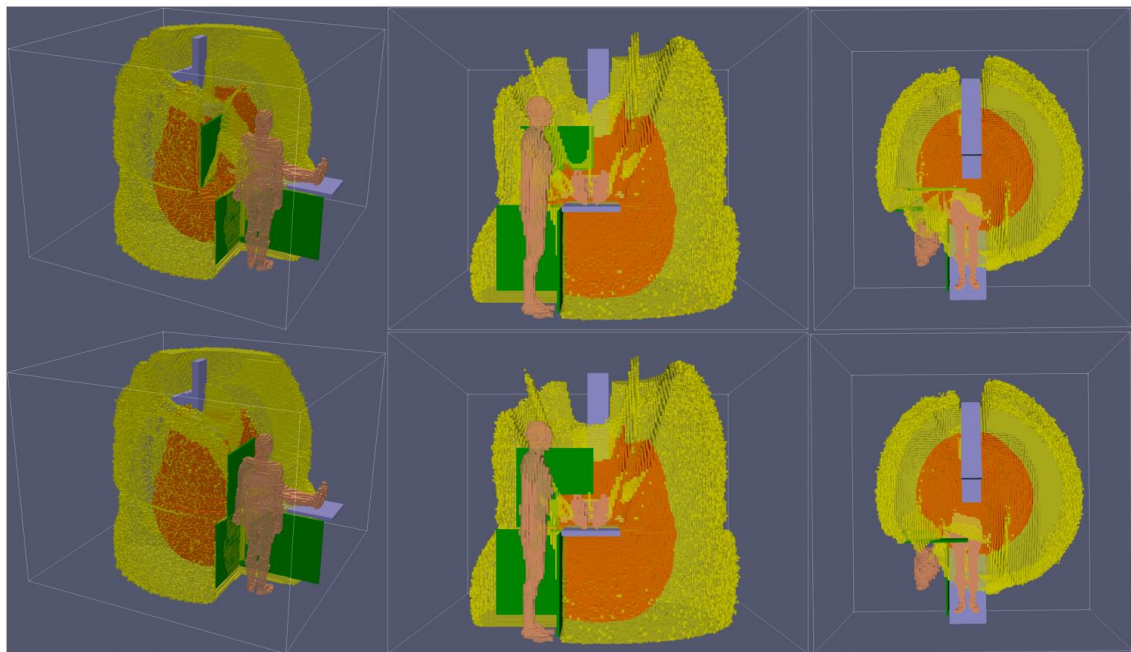


a	b	c
d	e	f

a. PA b. PA\_tube side c. PA\_physician side  
d. LAO60 e. LAO60\_tube side f. LAO60\_physician side

Figure.14 防護具をつけた際のYZ断面のアイソセンタから患者の足側に75cmの位置での2次元断面

上段にPA、下段にLAO 60の防護無し、防護有の2次元断面を示した。カラースケールは5-500[μSv/Gy]とした。



a	b	c
d	e	f

a. PA\_tube side b. PA\_tube side c. PA\_tube side  
d. PA\_physician side e. PA\_physician side f. PA\_physician side

Figure.15 防護具をつけた際の3次元散乱線分布

上段にPA\_tube side条件、下段にPA\_physician side条件の3次元散乱線分布を示した。

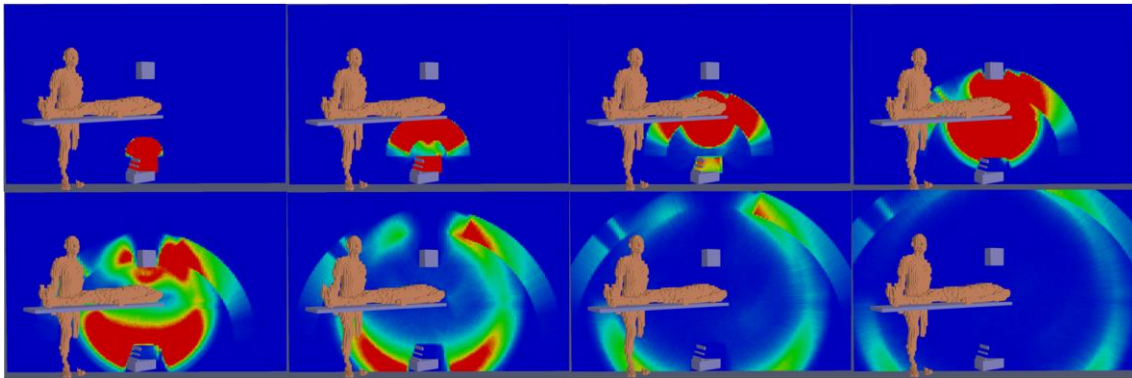


Figure.16 患者と術者を通る断面における4次元散乱線分布

防護具なしのPAにおける放射線がX線管から放出されてから、8 ns までの変化を1 ns ごとに追った挙動を左上から順に示した。

### C.3 ParaView

方法の 2.1 と 2.2 の条件では表示を ParaView で行った。図 17 に ParaView の操作画面を示した。ParaView のアプリケーションを開き、表示したい.VTK ファイルを入れることで図 17 のような画面を見ることができた。3.1 や 3.2 で紹介したようにこの ParaView では線量プロファイル、2次元断面、3次元散乱線分布、4次元散乱線分布を表示することができた。線量プロファイルからはある特定の位置の患者照射基準点を

基準とした際の周辺線当量の数値をみることができた。2次元断面、3次元散乱線分布、4次元散乱線分布ではカラースケールや透明度で表示や変更、異なる条件の表示に関しては同画面上で表示することもできるため、自分自身が見易いように設定が可能である。図の左側にある赤枠は表示物であり、画面上に表示したいものを任意に選択することができ、また、追加したい表示物があった際はいつでも作成することが可能であった。

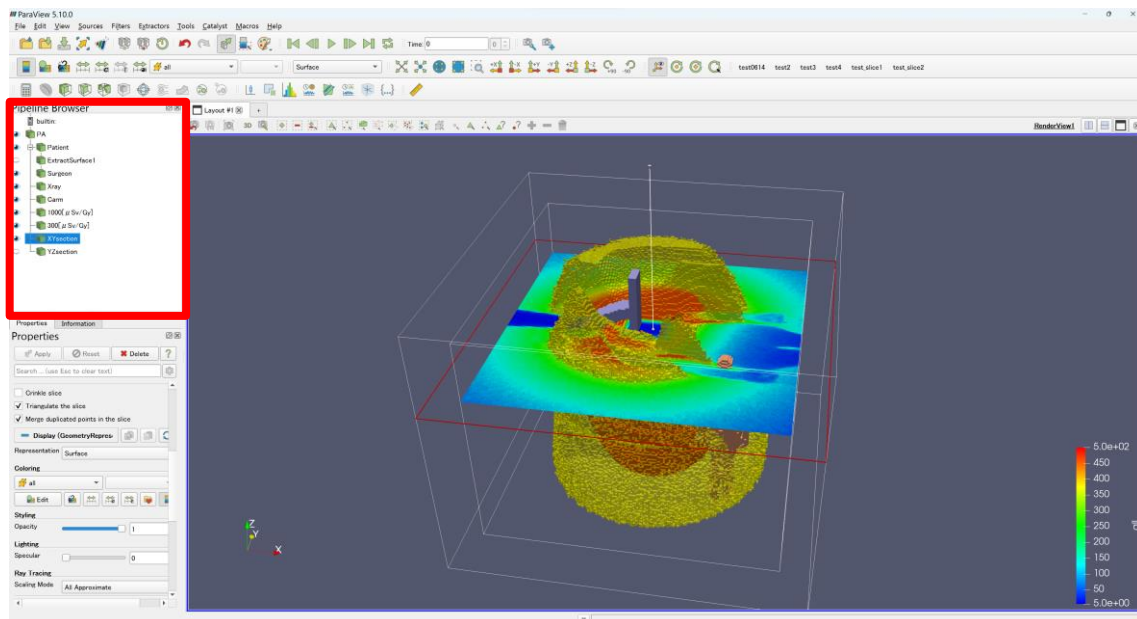


Figure.17 ParaView の操作画面

#### C.4 ParaViewGlance

図 18 に ParaViewGlance の操作画面を示した。図より、Web ブラウザ上で操作できていることが分かった。図の左側にある赤枠は表示物である。ParaView と同様に画面上に表示したいものを任意に選択することができ、様々な視点から表示物を確認できた。また、図のようにマルチディスプレイ表示が可能である。この ParaViewGlance では事前に ParaView で設定して作成した

VTK.JS ファイルを用いて、2次元断面や3次元散乱線分布を Web ブラウザ上で表示することができた。ParaView と同様にカラースケールや透明度の変更や同画面上での異なる条件の表示も行うことができた。また、術者の右上に患者照射基準点を基準とした際の術者の水晶体の位置での周辺線量当量が表示された。これより、素早く線量を確認することが可能である。

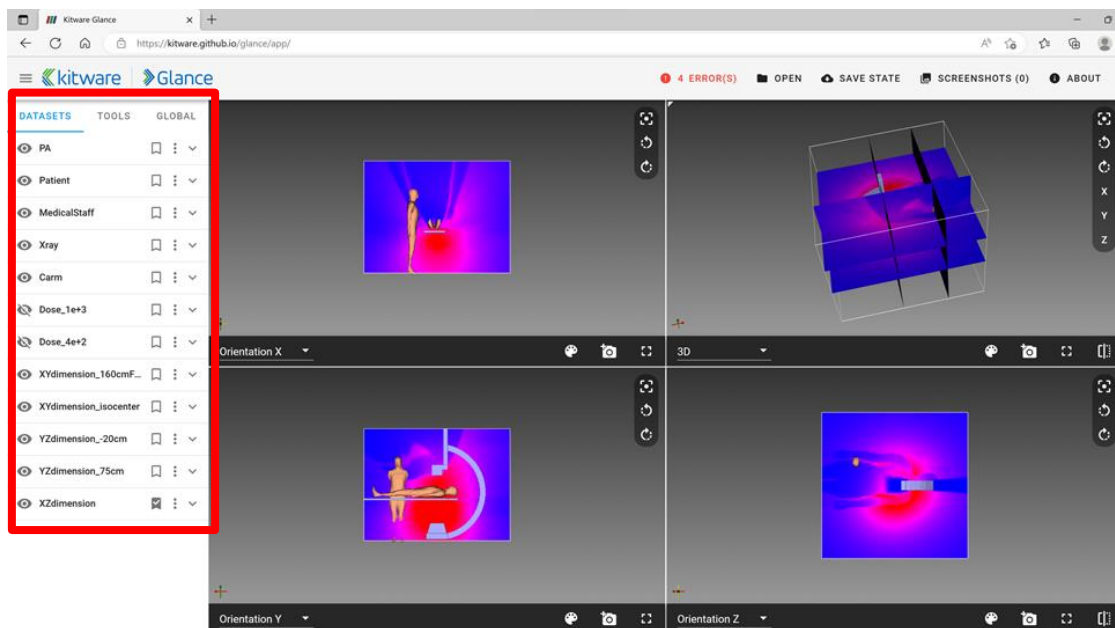


Figure.18 ParaViewGlance の操作画面  
左側の赤枠は表示物を示している。



## C.5 ParaViewLite

図 19 に ParaViewLite の操作画面を示した。図より、Web ブラウザ上で操作できていることが確認できた。また、特定のファイルを開くためには画面上にある file より、表示したい.VTK ファイルとそれに対応した PVSM ファイルを開く必要がある。その時に上手く表示されないこともあるが、リロードを行うと、表示したい条件の散乱線分布を見ることができた。先ほどと同様に図の左側の赤枠は表示物である。これより、画面上に任意に表示物を選択することが可能

である。また、表示したものの色や透明度も変更することができ、ParaView や ParaViewGlance と同様に様々な視点から表示物を確認できた。この ParaViewLite では ParaView と同様に 2 次元断面を任意で選択し、様々な位置の断面を観察することができた。図 14 の左下の青枠は二次元断面の位置を操作するスケールバーである。これ以外にも数値入力によって動かすことや XZ 断面から XY 断面と任意の断面に変更することもでき、自分自身が見やすいように設定ができた。

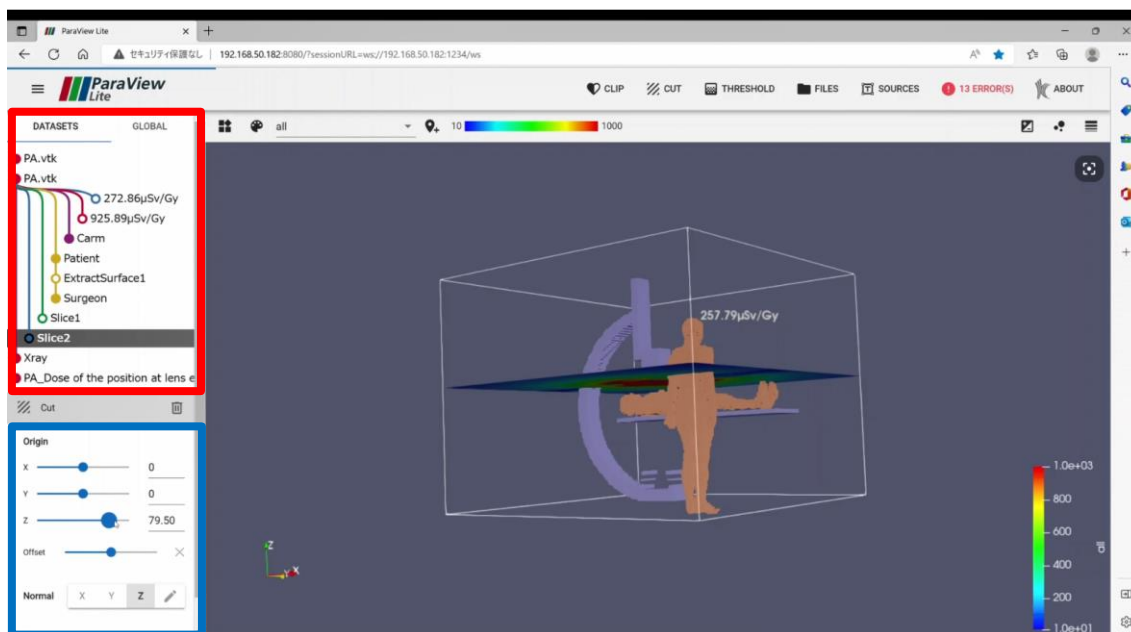


Figure.19 ParaViewLite の操作画面

左側の赤枠は表示物を示している。その下にある青枠は 2 次元断面のスケールバーを示している。

## C.6 可視化の表示ツールによる比較

本研究では 3.3 - 3.5 の 3 つの表示ツールによる可視化を行った。3 つの可視化の表示ツールの特徴を表 4 に示した。

まず、ParaView、ParaViewGlance、ParaViewLite の 3 つの可視化の表示ツールに関する共通点を示した。それは 2 次元断面や 3 次元散乱線分布の表示が可能なことであり、これによるカラースケールや透明度の変更を行うことができた。また、画面上に表示したいものを任意に選択でき、様々な視点から表示物を確認することができるため、自分自身が見易いように設定することができた。異なる条件の表示に関しては同画面上で表示することができるため、他の条件との比較がしやすいという点があった。これより、どの表示ツールも様々な視点移動や散乱線分布に対して見やすいように設定ができるという共通事項があると分かった。

次にそれぞれの可視化の表示ツールに関する特徴を下記に示した。ParaView は本研究で紹介した表示ツールの中で唯一インストールしなければならないアプリケーションである。そのため、使用者が持っているデバイスの OS が全て対応しているとは限らないことが欠点としてあげられる。また、装置や分布を表示する際の設定が複雑という点もあるが、線量プロファイルから 4 次元散乱線分布と様々な可視化表示ができることや追加したい表示物や分布があった際はすぐに作成し、表示することができるという利点もある。

続いて、ParaViewGlance についてである。この表示ツールが ParaView と大きく異なる点は Web ブラウザ上で操作するものか、ア

プリケーションで操作するものかということである。ParaViewGlance は ParaView と異なり、Web ブラウザ上で操作ができた。ほかの利点としては、マルチディスプレイ表示が可能であり、また、ParaView のように複雑な操作がなく、表示の切り替えのみでみることができ、ParaViewLite よりも簡易的で分かりやすい点があげられる。そのため、特定の散乱線分布のみの表示しかできず、また、2 次元断面に関しては ParaView と異なり、事前に設定した断面しか表示することができないことが欠点としてあげられる。また、ここで使用される VTK.JS ファイルは ParaView で作成しなければならないいけないということも欠点としてあげられる。

最後に ParaViewLite についてである。これが ParaView と異なることは ParaViewGlance と同様にアプリケーションではなく、Web ブラウザ上での操作が可能なことである。また、ParaViewLite が ParaViewGlance と異なることは ParaView と同様に VTK ファイルを用いるため、2 次元断面において任意の断面を表示することが可能である。2 つの表示ツールの利点を持っているため、誰でもブラウザ上で使用者自身が見易いように ParaView と同様の機能である任意の 2 次元断面を表示でき、表示の切り替えのみでみる事が可能である。しかし、この欠点としては ParaViewGlance と同様に PVSM ファイルを ParaView で作成しなければいけないということに加えて、この作成を ParaViewLite が搭載されている PC で作成しなければならない点があげられる。また、現時点ではセキュリティの問題により、アクセスできる範囲を制限している。そのため、使用範囲が限られることが欠



点としてあげられる。しかし、セキュリティ される。  
 対策を行うことで使用範囲が広がると考え

Table.4 表示ツールの特徴

	ParaView	ParaViewGlance	ParaViewLite
共通 事項		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2次元断面、3次元散乱線分布の表示可能</li> <li>・ カラースケールや透明度の変更可能</li> <li>・ 画面上に表示したいものを任意に選択可能</li> <li>・ 様々な視点から観察可能</li> <li>・ 同画面で異なる条件を表示可能</li> </ul>	
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 線量プロファイル、4次元散乱線分布の表示可能</li> <li>・ 任意の2次元断面、3次元散乱線分布の表示</li> <li>・ 表示物の追加</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Webブラウザ</li> <li>・ 簡易的な操作</li> <li>・ 即座に表示可能</li> <li>・ マルチディスプレイ可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Webブラウザ</li> <li>・ 任意の2次元断面の表示</li> <li>・ 即座に表示可能</li> </ul>
短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ インストールが必要</li> <li>・ 装置や分布を表示する際の設定が複雑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特定の2次元断面や散乱線分布やの表示</li> <li>・ 事前に表示したいVTK. JSファイルの作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事前に表示したいPVSMファイルの作成</li> <li>・ 搭載されているPC上での作成</li> <li>・ 使用範囲の制限</li> </ul>

## D. 考察

### D.1 様々なCアーム角度の透視条件

角度別の散乱線分布について、術者の位置のアイソセンタや水晶体の高さでは、RAO方向よりもLAO方向の方の線量が高かった。これについては3点の要因が考えられる。1点目はX線管からの漏れ線量である。LAO方向のX線管が術者に近く、RAO方向よりも影響を受けやすい。2点目は散乱線の発生源が近いことである。先ほどと同様にLAO方向のほうが術者側にX線があたりやすい。そして、3点目は患者による減弱の影響である。多くの図にある患

者による減弱の影響より、術者の水晶体の位置でのLAO方向はその影響を受けていないため、線量が高かったとみられる。

また、グラフより、120cm以降でLAO60やLAO60CAU25条件は線量が低下しており、これは散乱線源から離れて散乱線が減弱していることによると考えられる。反対に、PAやCAU30ではある位置で急激に線量が高くなった。これは、図5のa,bより、術者の位置では患者から発生した散乱線が患者の腹部と腕の間を通り、その患者による減弱効果がない場所だったため、このような結果になったと考えられる。

様々なCアーム角度によって、散乱線分布だけでなく、患者による減弱の位置も変化する。また、線量プロファイルからも術者の足側の線量が高かった。そのため、1角度だけでなく、様々なCアーム角度における散乱線分布を把握し、立ち位置や放射線防護具の使用方法を考えるべきだと考えられる。

## D.2 術者の位置での放射線防護具の遮蔽効果の検証

放射線防護具の設置によって、放射線防護具がない状態より、術者の位置での線量が低減した。主に術者の足側は防護カーテン、術者の水晶体の位置では放射線防護板により散乱線が遮蔽された。また、本研究でPAとLAO 60条件の2種類で行ったが、どちらともに放射線防護具による高い防護効果が見られた。これより、どの角度においても放射線防護具による効果があるといえる。しかし、放射線防護効果をより高めるには「隙間」が重要である。放射線防護板を術者の近くに置き、できる限り放射線防護板と術者との隙間をなくすこと。これに加えて、これらの隙間も重要である。図11より、放射線防護板と防護カーテンによる隙間や放射線防護板と患者による隙間も術者に対して影響を与えると分かった。そのため、放射線防護板の下に防護カーテンがついているものや放射線防護板を患者に近づけるなどの対策がより高い防護効果につながると考えられる。

## D.3 可視化表示による意義

本研究では様々な可視化表示を行って、放射線防護対策を示した。これらの意義を下記に示した。

まず、線量プロファイルの利点については他の角度や条件との比較が容易であることや実測では難しい線量の数値が詳細に分かることがあげられる。しかし、図9.10の線量プロファイル結果であったようになぜこのようなプロファイルになったのかという理由を得るのは難しい。その時に用いるのが2次元断面である。これでは先ほどのように線量プロファイルを調べる際の任意断面表示や今回の術者とは異なる位置にいるときの線量指標を分布として容易に得ることができる。また、3次元散乱線分布では立体表示であり、多方向から散乱線分布の広がりを素早く把握することができる。そのため、どのあたりの線量が高いのか、隙間があれば、どのくらいの散乱線が広がっているのかを理解することができる。しかし、これらの広がりほどの位置から広がってきたものかは分からない。そこで、4次元散乱線分布である。ここでは分布に加えて、時系列があるため、方向をみることができる。そのため、どの位置から広がった散乱線かを把握することができる。

これらの散乱線分布や断面を可視化表示し、組み合わせることでどの位置が危険なのか、素早く判断、把握することが可能と考えられる。

## D.4 可視化の表示ツールによる比較

3.6にそれぞれの可視化表示ツールに関する特徴を示し、そこから考えられるどのような状況下で使用すべきかを下記に示した。

ParaViewは様々な可視化表示ができる一方、操作が複雑かつインストールしなければならないため、一般向けには使用が難し

いと考えられる。そのため、細かい解析を行うような研究者に向いている表示ツールだと思われる。

続いて、ParaViewGlance は Web ブラウザ上で操作ができるため、使用者が限定されず、多くの人に使用してもらうことが可能である。欠点として、VTK.JS ファイルの作成があげられていたが、この点については事前に必要とされるような条件による散乱線分布を用意しておくことで、気軽に使用者が使いやすくなると考えられる。これより、誰もが簡単にアクセスすることが可能な Web ブラウザ上においてボタン一つでマルチディスプレイ表示ができるなどと簡易的な操作が使用できる表示ツールのため、散乱線分布の広がりをすぐに確認したい人に向いている表示ツールだと考えられる。

最後に ParaViewLite についてである。ParaViewGlance と同様に PVSM ファイルを ParaView で作成しなければいけないということに加えて、この作成を ParaViewLite が搭載されている PC で作成しなければならないという欠点があるが、これについては大変難しいため、事前に必要とされるような条件による散乱線分布を用意しておくことで、気軽に使用者が使いやすくなると考えられる。また、使用範囲が制限されるが、Web ブラウザ上で任意の 2 次元断面を見ることができるという利点がある。これより、大学内等の ParaViewLite の使用範囲内の人かつ詳細な広がりを見たい人に向いている表示ツールだと考えられる。

以上より、それぞれの表示ツールの特徴を理解し、使用者自身が表示したいものや使用している環境を考慮し、選択することが重要であると考えられる。

## E. 結論

本研究では、モンテカルロシミュレーションコード PHITS と可視化のためのアプリケーション ParaView を用いて、血管造影検査室内の散乱線分布を表示した。それによって、様々な C アーム角度や放射線防護具による線量プロファイル、2 次元断面、3 次元散乱線分布、4 次元散乱線分布を得た。それぞれの表示方法には特徴があるため、それを理解することが大切である。そして、これらの可視化表示を組み合わせ、把握することで散乱線分布の広がり、方向を理解し、どの位置で操作すべきか、どのように放射線防護具を配置すべきかを考えることができる。同様に表示ツールもそれぞれの特徴を理解し、使用者自身の環境を考慮し、選択することが大切である。

## F. 参考文献

- 1: International Commission on Radiological Protection. ICRP Statement on Tissue Reactions and 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 2012; 41(1-2).
- 2: International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- 3: International Commission on Radiological Protection. Education and Training in Radiological Protection for Diagnostic and

- Interventional Procedures. ICRP Publication 113. Ann ICRP 2009; 39(5).
- 4: International Commission on Radiological Protection. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. Ann ICRP 2013; 42(1).
  - 5: Miller DL, Vañó E, Bartal G, et al. Occupational radiation protection in interventional radiology: a joint guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2010 Apr;33(2):230-9.
  - 6: International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann ICRP 1997;1(3).
  - 7: Sukupova L, Hlavacek O, Vedlich D. Impact of the Ceiling-Mounted Radiation Shielding Position on the Physician's Dose from Scatter Radiation during Interventional Procedures. *Radiol Res Pract*. 2018 Jan.
  - 8: Jia Q, Chen Z, Jiang X, et al. Operator Radiation and the Efficacy of Ceiling-Suspended Lead Screen Shielding during Coronary Angiography: An Anthropomorphic Phantom Study Using Real-Time Dosimeters. *Sci Rep*. 2017 Feb 7;7:42077.
  - 9: Abdul Aziz MZ, Yani S, Haryanto F, Ya Ali NK, Tajudin SM, Iwase H, et al. Monte Carlo simulation of X-ray room shielding in diagnostic radiology using PHITS code. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2020,13,1,704-713.
  - 10: Nishi K, Fujibuchi T, Yoshinaga T. Development of an application to visualize the spread of scattered radiation in radiography using augmented reality. 2020 *J. Radiol. Prot* 40, 1299–1310.
  - 11: Shimizu S, Arakawa H, Honda J, Tokumori K and Fujibuchi T. Visualization of Scattered Radiation Distribution under Various X-ray Room Conditions in Medical Facilities and Development of Its Display Tool. *Japanese Journal of Health Physics*. 2021,56(4),315-323.
  - 12: Matsumoto-Kawaguchi E, Sakama M, Fujimoto K and Ikushima H. Dose Assessment on the Mean Absorbed Estimates Derived from the Simple Approach Method Applying Marinelli-Quimby's Formula for Ambient Risk Organs to Thyroid Uptake in the Administered <sup>131</sup>I Radiopharmaceutical of Graves' Disease Using PHITS and ICRP Reference Computational Voxel Phantom. *Radiation Environment and Medicine*. 2021, Volume 10, Issue 2, 87-95.
  - 13: Guo C, Xiong Z, Vijayan S, Rudin S, Bednarek DR. Developing a database of 3-D scattered radiation distributions for a c-arm fluoroscope as a function of exposure parameters and phantom. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*. 2018 Feb;10573:1057360.
  - 14: Roh Y, Kim J, Park H, Kim J, Ryu D, Chun K, Seo J, Lee B, Cho B, Yoon Y. Effect of Exposure Angulation on the Occupational Radiation Exposure during Cardiac Angiography: Simulation Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jul 30;18,8097.
  - 15: Santos WS, Neves LP, Perini AP et al.

- Exposures in interventional radiology using Monte Carlo simulation coupled with virtual anthropomorphic phantoms. *Phys Med.* 2015 Dec;31(8):929-933.
- 16: Kilian-Meneghin J, Xiong Z, Guo C, Rudin S, Bednarek DR. Evaluation of Methods of Displaying the Real-Time Scattered Radiation Distribution during Fluoroscopically-Guided Interventions for Staff Dose Reduction. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng.* 2018 Feb;10573:1057366.
- 17: Matsuzaki S, Moritake T, Morota K, et al. Development and assessment of an educational application for the proper use of ceiling-suspended radiation shielding screens in angiography rooms using augmented reality technology. *Eur J Radiol.* 2021 Oct; 143: 109925.
- 18: Nowak M, Carbonez P, Krauss M, Verdun FR, Damet J. Characterisation and mapping of scattered radiation fields in interventional radiology theatres. *Sci Rep.* 2020 Oct 30;10(1):18754.
- 19: Kuon E, Dahm JB, Empen K, Robinson DM, Reuter G, Wucherer M. Identification of less-irradiating tube angulations in invasive cardiology. *J Am Coll Cardiol.* 2004 Oct 6;44(7):1420-8.
- 20: Fujibuchi T, Ueda K, Kadoyanagi S, Ueno D and Nakamura C. Examination of Application to Radiation Protection Education by Four-dimensional Visualization of Scatter Distribution in Radiological Examination Using Virtual Reality. 2019 *Jpn. J. Radiol. Technol.* 75(11), 1297-1307.
- 21: J. Ahrens, B. Geveci, C. Law, Paraview: An end-user tool for large data visualization. *Visualization Handbook*, 2005.
- 22: Sato T, Iwamoto Y, Hashimoto S, Ogawa T, Furuta T, Abe S, Kai T, Tsai P, Matsuda N, Iwase H, Shigyo N, Sihver L and Niita K. Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02. 2018 *J. Nucl. Sci. Technol* 55(5-6), 684-690.
- 23: Sato N, Fujibuchi T, Toyoda T, Ishida T, Ohura H, Miyajima R, et al. Consideration of the Protection Curtain's Shielding Ability after Identifying the Source of Scattered Radiation in the Angiography. *Radiat Prot Dosimetry.* 2017 Jun;175(2):238-245.
- 24: International Commission on Radiological Protection. Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110. *Ann ICRP* 2009;39(2).
- 25: International Commission on Radiological Protection. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. *Ann. ICRP* 1996;26 (3-4).
- 26: 加藤秀起. 診断領域 X線スペクトル近似計算ソフト X-ray-Spectrum. Available at: <https://hidekikato1952.wixsite.com/radiotechnology> (accessed 2023/01/13).
- 27: ParaView. <https://www.paraview.org/> (accessed 2021-10-25).
- 28: ParaViewGlance. <https://kitware.github.io/glance/> (accessed 2023/01/13).
- 29: Metasequoia. <https://www.metaseq.net/jp/> (accessed 2022-3-2).

- 30: ParaViewLite. Web Browser. The 78th annual meeting of  
[https://kitware.github.io/paraview-  
 lite/index.html](https://kitware.github.io/paraview-lite/index.html) (accessed 2023/01/13) the JSRT, Yokohama, April 14-17, 2022.
- 31: ParaViewLite. 2: 中嶋美沙希, 藤淵俊王, 荒川弘之, 宮崎  
<http://192.168.50.182:8080/?sessionURL=ws://192.168.50.182:1234/ws> (accessed  
 2022/11/23) 仁志. Web ブラウザで動作する血管造影  
 検査室内の散乱線分布表示による防護  
 教材の構築. 第4回日本保健物理学会・  
 日本放射線安全管理学会合同大会,  
 Fukuoka, November 24-26, 2022.
- G. 健康危険情報  
 なし
- H. 知的財産権の出願・登録状況  
 (予定を含む。)
- H. 研究発表  
 1. 論文発表  
 なし
1. 特許取得  
 なし
2. 学会発表  
 なし
2. 実用新案登録  
 なし
- 1: Misaki Nakashima, Toshioh Fujibuchi, Kazuki Nishi. Consideration of Method for  
 Displaying 3D Scattered Radiation  
 Distribution in Angiography Room using  
 3. その他  
 なし

労災疾病臨床研究事業費補助金  
分担研究報告書

WebVR を利用した X 線透視における放射線防護教材の開発

研究代表者 藤淵 俊王 九州大学大学院医学研究院保健学部門医用量子線科学分野 教授  
研究協力者 川島 理愛 九州大学医学部保健学科放射線技術科学専攻

研究要旨

X 線透視に携わる医療従事者にとって、散乱線挙動および有効な放射線防護法の理解が重要である。本研究の目的は、WebVR を用いた X 線透視における散乱線分布の可視化及び放射線防護教材の開発である。仰臥位で寝台に寝ている患者に対して X 線を照射した際のモンテカルロシミュレーションに基づくデータから、PC 等で使用できる WebVR を用いた放射線防護教材を作成した。WebVR の有用性としてヘッドマウントディスプレイのような専用機器を必要とせず、PC があれば誰でも使用できることが挙げられる。しかし現時点では X 線透視に携わる医療従事者からの放射線防護教材の有用性についての検討がなされておらず、今後課題点を克服した上で教材の使用における検討が必要である。

A. 研究目的

近年、画像診断部門以外のところでの X 線透視の使用が急速に増加し、X 線透視に携わる医療従事者の放射線防護の重要性が高まっている<sup>1)</sup>。術者における主な被ばく源は患者からの散乱線であるため、放射線防護において散乱線挙動の理解が必要である<sup>2)</sup>。しかし中には患者の診察や治療のため、十分な放射線防護教育の時間を取ることが困難な医療従事者もいる<sup>3)</sup>。また散乱線は目に見えないため、散乱線の挙動は理解しにくい<sup>4)</sup>。そこで本研究では、WebVR を用いて X 線透視検査時の散乱線の広がり三次元的に可視化し、散乱線挙動の理解および有効な放射線防護法を考察するための教材を開発することを目的とした。ここで WebVR とは、ウェブブラウザ上で使用可能な VR (Virtual Reality : 仮想現実) 技術のことを指す。

B. 研究方法

B-1. 散乱線挙動の計算

先行研究<sup>5)</sup>において得られた、モンテカルロ計算コード PHITS v3.24 で計算させたデータを使用した。PHITS は、あらゆる物質中での様々な放射線挙動を核反応モデルや核データなどを用いて模擬する<sup>6)</sup>。本研究で用いたデータの照射条件は、管電圧 : 87 kV 2.6 mmAl、SSD : 120 cm、床から寝台までの距離 : 80 cm、防護カーテン : 0.013 mmPb、防護カーテンの高さ : 15 cm である。また、二次元散乱線分布の時間変化では、防護カーテン無しの場合が 0 から 16 ナノ秒の間を 32 分割、防護カーテン有りの場合は 0 から 16 ナノ秒の間を 16 分割したデータを用いた。また照射野は 23 cm×23 cm で、防護カーテン無しの 3D オブジェクトのみ照射野が 10 cm×10 cm の場合のデータも使用した。



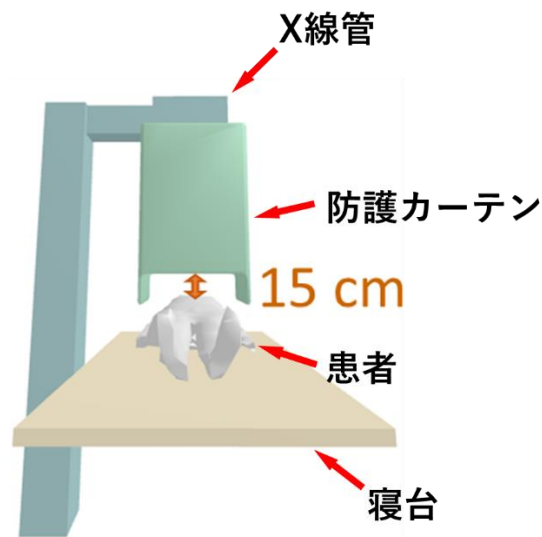


Fig. 1 : 防護カーテン有りの場合におけるシミュレーションの配置

#### B-2. 散乱線データの取得

計算で得られたデータを、ParaView version 5.10.1 を用いて、3次元データ、2次元データ、線量値として取得した。ParaView は、オープンソースのマルチプラットフォーム科学データ分析および可視化ツールで、非常に大規模なデータセットの分析と可視化を可能にする<sup>7)</sup>。

#### B-3. 3D オブジェクトの作成

Metasequoia 483b によって、先ほどの三次元データに頂点数の削減と色付けという処理を行った。Metasequoia 4 は、ポリゴンベースのモデラーで、3DCG や 3D プリント、ゲーム向けの素材制作などに用いる立体形状データを作成する<sup>8)</sup>。本研究では頂点数の削減により平滑化とデータ容量の削減を行った。データ容量の変化が一番大きいものでは、1397 キロバイトから 48 キロバイトと、96%以上削減した。これにより WebVR 上での読み込みが速くなるため、動作がスムーズに行えるようになる。色付け処理では、10  $\mu\text{Sv/mGy}$  を赤色、5  $\mu\text{Sv/mGy}$  を黄色、1  $\mu\text{Sv/mGy}$  を黄緑色、0.5  $\mu\text{Sv/mGy}$  を青色とした。

#### B-4. WebVR の開発

次にこれまで得たデータを html.index に挿入し、さらにボタンを作成することで WebVR を開発した。これによりモダリティの変更や、3D オブジェクト・二次元散乱線分布図を表示・非表示させることが可能になった。また本研究で WebVR を操作するために使用した機器は、Windows10 (11th Gen intel(R) Core(TM)i7-11800H @2.30GHz) の PC である。

#### B-5. 放射線防護教材の作成

開発した WebVR を基に、放射線防護教材を作成した。教材の内容は、放射線防護における重要なポイントである距離や遮へい、照射野サイズに基づいた観察項目や演習問題である。また対象は X 線透視に携わる医療従事者および診療放射線技師を目指す学生とした。作成した問題は全部で 9 問、演習項目は 4 項目として、演習項目①散乱線の広がり方の理解に関する問題が 3 問、演習項目②線源からの距離による線量の違いの理解に関する問題が 2 問、演習項目③防護具の有無による線量の違いの理解に関する問題が 2 問、最後に演習項目④有効な放射線防護法の考察に関する問

題が2問という構成にした。

(倫理面への配慮)

本研究では、ヒトに関するデータを使用することではなく、倫理面への配慮に関する項目はない。

## C. 結果

### C-1. WebVR の機能

Fig. 2 に防護カーテン無しの場合の WebVR の画面を示す。最初に表示されるのは、X線管、患者、寝台である。各々のボタンの機能は、まず②の3Dオブジェクト表示ボタンを押すと、ボタンに示された線量値の散乱線が三次元的に表示される。ここで、表示している散乱線の単位 [ $\mu\text{Sv}/\text{mGy}$ ] は、周辺線量当量 ( $H^*(10)$  [ $\mu\text{Sv}$ ])を、1検査当たりの入射表面線量 [ $\text{mGy}$ ]で除したもの

である。③の Axial、Coronal、Sagittal ボタンを押すと、散乱線分布の二次元断面が表示される。④の 2D animation ボタンを押すと、各断面における散乱線が広がっていく時間変化をアニメーションで表示する。⑤の exposure dose ボタンを押すと、術者の水晶体の高さ (160 cm)、甲状腺の高さ (145 cm)、胸部の高さ (120 cm) における線量が表示される。⑤の distance ボタンを押すと、水晶体の高さ (160 cm) と体幹部の高さ (100 cm) それぞれにおける照射野中心からの距離 50 cm、100 cm、150 cm での線量値が表示される。モダリティの切替えは、①のボタンで行うことができる。WebVR の表示物は、PC のマウスの左クリックで回転、右クリックで移動、ホイールで拡大縮小が可能である。

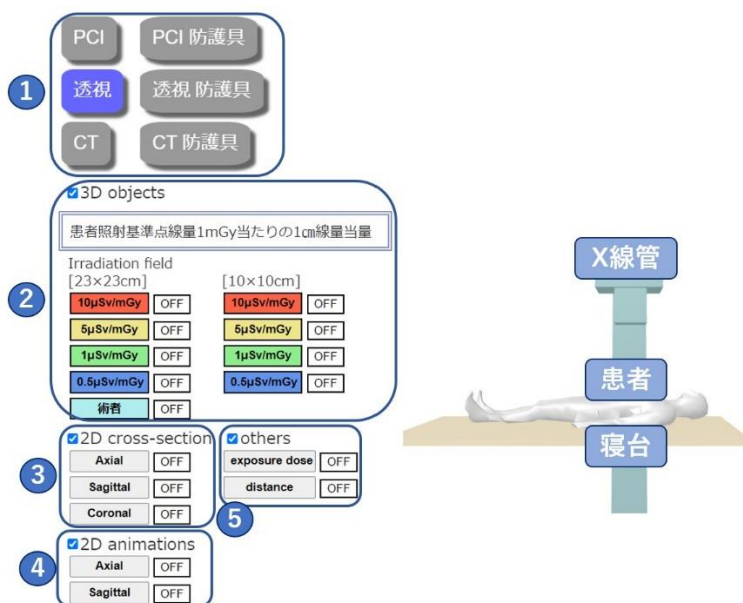


Fig. 2 : WebVR の表示画面 (防護カーテン無し)

- ① モダリティ変更ボタン、②3D オブジェクト表示ボタン、③二次元断面分布図ボタン、  
④二次元断面分布図アニメーションボタン、⑤exposure dose ボタン、distance ボタン

ボタンを押して各項目を表示すると、Fig. 3 から

Fig. 5 のようになる。

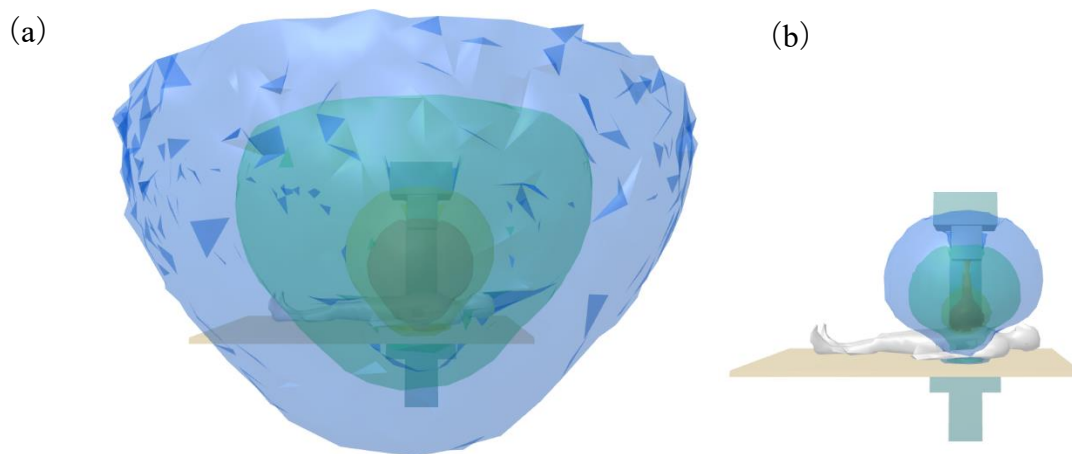


Fig. 3 : 照射野の大きさによる散乱線分布の違い (a) 照射野 23 cm×23 cm (b) 照射野 10 cm×10 cm)

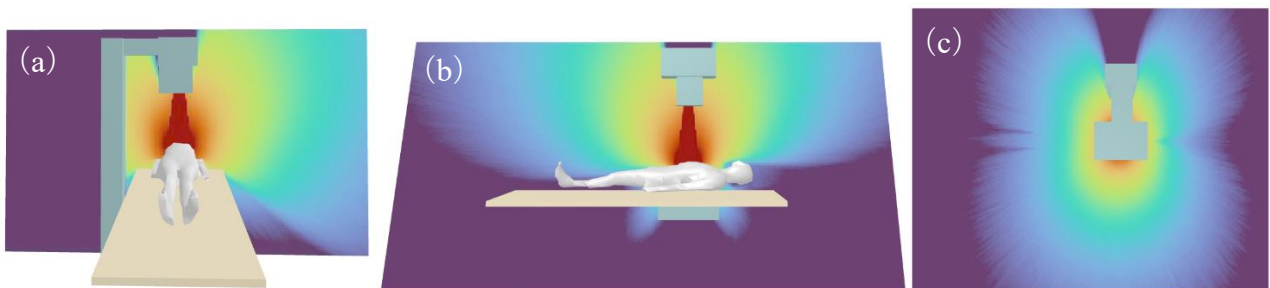


Fig. 4 : 二次元散乱線分布図 (a) Axial 画像 (b) Sagittal 画像 (c) Coronal 画像

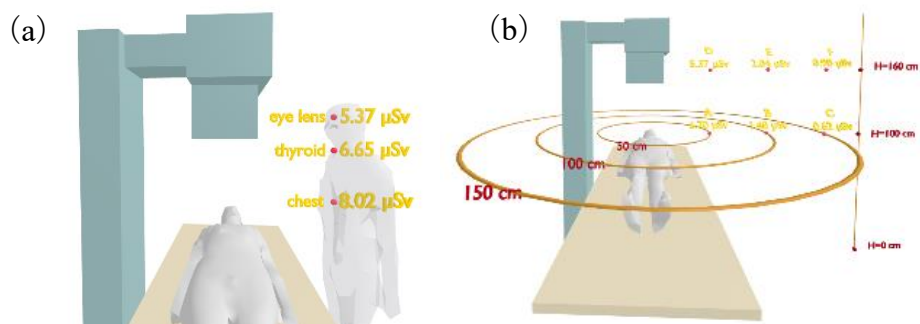


Fig. 5 : 特定の点での線量値 (a) 術者の被ばく線量 (b) 距離ごとの線量

次に防護カーテン有りの場合の WebVR の画面を Fig. 6 から Fig. 8 に示す。防護カーテン有りの場合はカーテンの表示を切り替えることができる (Fig. 6 (a)、(b))。その他のボタンは防護カーテン無しの場合と同様である。防護カーテン無

しの場合の 3D オブジェクトや二次元線量分布図、線量値と比較することで、防護カーテンを付けることにより線量分布に変化があることが視覚的に確認できる。

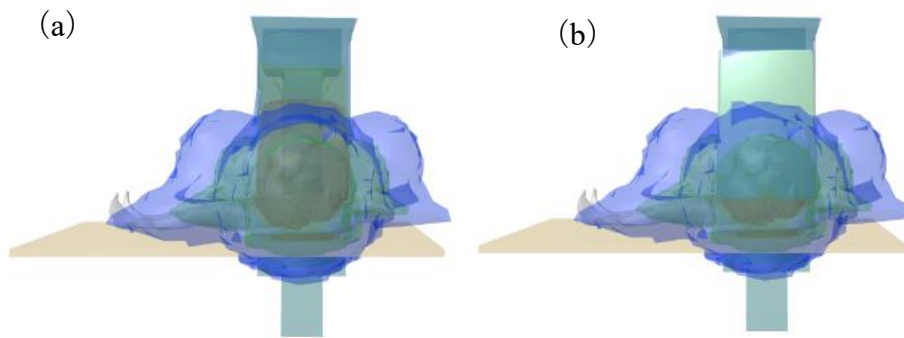


Fig. 6 : 防護カーテンの表示切替 (a) カーテン非表示 (b) カーテン表示

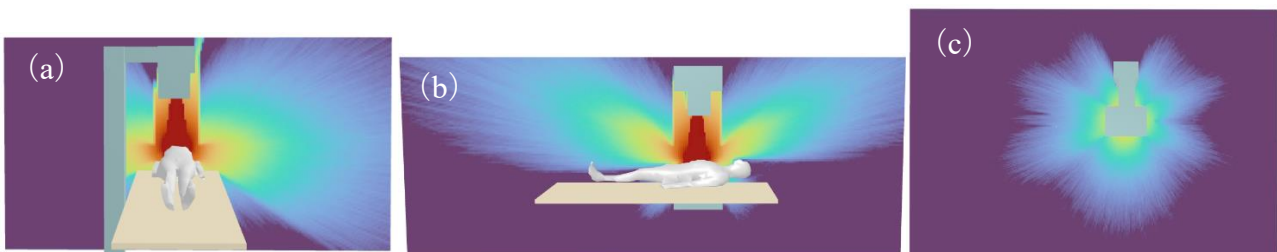


Fig. 7 : 二次元散乱線分布図 (a) Axial 画像 (b) Sagittal 画像 (c) Coronal 画像

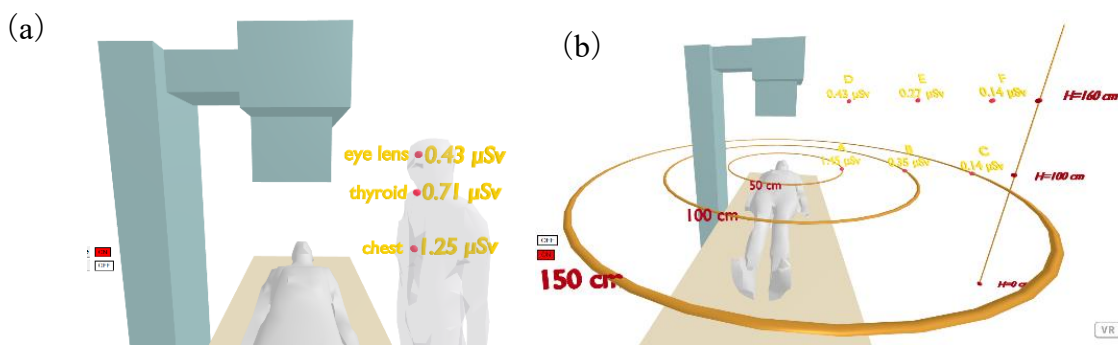


Fig. 8 : 特定の点での線量値 (a) 術者の被ばく線量 (b) 距離ごとの線量

## C-2. 放射線防護教教材

作成した放射線防護教材の内容を Fig. 9 に示す。また、実際に問題を解いている様子を Fig. 10 に示す。WebVR を操作するための PC と教材を表

示するためのタブレットを使用し、VR を操作しながら教材の問題を解く。

# 透視業務における 外部放射線による放射線防護の理解 演習テキスト

Ver.22.11.27

1

## 本演習の目的:

放射線診療における医療従事者や介助者の被ばくの主な原因に散乱線があります。特に透視業務に携わる医療従事者の放射線障害が問題となっており、放射線防護の重要性が高まっています。

本演習では、透視業務に携わる医療従事者および学生を対象に、仮想現実(Virtual Reality: VR)を用いて散乱線の広がりや可視化し、透視時の散乱線の広がりや理解することで、放射線防護の三原則および有効な被ばくの低減方法を考察することを目的とします。

2

### 表示物について

- 3D objects (透視業務の3Dオブジェクト)
- 3D objects (透視業務の3Dオブジェクト)
- 3D cross-section (3D断面)
- 3D animations (3Dアニメーション)

### ボタンの機能について (ON, OFFを押すことで切り替えられます。)

- モダリティ変更ボタン
- 3D線量表示ボタン
- 2D断面分布図表示ボタン
- 2D断面分布アニメーション表示ボタン
- exposure dose (照射線量) 表示ボタン
- distance (距離) 表示ボタン

※表示物はマウスでのクリックで回転、クリックで移動、マウスホイール(もしくはペンタゴン、ピンチアウト)で拡大、縮小することができます。

3

Axial(水平断面)  
→X線管中心での断面

Sagittal(矢状断面)  
→X線管中心での断面

### 断面、照射野、表示線量について

- 資料で示す水平断面、矢状断面、冠状断面は左に示す赤色の枠で定義しています。
- 透視(防護カーテン無し)の3Dオブジェクトのみ、照射野が23cm×23cmと10cm×10cmの場合があります。
- その他の検査分布図や被ばく線量は照射野が23cm×23cmの場合を示しています。比較する場合は23cm×23cmを使用してください。
- 表示している散乱線の単位は周辺線量当量(H\*(10) [μSv])を、1検査当たりの入射表面線量[mGy]で除したものです。

Coronal(冠状断面)  
→患者表面での断面

4

## 散乱線の広がり方を理解する

演習目的:  
散乱線がどこから発生してどのように広がるのか、照射野の大きさが散乱線の広がり方どのような影響を与えるかを理解する。

左上のモダリティ変更ボタンから「透視」を選択してください。

### 観察項目:

- 3D線量表示を変えると、散乱線の広がり方どう変わるかを確認する。
- 2D断面分布のアニメーションで散乱線の時間変化を確認する。
- 照射野の大きさにより散乱線の広がり方どう変わるかを確認する。

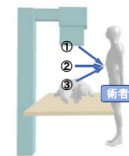
問1: 散乱線の広がり方に関して正しいものを選び。

- 1: 散乱線は患者の入射点(面)を中心に球状に広がっている。
- 2: 散乱線は患者の入射点(面)を中心に四角錐状に広がっている。
- 3: 散乱線はX線管を中心に球状に広がっている。
- 4: 散乱線はX線管を中心に四角錐上に広がっている。

5

問2: 術者の腰部に対してどの方向から散乱線が入射すると考えられるか選べ。  
(3D objectsから術者をONにしてください。)

- 1: ①
- 2: ②
- 3: ③



問3: 照射野を23×23cm<sup>2</sup>から10×10cm<sup>2</sup>に変更したときの散乱線の広がり方について正しいものを選び。

- 1: 変更前と散乱線の広がり方は同じである。
- 2: 変更前より散乱線の広がり方が小さくなっている。
- 3: 変更前より散乱線の広がり方が大きくなっている。

6

## 線源からの距離による線量の違いを理解する

### 観察目的:

照射野中心からの距離による被ばく線量の違いを理解する。  
床から160cmは水晶体の高さ、床から100cmは体幹部の高さを想定しています。

### 観察項目:

- distanceボタンを押して各点での線量値を確認する。  
(othersからdistanceをONにしてください。)
- 照射野中心から距離が離れるにつれて線量はどのように変化しているかを確認する。

7

防護カーテン無し	照射野中心からの距離		
	50 cm	100 cm	150 cm
床からの高さ 160 cm	D: ( ) μSv	E: ( ) μSv	F: ( ) μSv
100 cm	A: ( ) μSv	B: ( ) μSv	C: ( ) μSv

問4: 照射野中心からの距離とその地点での線量値の関係として正しいものを選び。

- 1: 距離におおよそ比例して線量が大きくなる。
- 2: 距離の2乗におおよそ比例して線量が大きくなる。
- 3: 距離におおよそ反比例して線量が小さくなる。
- 4: 距離の2乗におおよそ反比例して線量が小さくなる。

問5: 床から100cmの高さ、照射野中心から200 cmの地点での線量値に最も近いと考えられるものを選び。

- 1: 0 μSv
- 2: 0.2 μSv
- 3: 0.4 μSv
- 4: 0.6 μSv

8



**防護具の有無による線量の違いを理解する**

観察目的:  
防護具の有無による散乱線分布や被ばく線量の違いから、放射線防護具の重要性を理解する。  
有効な防護具の使用方法について検討する。

この演習では、防護具として鉛当量0.013 mmPbの防護カーテンを用いた場合を示しています。  
左上のモダリティ変更ボタンから“透視 防護具”を選択してください。  
(最初は防護カーテンが非表示になっています。表示する場合は3D objectsからscurtainをONにしてください。)

観察項目:  
 distanceボタンを押して各点での線量値を確認する。  
 3Dオブジェクトやdistanceの線量値から、散乱線の広がり方はどのように変化したかを確認する。  
 exposure doseを押して術者の被ばく線量を比較し、どのように変化したかを確認する。  
 (othersからexposure doseをONにしてください。)

9

防護カーテン有り		照射野中心からの距離		
		50 cm	100 cm	150 cm
床からの高さ	160 cm	D: ( ) μSv	E: ( ) μSv	F: ( ) μSv
	100 cm	A: ( ) μSv	B: ( ) μSv	C: ( ) μSv

問6: 放射線防護カーテンを用いた際の散乱線の広がりに関して正しいものを選び。  
 1: 使用した防護カーテンでは遮蔽効果は見られない。  
 2: 防護カーテンの後方の線量は減少しているが、散乱線の広がりには変わらない。  
 3: 散乱線の広がりには変わるが、線量値には変化はない。  
 4: 防護カーテンの後方の線量が減少し、散乱線の広がりも変化している。

10

被ばく部位		被ばく線量		減少率
		防護カーテン無し	防護カーテン有り	
被ばく部位	水晶体	( ) μSv	( ) μSv	( ) %
	甲状腺	( ) μSv	( ) μSv	( ) %
	胸部	( ) μSv	( ) μSv	( ) %

(減少率) =  $\frac{(\text{防護具無しの線量}) - (\text{防護具有りの線量})}{(\text{防護具無しの線量})}$

問7: 防護カーテンを付けた際、減少率が最も低かった部位は( 水晶体 ・ 甲状腺 ・ 胸部 )である。  
その部位での被ばくをより低減する方法として、最も効果的なものを選び。  
 1: 鉛当量0.010 mmPbの防護カーテンに変更する。  
 2: 患者表面と防護カーテン下端の距離を近づける。  
 3: 患者表面と防護カーテン下端の距離を遠ざける。  
 4: 患者に近づく。

11

**総合問題**

問8: 外部放射線防護の三原則を全て書き。  
 ( ) ( ) ( )

問9: これまでの演習問題で学んだことや外部放射線防護の三原則を参考に、放射線診療に携わる際に放射線防護において重要だと考えられることを答えよ。  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

問題は以上です。

12

Fig. 9 : 放射線防護教材の内容

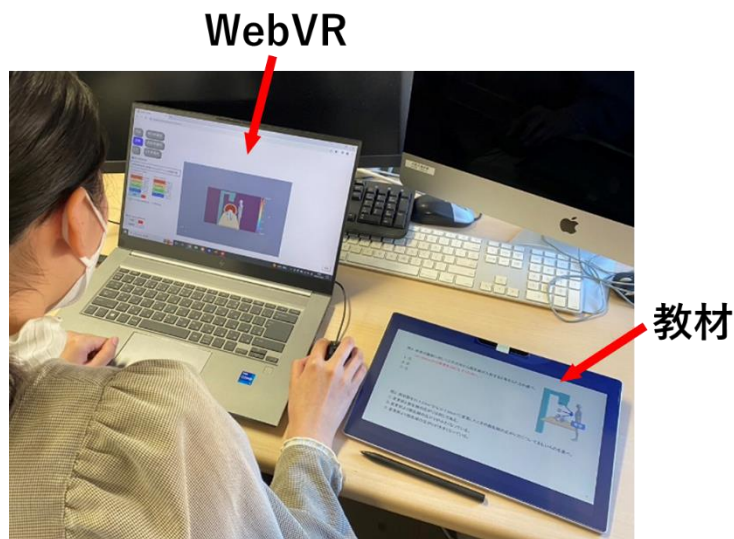


Fig. 10 : WebVR の操作と放射線防護教材を解いているときの様子

実際に同研究室に所属する学生 4 名に WebVR を操作しながら教材を解いてもらったところ、散乱線の広がりが見覚的に分かりやすい、WebVR を操作しながら問題を解くことで散乱線の理解がしやすいといった有用的な点と防護カーテン無

しと有りの場合の比較がしにくいという課題の意見が得られた。

D. 考察

WebVR の有用性として、以下のことが挙げられ

る。まず条件の違いによる散乱線の広がりの変化を視覚的に理解しやすいこと、任意の視点から散乱線の広がりを見ることができること、ヘッドマウントディスプレイのような専用機器を必要とせず、PC やタブレットがあれば誰でも利用することができること<sup>4)</sup>、教材と併用することで、防護対策におけるポイントの理解促進に繋がられることである。

一方 WebVR の課題点として、実際の医療現場との比較がしにくいこと、防護カーテン無しと有りの場合ではページが変わり、比較がしにくいこと、広範囲の散乱線分布ではデータ容量が大きくなり、動作環境に支障が出る事が挙げられる。実際の医療現場との比較に関しては、現実世界と仮想物体を融合できる AR (Augmented Reality : 拡張現実) 技術を用いることで解消できると考えられる。また従事者であれば自分の職場の機器として想像できるのではないかという意見が得られたため、従事者からの意見を十分に集め、検討する必要がある。防護カーテンの有無による比較に関しては、別のウィンドウで開くか、重ねて表示できるようにプログラムを変更する必要がある。WebVR の読み込み速度は、用いる PC のスペックにより異なると考えられる<sup>3)</sup>。今回用いた PC では遅延が発生することはなかったため、どの程度のスペックにより影響が出るのかを検討し、またできる限りデータ容量を低減させておく必要があると考えられる。また、防護カーテンの厚さによる散乱線の広がりへの影響に関する項目の検討ができていないため、計算を行い、さらなる機能拡充を行う必要がある。

また放射線防護教材の課題として、VR を操作する機器とは別に教材を表示するための端末もしくは印刷した紙面が必要となること、実際に X 線透視で働かれている医療従事者および学生にこの教材を試してもらうことができず、放射線防護の教育にどのくらい有用であるかを検

討する必要があることが挙げられる。

## E. 結論

WebVR を用いて X 線透視検査時の散乱線の広がりを可視化し、その VR を基にした放射線防護教材を開発した。WebVR はヘッドマウントディスプレイのような専用機器を必要とせず、ネットワーク環境があれば誰でも使用できるという利点がある。しかしデータ容量による動作環境の制限や防護カーテンの厚さによる散乱線の広がりへの影響の考察といった課題がある。そのため今後課題を解決した上で、さらに X 線透視に携わる医療従事者の観点から放射線防護教材の有用性について検討する必要がある。

## F. 引用文献

- 1) 公益社団法人日本アイソトープ協会：画像診断部門以外で行われる X 線透視ガイド下手法における放射線防護：ICRP117：2011：16-24
- 2) 細野眞、三上容司、渡邊浩、他：医療分野の放射線業務における被ばくの実態と被ばく低減に関する調査研究 (190701-02), 労災疾病臨床研究事業費補助金 令和元年度 総括・分担研究報告書, 2020 : 31-32
- 3) 荒川弘之、徳森謙二、藤淵俊王、他：放射線防護教育を目的とした X 線撮影室における散乱線の可視化, RADIOISOTOPES, 67, 11-15 (2018) doi: 10.3769/radioisotopes.67.11 : 1-2
- 4) K Nishi , T Fujibuchi and T Yoshinaga : Development of scattered radiation distribution visualization system using WebAR. Journal of Physics : Conference Series, 10.1088/1742-6596/1943/1/012057, 1943 (2021) 012057, 2021.07 : 1-2,8
- 5) 藤淵俊王、森田拳斗、川田賢治、他：内視鏡



的逆行性胆管膵管造影検査における散乱線の  
可視化と効果的な放射線防護対策の検討：第  
16回九州放射線医療技術学術大会：2021：4-5

- 6) <https://phits.jaea.go.jp/manual/manualJ-phits324.pdf>
- 7) <https://www.paraview.org/>
- 8) <https://www.metaseq.net/jp/>

#### G. 健康危険情報

なし

#### H. 研究発表

##### 1. 論文発表

なし

##### 2. 学会発表

なし

#### I. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし

労災疾病臨床研究事業費補助金  
分担研究報告書

Augmented Reality 技術を用いた血管造影撮影時の 3 次元散乱線分布の可視化

研究代表者 藤淵 俊王 九州大学大学院医学研究院保健学部門医用量子線科学分野 教授  
研究協力者 長友 亜未 九州大学医学部保健学科放射線技術科学専攻

研究要旨

血管造影検査は放射線検査の中でも被ばく量が高く、医療従事者への放射線防護強化の必要性が高まっている。術者の被ばく低減のためには放射線の挙動を知ることが重要である。そこで、先行研究で作成された血管造影撮影時における散乱線分布シミュレーションデータを、**Augmented Reality(AR)** 技術を用いて可視化することで被ばく管理への活用を試みた。AR 用デバイスにはタブレットを使用し、**Unity** で散乱線分布を現実空間に可視化する AR アプリケーションを開発した。2 次元断面分布と 3 次元散乱線分布をボタンで切り替え表示することで、散乱線の広がりや認識しやすくなった。実物大の散乱線分布の表示により、散乱線との距離の取り方を実感できた。また、縮小によって卓上での観察が可能となったことから本アプリケーションの使用用途の幅を広げることができた。このアプリケーションを使用することは、直感的な散乱線の広がりや防護具の遮蔽効果の理解に有効である。

A. 研究目的

血管造影検査における放射線被ばく管理において、散乱線の挙動の理解は重要であるが、散乱線は目に見えないためイメージが難しい<sup>1)</sup>。また、放射線は 3 次元に拡散することから、2 次元分布では散乱線の広がりや認識・理解するのに限界がある<sup>1)</sup>。そこで、先行研究<sup>1)</sup>ではモンテカルロコードに Particle Heavy Ion Transport cord System(PHITS)ver.3.24 を使用し、散乱線分布シミュレーションを行い、可視化ツールである Paraview で 3 次元表示した。この散乱線分布の 3 次元シミュレーションデータを現実空間で表示・可視化することで、散乱線への理解を深め、血管造影検査に携わる医療従事者が、危険な位置や安全な位置が直感的に認識しやすいのではないかと考えた<sup>2)</sup>。

そこで、散乱線可視化のために拡張現実

(Augmented Reality : AR) 技術を用いた。AR とは、人工的な仮想物体を現実世界に反映させる技術である。AR により、AR オブジェクトの散乱線分布が現実空間と重なって、よりリアルに散乱線分布の広がりを観察することができる<sup>3)</sup>。先行研究では、散乱線可視化のために AR 技術は用いられたことがなかった。そこで、本研究では、新しい試みとして AR 技術を導入した。

本研究では、医療従事者や学生に対して、AR を用いて血管造影撮影時の散乱線分布を可視化するアプリケーションを開発した。

B. 研究方法

B-1.使用機器

散乱線分布データの可視化ツールとして Paraview5.10.1、3DCG モデリングソフトとして Metasequoia4.8.3b、ゲーム開発エンジンとして

Unity2021.3.2f1 を使用した。また、AR デバイスとして iPad Pro(iOS15.5)を使用した。

## B-2. 先行研究データの取り込み

まず、先行研究の血管造影撮影時における散乱線分布データを Paraview<sup>8)</sup> で出力した。散乱線分布データ、血管造影装置、患者、術者、防護板の計 5 種類の 3d データ(obj 形式)を使用した。散乱線分布データは、5 種類の C アーム角度(LAO60°, RAO30°, PA, Cranial30°, Caudal25°)<sup>4)</sup> で防護板あり

となしの場合で、10, 2, 1, 0.5  $\mu\text{Sv}/\text{mGy}$  の 4 種類を使用した(Fig.2 a, b, c, d)。2 次元データは、アイソセンタを原点、患者寝台方向を X 軸、床天井方向を Y 軸(Fig.1)とし、X=0,50 cm の Axial 画像、Y=0 の Coronal 画像、Z=0 の Sagittal 画像の計 4 種類を使用した (Fig.2 e, f, g, h)。 $\mu\text{Sv}/\text{mGy}$  は患者照射基準点線量 1 mGy あたりの 1 cm 線量当量である。

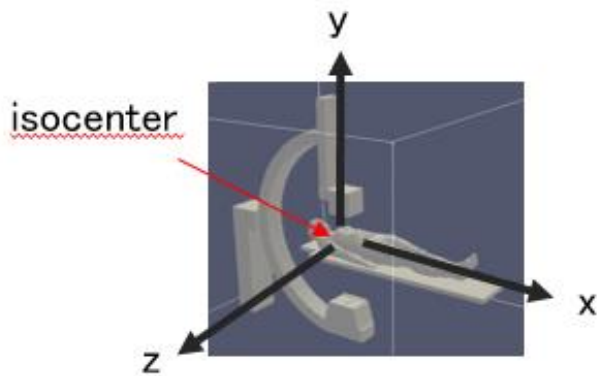


Fig.1 Paraview における座標軸

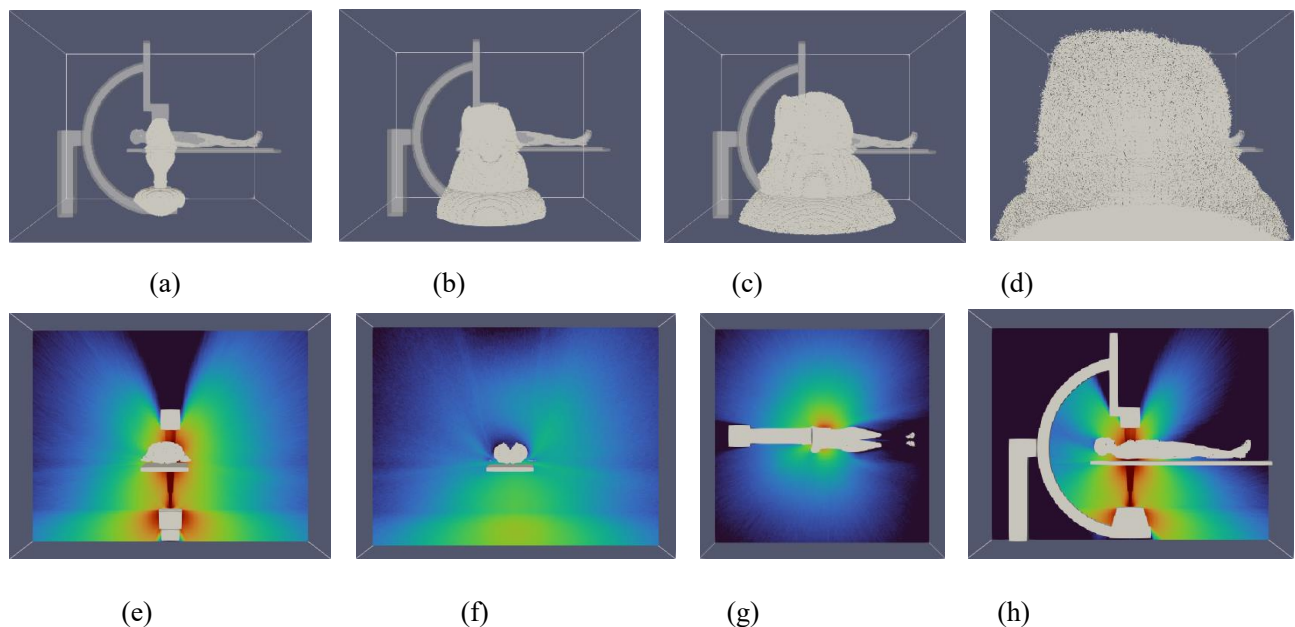


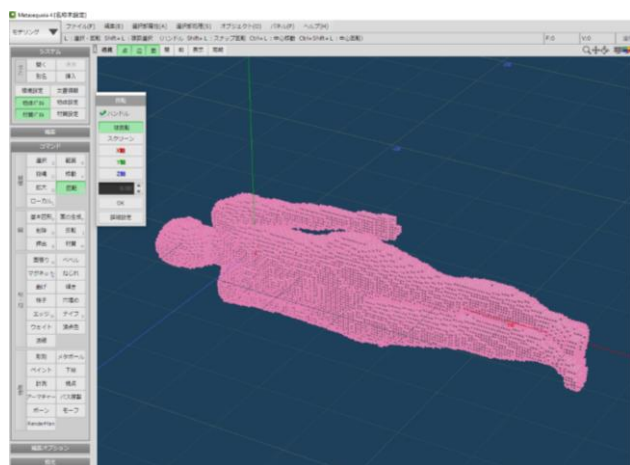
Fig.2 C アーム PA 方向時の 3 次元散乱線分布(a.10  $\mu\text{Sv}/\text{mGy}$ , b.2  $\mu\text{Sv}/\text{mGy}$ , c.1  $\mu\text{Sv}/\text{mGy}$ , d.0.2  $\mu\text{Sv}/\text{mGy}$ )

C アーム PA 方向時の 2 次元散乱線分布(e.X=0 の Axial 画像, f.X=50 の Axial 画像, g.Coronal 画像, h. Sagittal 画像)

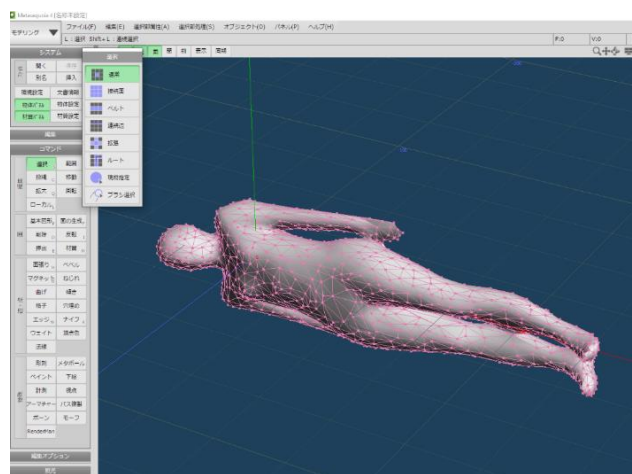
### B-3. Metasequoia による 3D オブジェクトの平滑化とデータ容量削減

散乱線分布データ、C アーム装置、患者、術者、防護板の 3D オブジェクトは凸凹した表面で頂点数が多く、データ容量が大きい。頂点数が多く、データ容量が大きい場合、AR アプリケーション

がスムーズに動作しない可能性がある。そのため、Metasequoia を用いて 3D オブジェクトの頂点数削減およびスムージングを行うことで表面を平滑化し、データ容量を削減した(Fig.3 a, b)。



(a)



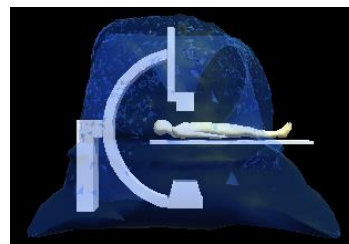
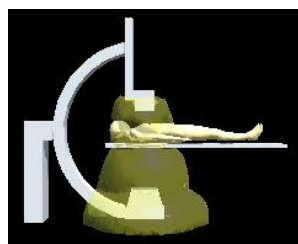
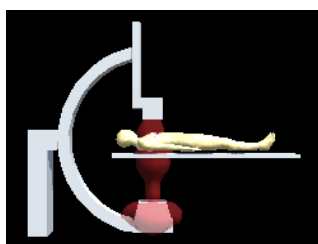
(b)

Fig.3 (a)平滑処理前の患者の 3D オブジェクト(b)平滑処理後の患者の 3D オブジェクト

### B-4. 3D データおよび 2D データの取り込み

Metasequoia で平滑処理した 3D オブジェクト (fbx 形式)と 2D 散乱線データ(Fig.4 e, f, g, h)を Unity<sup>9)</sup>に取り込んだ<sup>5) 6)</sup>。AR アプリケーション作成にあたって、Unity が開発している AR 開発用のフレームワークである AR foundation4.2.3 と Apple 社が開発しているソフトウェアである Xcode13.0<sup>10)</sup>を使用した。散乱線分布データ、患者、術者、防護板の 3D オブジェクトについて色付けを行った<sup>7)</sup>。散乱線分布データは、高線量の方から赤、黄、緑、青と色を付け、各散乱線分布

の重なりが見えるように透明度をつけた(Fig.4 a, b, c, d)。患者オブジェクトは薄橙、術者オブジェクトは青と色をつけた(Fig.4 i, j)。術者オブジェクトは X=60, Z=40 の位置に配置し、水晶体と体幹部の線量を表示させた。水晶体の線量は床から 160 cm の高さ、体幹部は床から 120 cm の高さでの線量とした。防護板オブジェクトは X 線管側と術者の足側の 2 か所に配置し、X 線管側の防護板は黄土、足側の防護板は緑と色を付けた(Fig.4 k)。X 線管側の防護板は臨床で使用されている物に近づけるために透明度を付けた。



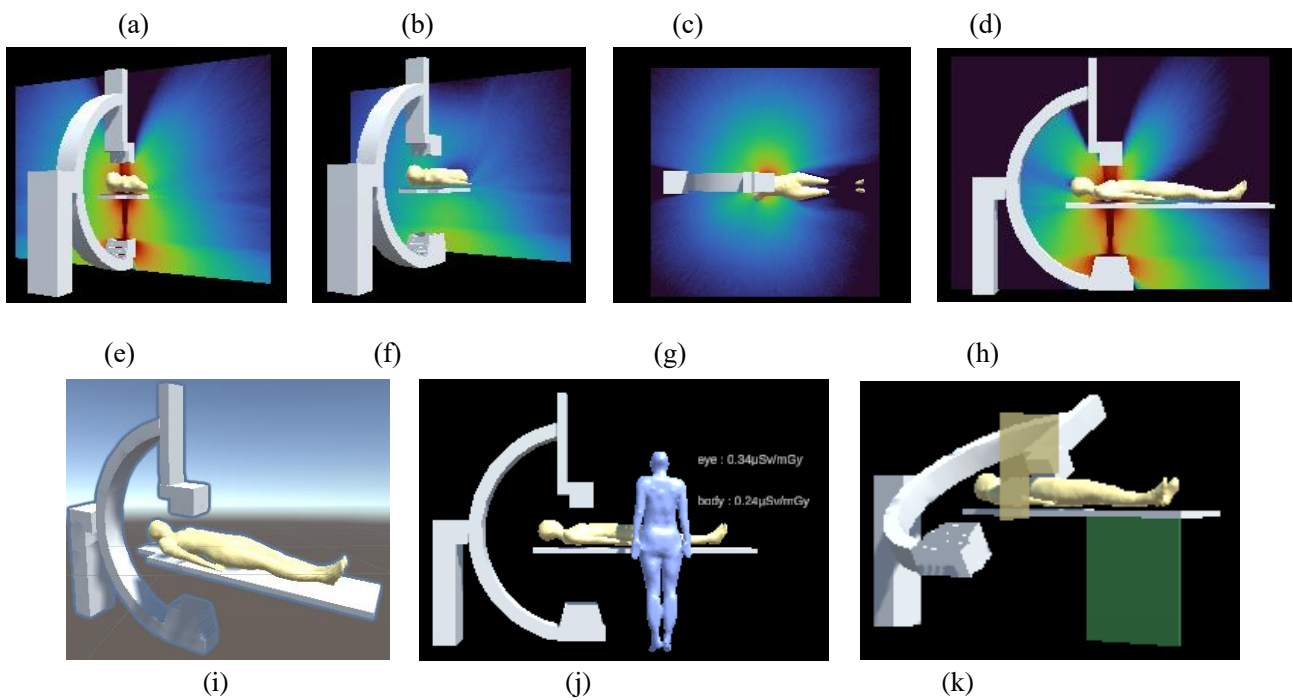


Fig.4 色付けを行った 3D オブジェクト(a, b, c, d, i, j, k)と 2D 散乱線分布(e, f, g, h)

#### B-5. AR アプリケーションの開発

散乱線分布などの表示非表示を切り替えるボタンを設置した。アプリケーションを起動させた際のスクリーンショット画像を Fig.5 に示す。Cアーム角度の切替、散乱線分布および術者の表示切替、Cアーム装置の回転、回転のリセットを行うボタンを設置した(Fig.6 a, b, c, d)。散乱線分布および術者の表示切替は、円形のボタンを右にスライドすることで表示することができる。また、指の動きに合わせて表示された全てのオブジェクト

を移動させることができる。表示された全てのオブジェクトは一体となっているため、各オブジェクトが分離することなく全体を移動させることができるようにした。この機能により表示させたい位置にオブジェクトを移動させることができ、実際の臨床の場で使用されているCアーム装置との重ね合わせが容易になると考えられる。

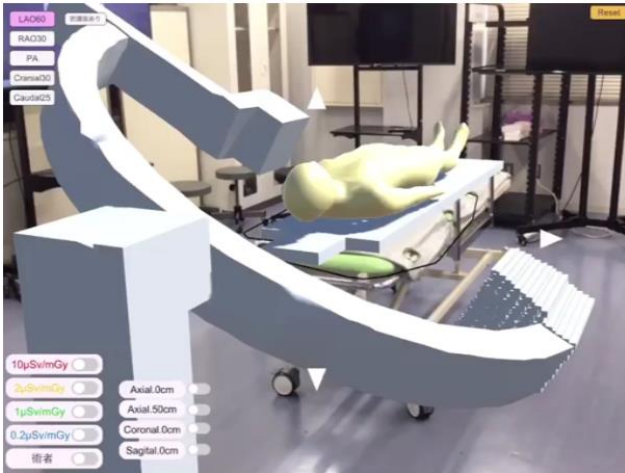


Fig.5 AR アプリケーション使用時のスクリーンショット画像

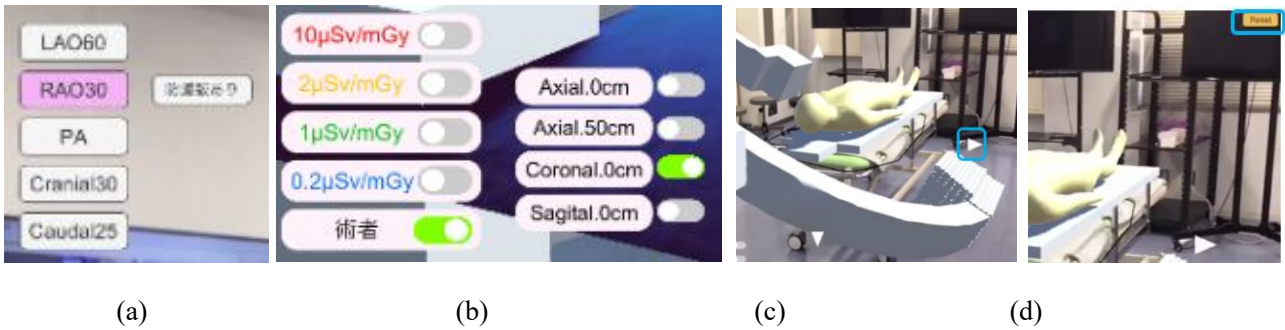


Fig.6 (a)C アーム角度の切替ボタン(b)散乱線分布および術者の表示切替ボタン  
(c)回転ボタン(d)回転のリセットボタン

(倫理面への配慮)

本研究では、ヒトに関するデータを使用することはなく、倫理面への配慮に関する項目はない。

## C. 結果

### C-1. 実物大の散乱線分布の観察

AR アプリケーションを使用している様子を Fig.7 に示す。アプリケーション起動時のデバイスのカメラの位置がアイソセンタとなり、実物大で表示される。したがって、アプリケーション起動時の位置から離れることで、オブジェクト全体を

観察することができる。AR デバイスの使用者はデバイスを持って移動し、任意の角度から散乱線分布を観察することができる。任意の観察位置でボタンを操作することで、その場所で様々な表示を切り替えて表示することが可能である。また、大型ディスプレイ等を利用し、AR デバイスと画面を共有することにより、アプリケーションを使用していない人も散乱線分布の広がりを疑似的に体験することができる。実物大の散乱線分布が表示されることで、散乱線との距離の取り方が実感できるようになった。





Fig.7 AR アプリケーション使用者と大型ディスプレイで散乱線分布を観察している様子

## C-2. 縮小機能による座学でのARアプリケーションの使用

卓上でARアプリケーションを使用している様子を Fig.8 に示す。ピンチインによる縮小機能により、AR デバイスを持って移動することなく、座った状態でアプリケーションを使用すること

ができる。回転ボタンの使用やデバイスを傾けるなどして、散乱線分布をのぞき込むように観察することができる。縮小によって卓上での観察が可能となったため、学生に向けての講義や自宅などで活用できる。

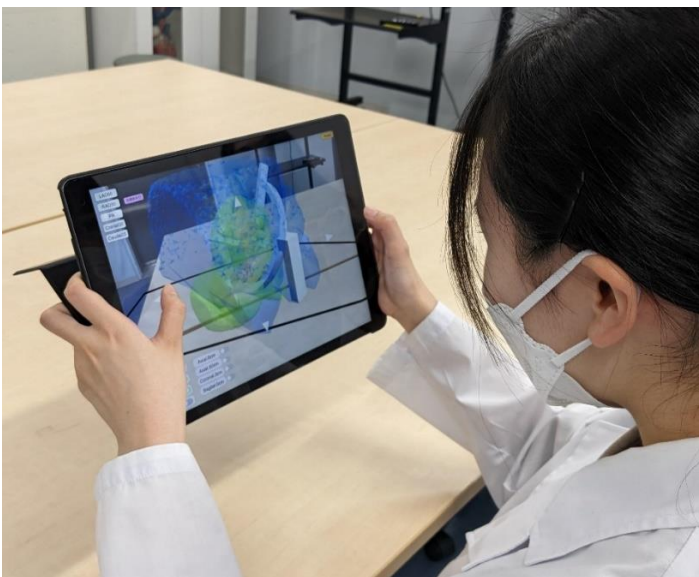


Fig.8 卓上でアプリケーションを使用している様子

### C-3. AR アプリケーションを使用した感想、有用性

九州大学の放射線技術科学専攻の学生6名と弘前大学の看護学専攻の教員2名に本アプリケーションを使用した感想を収集した。良い感想には、“普段スマホを利用しているため画面のボタン操作が直感的に分かりやすい。”、“任意の角度から観察できるため、散乱線分布の広がり分かりやすい。”、“縮小によりデバイスを持って移動する必要がなく、手軽に使用できる。”、“実物大の散乱線の周囲を動いて観察できるため、散乱線との距離感が実感できる。”という意見があった。不満点には、“他の角度に移動すると、縮小率や表示非表示などの情報が保持されず、アプリケーション起動時の状態に戻ってしまう。”という意見があった。

## D. 考察

### D-1. AR アプリケーションの有用性

九州大学の放射線技術科学専攻の学生6名と弘前大学の看護学専攻の教員2名の本アプリケーションを使用した感想の中で、良い感想として挙げられたように、“任意の角度から実物大および縮小された散乱線分布を観察できる”、“散乱線との距離の取り方が視覚的に認識できる”、“実物大や座学での散乱線の観察ができるため、状況に応じてアプリケーションの使い分けが可能である”という3点がアプリケーションの有用性を示すと考えられる。また、本アプリケーションのさらなる有用性を示すために、血管造影検査に携わる医療従事者からの本アプリケーションを使用した感想の収集が必要であると考えられる。

### D-2. 放射線防護板の有無での散乱線分布の比較

防護板ありと防護板なしの散乱線分布は同時表示ができないため、本アプリケーションを使用

した感想に、防護板の有無での比較が分かりにくいという意見があった。それに加えて、防護板ありとなしの表示切替で、縮小率や表示非表示の情報が保持されないため、Cアーム角度の切り替えボタンで切り替えると、アプリケーション起動時の状態に戻ってしまうという問題がある。この問題の解決策として、防護板の有無の比較のために、防護板ありの場合のオブジェクトと防護板なしの場合のオブジェクトの両方を表示させるシーンを別途設置するという方法が考えられる。

### D-3. 物体の位置関係

AR オブジェクトと人や物などの現実空間のオブジェクトの位置関係を正しく認識されないという課題がある。これは、実物大の散乱線の広がりを実感するうえで特に問題となる。この問題に対して、物体の前後関係を把握し、より没入感を与えるオクルージョン機能を追加するという解決策が考えられる。

### IV-4. 平滑化処理に伴う 3D オブジェクトの形状変化

平滑化処理によってデータ容量を削減することができるが、3D オブジェクトの形状が変化してしまう。頂点数削減およびスムージングの程度は主観的な判断で行ったため、形状の変化の程度を体積などで定量的に評価する必要があると考えられる。

## E. 結論

実物大や縮小による使用で任意の位置や角度から散乱線分布を可視化し、散乱線の挙動や防護具の効果を直感的に理解できるようなARアプリケーションを作成した。本アプリケーションを使用した感想から、実物大の表示で血管造影装置と重ね合わせての使用や、縮小による卓上での使用



により、直感的に散乱線の広がりや防護板の遮蔽効果について理解することができた。

今後は AR アプリケーションをさらに有用なものにするため、表示方法や散乱線挙動の理解度を図る問題の作成を検討する必要がある。

#### F. 引用文献

- 1) 藤淵 俊王, 上田 昂樹, 門柳 紗妃 他:仮想現実を利用した放射線検査における散乱線分布の四次元可視化による放射線防護教育への活用法の検討, 日本表線技術学会雑誌, 75 巻, 2019;11:1297-1307.
- 2) 荒川 弘之, 徳森謙二, 亀澤秀美 他:放射線防護教育を目的とした X 線撮影室における散乱線の可視化, Radioisotopes 2018; 67(1): 11-15.
- 3) K Nishi, T Fujibuchi, T Yoshinaga et al:Development of scattered radiation distribution visualization system using WebAR, 2021 J.Phys.:Conf.Ser.1943
- 4) 遠藤 啓吾, 杜下 淳次 他:血管撮影・血管系 IVR, 図解 診療放射線技術実践ガイド, 文光堂, 東京, 2020:227-244.
- 5) 吉永 崇:はじめよう ARCore:自己位置推定・平面検出・FaceTracking, 2019
- 6) 吉永 崇:Unity で始めよう WebAR, 2021
- 7) 北村 愛実 著:Unity の教科書 Unity2021 完全対応版 2D&3D スマートフォンゲーム入門講座
- 8) <https://www.paraview.org/>
- 9) <https://unity.com/ja>,
- 10) <https://developer.apple.com/download/all/>

#### G. 健康危険情報

なし

#### H. 研究発表

1. 論文発表  
なし

2. 学会発表

1: なし

#### I. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得  
なし

2. 実用新案登録  
なし

3. その他  
なし

労災疾病臨床研究事業費補助金  
分担研究報告書

ピンホールカメラを用いたリアルタイムでの散乱線の可視化に関する検討

研究代表者 藤淵 俊王 九州大学大学院医学研究院保健学部門医用量子線科学分野 教授  
研究協力者 岸田 大典 九州大学大学院医学系学府保健学専攻医用量子線科学分野

研究要旨

IVR 中の散乱線源を特定する手法の一つに、イメージングプレート(IP)を用いたピンホールカメラの報告がある。しかし、IP を用いた場合、画像作成に数分から数十分の時間を要する。本研究の目的は、リアルタイムで散乱線源の特定が行えるマルチピンホールカメラの作成、エネルギー依存性の有無の確認、ピンホール数の変化によるノイズ、分解能の変化を観察、レンズの輝度均一性、歪みの確認をすることである。Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)カメラ、CsI シンチレータ、マルチピンホールコリメータからマルチピンホールカメラを作成し、撮影、画像を解析し、評価した。結果として、管電圧 70 kV での散乱線源の可視化が可能であり、ピンホール数増加によって、ノイズは減少したが、分解能は低下した。また、平均ピクセル値は低下した。要因としては、広角レンズの輝度均一性に問題があったことが挙げられる。

## A. 研究目的

### A.1 背景

現在、インターベンショナルラジオロジー(IVR)は手技の複雑化、透視時間の延長により、医師やスタッフに高い放射線量を与えている可能性がある。[1,2,3,4]IVR を担当する医師は、他の医療従事者よりも高い放射線被ばくのリスクを負っている。さらに、眼への放射線量は、医師が白内障を発症するリスクに達することが多い。[5,6]そのため、IVR に従事する医師や、医療スタッフへの放射線防護対策や防護教材の作成は重要である。特に外部放射線の防護において、被ばくの主な原因である散乱放射線の発生源の位置を理解することは大切である。

### A.2 IP を用いた散乱線源の可視化研究

散乱線は実際には、目に見えないため、散乱放

射線の発生源の位置を学ぶためには可視化を行う必要がある。そこで、IVR で使用される機器からの散乱放射線の発生源を可視化することが可能なイメージングプレート(IP)を使用したピンホールカメラの研究がある。[7,8]

Koichi Chida らの研究[7]では、イメージングプレート(IP)、ラジオグラフィックフィルム、ピンホールの開いた鉛シールドから構成される箱状のピンホールカメラを作成した。作成したピンホールカメラで、15 f/s, 70 kV, 透視時間 20 s, 露光時間 1 min の照射条件下、厚さ 20 cm のアクリルファントム中心から水平方向 90 cm 離れた位置から、IVR 装置、アクリルファントム表面から発生する散乱線源を特定した。田原 義弘 らの研究[8]では、イメージングプレート(IP)、ラジオグラフィックフィルム、鉛板、木版、アクリル板、ゴム板等から構成され、カメラ後部の形状は長軸方向を、ピンホールを中心とした円弧状のピンホールカメ

ラを作成した。作成したピンホールカメラで、over tube 型透視装置、80 kV, 2 mA, 透視時間 10 min, 露光時間 30 min の条件下、透視用ファントムを乗せた寝台の横(透視中の術者位置近傍)から、透視装置、透視用ファントムから発生した散乱線源を特定した。

ピンホールカメラを用いることで、光学画像と散乱線による画像を同時に同じ大きさで得られることができるため、散乱線発生 of 正確な位置情報が得ることが可能である。また、構造が単純で、入手しやすい材料が多く、作成が簡単であること、接写から広範囲の撮影が可能であること等の利点がある。[8]しかし、適正な画像を得るには、数分から数十分の時間を要すること、IP の読み取りが必要であることが、欠点として挙げられる。

### A.3 CsI シンチレータとデジタル CMOS カメラを組み合わせた可視化

先行研究[7.8]では、IP を用いていたため、画像を得るのに、時間が掛かっていたことが課題とし



図 1 CsI シンチレータプレート  
縦 50 mm, 横 50 mm, 厚さ 0.5 mm

### A.4 目的

本研究の目的は、リアルタイムで散乱線源の特定が行えるマルチピンホールカメラの作成、ピン

て挙げられる。そのため、放射線防護教材の作成をより簡便にするためには、よりリアルタイムに近い散乱線源可視化システムを開発する必要があった。そこで、よりリアルタイムに近い時間で、散乱線を可視化する方法として、CsI シンチレータ(図 1)とデジタル CMOS カメラ(図 2)を組み合わせる方法がある。

シンチレータとは、X 線やガンマ線等の放射線にあたると、蛍光を発生する特性を持つ。また、Yoshitani Hiroshi らの研究[9]では、持ち運び可能なシンチレータと微弱な発光に対し高感度なデジタル CMOS カメラを用いることで、低い線量の場合でも、より明るく発光を視覚的に確認する放射線可視化システムを開発した。我々は、このシンチレータとデジタルカメラ、ピンホールカメラを組み合わせることで、よりリアルタイムに近い散乱線源の可視化システムを考案した。従来の IP を用いたピンホールカメラを、シンチレータとデジタル CMOS カメラで代用した研究は無い。



図 2 デジタル CMOS カメラと広角レンズ

ホールカメラのエネルギー依存性の有無の確認、ピンホール数変化によるノイズ、分解能の変化を観察、レンズの輝度均一性、歪みの確認することである。

## B. 研究方法

### B.1. ピンホールカメラの構造と特徴

図 3,4 にピンホールカメラの概略図を示す。

ピンホールカメラは、デジタル CMOS カメラ、CsI(Tl)シンチレータプレート、シンチレータプレートとデジタル CMOS カメラの固定具、ピンホールコリメータで構成されている。デジタル CMOS カメラとして ORCA-sparkC11440-36U(Hamamatsu Photonics,Shizuoka,Japan)を使用した。広角レンズ Closed-circuit television lens(Kowa,Aichi,Japan)をデジタル CMOS カメラに取り付けた。CsI(Tl)シンチレータプレートは GPXS (Hamamatsu Photonics,Shizuoka, Japan 50 mm × 50 mm × 0.5 mm)を使用した。CsI の厚さは、400  $\mu$ m である。シンチレータプレートとデジタル CMOS カメラの固定具は、3D プリンターを用いて作成した。固定具を使用し、シンチレータプレート中心、レンズ中心、ピンホール中心の高さが一致している。ピンホールコリメータは 2 mm 厚

の鉛を使用し、直径 0.9 mm の穴が、高さ 4.5 cm に位置に空いている。ピンホールカメラの高さ 11 cm、幅 10 cm、奥行き 15.5 cm、コリメータとシンチレータプレートの距離は、0.5 cm、3.0 cm、シンチレータとレンズ中心の距離は、シンチレータプレート全体が写るように、1 cm とした。コリメータとシンチレータの距離、コリメータとファントムの距離を変更することで、撮影範囲、撮影される像の大きさの調整が可能である。ピンホール以外からの X 線を除くため 2 mm 厚の鉛板を、CMOS カメラを囲むように箱型に設置した。CMOS カメラの後方は、AC アダプタ、USB ケーブルを通すため、鉛板では覆っていない。また、鉛板を固定するためブックエンドを側面に使用している。鉛板は柔らかいため、形状変化が起こっていないか、直角定規で定期的に確認した。ジャッキをマルチピンホールカメラの下に設置し、高さ調節を行った。デプスカメラ RealSense Depth Camera D435(Intel,Mountain view,United States of America)をコリメータ中心から 5.0 cm の位置に設置した。

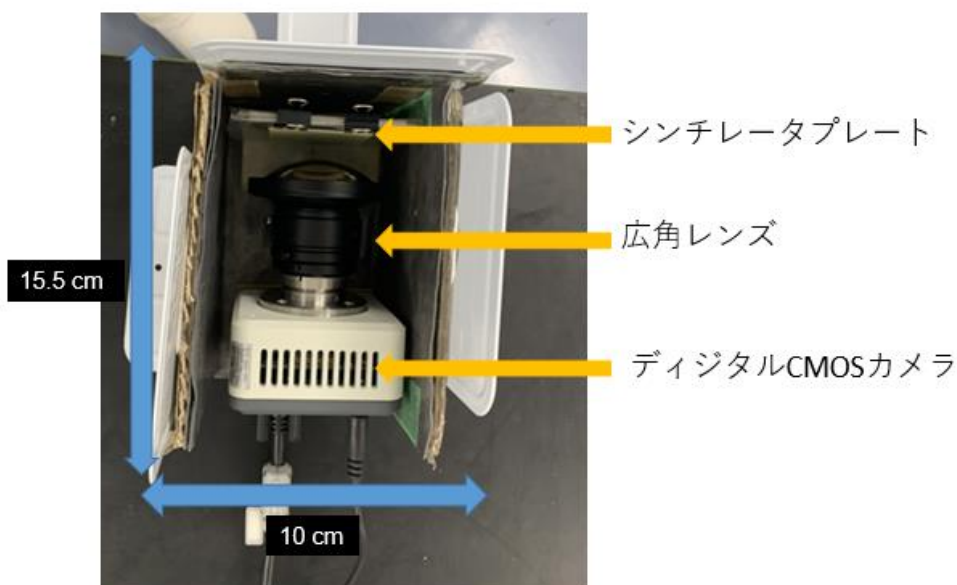


図 3 ピンホールカメラ(内部)

シンチレータプレートと広角レンズの間の距離は、1 cm、横幅 10 cm、奥行き 15.5 cm、全体を 2 mm 厚の鉛で覆っている。

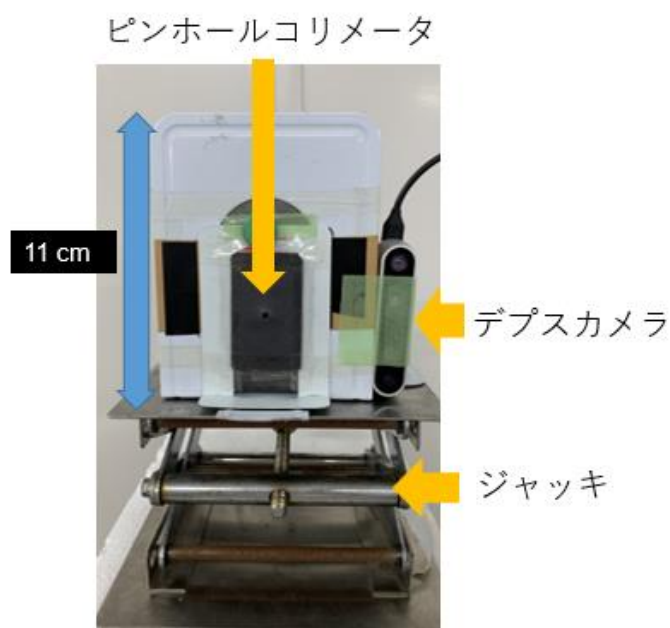


図4 ピンホールカメラ(正面)

高さ 11 cm, デプスカメラは、ピンホールから 5 cm 離れた位置に設置、ジャッキによって高さ調整を行う。

## B.2 使用機器

### B.2.1 ピンホールコリメータとマルチピンホールコリメータについて

ピンホールコリメータ、マルチピンホールコリメータを示す。(図5)

縦 4 cm 幅 3 cm 厚さ 2 mm の鉛板の中心に、穴あけポンチを用いて、1 箇所あけたピンホールコリメータ、4 箇所の穴をあけたマルチピンホールコリメータを作成した。鉛板は本立てに貼り付けている。

ピンホールサイズは小さいほど、分解能良くシャープに写るが、感度は低下する。作成したマルチピンホールカメラのピンホールサイズは感度、分解能の観点から直径 3 mm とした。[8]ピンホールコリメータでは、鉛板の中心に穴をあけた。マルチピンホールコリメータでは、ピンホール間隔は 1 cm とし、像と像が重ならないように、等間隔に穴をあけた。ピンホール数を二個に変更する場合は、二箇所のピンホールを覆い隠すように、鉛板を張り付けた。



図5 ピンホールコリメータとマルチピンホールコリメータ  
直径 3 mm、マルチピンホールの穴と穴の間隔は 1 cm で作成した。

### B.2.2 実験装置

移動型デジタル式汎用一体型 X 線透視診断装置  
(Fujifilm, Kanagawa, Japan)

個人線量計校正用ファントム (Qualita, Nagano,  
Japan)

LED ライト

デブスカメラ D435 (Intel, Mountain View, United  
States of America)

半導体サーベイメータ Raysafe X2 (Raysafe,  
Sweden)

データ解析 : ImageJ 64-bit Java 1.8.0\_172 (Wayne  
Rasband, National Institutes of Health, USA)

### B.2.3 実験配置

撮影に用いた実験配置を示す(図 6)。ピンホールカメラの高さは、透視中の術者の水晶体位置の高さを想定した地上から 150 cm とした。また、ファントム中心からピンホールカメラまでの距離は、RGB 画像内に透視装置の C アームと、ファントムの全体が写る距離に設定した。ピンホールカメラを over tube 型透視装置寝台の横 180 cm 離れた位置に設置し、ファントム透視中に発生する散乱線を撮像した。





図 6. 実験配置

ピンホールカメラは、散乱線撮影時は、遮光カーテンで覆う。ピンホールカメラとファントムの間の距離は、180 cm 離れている。

#### B.2.4 デジタル CMOS カメラの設定

デジタル CMOS カメラの設定は最も高感度になるように、以下の通りとした。

・カメラの設定条件

ゲイン 240, ビニング 2×2, 露光時間 7 s, ピクセルサイズ 600 pixel×960 pixel, コリメータ, シンチレータ間距離 0.5 cm, 3.0 cm

エネルギー依存性の有無の確認では、3.0 cm、ピンホール数変化によるノイズ、分解能の変化を観察では、0.5 cm にシンチレータ、コリメータ間距離を設定した。

#### B.3 ピンホールカメラで撮像される画像

#### B.3.1 散乱線画像(図 7)

図 7 の散乱線画像撮影時は、カメラ前方のピンホールから 3 cm 後方の位置に、シンチレータプレートを配置している。X 線管、ファントム表面から発生している散乱線が写っている。ピンホールから入った散乱線は、シンチレータプレートで、可視光に変換され、CMOS センサーで捉えられる。CMOS センサーで捉えられた光は、上下左右逆さまの像を形成する。撮影後、画像処理にて、画像を上下左右反転させる。シンチレータプレートとピンホールコリメータの距離が変化すると、像の大きさ、センサーに入射する光量も変化する。散乱線を撮影する際には、ピンホールカメラの周りを遮光カーテンで覆っている。



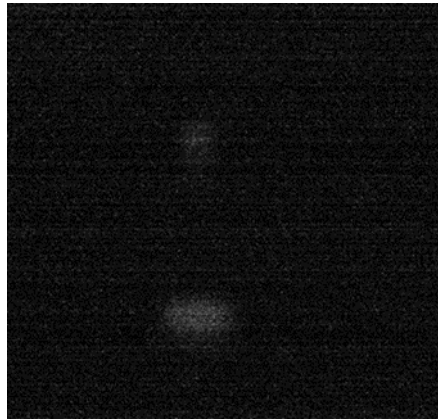


図7 散乱線画像(照射条件: 110 kV 10 mA)

上部に X 線管、下部にファントム上に発生する散乱線源が撮影されている。

### B.3.2 可視光画像(図8)

シンチレータプレートと同じ位置に、トレーシングペーパーを配置する。ピンホールから入った可視光は、トレーシングペーパーに写る。2.3.1 と同様に、トレーシングペーパー上に形成される像

も、上下左右逆さまで形成される。ピンホールカメラで撮影された可視光画像には、LED ライトによって、X 線管、C アーム、ファントムの形が写っている。可視光を撮影する際には、遮光カーテンで、ピンホールの部分は覆わない。

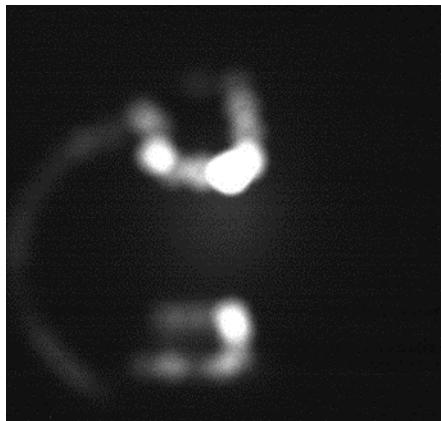


図8 可視光画像

透視装置の X 線管、C アーム、ファントム上の LED の可視光が撮影されている。

### B.3.3 デプスカメラで撮影される RGB 画像(図9)

マルチピンホールカメラの側面(ピンホールから 5 cm の位置)にデプスカメラ D435 (Intel, Mountain View, United States of America)を配置した。可能な限り、位置による画像の変化が小さいように、デ

プスカメラとピンホールの位置の距離は短くした。デプスカメラを用いて、撮影した RGB 画像には、透視装置の C アーム、寝台、ファントム、LED ライトが写っている。



図9 Cアーム透視装置のRGB画像

透視装置のX線管、C-アーム、ファントム上にLEDライトが配置されている。

### B.3.3 可視光画像を用いた散乱線源を特定する画像作成方法

図10に可視光画像を用いた散乱線源を特定する画像作成に関する概略図を示す。実験では、ピンホールカメラで撮影した画像以外に、デプスカメラで撮影したRGB画像(図9)を使用した。ピンホールカメラで撮影される散乱線画像と可視光

画像は上下左右逆さまで保存されるため、撮影後、画像処理にて、像の上下左右を反転させた。RGB画像と、カラー画像に変更した可視光画像をCアーム、X線管、ファントムを基準に重ね合わせる。同じ位置でトレーシングペーパーとシンチレータを交換することで、可視光画像を用いた散乱線源を特定する画像の作成が可能である。

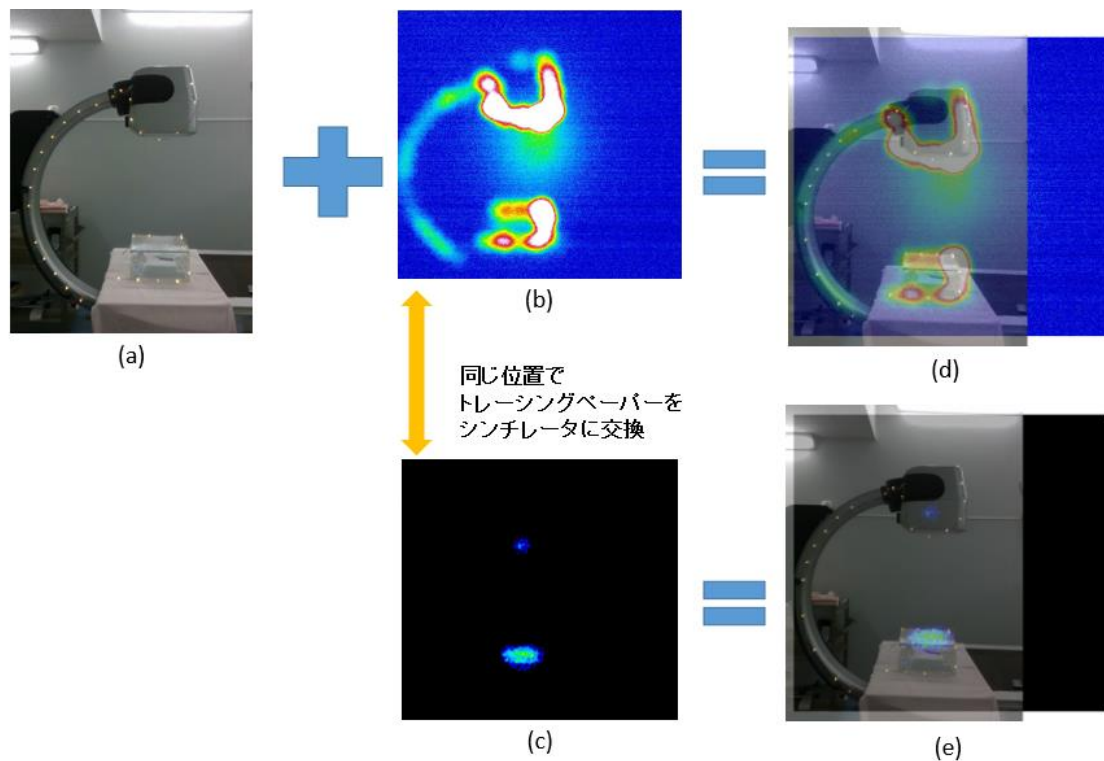


図 10. 散乱線源を特定する画像作成方法

(a) RGB 画像 (b) カラー画像に変更した可視光画像 (c) カラー画像に変更した散乱線画像 (d) 可視光画像と RGB 画像の合成した画像 (e) 散乱線画像と RGB 画像の合成した画像

#### B.4 ピンホールカメラのエネルギー依存性の有無の確認

##### B.4.1 透視条件

透視条件は次の通りとした。

・ X 線照射条件 (透視)

管電圧 70 kV, 80 kV, 90 kV, 100 kV, 110 kV 管電流 10 mA, フレームレート 8 fps, 照射野 425.4 mm × 350.4 mm, SID 107 cm, SSD 82 cm

ピンホールの前にアルミニウムの板を配置し、アルミニウム板無、アルミニウム板 1 mm、アルミニウム板 2 mm の 3 通りで測定を行った。

##### B.4.2 画像の解析手法

ピンホールカメラで取得した画像を、画像処理ソフトウェア(ImageJ)を用いて解析した。

シンチレータの発光画像から pixel 値の測定方法

① 発光画像に対して、3 pixel で平滑化処理を行う。画像処理前と処理後の画像(図 11,12)を示す。

② 平滑化処理を行った画像の発光領域(ファントム上、X 線管)、発光領域から十分に離れた位置に設定したバックグラウンド領域にそれぞれ ROI を設定した。ROI を設定した発光画像を図 13 に示す。

③ 発光領域からバックグラウンド領域の平均ピクセル値を減算した。

④ 各管電圧における、半導体サーベイメータの測定値とピンホールカメラの pixel 値の相対値の比 R を求めた。半導体サーベイメータの配置図(図 14,15)を示す。

$$R = H_p/H_{x2} \quad (1)$$

$H_p$  シンチレータ発光画像から得られた pixel 値

$H_{x2}$  半導体サーベイメータの測定値

⑤ 各管電圧の R を、80 kV の R で除算した値を用いて、エネルギー依存性のグラフを作成した。

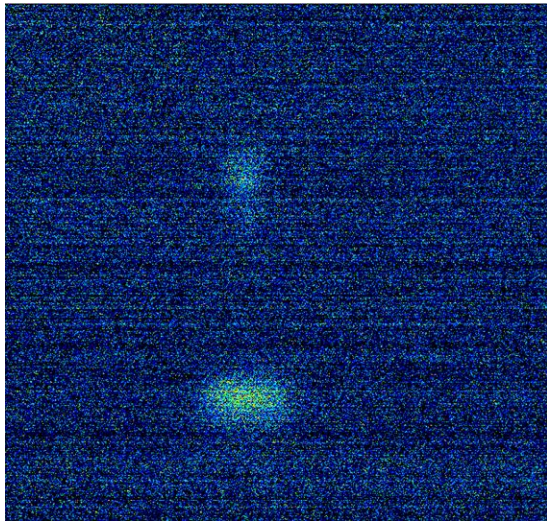


図 11. 画像処理前

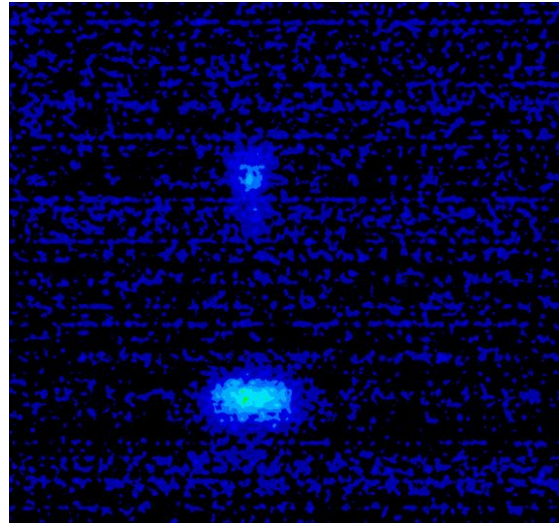


図 12. 画像処理後

画像処理を行うことで、画像上に写るノイズの影響が抑制可能

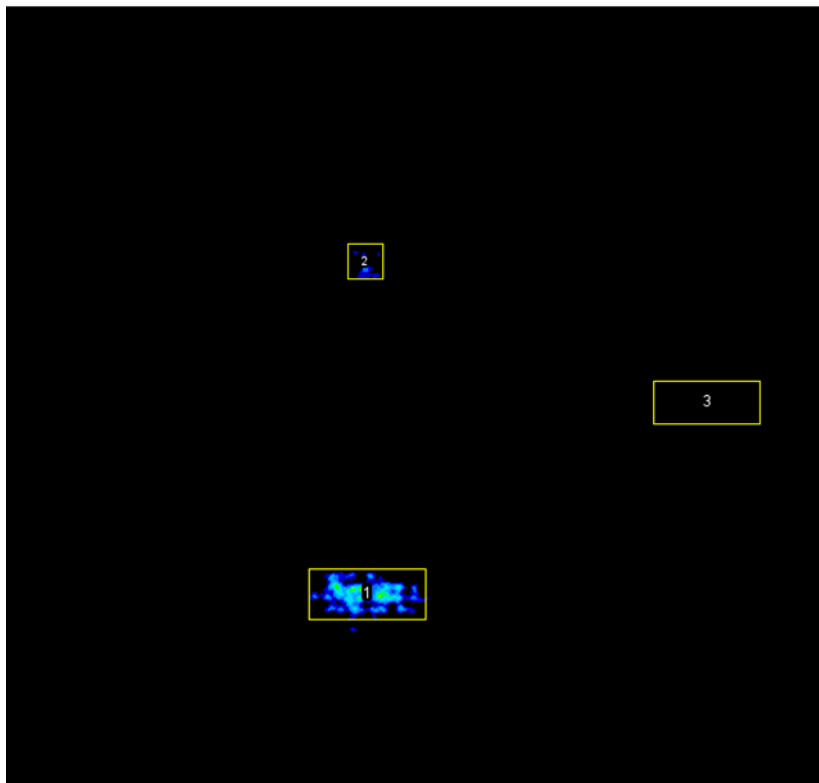


図 13. ROI を設定した発光画像

X線管上、ファントム上、バックグラウンド領域にROIを設定した。



図 14. 半導体サーベイメータ



図 15. 半導体サーベイメータの配置位置

半導体サーベイメータ Raysafe X2 (Raysafe, Sweden)は、ピンホールカメラと同じ位置に設置

## B.5 ピンホール数変化によるノイズ、分解能の変化を観察

### B.5.1 透視条件

透視条件は次の通りとした。

#### ・ X 線照射条件 (透視)

管電圧 70 kV, 110 kV 管電流 10 mA, フレームレート 8 fps, 照射野 425.4 mm×350.4 mm, SID 107 cm, SSD 82 cm

### B.5.2 画像の解析手法

マルチピンホールカメラで取得した画像を画像処理ソフトウェア(ImageJ)を用いて解析した。撮影した画像には、ファントム上、X線管の散乱線源から十分に離れた領域に ROI を設定、その平均 pixel 値を減算した。

同様の処理をピンホール数 1 個,4 個でも行った。

### 標準偏差の求め方

標準偏差の求め方に関する概略図(図 16)を示す。

- ① マルチピンホールカメラで撮影された散乱線画像(ピンホール数二個)のファントム上の散乱線源の中心を設定し、中心から等距離になるように ROI を設定した。
- ② 設定した ROI の二箇所から、画像 A,B を切り取った。
- ③ 画像 A,B を加算し、平均した画像 C を作成した。
- ④ 画像 C を 3 pixel で平滑化した画像 D を作成した。3 pixel より高い値では、過度な平滑化処理になってしまう。
- ⑤ 画像 C から画像 D を減算し、画像 E を作成した。また画像 E のファントム上の散乱線源に ROI を設定し、標準偏差を求めた。



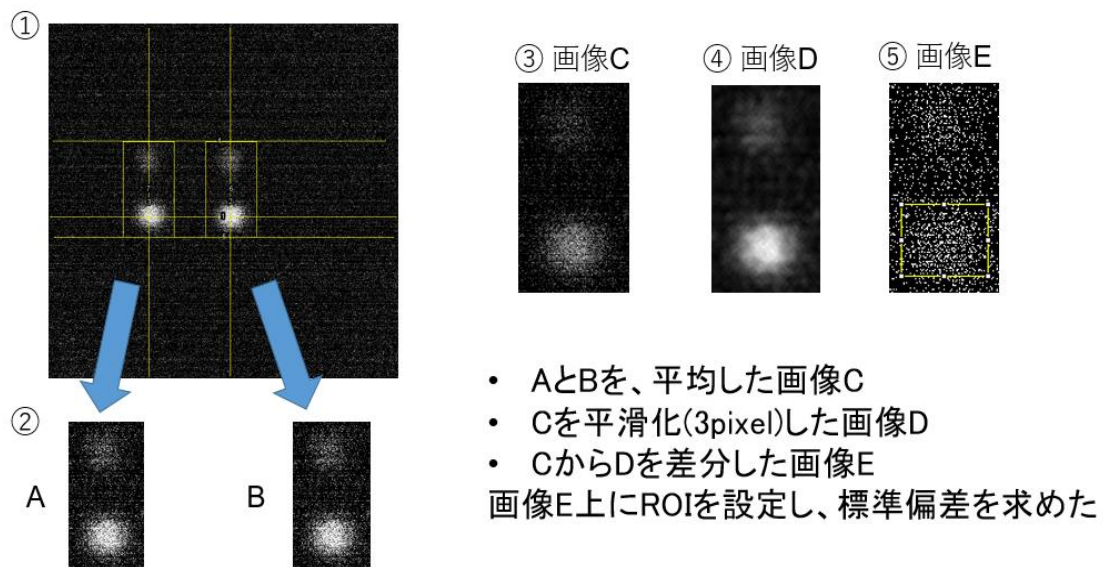


図 16. 解析手法に関する概略図

## B.6 レンズの輝度均一性、歪みの確認

### B.6.1 輝度均一性の確認方法

実験配置図を図 17 に示す。光源を図 18 に示す。

カメラレンズと光源の間には、直径 1 mm の穴のあいた黒色の紙(図 19)を設置した。光源とピンホールとの距離は、1 cm、ピンホールとレンズ

の間の距離は、3 cm とした。カメラを水平方向、垂直方向に 1 cm ずつ動かし、光源を撮影した。9 × 15 (縦 × 横) の 135 カ所を撮影した。

撮影条件は以下の通りである。

露光時間 1 ms, ゲイン 0, ビニング 2, ピクセルサイズ 600 pixel × 960 pixel

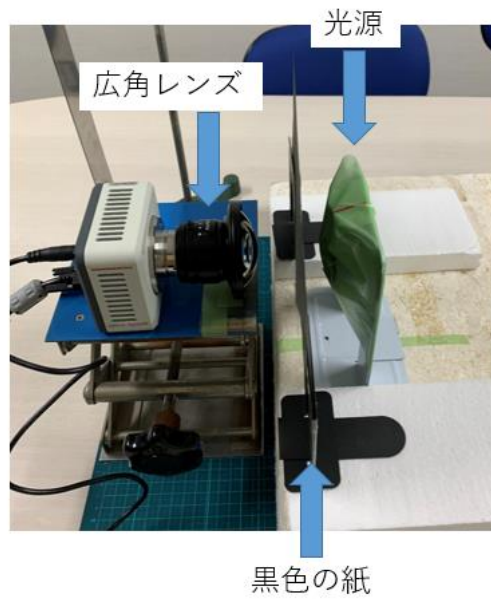


図 17 実験配置図

广角レンズとピンホール間距離は、3 cm、光源とピンホール間距離は、1 cm で行った。



図 18 光源

光源を本立てでテープで貼りつけた



図 19 穴のあいた黒い紙

直径 1 mm の穴が黒い紙の中心にあいている

### B.6.2 画像の解析手法 (輝度均一性の確認)

撮影された画像を、画像処理ソフトウェア (ImageJ) を用いて解析した。光源有の状態でも撮影した画像、光源無の状態でも撮影した画像をそれぞれ

れ 3 枚ずつ平均化し、光源有から光源無の画像を減算した。ROI(67 pixel × 64 pixel) を光源の中心に配置し、平均 pixel 値を測定した。



### B.6.3 歪みの確認方法

実験配置図を図 20,21 に示す。方眼紙と、カメラレンズとの距離は、5 cm とした。方眼紙の縦線と、横線が重なる 187 点(11×17)を測定した。

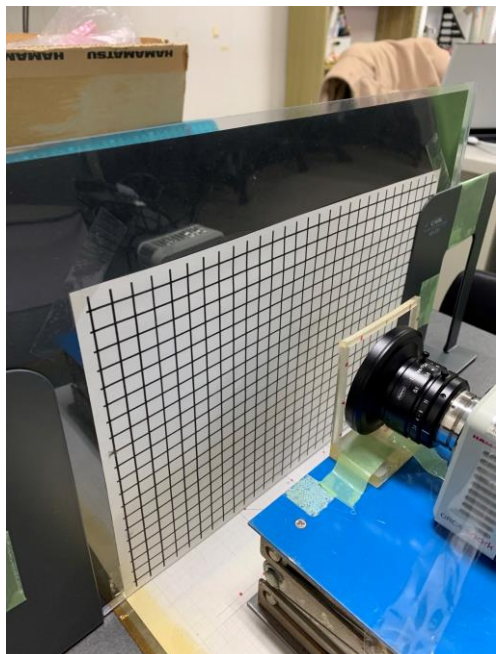


図 20 横から見た実験配置図

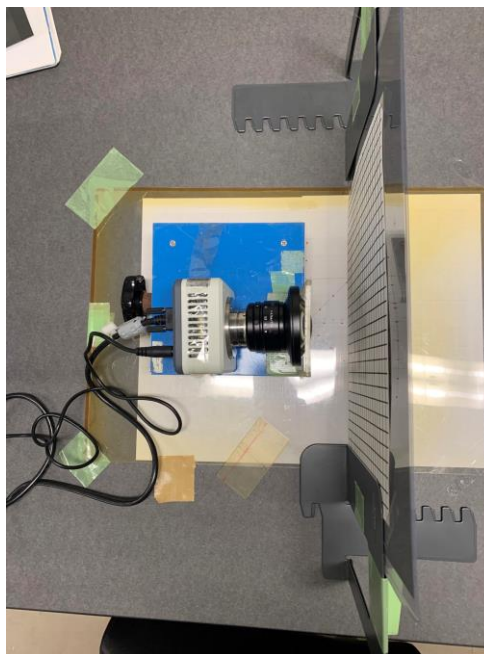


図 21 上から見た実験配置図

広角レンズと方眼紙との間の距離は 5 cm、方眼紙を垂直な板に貼り付けた。

### B.6.4 画像の解析手法 (歪み)

撮影された画像を図 22 に示す。撮影された画像上に基準線として水平方向、垂直方向に 11 個、17 個を設定した。また、水平方向、垂直方向の中心の基準線の位置を 0 とした。

画像の解析手順を下記に示す。

- ① 撮影された画像に画像処理ソフトウェア (ImageJ) を用いて、水平方向と、垂直方向に、平行な線(基準線)を引いた。水平方向には、11 個、垂直方向には、17 個の基準線を設定した。図 22 の上から 6 番目、図 22 の左から 9 番目の基準線の交点が画像中心になるように設定した。
- ② 基準線と、方眼紙の縦線と横線の交点の中心の距離(pixel)を測定した。基準線と交点の中心の

撮影条件は以下の通りである。

露光時間 5 ms, ゲイン 0, ビニング 2, ピクセルサイズ 600 pixel × 960 pixel

距離の測定は手動で行った。(図 23,24)基準線と交点との間の距離を歪みとした。一列あたり、水平方向の基準線上の 17 点、垂直方向の基準線上の 11 点の合計 187 点の交点を、水平方向、垂直方向に分けて、歪みを測定した。

- ③ 歪み(pixel)と画像上での水平方向、垂直方向の位置の関係を示すグラフを作成した。
- ④ 寝台から透視装置までの高さ(cm)を実際に測定し、ピンホールカメラとファントム間距離 180 cm で撮影した可視光画像から寝台から透視装置の距離(pixel)との関係を解析した。可視光画像と RGB 画像を重ね合わせた画像を図 25 に示す。
- ⑤ ④の結果から、ピンホールカメラとファントム間距離 180 cm での歪み(cm)を求めた。

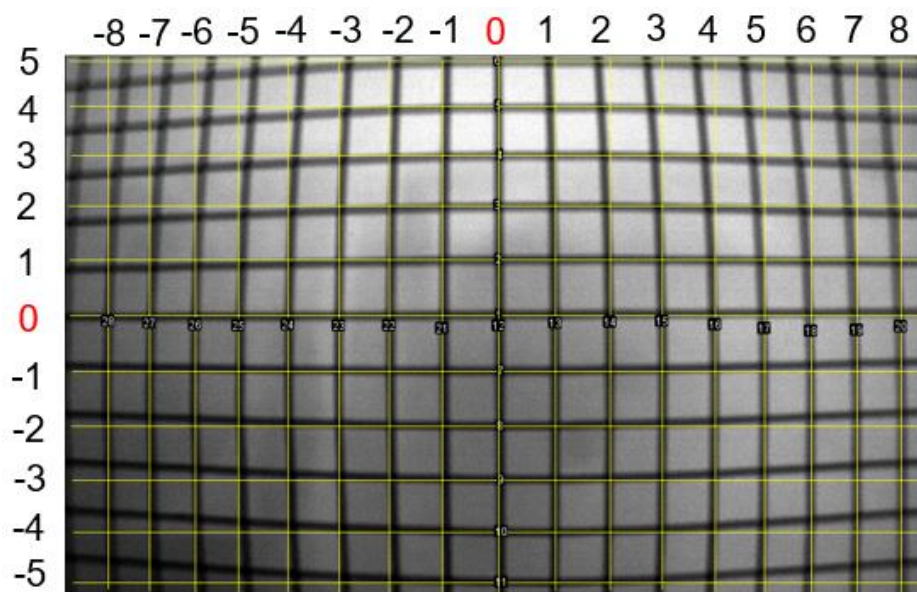


図 22 撮影された画像

撮影された画像上に基準線として水平方向、垂直方向に 11 個、17 個を設定した。また、水平方向、垂直方向の中心の基準線の位置を 0 とした。

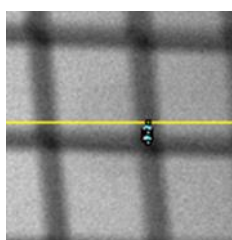


図 23 水平方向の基準線(黄)と交点までの距離を測定

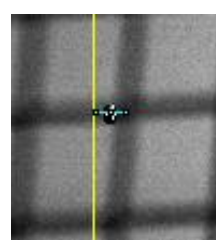


図 24 垂直方向の基準線(黄)と交点までの距離を測定

図 23 で、水平方向の基準線に対する歪み、図 24 で垂直方向の基準線に対する歪みを測定した。図 23,24 は、手動で設定した。

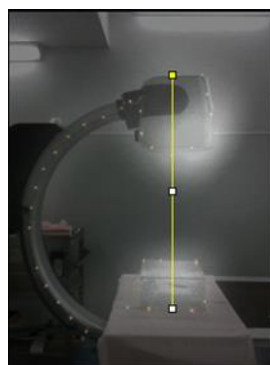


図 25 可視光画像と RGB 画像を重ね合わせた画像上の X 線管から寝台までの距離を測定  
可視光画像と RGB 画像は X 線管、ファントム、C アームを基準に重ね合わせた

(倫理面への配慮)

本研究では、ヒトに関するデータを使用することはなく、倫理面への配慮に関する項目はない。

## C. 結果

### C.1. ピンホールカメラのエネルギー依存性の有無の確認

#### C.1.1 各管電圧の散乱線画像の変化

図 26,27,28 に管電圧 70 kV,90 kV,110 kV、管電流 10 mA での散乱線画像を Al 無,Al 1 mm,Al 2 mm, ごとに示す。また、各管電圧の発光量の変化を図 29 に示す。管電圧が上がるほど、発光量は増加する傾向にあった。また、Al 1 mm, 100 kV での発光量が低下した。

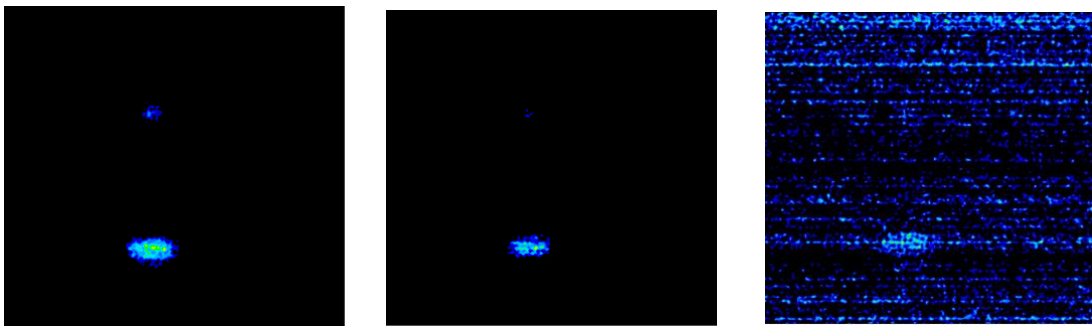


図 26 Al 無での散乱線画像 (左:110 kV、中央:90 kV、右:70 kV)

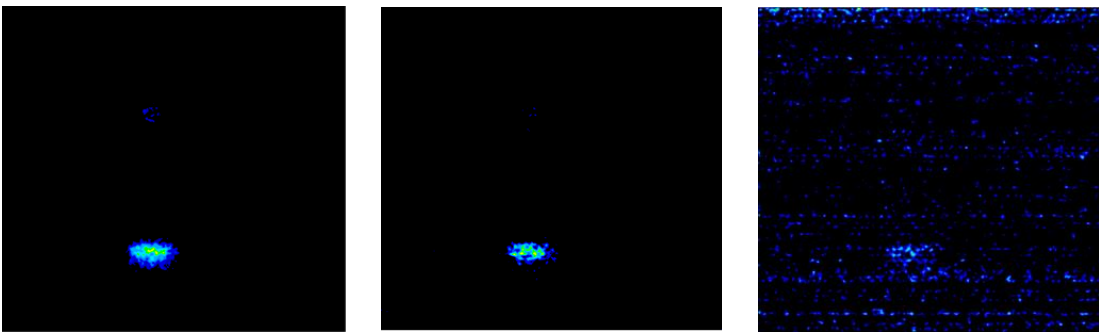


図 27 Al 1 mm での散乱線画像 (左:110 kV、中央:90 kV、右:70 kV)

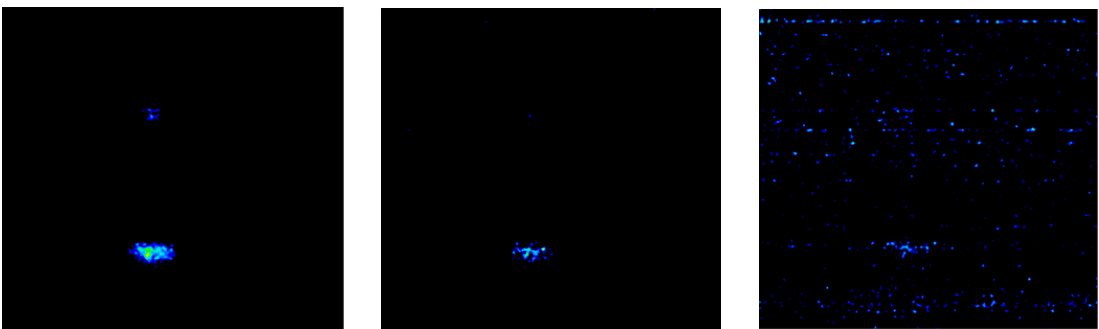


図 28 Al 2 mm での散乱線画像 (左:110 kV、中央:90 kV、右:70 kV)

管電圧が低下するほど、発光量が低下している。

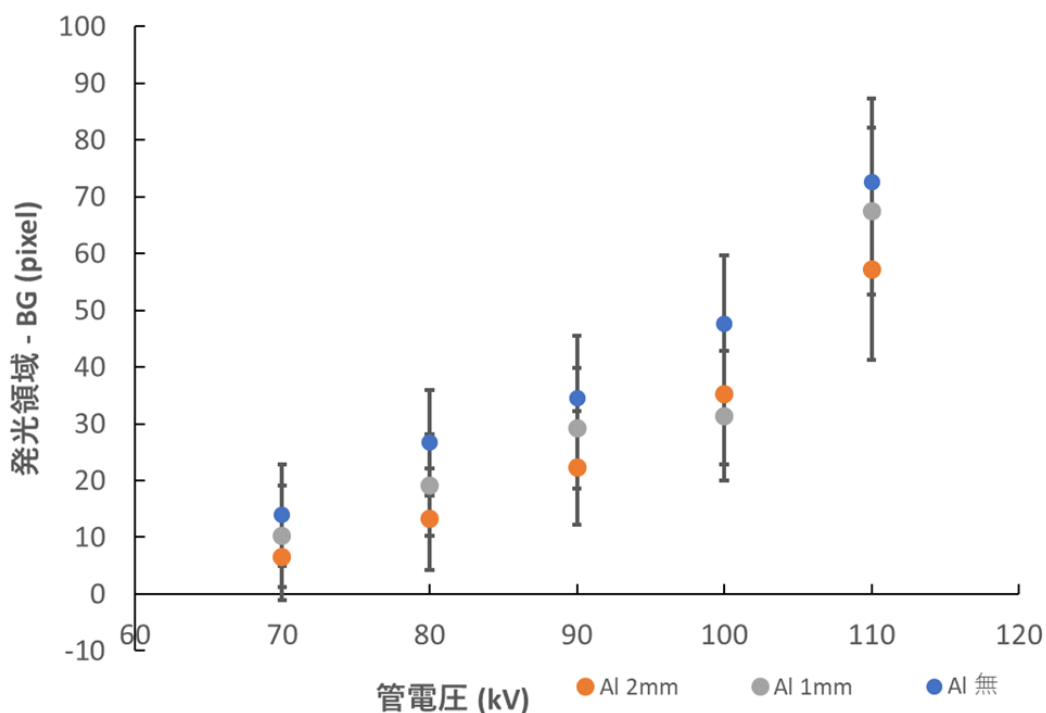


図 29 各管電圧の発光量の変化

Al 無, Al 1 mm, 2 mm、の全てで、管電圧が大きくなるほど、ピクセル値は大きくなっている。Al 1 mm 100 kV では、値が小さくなっている。

### C.1.2 ピクセル値のプロファイルを作成

図 30 に画像処理後の、散乱線画像のプロファイルを示す。管電圧ごとにピクセル値のプロファイルを作成した。管電圧ごとに、ノイズの大きさが変化していることが分かる。200 pixel に現れる

ピークは、X 線管上の散乱線源、500 pixel 付近に現れるピークは、ファントム上の散乱線源を示している。散乱線画像上のプロファイルを取った箇所を図 31 に示す。

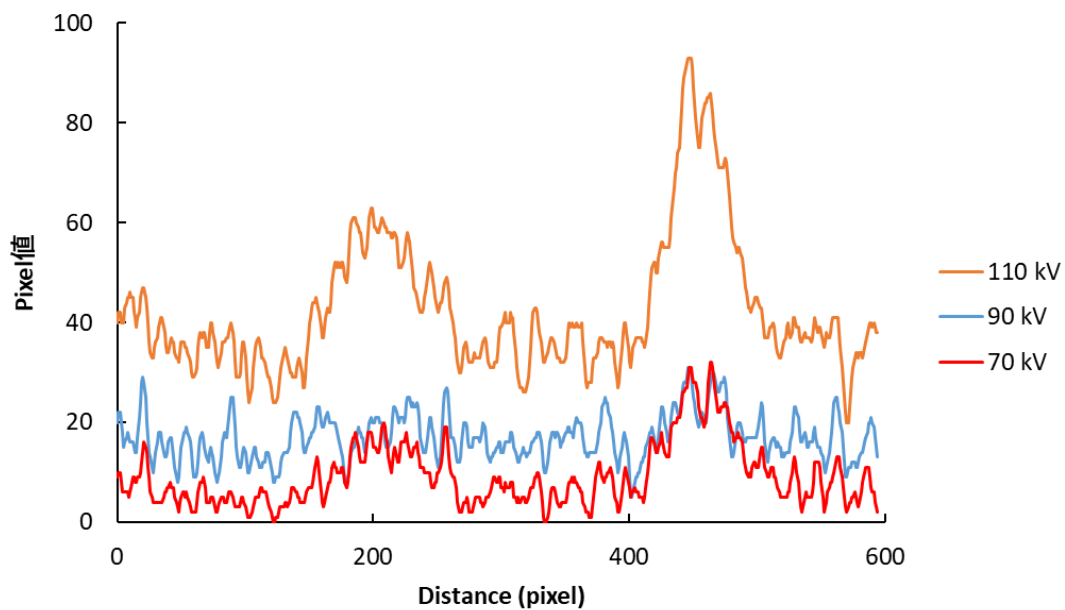


図 30 70, 90, 110 kV でのプロファイル

各管電圧にノイズの量が増えている。200 pixel 付近と、500 pixel 付近に、X 線管上、ファントム上の散乱線源のピークが現れている。

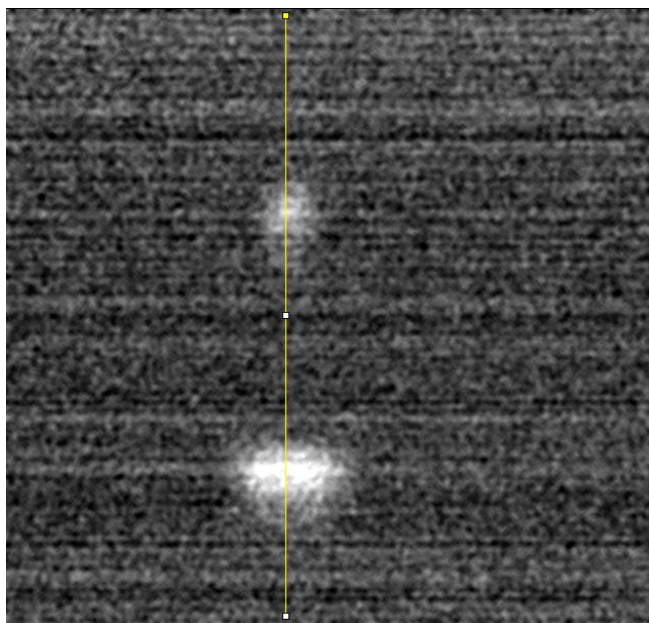


図 31 散乱線画像上のプロファイルを取った箇所  
ファントム上、X 線管上の散乱線源を通るように設定した。

### C.1.3 エネルギー依存性の評価

きくなっている。

図 32 にエネルギー依存性の評価に関するグラフを示す。AI フィルタが厚くなるほど、傾きは大きくなる。



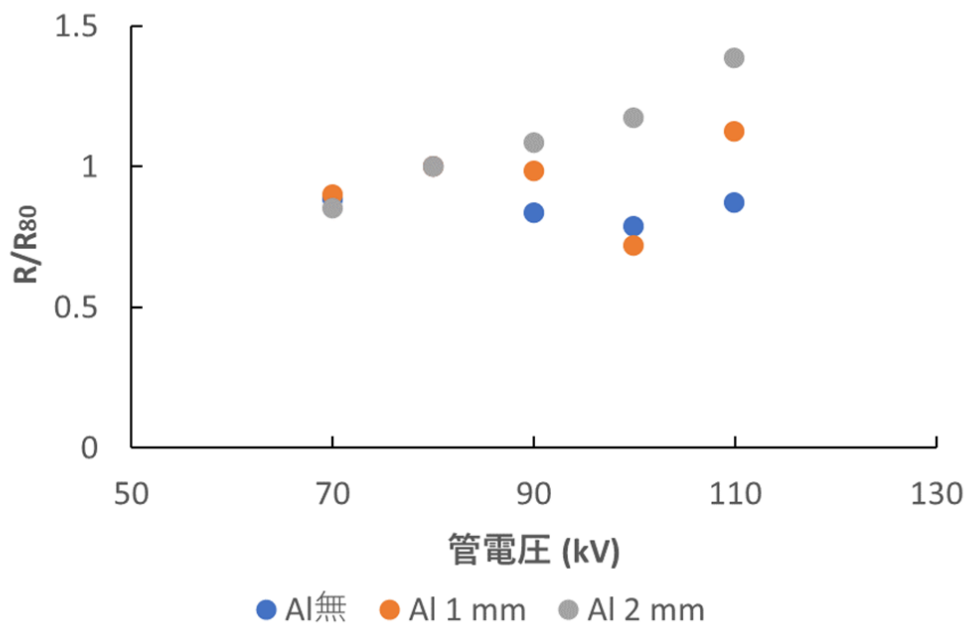


図 32 エネルギー依存性の評価 (R : pixel/周辺線量当量)  
Al 無,1 mm,2 mm の順に、傾きが大きくなっている。

## C.2 ピンホール数変化によるノイズ、分解能の変化を観察

### C.2.1 ピンホール数 1 個、2 個、4 個の可視光画像、散乱線画像

図 33,34,35 にピンホール数ごとに撮影された可視光画像と、管電圧 70 kV,110 kV、管電流 10 mA、

露光時間 7s で照射した散乱線画像を示す。可視光画像には、透視装置の C アームと、ファントム上に取り付けた LED ライトの可視光が写し出されている。散乱線画像には、ファントム上、X 線管から発生している散乱線源が写し出されている。

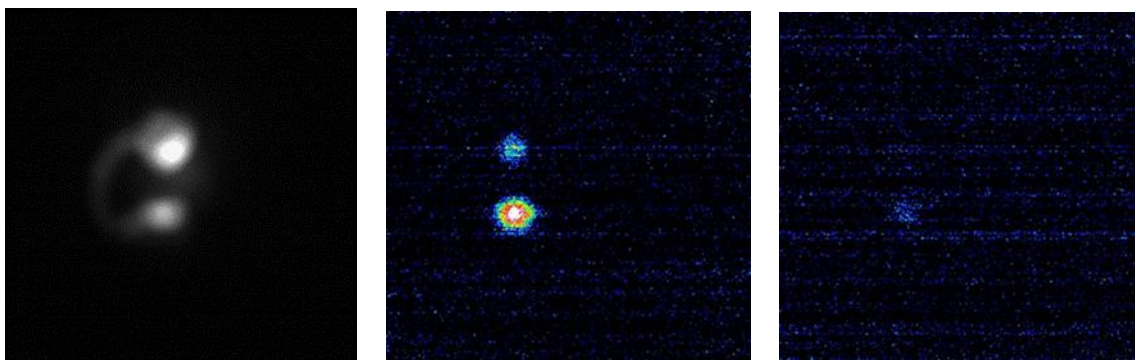


図 33 ピンホールの数 1 個での撮影画像 (左:可視光画像、中央:110 kV、右:70 kV)

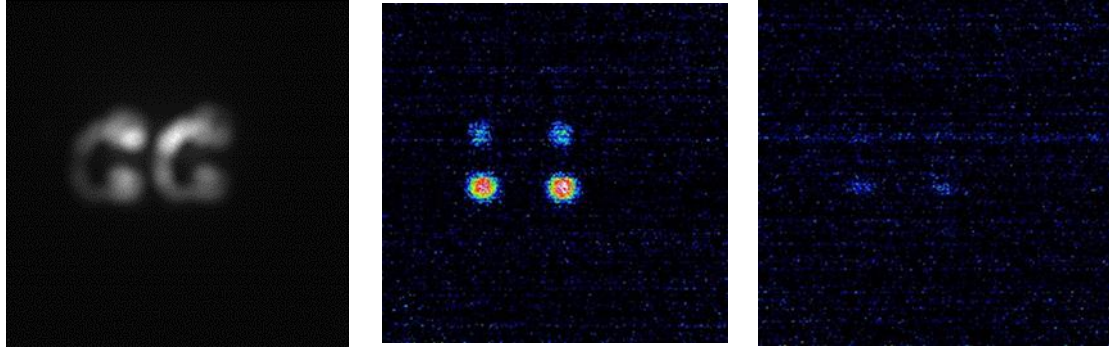


図 34 ピンホールの数 2 個での撮影画像 (左:可視光画像、中央:110 kV、右:70 kV)

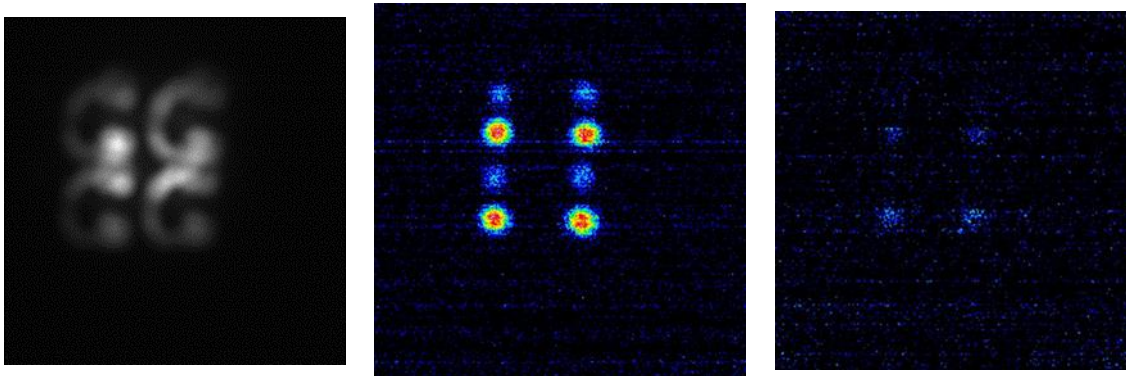


図 35 ピンホールの数 4 個での撮影画像 (左:可視光画像、中央:110 kV、右:70 kV)

可視光画像には、透視装置のCアーム、散乱線画像には、X線管、ファントム上から発生している散乱線源がピンホール数と同じ数だけ撮影されている。

### C.2.2 標準偏差と平均ピクセル値

図 36 にピンホールの数 2 個、4 個で、撮影された管電圧 110 kV での散乱線画像を 2.5.2 の手法で重ね合わせた画像を示す。また、図 36 の散乱線の

発生領域の標準偏差と平均ピクセル値を図 37 に示した。図 37 より、ピンホール数が増加するほど、標準偏差は低下していくが、平均ピクセル値も低下した。



図 36 複数の散乱線源を重ね合わせた画像(左:ピンホール数 2、右:ピンホール数 4)



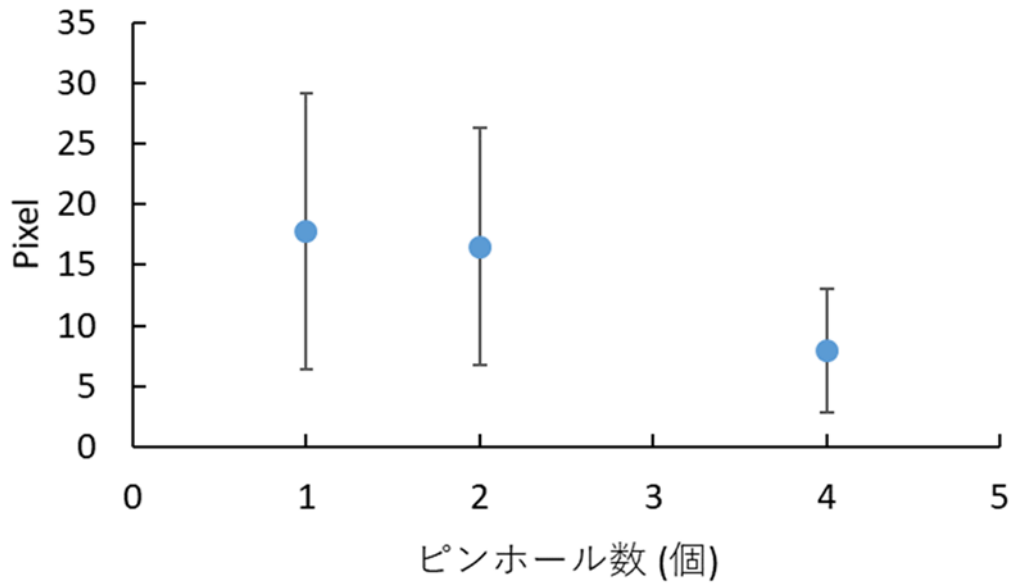


図 37 ピンホール数ごとの平均ピクセル値と標準偏差

ピンホール数が増加するほど、標準偏差は低下したが、平均ピクセル値(青点)は、減少した。

### C.2.3 分解能と標準偏差

シンチレータとコリメータ間の距離を 3.0 cm、0.5 cm に変更した可視光画像と散乱線画像を図 38,39 に示す。また、シンチレータ、コリメータ間距離と平均ピクセル値、標準偏差の関係を図 40 に示す。ピンホールカメラでは、シンチレータ、コリメータ間距離を 3.0 cm、マルチピンホールカメ

ラでは、シンチレータ、コリメータ間距離を 0.5 cm とした。可視光画像から分かるように、3.0 cm では、0.5 cm に比べ C アームがはっきり写し出されることから、分解能は良く撮影されている。また、図 40 より、シンチレータ、コリメータ間距離を長くすると、標準偏差は大きく、平均ピクセル値は小さくなっている。

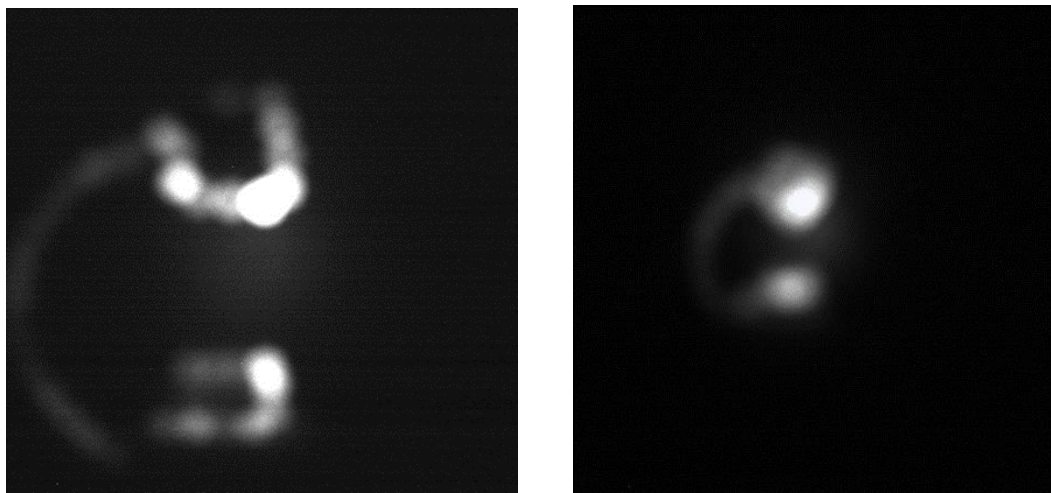


図 38 シンチレータ、コリメータ間距離を変化した際の可視光画像 (左:3.0 cm 右:0.5 cm)

シンチレータ、コリメータ間距離が大きいほど、C アーム、X 線管、ファントムが分解能良く撮影されている。

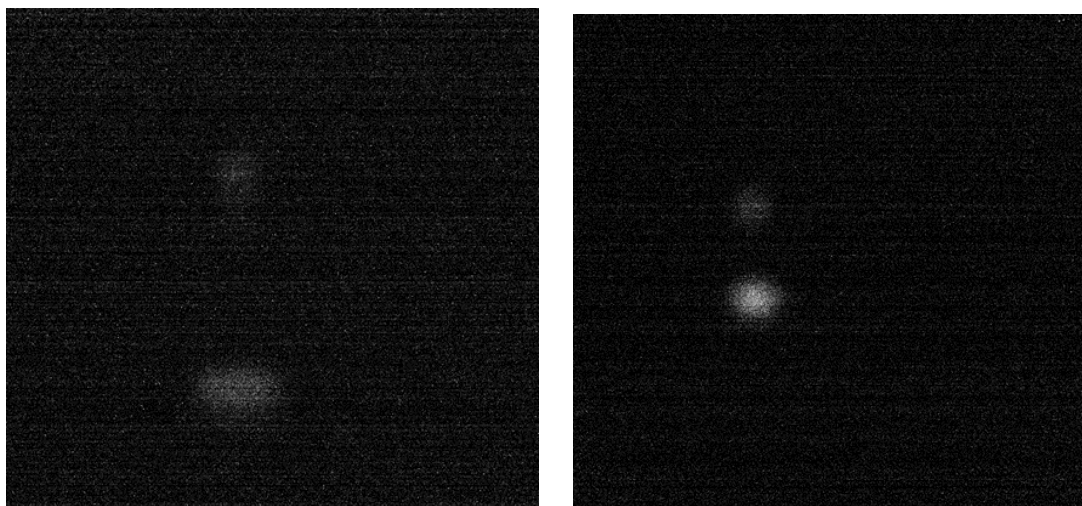


図 39 シンチレータ、コリメータ間距離を変化した際の散乱線画像 (左:3.0 cm 右:0.5 cm)

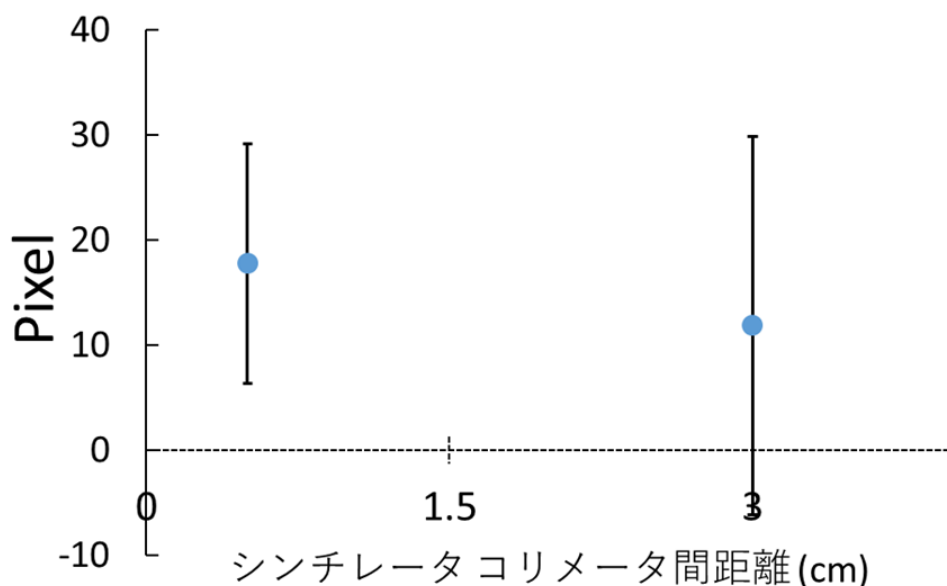


図 40 シンチレータ、コリメータ間距離と平均ピクセル値、標準偏差の関係

シンチレータ、コリメータ間距離が大きいほど、平均ピクセル値(青点)は低下したが、標準偏差は増加した。

### C.3 レンズの輝度均一性、歪みの確認

#### C.3.1 輝度均一性

撮影した画像の加算平均画像を図 41 に示す。中心付近に比べ、周辺では、輝度が減少している。また、図 42 に画像上水平方向の位置と輝度値の

関係を示す。縦軸の輝度値は、各撮影箇所での pixel 値を中心の pixel 値で除算した値を示す。中心付近に比べ、周辺では、輝度値が減少していることが分かる。また、1.0 よりも高い値を示す箇所もあった。

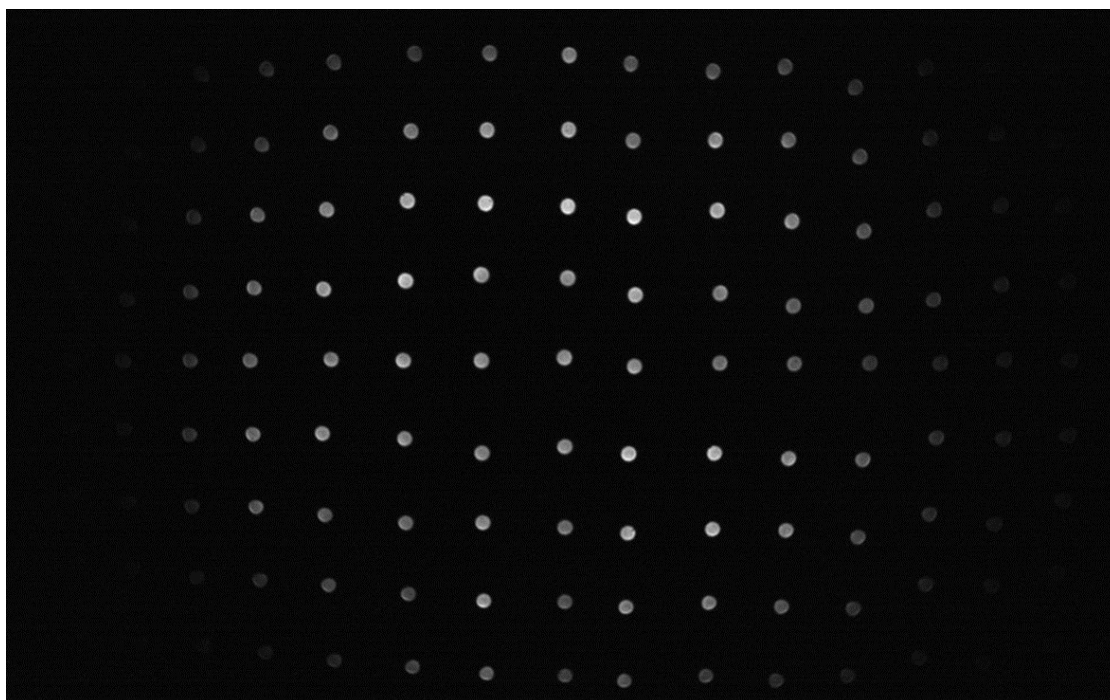


図 41 加算平均画像

中心部では、輝度値は高く、周辺部ほど、輝度値は低下した。

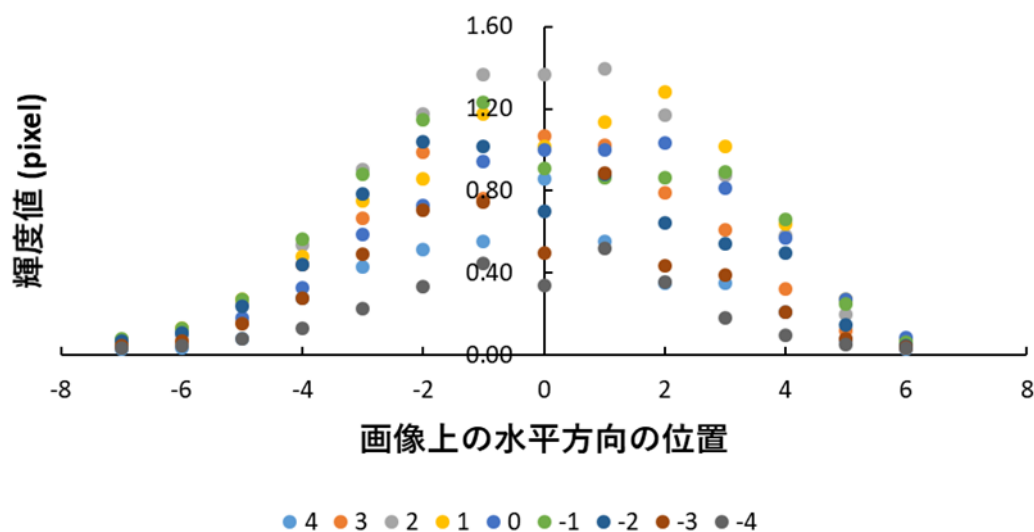


図 42 水平方向の位置ごとの輝度値の関係

輝度値は、各撮影箇所での pixel 値を中心の pixel 値で除算した値を示す。1.0 よりも高い値を示した箇所もあった。

### C.3.2 歪み

水平方向、垂直方向の位置ごとの歪みの関係を図 43,44 に示す。歪みは基準線と、測定点との距離を示す。中心付近から離れるにつれて、歪みも

大きくなっている。また、歪みの大きさに左右差、上下差があった。図 43,44 とともに、最大 24 pixel の歪みがあった。

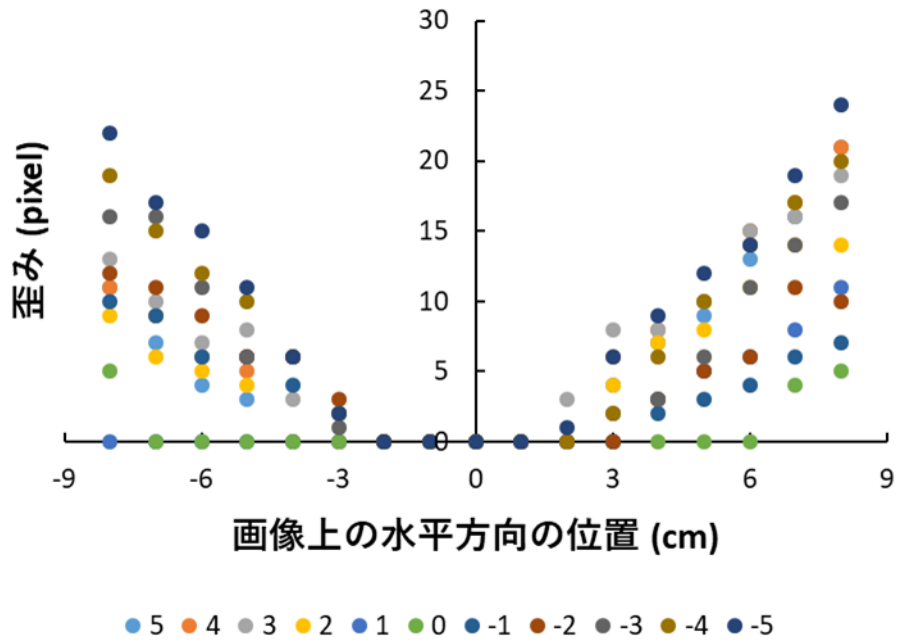


図 43 水平方向の位置と歪みの関係

水平方向の基準線に対する歪みを示す。横軸の値が小さいほど、図 22 の画像上の左を示す。中心から離れるほど、歪みが大きくなっている。

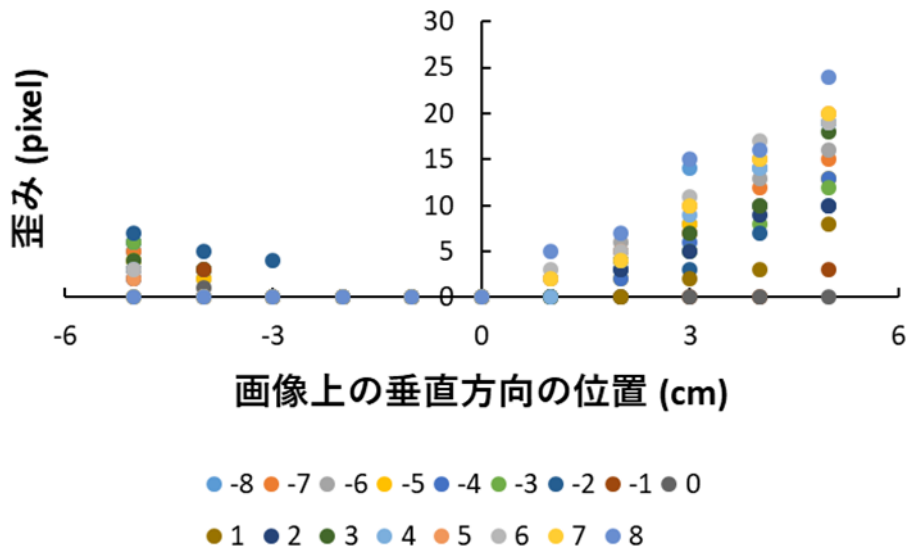


図 44 垂直方向の位置と歪みの関係

垂直方向の基準線に対する歪みを示す。横軸の値が小さいほど、図 22 の画像上の上部を示す。中心から離れるほど、歪みが大きくなっている。また、上部に近づくほど、歪みは大きくなっている。

C.3.3 ピンホールカメラとファントム間距離 180 cm での歪み (cm)

実際の寝台から X 線管までの高さは 109 cm、  
図 25 上での X 線管から、寝台までの距離は 176

pixelであったことから、ピンホールカメラとファントム間距離 180 cm では、cm と pixel の関係は、0.62 cm/pixel であることが分かる。よって、最大 24 pixel の歪みは、14.9 cm の歪みとして現れることとなる。

## D. 考察

### D.1 ピンホールカメラのエネルギー依存性の有無の確認

図 26 より、管電圧 70 kV、管電流 10 mA、フレームレート 8 fps、露光時間 7 s での散乱線源の可視化が可能と考えられる。図 29 より管電圧が増加するほど、発光量も増加した。管電圧が増加するほど、散乱線の量も増加したためと考えられる。図 30 より、管電圧ごとにノイズの大きさも変化していた。CMOS カメラの使用時間ごとに感度が増加したことが考えられる。これは、Al 1mm 100 kV での測定値が低下したことにも影響したことが考えられる。そのため、CMOS カメラの長時間使用による感度の変化を観察する必要がある。図 32 より、Al フィルタが厚くなるほど、グラフの傾きは増加した。Al フィルタが厚くなるほど、低エネルギー成分が吸収され、傾きが増加したと考えられる。

### D.2 ピンホール数変化によるノイズ、分解能の変化を観察

図 37 より、ピンホール数が増加するほど、標準偏差の値は減少した。ピンホール数が増加するほど、バラつきは小さく、信号とノイズは区別される。つまり、ピンホール数が増加によって散乱線画像のノイズが低下したと考えられる。また、図 37 より、ピンホール数が増加するほど、平均ピクセル値は減少した。3.3.1 の図 42 の結果から、カメラレンズの中心とその周辺で、感度に違いがあるためと考えられる。図 38,39,40 より、シンチレ

ータ、コリメータ間距離が短いほど、標準偏差は低下し、分解能も低下した。つまり、シンチレータ、コリメータ間距離が短いほど、散乱線画像のノイズは減少したが、ボケが大きくなった。そのため、撮影する目的に応じて、ピンホールカメラのピンホール数、シンチレータとコリメータ間距離等のジオメトリを変更する必要があると考えられる。

### D.3 レンズの輝度均一性、歪みの確認

図 42 より、中心部分に比べ、周辺部で輝度が低下した。レンズを用いた撮像系では、輝度が異なる場合を撮影しても画像中心から離れるに従って輝度が低下することが知られている。また、その原因は、 $\cos^4 \theta$  現象と、口径蝕現象である。[10,11]図 42 では、1.0 より高い値を示した。カメラレンズ中心と、光源中心がずれていたことが考えられる。

図 43,44 より、中心部に比べ、周辺部で歪みが大きくなった。レンズを用いた歪曲収差と言われる幾何学的歪は、画像の中心付近と周辺部での画像の拡大倍率が異なることで起きるとされる。[10,12]また、図 43,44 より、歪みの大きさに左右差、上下差があった。カメラレンズと、方眼紙が平行になっていなかったことが考えられる。また、最大 24 pixel の歪みが確認された。これは、ピンホールカメラとファントム間距離が 180 cm で、14.9 cm の歪みとして現れる。14.9 cm の歪みは、ファントムの幅 30 cm に対して、大きいため、歪みの影響を抑える対策が必要と考えられる。今後、カメラの水平性を保ち、被写体中心を撮影すること、OpenCV のレンズ歪みを補正するキャリブレーション等で歪みの補正を行う等の対策を行う。また、基準線と交点までの距離を手動で測定したため、測定における個人差が大きく、客観性に欠けた評価になった。そのため、カメラ画像上の交点と直交した理想的な格子の交点の二点の座標の差から距離、方向を求める等の個人差が無く、

客観的な評価を行う必要がある。今後、輝度均一性、歪みの補正法を検討するために、測定精度を高め、客観的な評価方法の確立が必要である。

## E. 結論

本研究では、リアルタイムで散乱線源の特定が行えるマルチピンホールカメラの作成、ピンホールカメラのエネルギー依存性の有無の確認、ピンホール数変化によるノイズ、分解能の変化を観察、レンズの輝度均一性、歪みの確認を行った。管電圧 70 kV、管電流 10 mA、フレームレート 8 fps、露光時間 7 s での散乱線源の可視化が可能であった。また、エネルギー依存性の結果や、感度の観点から Al フィルタは、使用しないでよいと考えられる。ピンホール数を変化させたマルチピンホールカメラでは、散乱線画像のノイズは減少したが、ボケが大きくなった。レンズの周辺減光、歪みが確認された。今後、輝度均一性、歪みの補正法を検討する。

## F. 参考文献

- [1] Koenig TR, Mettler FA, Wagner LK. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures. Part 2. Review of 73 cases and recommendations for minimizing dose delivered to patient. *AJR* 2001; 177:13–20
- [2] Wong L, Rehm J. Images in clinical medicine: radiation injury from a fluoroscopic procedure. *N Engl J Med* 2004; 350:e23
- [3] Tsapaki V, Ahmed NA, AlSuwaidi JS, et al. Radiation exposure to patients during interventional procedures in 20 countries: initial IAEA project results. *AJR* 2009; 193:559–569
- [4] Chida K, Kato M, Saito H, et al. Radiation dose of interventional radiology system using a flat-panel detector. *AJR* 2009; 193:1680–1685
- [5] Koichi Chida, What are useful methods to reduce occupational radiation exposure among radiological medical workers, especially for interventional radiology personnel?,

*Radiol Phys Technol*, 2022 Jun;15(2):101-115.

[6] 山田 歩実, 心臓カテーテルインターベンションに携わる看護師の水晶体被ばく-水晶体線量の左右差に関する比較評価-, 日本放射線安全管理学会誌, 2021 Oct ; 第 20 巻 2 号,52-60

[7] Koichi Chida, Clarifying and Visualizing Sources of Staff-Received Scattered Radiation in Interventional Procedures, *Medical Physics and Informatics Pictorial Essay*, 2011 Dec

[8] 田原 義弘, 散乱 X 線・可視光同時撮像ピンホールカメラの開発と透視中散乱線の撮像, *RADIOISOTOPES*, 2006 Jan ; 55, 247-252

[9] Yoshitani H, Fujibuchi T and Nakajima Y, Basic study of mobile gamma ray imaging using a digital camera and scintillator, 2021 *Biomed. Phys. Eng. Express* 7 037001

[10] 関 海克, デジタルカメラにおける画像補正技術, *Ricoh Technical Report No.31*, 2005, 103-110

[11] 天野 晃, ズームレンズの光学的ひずみの解析と補正-可変円筒モデルを用いた口径蝕現象の解析と画像周辺部明度低下の補正-, 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.J80-D-II No.6, 1997 Jun, 1458-1465

[12] 関 海克, 画像処理による歪曲収差補正とパノラマ画像, *Ricoh Technical Report No.23*, 1997 Sep, 45-52

G. 健康危険情報  
なし

H. 研究発表  
1. 論文発表  
なし

2. 学会発表  
1: Hironori Kishida, Toshioh Fujibuchi, Hiroyuki Arakawa. A consideration on estimation of surface dose distribution considering distance correction by pinhole camera. The 78th annual meeting of the JSRT, Yokohama, April 14-17, 2022.
- 2: 岸田大典, 藤淵俊王, 荒川弘之. マルチピンホールカメラを用いたリアルタイムでの散乱線の可視化に関する検討. 第 4 回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会, 2022 年 11 月 24-26 日.



I. 知的財産権の出願・登録状況  
(予定を含む。)

1. 特許取得  
なし

2. 実用新案登録  
なし

3. その他  
なし

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
藤淵 俊王	9章 法令	副士 政広	診療放射線技師 スリム・ベーシック 放射線医学概論	メジカルビュー社	東京	2023	158-171

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
藤淵 俊王	放射線診療における医療従事者の被ばく—正しい知識から安心と安全を見直す—	保健の科学	64巻 6月号	-	2022
藤淵 俊王	仮想現実技術による散乱線分布の可視化と放射線防護教育への活用	医用画像情報学会雑誌	39	19-23	2022
藤淵 俊王	放射線防護教育へのICT活用事例の紹介	Isotope News	783	71-74	2022