

平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業

原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量
モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？
～水晶体被ばくの実態から探る～

研究成果報告

主任研究者 横山 須美（藤田医科大）

分担研究者 辻村 憲雄（原子力機構）

分担研究者 大野 和子（京都医療科大）

分担研究者 藤淵 俊王（九大）

平成31年2月14日

自己評価

- 進捗状況 : 概ね研究計画に沿って遂行。
- 予算の執行 : 年度末までに概ね予定経費を執行。
- 成果の公表 : 国際学会 1件
国内学会 11件(H31年3月発表含む)

学会発表

1. Fujibuchi et al., Shielding effect of the crystalline lens by direction by radiological protection glasses, AOCR5 2018年5月,メルボルン.
2. 横山他, 東電福島第一原子力発電所作業者の水晶体の等価線量評価(1):概要及び個人線量測定結果, 日本保健物理学会第51回研究発表会, 2018年6月 札幌.
3. 江崎他, 東電福島第一原子力発電所作業者の水晶体の等価線量評価(2):個人線量測定概要と線量計比較, 日本保健物理学会第51回研究発表会, 2018年6月 札幌.
4. 吉富他, 東電福島第一原子力発電所作業者の水晶体の等価線量評価(3):光子スペクトル測定に基づく水晶体線量評価, 日本保健物理学会第51回研究発表会, 2018年6月 札幌.
5. 星他, 東電福島第一原子力発電所作業者の水晶体の等価線量評価(4):ベータ線スペクトル測定に基づく水晶体線量評価, 日本保健物理学会第51回研究発表会, 2018年6月 札幌.
6. 辻村他, 東電福島第一原子力発電所作業者の水晶体の等価線量評価(5)頭部ファントムを用いた水晶体用個人線量計の光子照射試験, 日本保健物理学会第51回研究発表会, 2018年6月 札幌.
7. 藤淵他, 放射線防護メガネによる入射角度別の水晶体遮蔽効果の検証, 日本保健物理学会第51回研究発表会, 2018年6月, 札幌.
8. 辻村, 様々な方向から放射線が入射する場合の個人線量計の指示値の解釈について, 第55回アイソトープ・放射線研究発表会, 2018年7月, 東京.
9. 堀田他, 医療施設における不均等被ばく管理の実態調査, 第46回日本放射線技術学会秋季学術大会, 2018年10月, 仙台.
10. 辻村他, 水晶体モニタリングを行うべき線量レベルについて, 日本安全管理学会第17回学術大会, 2018年12月, 名古屋.
- 11.横山他, 原子力発電所定期検査時の放射線業務従事者の水晶体被ばく, 日本原子力学会2019年春の年会, 2019年3月, 水戸.(予定)
- 12.星他, 東電福島第一原子力発電所作業者の水晶体等価線量評価法の検討(1)人体形状ファントムを用いたフィールド実験, 日本原子力学会2019年春の年会, 2019年3月, 水戸.(予定)
- 13.青木他, 東電福島第一原子力発電所作業者の水晶体等価線量評価法の検討(2)ファントム実験と作業着着用実験の関係, 日本原子力学会2019年春の年会, 2019年3月, 水戸.(予定)

研究目的

原子力・医療従事者等の水晶体の被ばくの実態を踏まえ、標準的な水晶体の線量モニタリング方法、防護策を含めた適切な管理のあり方を提案

	研究課題	担当者
1	原子力発電所等における水晶体の等価線量の実態調査及び標準モニタリング手法と適切な管理、防護策の検討・提案	横山 須美
2	原子力研究施設における水晶体被ばくの調査とファントムを用いる水晶体等価線量測定の実験的研究	辻村 憲雄
3	医療施設における水晶体の等価線量の実態調査と効果的な教育プログラムの開発	大野 和子
4	医療機関における不均等被ばく管理の実態と非透視検査での水晶体等価線量の測定・評価方法に関する研究	藤淵 俊王

保健物理、医学分野の関連学会、事業者、産総研との連携実施

マイルストーン

5

黒字:実施済または実施中、赤字:実施予定

	H29	H30
原子力発電所等 実態調査	作業抽出・治具検討 線量測定 (1F,非破壊,川内)	追加調査・分析 (1F・その他発電所・非破壊) まとめ
原子力施設の スペクトル測定及び ファントム実験	内容検討 1F測定 内容検討 ファントム実験	追加実験・分析 まとめ 追加実験・分析(中) まとめ
医療施設の実態調 査・教育プログラム 開発	条件検討 測定・評価	調査・分析 追加調査 まとめ プログラム開発
医療機関の不平等 被ばく調査及び非透 視下測定・防護評価	準備(8月～) アンケート (作成8-12月、倫理審査1-3月、実施 4-6月) 準備検討(8月～)測定・評価(1・2月)	分析 まとめ 追加測定(10月)・評価 まとめ
データ調査	調査(8月～) 部会等へ随時報告	継続実施
モニタリング・ 管理・防護策提案	中間報告★ シンポジウム★	検討・提案とりまとめ 成果報告★ シンポジウム★

平成30年度も概ね計画通り遂行。

1. 原子力発電所等における水晶体等価線量の実態調査 概要及び進捗状況

横山須美、江崎巖、谷村嘉彦、立崎英夫、立木秀一、平尾茂一、青木克憲

1) 実機での測定・分析:

✓ 対象施設(福島第一(1F), その他発電所, 非破壊検査): 6施設

✓ 線量計着用試験者数 : 135 名

✓ 対象作業:

1F : 高 β (タンク解体, 昨年度)、高 γ (原子炉建屋周辺)

その他発電所 : 定期検査・廃止措置作業

原子炉容器開放、蒸気発生器マンホール開放、

原子炉容器点検工事、蒸気発生器細管検査、

格納容器内調査、ドライウェル内配管切断(廃止措置)、

放射線管理作業等

非破壊検査 : 石油コンビナート等, γ 線源及び200kV-X線源利用作業

今年度は、施設数、調査項目を増やすとともに、確認追加調査。

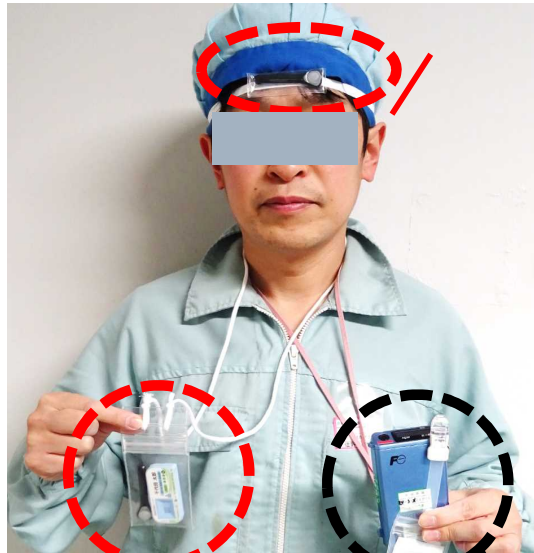
2) 文献・過去データ調査:

✓ 各国の水晶体線量限度、研究現状等調査(英、仏、スウェーデン等)

1. 原子力発電所等における水晶体等価線量の実態調査 調査方法

着用試験

Hp(3)専用線量計



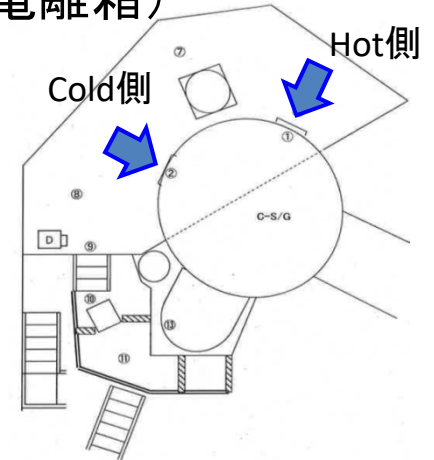
Hp(3)専用線量計
蛍光ガラス線量計

通常管理用
線量計

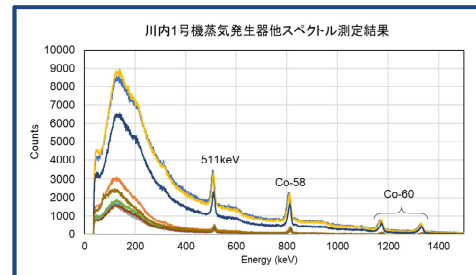
空間線量率測定(電離箱)



マンホール表面

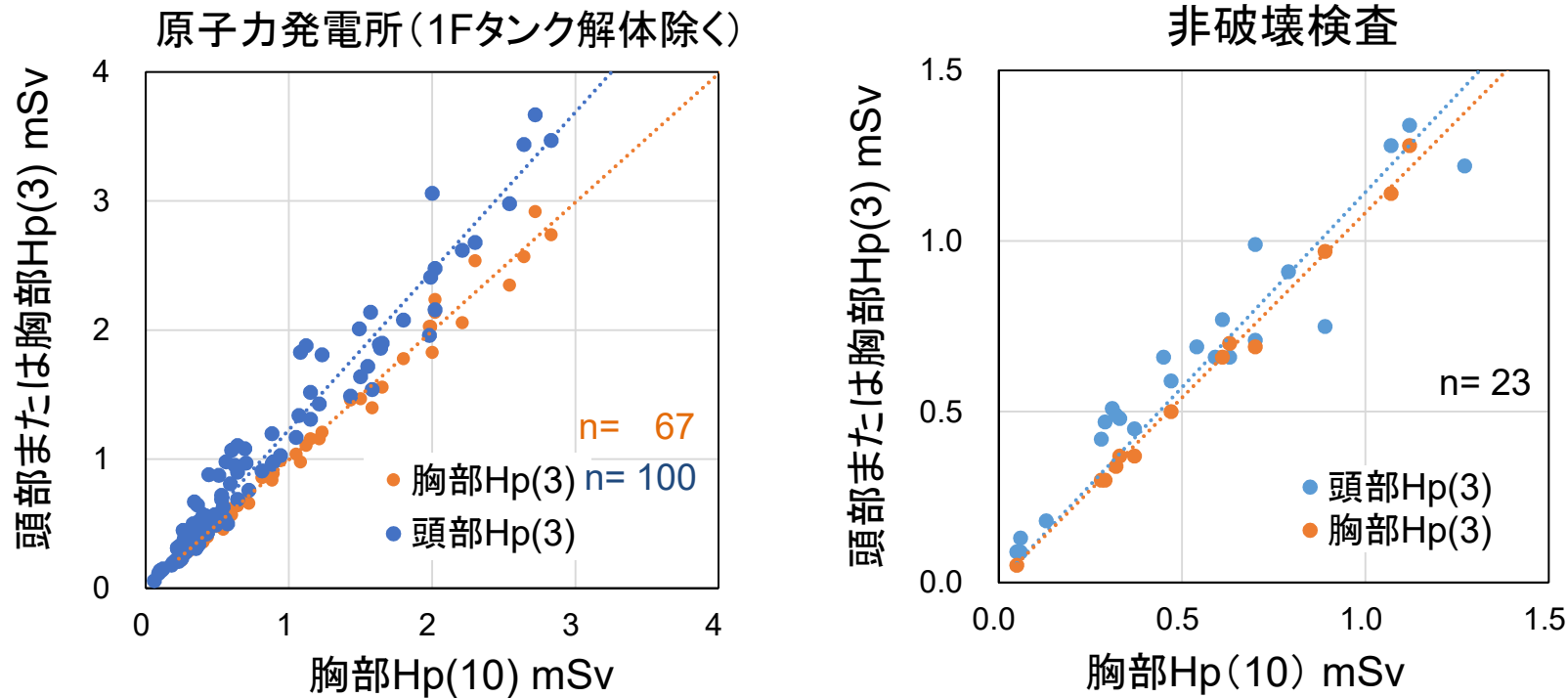


弁分解点検作業場



γ線エネルギー
スペクトル測定
(CZTスペクトロメータ)

1. 原子力発電所等における水晶体等価線量の実態調査 着用試験結果



- ✓ $H'(0.07) > H^*(10)$ になる可能性がある場: 蒸気発生器マンホールは近傍(開放時)等
- ✓ 着用試験結果では、 $H_p(0.07) \doteq H_p(3) \doteq H_p(10)$
定期検査時の主な核種: Co-58&60 ($E_{\beta\max} < 700\text{keV}$) 低エネルギー γ 割合も低い
- ✓ $H_p(3)/\text{胸部}H_p(10) > 1.5$ となることがある対象者:
原子炉容器点検工事、開放作業、蒸気発生器細管検査付帯工事等に従事。
- ✓ 頭部 $H_p(3)/\text{胸部}H_p(10)$: γ -X線場(1F含む)では ~ 1.2 (最大 2.0)
長期間(1週間以上)着用時にも頭部/胸部比に低下傾向がみられなかった。
作業内容や長期的モニタリングから眼近傍の線量計の必要性を判断
- ✓ 1Fの β 線場においては、全面マスク内 $H_p(0.07)/\text{外}H_p(0.07)$ 比が 0.17 ± 0.09 (γ 含む)

1. 原子力発電所等における水晶体等価線量の実態調査 成 果

- (1) 比較的高線量・不均等被ばくをともなう可能性のある原子力発電所(1Fの γ 線場を含む)の作業を抽出し、従事者の頭部・胸部線量及び空間線量率測定等を実施した。対象者の頭部/胸部線量比(平均約1.2)を明らかにした。一部の従事者で、他の従事者よりも頭部/胸部線量比が若干高かった(1.5~2)。しかしながら、原子力発電所の水晶体被ばく管理は、従来の管理の延長上で対応可能であると考える。
- (2) 高線量被ばくをともなう従事者に対しては、不均等被ばくの定義、線量測定の不確かさ、長期的なモニタリングや作業実施内容を十分に検討した上で、頭部線量計着用の必要性に関しては、慎重に判断すべき。
- (3) ガイドライン等を策定し、新しい水晶体の等価線量限度を遵守するための線量基準や測定方法等を定めることが適当である。
- (4) β 線場(γ 線混在場を含む)において、内部被ばく防護のために全面マスクを着用した場合、全面マスクの遮蔽により大幅に水晶体等価線量が低減(約20%)することを明らかにした。適切な水晶体線量管理のためには、現行法令では規程されていない全面マスク内側の線量計で水晶体の線量算定・記録を行うことが適当である。
- (5) 非破壊検査作業においては、ほぼ均等被ばくとみなすことができる。実効線量が線量限度を超えるおそれのある従事者は、ほとんどいないため、従来管理(体幹部基本部位での測定)で十分対応可能である。

2. 原子力研究施設における水晶体被ばくの調査とファントムを用いる水晶体等価線量測定の実験的研究—研究概要

参加者：辻村憲雄，吉富寛，星勝也，山崎巧，西野翔，青木克憲，谷村嘉彦（以上，原子力機構），大口裕之（千代田テクノル）

研究目的：

- 原子力研究施設における水晶体被ばくの現状調査と対策検討
- 作業現場の放射線場と水晶体等価線量の関係の定量的把握

研究項目

1. 原子力機構での過去の水晶体被ばく調査
2. 東電1Fでのフィールド実験

横山らが実施する「作業者による水晶体線量計着用実験」の支援を目的とする γ 線・ β 線スペクトル測定とファントム実験

3. γ 線及び β 線校正場での頭部ファントムを用いる照射実験

2. 原子力研究施設における水晶体被ばくの調査とファントムを用いる水晶体等価線量測定の実験的研究—進捗

1. 原子力機構での過去の水晶体被ばく調査(完了)

- 核サ研のMOX燃料施設(2002～2014年度), 同再処理施設(1983, 1993年度)及び原科研ホットセル(1995～2014年度)での過去の被ばくデータの分析を実施した。

2. 東電1Fでのフィールド実験(完了)

- 平成29年11～12月, 平成30年3月及び12月の計3回実施
 - ・ 主たる作業場現場で γ 線及び β 線スペクトルを測定
 - ・ 人体形状ファントム(静止及び回転)での着用部位毎の個人線量計の指示値の関係の評価
 - ・ 分担研究者ら自らが着用した個人線量計指示値との比較

3. γ 線及び β 線校正場での頭部ファントムを用いる照射実験

- 曝露ジオメトリ(前方照射と回転照射), 線量計取付位置及び全面マスク有無による線量計指示値の変化

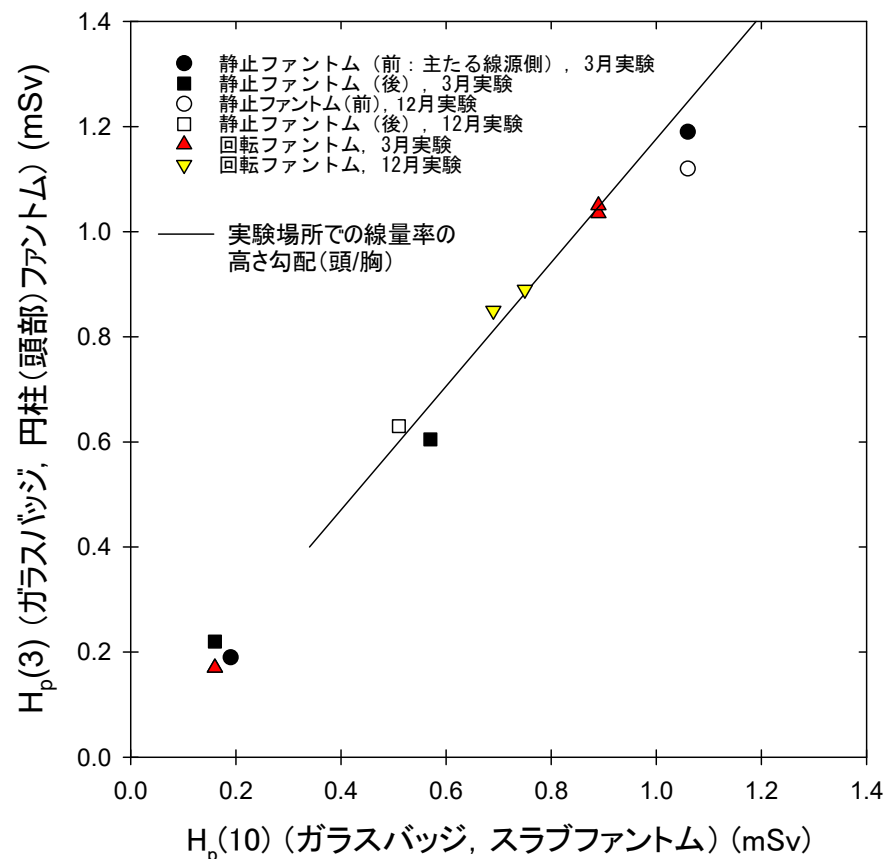
2. 原子力研究施設における水晶体被ばくの調査とファントムを用いる水晶体等価線量測定の実験的研究—成果

(1) 原子力機構において、水晶体に高線量・不均等な被ばくを受ける作業を抽出し、過去の被ばく実績を調べた。20 mSv/年を超える事例は僅かであり、体幹部不均等被ばく管理の一部としてこれまで行ってきた水晶体被ばく管理の延長で対応可能である。

(2) 頭部ファントムを用いた照射実験により、曝露ジオメトリによって体幹部Hp(10)と水晶体Hp(3)との関係がどのように変化するかを明らかにした。また、線量計取付位置による線量計指示値の変化、全面マスクによる γ 線及び β 線の遮へい効果を明らかにした。

2. 原子力研究施設における水晶体被ばくの調査とファントムを用いる水晶体等価線量測定の実験的研究—成果

(3) 1F作業現場に据え置いたファントム実験から、体幹部Hp(10)に対する水晶体Hp(3)の比が1.1～1.3になることが確認された。



3. 医療施設における水晶体の等価線量の実態調査と効果的な教育プログラムの開発 概要及び進捗状況(大野和子)

1. 実態調査

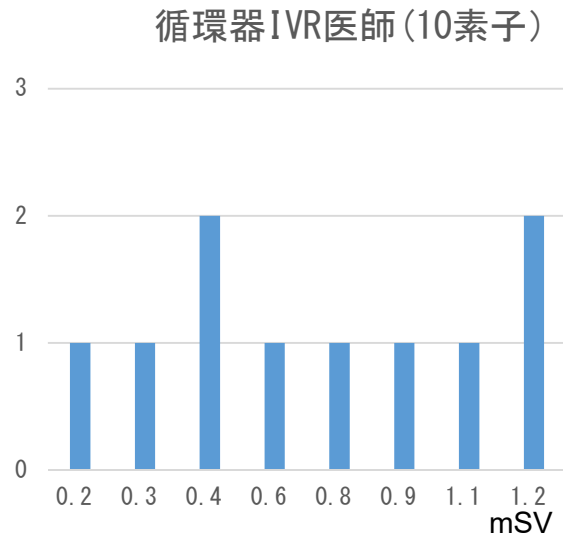
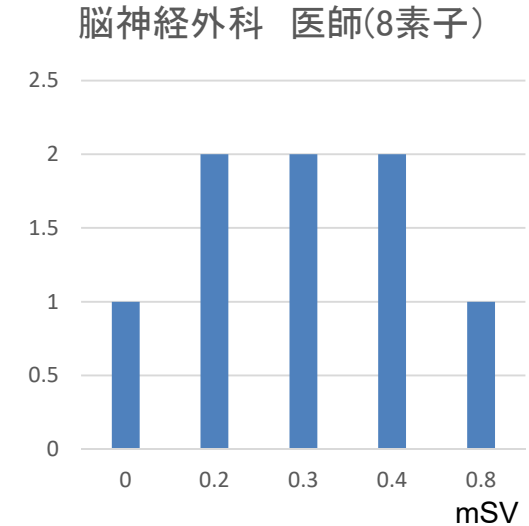
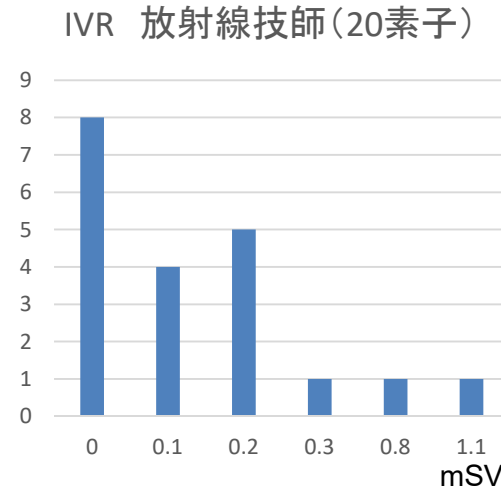
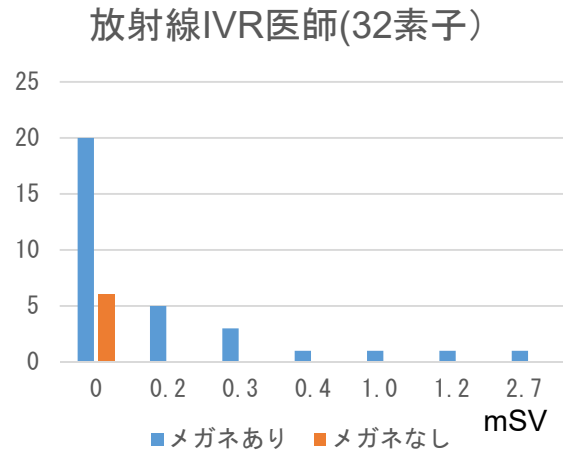
12施設、1学会(歯科放射線学会)を対象とした水晶体の等価線量の実態調査をとりまとめた。

2. 水晶体の被曝線量をさらに低減するための対策を明らかにした。

3. 術者の被曝低減教育のための資料を作成し、教育効果を検証した。

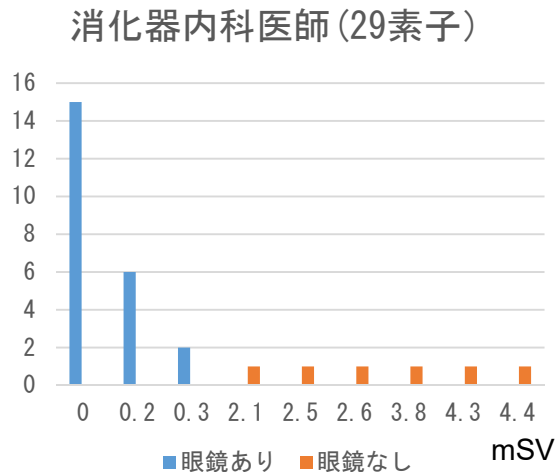
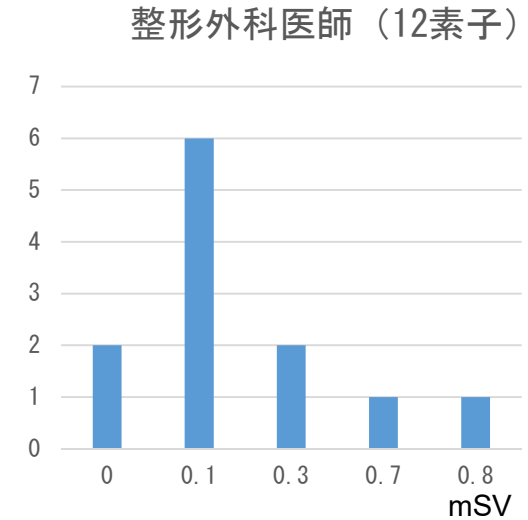
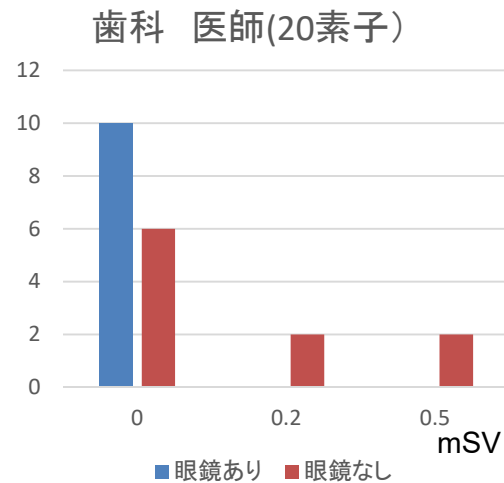
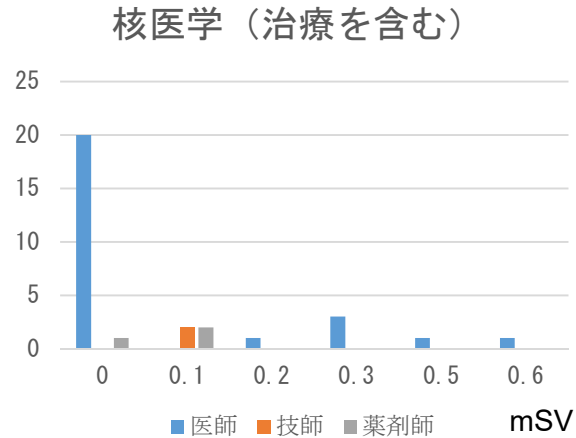
4. 被曝線量が高い従事者を対象とした再計測と、追加の領域(診療所での透視手技)についての計測を予定した。

3. 1 実態調査のまとめ1 (1ヶ月間の水晶体線量)



防護眼鏡はほとんどの医師が装着していた。年間20mSvを超える恐れがある、放射線科医師1名の診療内容は、特殊な手技であるCT透視下の腫瘍治療手技であった。技師以外のコメディカルや小線源治療に伴う被曝は低かった。

3. 1 実態調査のまとめ2(1ヶ月間の水晶体線量)



核医学診療で比較的被曝が多い医師は、治療(患者投与量は数GBq)担当者であった。
 歯科医師の最も被曝の多い者は、検死のための撮影を行っていた。
 年間20mSvを超える恐れがある、消化器内科医師の人数は3名であった。

3. 2 研究の成果1:各手技に有効な被曝低減策

手技	対策
CT透視下の腫瘍治療	CT専用の遮蔽板を必ず利用すること。被曝線量は90%程度低減できる。
整形外科の透視治療	透視の線量率を手技毎に変更すること。術者の立ち位置を管球から可能な範囲で遠位にする。
消化器内科の治療	拡大透視を減らす。患者に防護衣をかけて散乱線を低減する。
歯科撮影	検死口内撮影時の防護眼鏡の装着(注:検死では一度に10枚以上の口内フィルムを検死体に入れて撮影するため1ヶ月間の撮影枚数が極端に多くなる)。

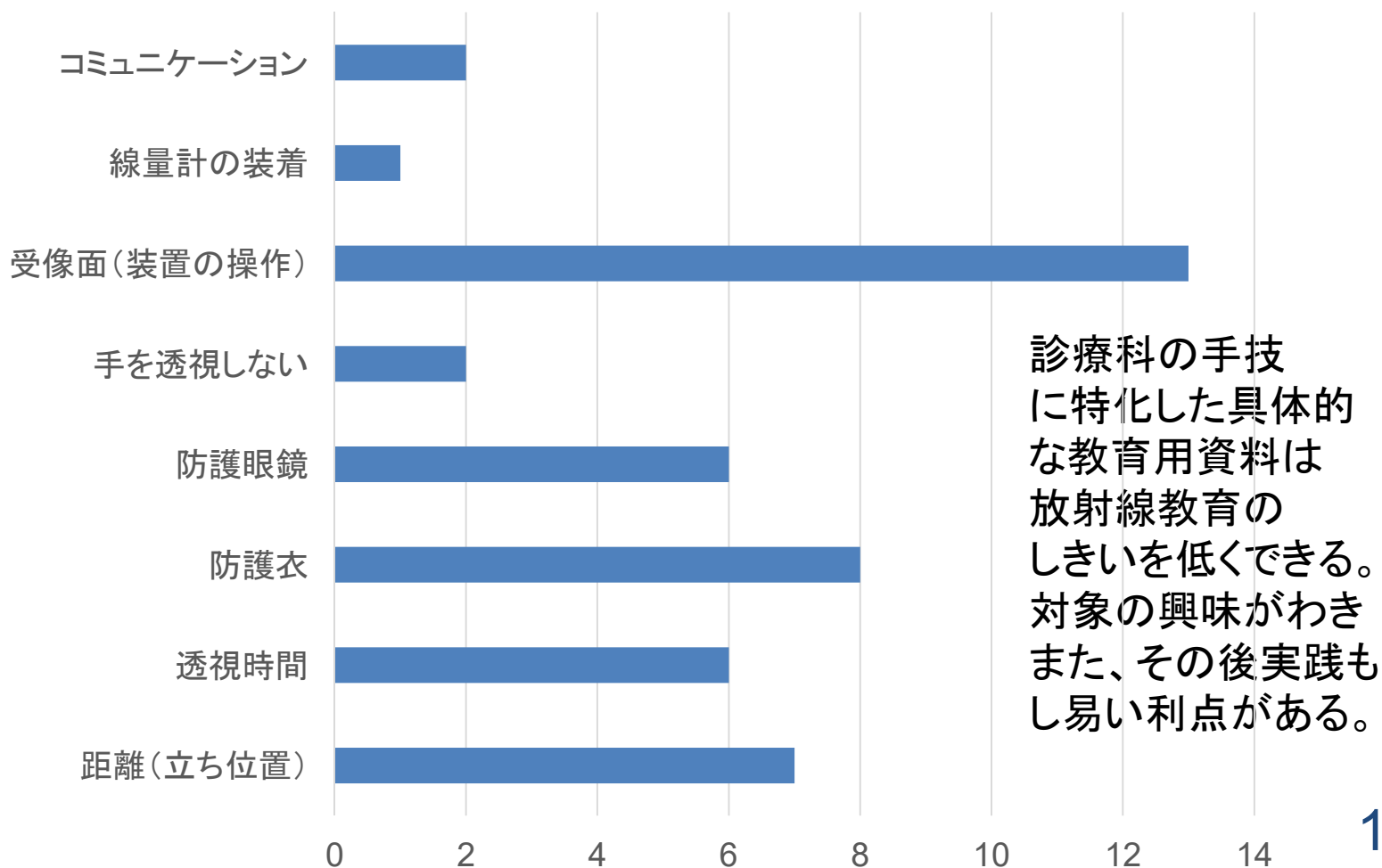


CT専用遮蔽板を用い
ガントリーを塞いで
いる様子

3. 3 術者教育と教育効果のまとめ

整形外科診療に関与するスタッフ28名を対象とした教育を実施した。
放射線防護に関する講義は過去にほとんど受けた経験がない。
終了後のアンケートでは全員が教材内容がちょうど良いと解答した。

明日から実践できると思った内容(28名複数回答)



3. 3 術者教育と教育効果からの成果 効果的なプログラム

1. 職場教育資料を作成する
一放射線の性質や生物影響の総論への興味はない。
2. 医師を含むメディカルスタッフ全員で学習する内容とする。
3. 診療科の手技を用いる
一般的な内容や他科の手技を説明されても困惑するのみ。
4. リアルタイム線量計の数値の変化を記録し提供する
一具体的な防護効果を自然に理解できる。
5. 学習時間は教育資料閲覧と改善策協議を合わせて1時間以内が良い。一医療現場の通常の現場教育時間に合わせる。

4. 医療機関における不均等被ばく管理の実態と非透視検査での 水晶体等価線量の測定・評価方法に関する研究 概要及び進捗状況（分担研究者：藤淵俊王）

1. 医療機関における不均等被ばくの管理状況のアンケート調査

アンケート実施期間：2018年4-6月、回答有効回答数：151件

（回答の概要）

- 400床以上の大規模病院が半数、80%は血管造影、96%はTV透視施行施設
- 不均等被ばく管理の基準について、内規等を所持する施設：約20%、口頭もしくは慣習：50%、基準のない施設：30%
- 防護メガネの所有率について、TV透視室：60%、血管造影室：95%、一般撮影室：11%、CT室：16%

2. 透視以外の検査介助等における水晶体被ばく評価

CTおよび一般撮影の介助時の水晶体線量についてファントム測定およびモンテカルロ計算による評価を実施

- ファントム測定の結果、CT1検査での介助で約100 μ Svの水晶体線量。腹部CTではガントリの反対側に回った際に被ばく量が低減
- モンテカルロ計算でもファントム測定と同様の傾向を確認

4.1 医療機関における不均等被ばくの管理状況のアンケート調査結果

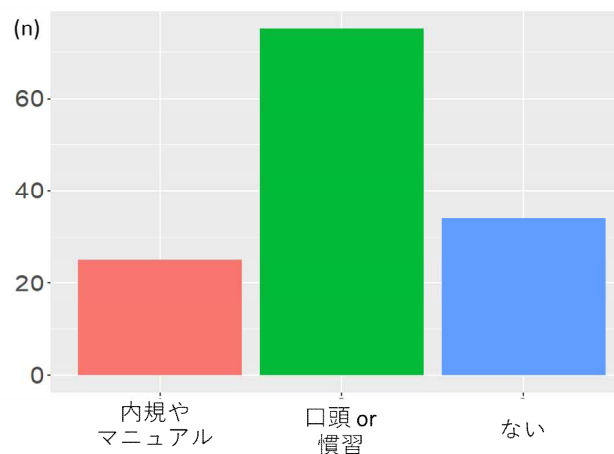


Fig.1 不均等被ばく管理を行う基準の有無

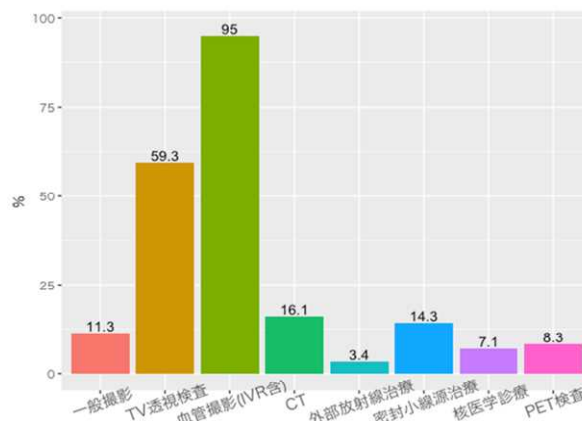


Fig.2 防護メガネ所有率

- 不均等被ばく管理の基準、血管造影だけでなく、他のモダリティによる被ばくを防護する対策を進めることが必要

2. 透視以外の検査介助等における水晶体被ばく評価結果

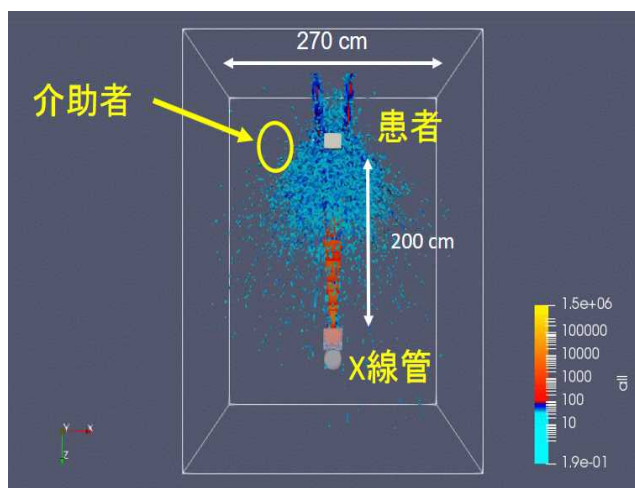
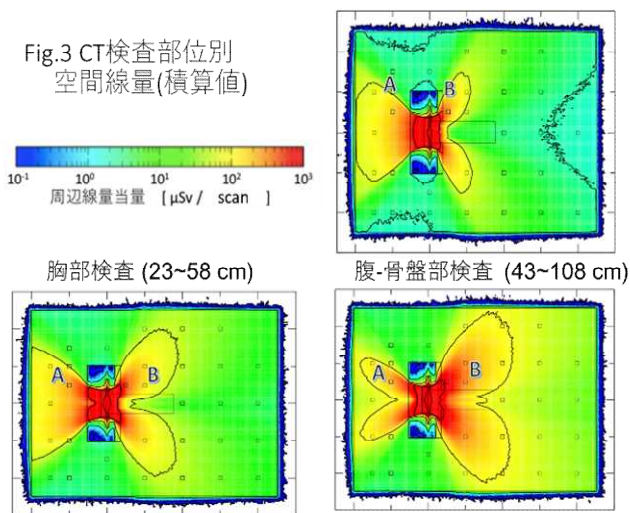


Fig.4 胸部単純撮影時の散乱線分布と放射線防護上適切な介助位置

- CT1検査での介助時の被ばくは約 $100 \mu\text{Sv}$
- モンテカルロ計算でもファントム測定と同様の傾向、散乱線の広がりをも3次元的に視覚化

4.2 研究のまとめ・成果

1. 医療機関における不均等被ばくの管理状況のアンケート調査

- ✓ 不均等被ばく管理の基準は医療機関ごとで対応が異なっており、統一した基準が求められる
- ✓ 血管撮影室に放射線防護具は普及しているものの、他の放射線検査室においても被ばくを防護する対策を進める必要がある。

2. 透視以外の検査介助等における水晶体被ばく評価

- ✓ CT検査介助時の水晶体被ばくについて、検査時間はIVRや透視検査に比べ短いですが、1介助当たりの被ばくは約100 μ Svと高いことが明らかになった。
- ✓ CT検査や一般撮影においても防護メガネの積極的な着用が必要である。

5. 標準的なモニタリング手法、適切な管理、防護策の 検討・提案 (横山、辻村、大野、藤淵)

共通：

提案：より適切な水晶体の等価線量管理のため、規制等において、以下のことが明記されることが望まれる。

- 放射線審議会の部会報告書*に記載のある水晶体の等価線量測定のための線量計着用位置である「眼の近傍」の定義及び「眼の近傍での測定」について。
- 防護具(防護眼鏡等)により、大幅な被ばく低減が見込まれる場合の適切な水晶体の等価線量評価と労働時間の確保のため、「眼の近傍」において遮蔽された条件での水晶体の等価線量の測定が線量管理に使用可能となること。

事業者等が円滑な規制運用のための自主的な取り組みに活用できるよう、事業者、放射線防護の専門家等による共通理解のもと、各分野のガイドラインの作成が必要。

- 眼の近傍で水晶体の等価線量測定を開始するための判断基準(めやす)。
- 実効線量の不均等被ばく管理と水晶体の等価線量管理との調和。
- 線量測定結果に含まれる不確かさ(線量評価ジオメトリの違い、姿勢等)。

原子力分野：

- 不均等被ばくをする従事者は限定的であるが、これらの従事者については長期的なモニタリングや作業内容から、慎重に頭部線量計の着用を検討する必要がある。
- 多くの従事者の水晶体の線量管理は、従来の管理方法(不均等被ばく管理を含む)の延長線上において可能。

* 放射線審議会, 眼の水晶体の放射線防護検討部会, 「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」(2018).

5. 標準的なモニタリング手法、適切な管理、防護策の 検討・提案 (横山、辻村、大野、藤淵)

医療分野： これまでの研究成果より、以下のことを提案。

- 種々のエックス線透視手技を行う際に、適切な防護措置(遮蔽板の利用、防護眼鏡の利用)を用いることで、線量限度を遵守した医療の提供が可能となる。
- 医療関係者への実技に即した職場教育は医療関係者の修学意欲も高く、効果も大きい。
- 従事者の被ばく防護を考慮したデバイスの開発が未熟な領域においては、今後産学協同での開発が期待される。
- 一般撮影やCT時の介助として、家族に抑えてもらうことが前提であるが、それができない場合は医療従事者がせざるを得ず、1回当たりの被ばくが高いことから防護メガネの積極的な着用が必要である。
- 医療分野における不均等被ばく管理の基準を定める必要がある。(患者をX線室まで搬送する、通常放射線業務を行わない看護師等)

まとめ

- 原子力分野及び医療分野の水晶体被ばくの実態把握を概ね達成。
- 分野共通の課題、各分野における水晶体等価線量モニタリング及び防護に関する課題を明確化
- 水晶体の等価線量限度に関する規制運用を円滑に進めるにあたり、関係者間でのコンセンサスが必要。
- これらの研究成果や最新知見をもとに、分野横断的な標準的水晶体線量モニタリングの考え方や各分野での防護、最適化に関するガイドライン等が必要不可欠。