

ICRP2007年勧告等を踏まえた遮蔽安全評価法の適切な見直しに関する研究

研究代表者 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 平尾好弘

プログラムオフィサー(PO) 中村尚司
PO補佐 益子真一

1

課題名 ICRP2007年勧告等を踏まえた遮蔽安全評価法の適切な見直しに関する研究
研究期間: 令和2年～3年(2年間)

放射線施設においては、放射線防護に係る法令の遵守を確実にするため、放射線の遮蔽安全評価が実施される。本研究では、ICRP2007年勧告等(以下、新勧告と呼ぶ。)の法令取入れで求められる実効線量換算係数等の改訂に対応するため、遮蔽線量評価法を拡張するとともに、使用されるデータを適切に見直すための手順を開発する。また、検討の成果をとりまとめて、新勧告取入れの効率的な運用に資するガイドラインを作成する。

実施状況

・令和2年度: 海外の新勧告取入れと遮蔽計算の実態を把握するため、米国で利用される遮蔽計算コードの仕様調査を行い、国内での実用性や重要度の点から各仕様の受容性を評価した。さらに、専門家の意見も踏まえて、新勧告取入れで求められる遮蔽計算法と使用データの見直し範囲を決定した。

遮蔽計算用データの見直し手順を検討して、実用性の高い遮蔽材に対して遮蔽厚さ80mfpまで、実際に作成を開始。線量換算係数の改定に対応し、また高エネルギー光子(<30MeV)による光核反応、干渉性散乱を考慮する。並行して、作成したデータの妥当性を確認するための簡易計算コードの開発を開始。

・令和3年度: 遮蔽計算用データの整備を進めるとともに、スラブ遮蔽斜め透過、及び二重層遮蔽に対応するように遮蔽計算法の適用性を拡張した。本研究で整備したデータと計算手法を計算コードに反映し、また例題を用意して見直しの影響を確認した。最後に、見直しの概要をまとめるとともに、遮蔽計算実務への潜在的影響を専門家へのヒアリング調査等を通じて明らかにし、新勧告取入れの理解と運用に資するガイドラインを作成した。

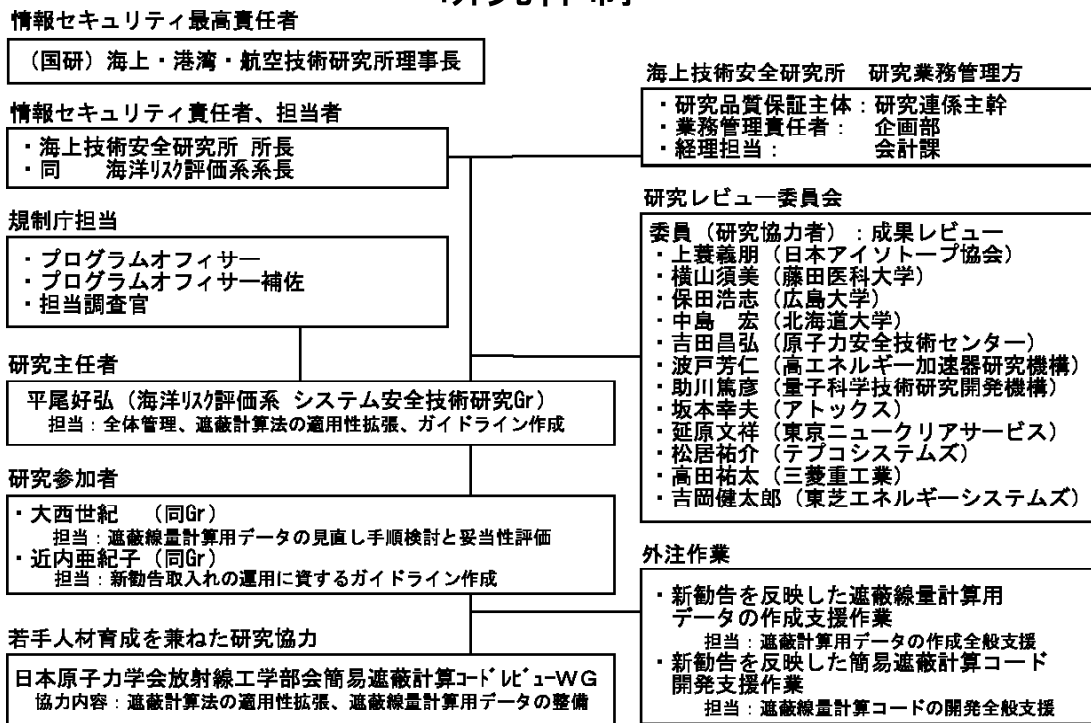
研究成果の公表として、日本原子力学会で2件の一般発表、放射線工学部会セッションで4件の連続講演を実施した。また、放射線遮蔽国際会議(ICRS-14, 2022年9月開催予定)に論文を投稿した。

人材育成活動として簡易遮蔽計算コードレビューWGを3回開催し、若手と研究協力及び意見交換を行った。

研究成果: 【データベース開発】最新の勧告・知見に基づく γ 線遮蔽計算用データライブラリ
【ソフトウェア開発】上記のライブラリファイルを読み込んで遮蔽線量計算を実行できる γ 線遮蔽計算コード
【ガイドライン文書】ICRP2007年勧告等を踏まえた γ 線遮蔽計算ガイドライン

2

研究体制



3

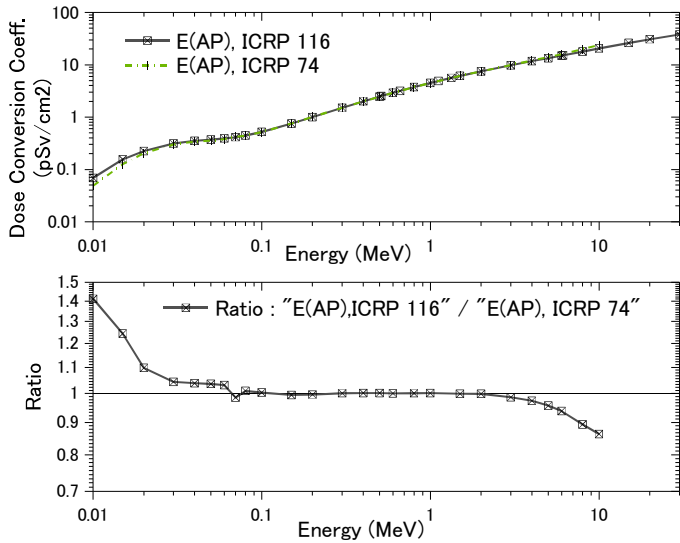
最新の国際勧告及び知見を踏まえた、 γ 線遮蔽計算用データの見直し

最新のICRP勧告及び最新の研究知見をふまえて、 γ/X 線の遮蔽線量計算で用いられる遮蔽計算用データ (ビルドアップ係数 (BF)、減衰係数等) を見直すための方法をレビューし、実際にデータを作成して、その特徴を明らかにする。

最新の勧告及び知見を踏まえた見直し項目	概要	作成した遮蔽計算用データ
線量換算係数の改訂	<ul style="list-style-type: none"> (実効)線量換算係数を、従来のICRP 74から改訂されたICRP 116の値に改訂 ⇒100keV未満の低エネルギー領域で差 	代表遮蔽材13種(鉄、鉛、コンクリート、水、銅、ポリエチレン等)に対して、0.01~30MeVの単色 γ/X 線を入射した場合の減衰(減弱)係数
高エネルギーへの拡張	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー範囲の上限を、従来の10MeVから、30MeVへ拡張 放射線発生装置の発生する高エネルギーγ/X線の遮蔽計算に対応 ⇒光核反応による光中性子の線量寄与 	上の減衰係数と同じ条件で、遮蔽材の厚さが0.5~80mfpの実効線量ビルドアップ係数(全6種の照射体系)
干渉性散乱の考慮	<ul style="list-style-type: none"> γ線の相互作用として、従来の3種(光電、コンプトン散乱、電子対生成)に加えて、干渉性散乱(レイリー散乱)を考慮 ⇒原子番号中以上の核種に対して、低エネルギー一部で差 	その他、委員会での検討を踏まえて整備したビルドアップ係数: <ul style="list-style-type: none"> (実用量)1cm線量当量、及び3mm線量当量 (等価線量)皮膚、眼の水晶体 空気カーマ (<10MeV)

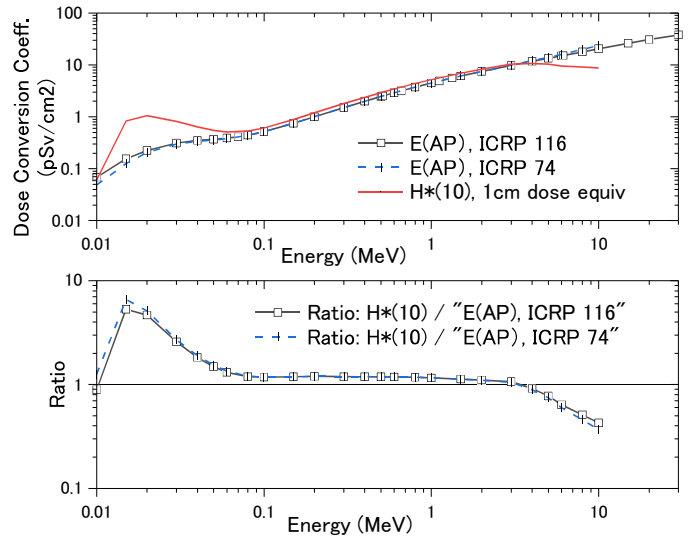
4

実効線量換算係数の改訂による従来との差(今回:ICRP 116、従来:ICRP 74)



実効線量換算係数E(AP): 従来と今回の比較

今回と従来では、100keV未満の低エネルギー領域の線量換算係数の差が遮蔽でエネルギーが減衰したときの主な実効線量の差となって現れる。



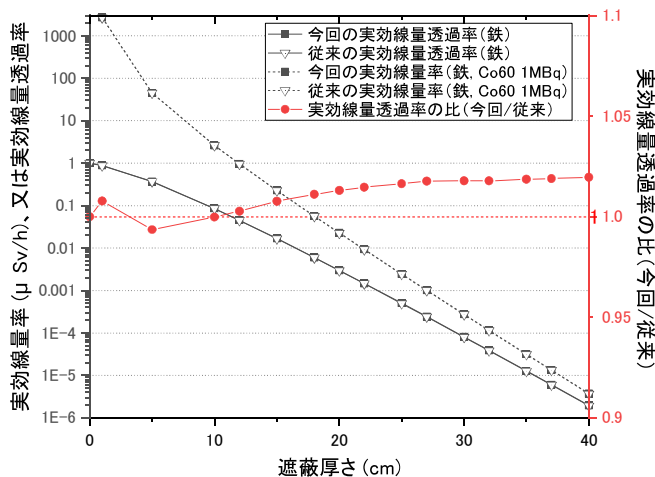
参考: 実用量H*(10)に対する実効線量の換算係数比較

今回と従来で、実効線量換算係数と実用量H*(10)の換算係数との相対的な差は殆ど変化していない。

5

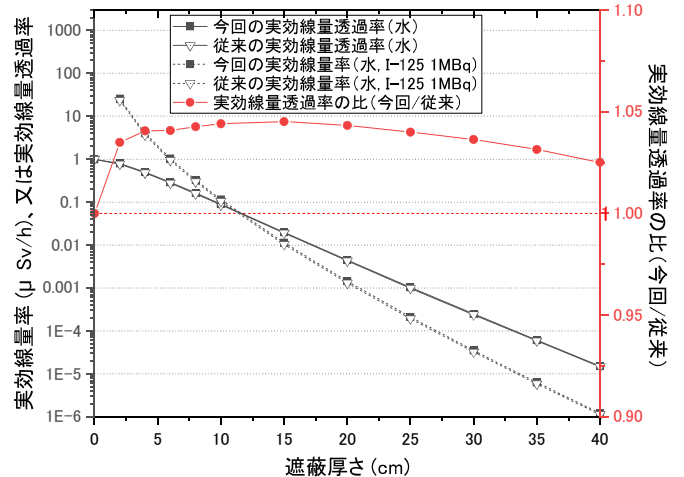
放射性同位元素(RI)の実効線量率定数、及び実効線量透過率の計算値: 今回と従来との比較

100keV以上のγ線を放出するRIの例(Co-60)
鉄に対する実効線量率及び実効線量透過率のグラフ



エネルギー (MeV)	発生率 (p/dis)	Co-60 実効線量率定数 (µSv/h per 1MBq)	
1.17	9.99E-01	今回(ICRP116)	3.06E-01
1.33	1.00E+00	従来(ICRP74)	3.06E-01

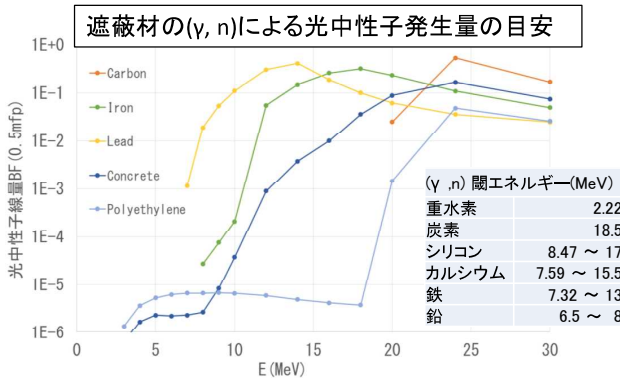
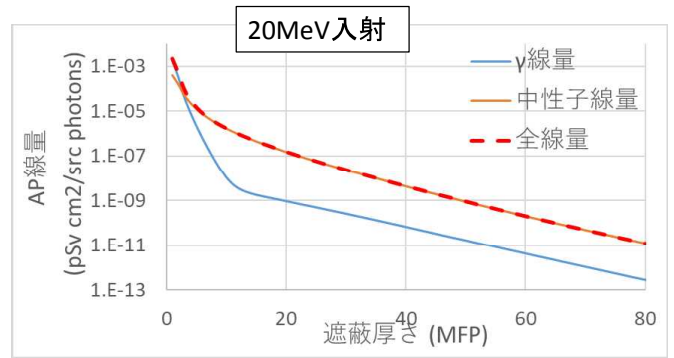
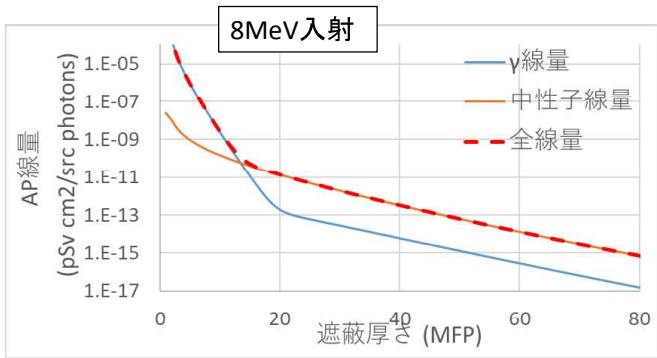
主に100keV未満のγ線を放出するRIの例(I-125)
水に対する実効線量率及び実効線量透過率のグラフ



エネルギー (MeV)	0.1を超える発生率 (p/dis)	I-125 実効線量率定数 (µSv/h per 1MBq)	
2.72E-02	4.05E-01	今回(ICRP116)	1.28E-02
2.75E-02	7.54E-01	従来(ICRP74)	1.22E-02
3.10E-02	1.35E-01		

6

高エネルギー拡張による光核反応の影響(鉄遮蔽の例)



光核反応の閾値を超える高エネルギー光子の場合、遮蔽が厚くなると光中性子の線量が支配的

- 8MeV入射では、13mfp (~56cm)
- 20MeV入射では、2mfp (~8cm)

光中性子の線量は、光子と比べて減衰しにくいため、遮蔽設計に注意が必要。

⇒ 高エネルギー光子を直接あてない。後方に中性子遮蔽体を置く等、多重層遮蔽の要請

7

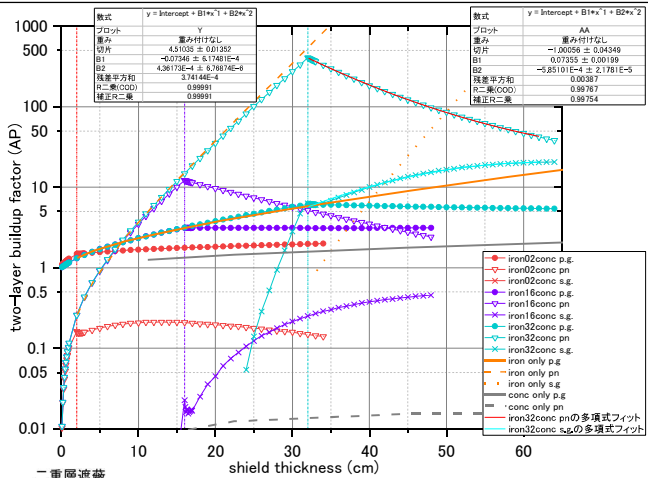
γ/X 線(光子)遮蔽計算法の適用性拡張研究

新たに適用性を拡張した遮蔽線量計算法	概要	計算法の拡張の仕方 計算の適用性を拡張した範囲
二重層遮蔽	構造材と遮蔽材の組み合わせ、または異なる線種やエネルギーの放射線を効率的に減衰させる目的で用いられる二重層体系の線量計算 汎用的な手法が確立されておらず、計算コードに取入れられた例は殆どない。	二重層遮蔽に対して、MC法で線量減衰計算を実施し、第二層における一次 γ 、光中性子、二次 γ のBFの変化を、多項式で再現できるようにした。 現状、鉄・コンクリート・鉛・ポリエチレンの組み合わせに対して、遮蔽厚さ32cmまでカバー。
スラブ遮蔽の斜め透過	線源位置と線量評価点を結ぶ透過線が、スラブ遮蔽体を斜めに横切る場合の線量計算 遮蔽計算では透過線がスラブ遮蔽体を垂直に横切る理想的なケースを想定しているが、実際には多少斜めに横切る例が多い。	スラブの透過距離を一定にして、斜め透過の角度を変えたときの線量変化を、垂直透過の線量比に規格化し、多項式で再現できるようにした。 現状、鉄・コンクリート・鉛の斜め透過に対して、遮蔽厚さ64cmまでカバー。
その他: 薄い遮蔽体	厚さ1mfp未満の薄い遮蔽体に対する線量計算 γ 線の遮蔽評価では一般に薄い遮蔽を安全側に無視することが多く、1mfp未満の厚さの遮蔽計算に対応していなかった。	遮蔽体のBFデータに0.5mfpのBF値を追加し、0から1mfpまでBF値を補間によって近似できるようにした。 その結果、厚さ数cmの薄い容器や壁による線量減衰を参考まで確認できるようになった。

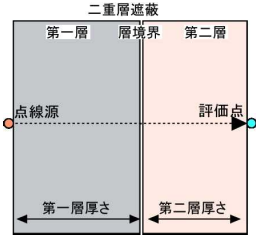
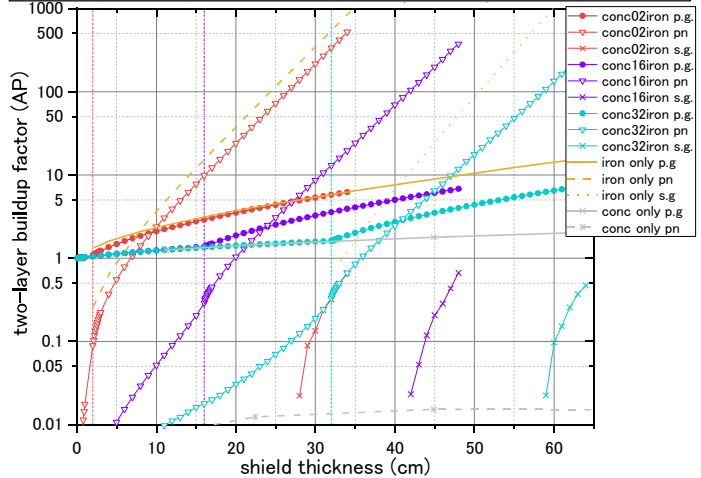
8

15MeVの光子入射に対する、鉄とコンクリートの二重層ビルドアップ係数の変化

第1層が鉄(厚さ2cm, 16cm, 32cm)、第2層がコンクリートの例



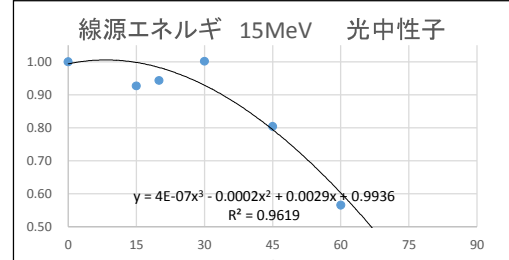
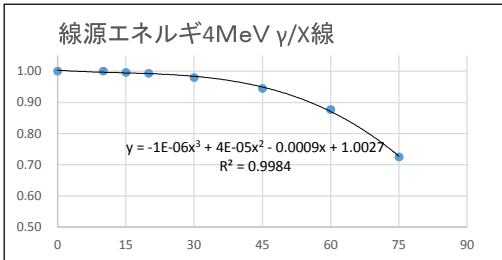
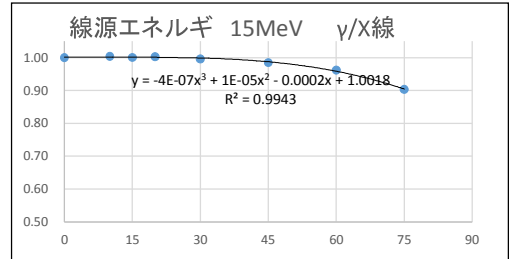
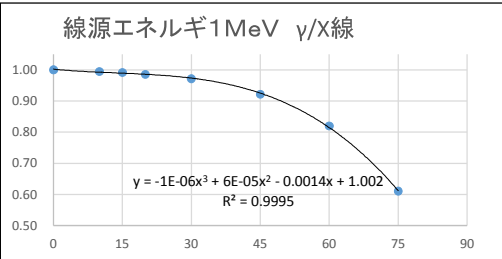
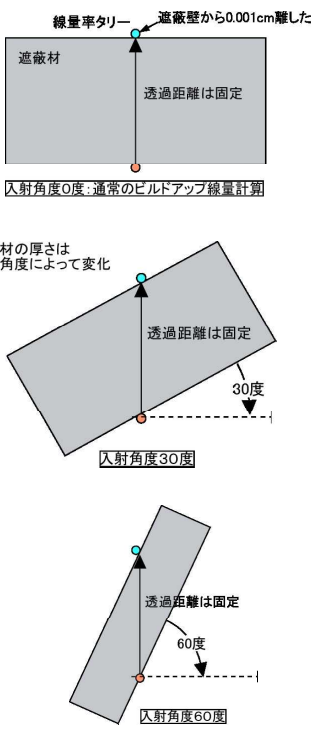
第1層がコンクリート(厚さ2cm, 16cm, 32cm)、第2層が鉄の例



- (左図)第1層が鉄の場合、鉄に入射して直ぐに発生した光中性子が、鉄ではあまり減衰せず、第2層のコンクリート層境界から急に減衰しはじめる。また層境界から、二次γの寄与が漸増を始める。条件によって、第2層の遮蔽厚さが増すと、二次γと中性子の線量寄与が逆転することがある。
- (右図)第1層がコンクリートの場合、γ線はコンクリートを透過した後、第2層の鉄に入射して直ぐに光中性子を発生する。鉄で中性子は鉄で遮蔽効果は、γ線との線量差が広がる。鉄の後方に追加の中性子遮蔽の設置が要請される。
- 第2層の遮蔽厚さによるビルドアップ係数の変化は、一次γ、中性子、二次γともに滑らかであり、多項式を用いて良く近似できた。

スラブ遮蔽の斜め透過に対する線量比の変化 (コンクリート遮蔽の例)

透過距離一定(32cm)、入射エネルギーを変化させて(1MeV, 4MeV, 15MeV) 垂直入射(0度入射)を1としたときの入射角度による線量減衰



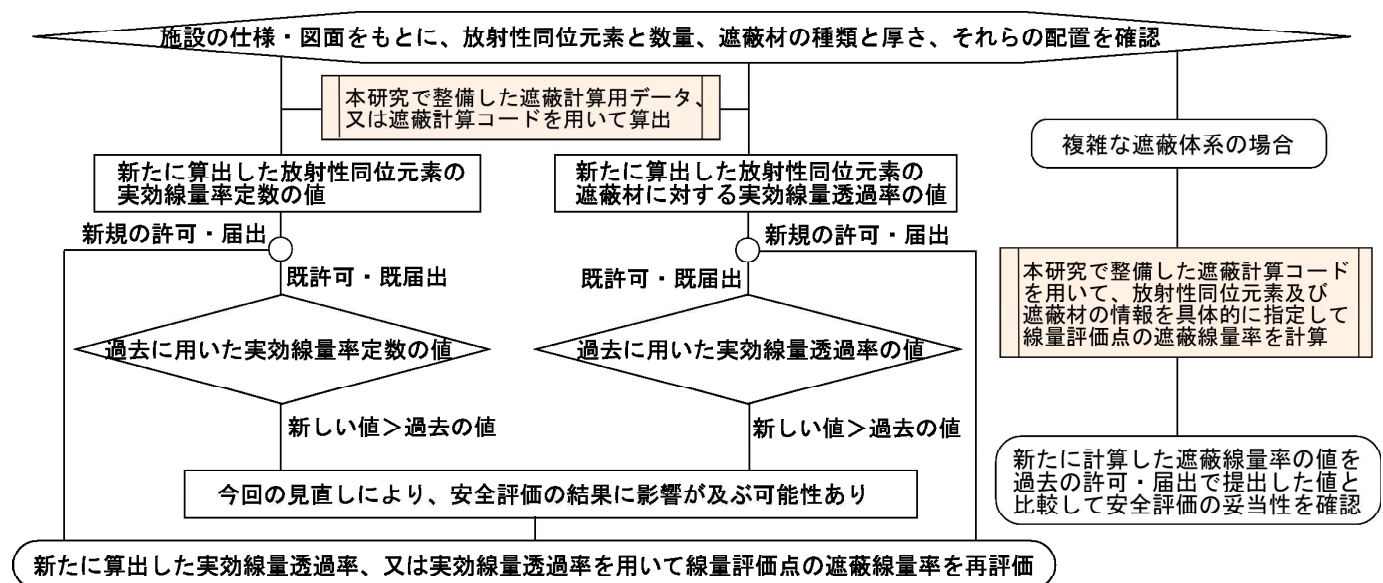
γ / X線、光中性子ともに、入射角度による線量比変化を3次以下の多項式で良く近似できた。入射角度の他に、エネルギー、または透過距離に対するデータ補間の仕方を確立した。また、線量補正における入射角度の適用限度、及び線源が壁から離れた場合の影響を検討した。

ICRP2007年勧告等を踏まえたγ線遮蔽計算ガイドラインの作成(目次と概要)

章	節	タイトル	概要
2	1~8	ICRP2007年勧告等に基づく外部被ばく線量評価に係る変更点	放射線加重係数及び組織加重係数、実効線量計算用の人体モデルフルエンス又は空気カーマからの線量換算係数、眼の水晶体等価線量の限度改定と線量評価、外部被ばくに対する実用量の定義(ICRU 95)、放射性核種の放射線データ、他
3		外部被ばくに係る線量換算係数の改訂と最新の国際動向	
	1	外部被ばく線量換算係数の改訂	実効線量(防護量)、及び測定に係る量(実用量)の換算係数の規定
	2	ICRP/ICRUの最新レポートの要点と想定される将来課題	ICRU95の要点、ICRP147の要点、ICRP次期主勧告の論点、遮蔽線量評価に係る注意、想定される将来の課題
4		遮蔽線量計算法に対する見直し対応	
	1	遮蔽線量計算法の概要	
	2	遮蔽線量計算法の見直し概要	ICRP出版物(線量換算係数 線量種類、放射線データ)、法令改定(眼の水晶体関係)、研究知見(遮蔽材、減衰係数、干渉性散乱、光核反応、スラブ斜め透過、二重層遮蔽、薄い遮蔽)見直しのまとめ、及び従来との比較
	3	遮蔽計算のフローと適用範囲(の明確化)	放射性同位元素・放射線発生装置から放出される放射線の種類に基づく、数式ベースの遮蔽計算法・データ説明、計算フローと注意、遮蔽実務マニュアルの対応する記載と例題の対応
5		遮蔽線量計算法の見直しによる遮蔽計算実務への潜在的影響	
	1	遮蔽計算実務への潜在的影響の調査	アンケート調査の概要、調査結果(影響と課題)
	2	実務で用いられる図書・マニュアル類への影響	改訂対応表
	3	遮蔽線量計算で想定される影響の示唆	明らかな影響が考えられる点の示唆

11

放射性同位元素(γ線核種)の取扱施設に対する遮蔽安全評価の申請確認フロー例



注) 実効線量率定数: 放射性同位元素の数量を1MBqとして、遮蔽のない状態で1m先の実効線量率の値
実効線量透過率: 遮蔽材のある場合の実効線量率を、遮蔽のない場合の実効線量率で除した値

12

本研究で開発した遮蔽計算コードの特徴、及び妥当性確認のための例題

放射性同位元素 (RI) の指定、遮蔽材の指定

線源の追加
名前: []
線源領域
POINT (selected)
BOX, RPP, SPH, RCC
位置: x, y, z
線源情報
線源指定: 核種指定 エネルギー指定
核種: Cs60, Cs137
放射能[Bq]: 1, 1
複数核種 (複数エネルギー) の定義
x/bounding_box, y, z
新規, 削除, 登録

type	name	position/division	inventory	cutoff_rate	path_trace
POINT	s1	0 0 0	[(nuclide: Co60, radioact...	0.0001	
ZONE	s2	[edge_1: (type: UNIFORM...	[(energy: 1.0, spectrum: ...	0.0001	
ZONE	s3	[r: (type: GAUSS_FIRST, n...	[(energy: 1.17, spectrum: ...	0.0001	
ZONE	s4	[r: (type: UNIFORM, num...	[(nuclide: Co60, radioact...	0.0001	

コンクリート壁の部屋に鉄で遮蔽された線源のある遮蔽体系例

線
線源点
假想線源点
評価点
inner
outer
source

線量計算結果の可視化

遮蔽実務マニュアルから引用した例題	線源	遮蔽材
透過率、またはビルドアップ係数を用いて実効線量率を求める方法	Co-60	コンクリート
診療用腔内照射施設の例	Ir-192	タングステン
放射線発生装置取扱施設の例	線源スペクトルの群化	コンクリート、鉄
二重層遮蔽計算 (2-5ページ)	1MeV光子	鉛+コンクリート
複数核種・複数線源 (3-47ページ)	複数のRI取扱施設	各種
ANS標準のサンプル問題	Co-60、廃棄物タンク	コンクリート、水
従来コード記載の問題	Co-60, Cs-134, Cs-137	鉛、土壌

遮蔽体系要素 (線源・遮蔽体・線量評価点) の3次元投影図による確認

13

2021年度の成果

【成果発表】

- 第6回放射線遮蔽設計法に係るワークショップ: 簡易遮蔽解析コードレビューWG活動に係る成果発表 (2021年8月)
- 日本原子力学会2021年秋の大会: 光核反応、スラブ斜め入射の影響について発表 (2021年9月)
- 日本原子力学会2022年春の年会: 二重層遮蔽線量計算の再評価について発表 (2022年3月)
- 同年会: 放射線工学部会セッション「簡易遮蔽計算法のレビューで得られた知見と計算コードの実装」、研究担当者ら4名の連続講演 (2022年3月)
- 放射線遮蔽国際会議 (ICRS-14, 2022年9月、アメリカ): 論文投稿 “Photon deep penetration calculation including the photonuclear reaction using the Monte-Carlo code for a buildup factor”

【データベース構築】

- 最新の勧告・知見に基づくγ線遮蔽計算用データライブラリ (遮蔽材13種に対して、30MeVまでのγ/X線に対する減衰係数及び実効線量ビルドアップ係数 (全6種の照射体系) 等)

【ソフトウェア開発】

- 上記のデータライブラリファイルを読み込んで、遮蔽線量計算を簡便に実行できるγ線遮蔽計算コード

【ガイドライン文書】

- ICRP2007年勧告等を踏まえたγ線遮蔽計算ガイドライン

【ヒアリング調査、アンケート調査、研究レビュー委員会、人材育成活動】

- 光核反応に関する講演会、及び専門家ヒアリング (KEK及び清水建設、2回、2021年4月)
- 実用量の定義変更に関する専門家ヒアリング (産総研、2021年9月)
- 新勧告による遮蔽実務影響、及び遮蔽計算のレポートニングに関するアンケート調査 (2021年11月)
- 研究協力者による研究レビュー委員会の開催 (第3回2020年6月、第4回2021年10月、第5回2022年2月、計3回)
- 日本原子力学会放射線工学部会「簡易遮蔽解析コードレビューWG」を通じた人材育成活動 (2021年6月、9月、12月、計3回)

14

自己評価、及び今後の展望

研究代表者による自己評価

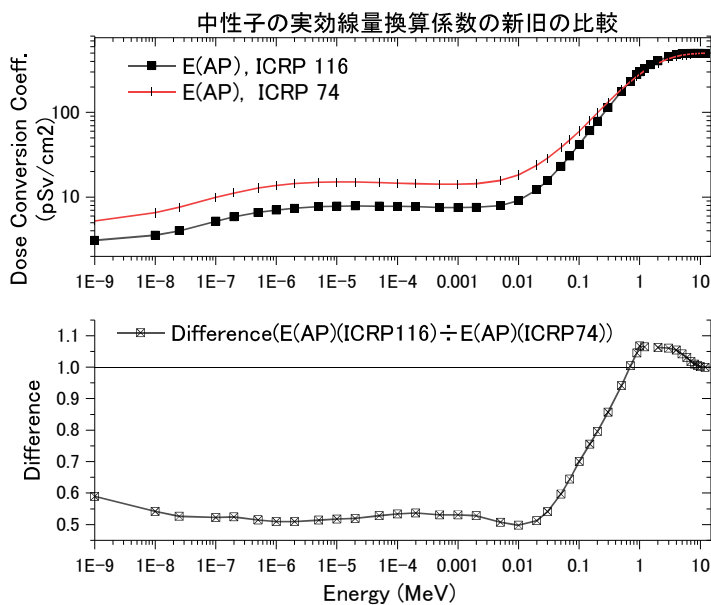
評価の視点	自己評価	コメント
評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか	1 計画を上回る 2. 概ね計画どおり 3 計画を達成できない 4 計画を達成できないが代替手段によって今年度の目標を達成した	下記の件を除き、研究計画どおりに研究を遂行し、当初の目標を達成することができた。 2020年9月に開催されるはずの放射線遮蔽国際会議がパンデミックにより、2021年から更に2022年へと延期された。同会議に参加して行う調査の一部が未達となったが、目標の達成に影響はない。代わりに本研究の成果を発表して意見交換を行う予定である。

今後の展望

- 本研究で作成した**遮蔽計算用データ及び計算コードを公開**して、申請者に広く利活用してもらう。
 - 今後、さらにデータの拡充や妥当性確認を行って信頼性を確保する。
- 開発した遮蔽計算コードを、**中性子線源**に対応するように拡張
 - (α, n)反応、自発核分裂、特定加速器施設により発生する中性子線の簡易遮蔽計算

15

(参考) 中性子の実効線量換算係数の改訂について、新旧の比較



- 新しい換算係数(ICRP116)は、従来(ICRP74)と比べて
- 100keV未満で新しい換算係数の方が半分位に減る。
 - 700keVを超えると新しい換算係数の方が10%位高い。

特に、MeV領域の中性子線に対して、新しい換算係数を用いた線量評価は、古い換算係数を用いた場合と比べて高くなる恐れがある。

ICRP2007年勧告に基づく中性子線の放射線防護が、これまでどおり妥当であることを示すには、中性子線の遮蔽計算用データを見直して、遮蔽線量を再評価する必要がある。

16

研究評価委員会による評価結果のコメントへの対応について

評価結果のコメント	コメントの対応項目2件
ICRP2007年勧告を踏まえた線量換算係数の変更等による遮蔽計算への影響等を確認し、ガイドラインとしてまとめたことは評価できる。成果報告書では、本研究の成果とICRP2007年勧告において変更された技術的基準との関係をより明確にするとともに、既存の遮蔽計算マニュアルの全面改訂又はその発展型の策定までの道筋についても提案頂きたい。	1. 本研究の成果とICRP2007年勧告において変更された技術的基準との関係
	2. 既存の遮蔽実務マニュアルの改訂又はその発展型の策定までの道筋提案

17

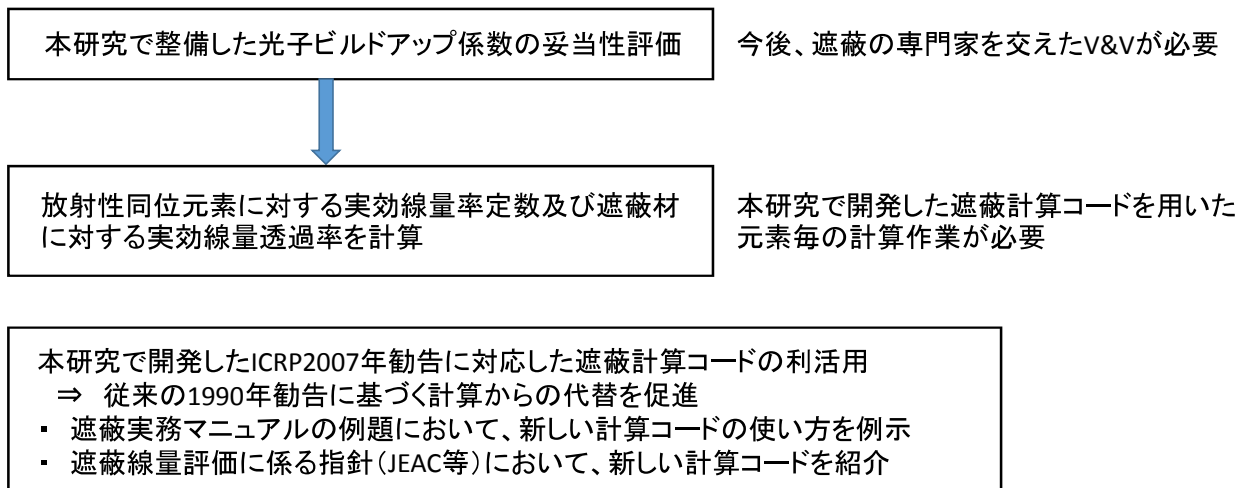
1. 本研究の成果とICRP2007年勧告において変更された技術的基準との関係

ICRP2007年勧告等において変更された技術的基準	本研究の成果
外部被ばく線量換算係数 ⇒ 高エネルギー加速器施設等に対応するため、放射線の種類及びエネルギー範囲を拡張し、フルエンス当たりの線量換算係数を改訂 ⇒ 2011年発行のICRP Publ.117に掲載された線量換算係数を採用 ⇒ エネルギー範囲：光子及び電子：10keV-10GeV（従来の1990年勧告は、10MeVまで）	1. ICRP2007年勧告に基づく外部被ばく線量換算係数及び放射性核種データを用いた光子ビルドアップ係数の整備 ⇒ 単元素を含む頻用遮蔽材13種（鉄、鉛、コンクリート、水、銅、ポリエチレン等、遮蔽材の厚さ80mfpまで） ⇒ 高エネルギー光子に対応（30MeVまで） ⇒ 光子の物質に対する相互作用として、新たに光核反応及び干渉性散乱を考慮 ⇒ 計算可能な線量種類として、実効線量（照射条件6種）、皮膚又は眼の水晶体等価線量、空気カーマ、 <u>1cm線量当量(Hp(10))</u> 、 <u>3mm線量当量(Hp(3))</u> に対応 2. 整備した光子ビルドアップ係数を用いた遮蔽計算コードの開発 ⇒ 放射性同位元素が放出する光子に対する遮蔽線量計算（ICRP Publ.107に掲載された光子を放出する核種） ⇒ 放射線発生装置で発生する光子に対する遮蔽線量計算（光子エネルギー30MeVまで）
放射性核種データ ⇒ 放射性同位元素の放出する放射線の種類、エネルギー、放出率等の放射性核種データを改訂 ⇒ 2008年発行のICRP Publ. 107に掲載された放射性核種データを採用（全97核種1252核種）	
眼の水晶体に係る線量評価 ⇒ 眼の水晶体の等価線量限度が改められたことを踏まえて、放射線業務従事者の眼の水晶体の線量評価には、Hp(10)、Hp(0.07) 又はHp(3)のうち状況に応じて適切な量が用いられる。	

18

2. 既存の遮蔽実務マニュアルの改訂又はその発展型の策定までの道筋提案

遮蔽実務マニュアルの改訂又はその発展型の策定については、同マニュアルの出版元からの協力要請に基づく。その場合、本研究の成果を参照していただくにあたり、下記の道筋が考えられる。



19

研究成果の放射線規制及び放射線防護分野への活用について

	本研究の成果の活用先の例	概要
1	既存施設の遮蔽安全評価における線量の再評価、及び過去に申請した内容との整合性確認	申請者は、既存施設の遮蔽安全評価をICRP2007年勧告の観点から見直して、過去に届け出た又は許可を受けた遮蔽線量評価の妥当性を確認する必要がある。 ⇒ 遮蔽計算ガイドラインにおいて、遮蔽安全評価の仕方、及び過去に申請した線量評価に対する妥当性確認の手続きの例を示した。
2	実務で使用される遮蔽計算用データを掲載した文献資料の改訂支援	施設の遮蔽設計で使用される遮蔽計算用データ(ビルドアップ係数、放射性同位元素の実効線量率定数、遮蔽材の透過率)を掲載した文献資料は、ICRP2007年勧告に基づく改訂を要する。 ⇒ 本研究で整備したICRP2007年勧告に対応した遮蔽計算用データが参照の一つになる。
3	施設の遮蔽線量評価における遮蔽計算コードの利活用	遮蔽線量計算をミスなく効率的に実施するためには、手計算よりも、遮蔽計算コードを用いる方が有利である。 ⇒ 本研究で開発したICRP2007年勧告対応の遮蔽計算コードを配布する。計算コードを用いた遮蔽線量評価に不慣れな申請者にとっては、計算方法についての理解及び習熟が必要
4	ICRP2007年勧告等に基づく遮蔽線量評価の変更ポイントの周知	遮蔽安全評価を確実に実施するためには、申請者に遮蔽計算コードを提供するだけでなく、ICRP2007年勧告による遮蔽線量評価の変更ポイントについて伝達する必要がある。 ⇒ 遮蔽計算ガイドラインに示したICRP2007年勧告による変更ポイントについて、広報活動や放射線取扱主任者などを通じた周知徹底が必要

20

原子力規制庁
放射線安全規制研究推進事業

看護職を活用した住民に対する
放射線リスクマネジメントの推進

-原子力災害支援保健チーム(NuHAT)の実現を目指して-

東京医療保健大学

【課題名】看護職を活用した住民に対する放射線リスクマネジメントの推進
-原子力災害支援保健チーム(NuHAT)の実現を目指して-

研究期間:2021年(1年間)

【背景・目的】原子力防災対策では、平常時から原子力災害時の復旧期に至るまでの住民の不安に対する継続的な支援体制が不十分である。そこで看護職の持つ保健指導に関する能力を活用し、原子力・放射線利用に伴う放射線リスクに対する住民の「不安」に対峙していく必要があると考えた。本研究では、NuHATの構築を目指し、原子力災害対策とくに住民に対する放射線リスクマネジメントに看護職(看護師・保健師・助産師)を活用する方策の実現性について検討する。

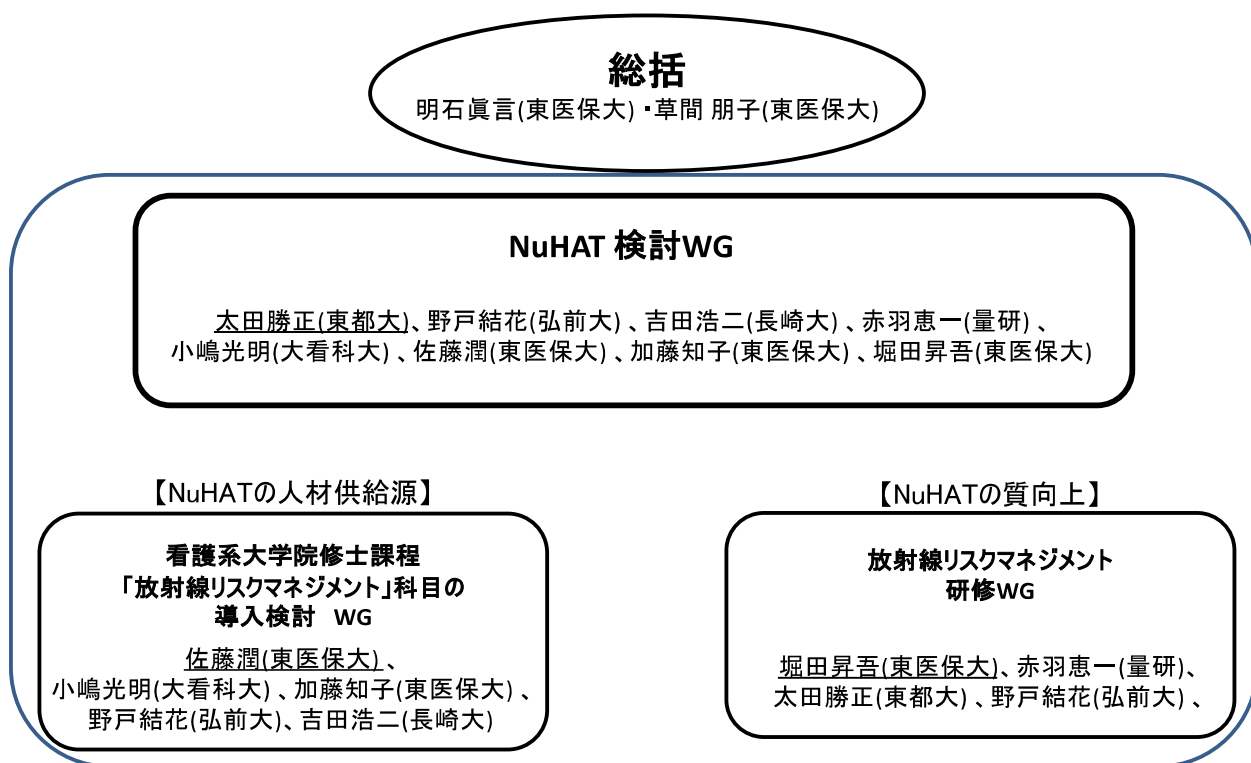
【実施状況】

	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
NuHAT検討WG(WG-1)		NuHAT参加意向調査	関連組織へのインタビュー	総合防への参加・行動観察 行政へのインタビュー
「放射線リスクマネジメント」科目の導入検討WG(WG-2)			CNS関係者へのインタビュー 保健師養成課程関係者へのインタビュー	モデルシラバス(案)の作成
放射線リスクマネジメント研修WG(WG-3)			オンライン/対面研修 研修後アンケート	モデル研修(案)の作成

- ・ インタビュー調査や研修はオンラインへの切り替えなどによって実施できた。
- ・ 総合防への参加は実施できなかった。
- ・ 各WGの結果を踏まえて取りまとめを行う

【期待される成果】原子力災害の初期すなわち緊急時の防災対策に関しては緊急被ばく医療を含め整備されつつある。しかし、中長期的な視点に立った対策が手薄である。NuHATの活動は、この課題の解決に貢献できると考えている。また、原子力の看護職に対する関心・認識の高揚つなげると考える。

研究体制



研究の背景と目的

原子力災害・放射線事故対して平常時から事故後の復旧・復興期に至るまでを通して住民、被災者の想いに寄り添った放射線リスクマネジメントが不可欠

住民の放射線
リスクマネジメント

放射線リスク
(科学的エビデンス)

住民が理解・認識し
自ら判断できる状況

看護職(保健師・看護師・助産師)

住民にとって最も身近で信頼される保健・医療職として活動
しかし、原子力・放射線利用に関する関心・認識は不十分

- 看護の基礎教育(看護学モデルコアカリキュラム)
- 専門性の高い高度な実践力を備えた看護の養成(大学院教育)

放射線に関する看護職を
取り巻く教育環境の変化

看護職を活用した原子力災害保健医療チーム(NuHAT)を編成し
原子力・放射線利用の推進に寄与

研究目的

原子力・放射線利用に関する社会・時代のニーズに
対応できるNuHATの実現に向けての検討

研究方法

WG	研究方法
NuHAT全般	<p><NuHATを組織的に定着・維持していくための要件等の検討></p> <p>①既存の組織の経験から学ぶ災害時医療支援組織および被ばく医療支援組織の関係者に対するインタビュー</p> <p>②原子力防災における看護職の役割を知るために原子力防災訓練へ参加し行動観察</p> <p>③NuHAT参加希望調査</p>
メンバー養成教育	<p><NuHATの構成員の人材を継続的に供給するための養成プログラムの検討(モデルシラバスの提案)></p> <ul style="list-style-type: none"> 放射線看護専門看護師養成関係者および保健師課程(大学院)の関係者へのフォーカスグループミーティング
メンバーの質向上の研修	<p><NuHATの構成員の質の担保・向上のための定期的な研修の必要性と研修プログラムの提案></p> <ul style="list-style-type: none"> 放射線看護専門看護師養成課程の修了者等を対象に、放射線リスクマネジメントに係る研修を実施し、アンケートにて研修に関する意見聴取

- 東京医療保健大学の研究倫理委員会の承認 (承認番号; 教33-3B)
- COI: 該当事項無し

研究結果-1 NuHAT全般

既存組織へのインタビュー結果	
語られた実態	事務局等を有して運営。
	災害全般を対象とする医療関連チーム(以下災害チーム)は全国に数百、原子力災害時の支援チームはあまりない。
	災害チームは度重なる災害での活動などを通して認知、原子力災害時の支援チームの社会的な認知は災害チームに比べると不十分。
語られた課題	安定した財源と人材の確保
	常にあるわけではない災害への構成員のモチベーションを保つ方法の工夫
	教育の機会の確保



【NuHATを定着し継続していくための要件】

- 組織基盤(当面は日本放射線看護学会へ管理を依頼)
- チームの規模と必要なチーム数
- 構成員(メンバー)の確保
- 財政基盤の確保(今後の課題)
- 社会的な認知(今後の課題)

原子力防災にNuHATが果たす役割

被ばく状況	役割	派遣数
緊急被ばく状況下	地域の看護職を放射線防護の視点で支援	2-3組/回派遣
現存被ばく状況下	<ul style="list-style-type: none"> ・住民とのコミュニケーション（放射線リスクマネジメント） ・看護職の教育・相談 	状況に応じて
計画被ばく状況下	<ul style="list-style-type: none"> ・住民とのコミュニケーション（放射線リスクマネジメント） ・看護師・保健師等を対象にした研修（放射線リスク） ・看護学生に対する放射線教育 	1組/回派遣

- NuHATの役割を考えると機動性のあるチームは**1つとし**、複数の構成員が所属する。
- チームの運営・管理は当面は日本放射線看護学会に依頼する
- 現地派遣の際は、原則、NuHAT構成員から**2名1組**となり実践活動を行う
- DMATや災害支援ナース(JNA)などと同様に現地の負担にならないように自己完結で派遣現場で生活できるようにする

NuHATの構成員の供給源

放射線看護専門看護師(CNS)課程修了に対するアンケート調査

- CNSの養成課程
 - ・弘前大学、長崎大学、鹿児島大学
- 2014年3月～2021年3月までの修了者
 - 36名を対象に参加に関する意向調査
- NuHATが構築された場合、参加する意思があるか？
 - ・「参加する」:32名
 - ・「職場等と調整がいたら参加の意思を表明する」:4名
 - ・「参加する意思はない」:0名

研究結果-2 メンバー養成教育

フォーカスグループミーティング(FGM) 参加者

・CNS関係者:6名 ・保健師教育関係者:4名

FGMの主な検討内容

(1)大学院教育の現状

- ・ 大学院課程の修了要件(単位数)
- ・ 放射線リスク関連の科目の有無と単位数
- ・ 担当教員
- ・ 放射線リスク関連科目がある場合、演習実習の有無
- ・ 外部の研修等に参加した場合の単位等の取り扱い
- ・ 単位互換制度の有無
- ・ 課程修了者の現在の活動状況
- ・ 就労場所、就労場所でのポジションなど

(2)「放射線リスクマネジメント論」のあり方についての意見

放射線リスクマネジメント論のシラバス(案)

1単位 8コマ(90分)

1	放射線リスクマネジメントの概念および目的(講義)
2	放射線リスクアセスメント(講義)
3	放射線リスクマネジメントにおける社会資源とその活用(講義)
4	放射線リスクマネジメントにおける個人および集団の対象理解(講義)
5	放射線リスクマネジメントのプロセス(講義)
6	放射線リスクマネジメントの実践(事例検討)
7	放射線リスクマネジメントの実践(個人を対象にしたロールプレイ)
8	放射線リスクマネジメントの実践(集団を対象にしたロールプレイ)

研究結果-3 メンバーの質向上の研修

オンライン研修 12/11 (参加者22名)

時間(分)	内容
10	開会
40	放射線リスクマネジメント
50	福島原発事故後、住民の抱える不安とその対応
60	原子力災害対策を行なっている自治体の活動と原子力災害時の看護職への期待
25	【演習】サーベイメータの取り扱い
55	【グループワーク】原子力災害時のリスクコミュニケーション
5	閉会

対面研修 1/19-20 (参加者6名)

1日目

2日目

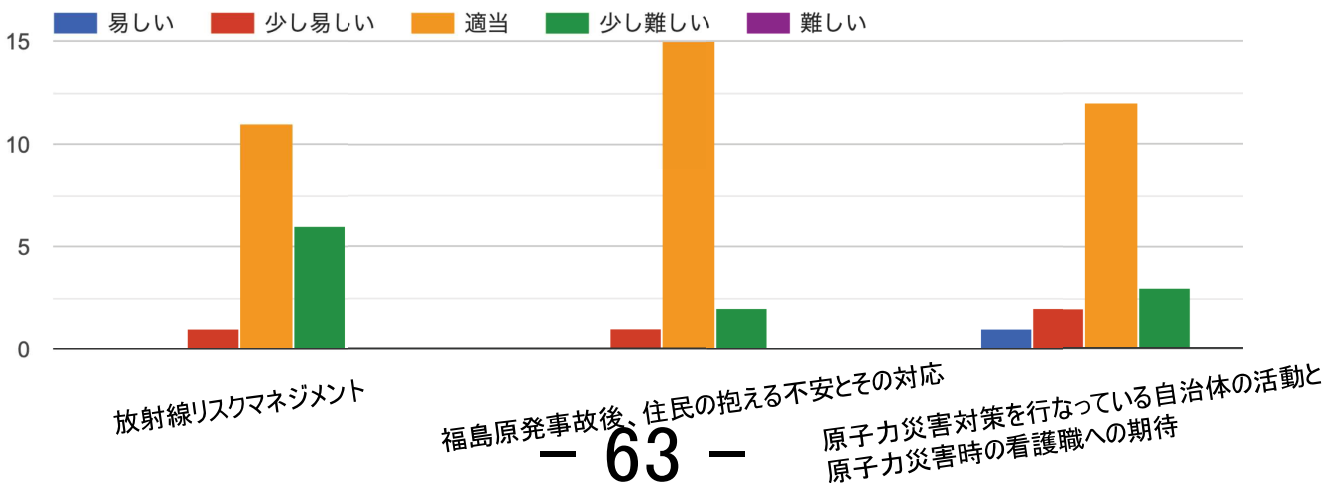
時間(分)	内容	時間(分)	内容
10	開会	60	放射線リスクマネジメント
50	福島原発事故後、住民の抱える不安とその対応	40	【演習】甲状腺のモニタリング
50	個人モニタリング(測定と評価)の基礎	60	グループワーク
40	【演習】自然放射線の測定	10	閉会(アンケート依頼)
40	【演習】ポータブルX線撮影装置を用いた防護演習		
40	【演習】体表面汚染のモニタリング		
5	解散		

研修会参加者に対するアンケート調査の結果

【研修の必要性について】

- ・「関わるまでの知識を持つ看護師の母数が絶対的に少ないと感じる。」
- ・「定期的に研修に参加させていただく事により、知識の復習になります。又、モチベーションを保つ上でも大切だと感じております。」
- ・「看護職として適切な知識を身に付けておくことの必要性を改めて感じました。」

【研修の難易度について】



NuHATの今後の見通し

ーフィージビリティスタディのまとめー

1. 一般社団法人 日本放射線看護学会 が運営母体となって NUHATを構築
 日本放射線看護学会を運営母体とした理由
 - ①NuHATの主な構成員は、放射線看護専門看護師(CNS)である
 - ②日本放射線看護学会は、CNSの養成機関(大学院)の支援母体であり、学会内にCNS-WGがある
2. NuHAT構成員のネットワークの構築
3. CNS等を対象とした放射線リスクマネジメントに係る研修会を開催
 東京医療保健大学に依頼し、定期的開催する
4. CNSの大学院カリキュラムの中に放射線リスクマネジメントの科目を設定し、モデルシラバスに沿った教育を実施

【運営していく上での課題】

- ①原子力界、関係都道府県の行政担当者のNuHATに対する認識
- ②NuHATを継続していくための財政的基盤の確保

今年度の成果

- 日本放射線看護学会 第10回学術集会(2021/9/18,19開催)にて口演発表

今後(令和4年3月まで)の予定

- 2022年1月28日 第2回全体会議
 - 報告書のまとめ
 - 日本放射線看護学会との話し合い
- ※総合防災訓練に参加予定であったが、感染状況等を鑑み中止

自己評価

評価の視点	自己評価	コメント
評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか	1 計画を上回る 2 概ね計画どおり 3 計画を達成できない 4 計画を達成できないが代替手段によって今年度の目標を達成した	WG2および3については、研究目的を達成し、計画通りに進めることができた。総合防災訓練における行動観察が実施できていないために、現時点では、一部の計画を遂行できていない。

研究評価委員会年次評価のコメントへの対応

看護職人材の参画という着眼点は理解できるが、先行している取組み等の調査が不十分である。既存の組織との役割分担(連携を含む)を明確にし、実現性・実効性を意識した提案としてまとめて頂きたい。



NuHATは、以下の特徴を持つ看護職を中心とした固定したチームで、全国的に活動していくことを想定した、初めてのチームであると認識している。令和3年度の本研究では、NuHATの役割を明確にし、チームを実現させる(立ち上げる)ことを目標にして取り組んだ。チームとしての実現の可能性については結論を得ることができた。今後、自然災害を含めた様々な災害支援チームとの連携を図りながらNuHATの実効性を検討し、社会的認知を得ていきたいと考えている。ご指摘の先行している取組みの調査等はWG-1で行っており、報告書に記載済みである。

- ①住民に最も近い位置にいる看護職の特性を活かしたチームである
- ②事故直後から中長期にわたる地域住民の放射線リスクマネジメントができる
- ③構成メンバーは、大学院等での教育、定期的な研修の受講などを通して放射線リスクに関する高度な専門性を保持している

研究成果の放射線規制及び 放射線防護分野への活用

- 原子力災害における被災住民に対する中長期的な支援の方策についての提案
- 放射線リスクマネジメントにおける医療保健職,特に専門性の高い看護職の活用についての提案
- 放射線リスクに関する「エビデンス(科学的根拠)」と「想い(認識)」との橋渡し役の重要性
- 全ての看護職の放射線・原子力への関心の向上

自然起源放射性物質(NORM)による 被ばくの包括的調査

【研究区分】
放射線防護に係る中長期的課題への対応
に向けたフィジビリティ研究
【研究期間】
1年間(R3年度)

量子科学技術研究開発機構
量子生命・医学部門
放射線医学研究所
放射線規制科学研究所
岩岡和輝

1

研究全体の概要

放射線防護に係る中長期的課題への対応に向けたフィジビリティ研究

課題名

自然起源放射性物質(NORM)による被ばくの包括的調査

研究期間: 2021年度(1年間)

背景・目的

自然起源放射性物質(NORM: Naturally Occurring Radioactive Material)による被ばくについて、我が国において規制管理方法の検討が進められているが、NORMは多種多様であり関連するデータは無数に存在するため、国内規制を検討できるほど情報が整理されていない。本研究は、NORMの被ばくに関する調査データを整理することにより、国内規制に繋がる新たな課題を探るものである。

実施状況

量子科学技術研究開発機構(量研)のNORMデータベースのオリジナルデータや最新の貿易統計データを文献で調査することにより天然資源(岩石や鉱石など)の国内使用量と放射能濃度に関するデータの整理を行うとともに、不足している情報(すなわち必要な課題)を提起した。

期待される成果

本事業の成果から、今後の調査の対象物質の優先順位等が明らかとなる。すなわち、本事業の成果は、我が国の実情に応じたNORMの放射線防護のあり方に関する検討材料となることが期待できる。

研究体制

研究代表者: 岩岡和輝

研究参加者: 矢島千秋、富坂侑斗、神田玲子

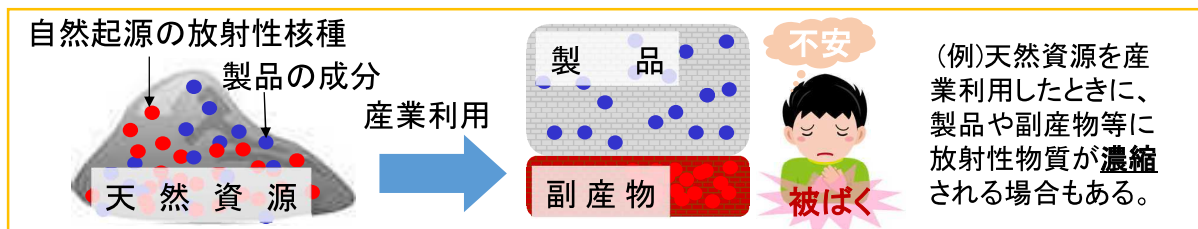
【 全体総括 】 量研 岩岡和輝
①使用量の調査 量研 岩岡和輝、矢島千秋
②放射能濃度の調査 量研 岩岡和輝、富坂侑斗
③とりまとめ(課題の提起) 量研 岩岡和輝、富坂侑斗、神田玲子

3

研究概要①

研究背景

- 天然資源に含まれる自然起源の放射性核種の量は、天然資源の種類(品目や産地)によって大幅に異なる。



- 自然起源の放射性核種を多く含む天然資源の産業利用による被ばくは国際的な問題となっており、国際的な規制の整備が進められている。
 - 国際基準(近年の状況)
 - ・U-238系列やTh-232系列の濃度で1Bq/g (IAEA基本安全基準)
 - ・NORM産業利用に関する勧告 (ICRP Publication142)
- 我が国についても、国際基準の最近の状況を踏まえて、自然起源の放射性核種を多く含む天然資源の規制を検討していく必要がある。

研究概要②

問題点

我が国において、“どんな天然資源がどれだけ使われていて、自然起源の放射性核種がどのくらい含まれているか”という情報が、国内規制を検討できるほど整理されていない。



我が国の喫緊の課題として

本研究の目標

我が国の実情に応じたNORMデータ(天然資源の原料や製品等の国内使用量と放射能濃度)の整理を行う。これにより、我が国のNORM規制検討に必要な新たな課題(足りないデータは何か)を提起する。

①NORMの国内使用量の調査

- 近年、わが国で使われている天然資源はどれで、どのくらい使用されているのか調査する。
※財務省貿易統計2020年(輸入量)、経済産業省統計(国内生産量)など最新の統計データを調査

②NORMの放射能濃度の調査

- どのような天然資源が高い放射能濃度を有しているか調査する。
※量子科学技術研究開発機構のNORMデータベース、研究代表者の論文を活用。

③とりまとめ(課題の提起)

- 上述の結果から天然資源を「国内使用量」と「放射能濃度」で、整理・分類する。これにより、我が国のNORM規制検討に必要な新たな課題を提起する。

5

進捗状況

研究計画のロードマップ

(研究期間:1年間)

実施項目 (課題)	担当者 (所属機関)	2021年度			
		第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
①使用量調査	岩岡和輝(量研) 矢島千秋(量研)	国内使用量の調査・整理 ←————→ 完了			
②放射能濃度の調査	岩岡和輝(量研) 富坂侑斗(量研)	NORMデータベースのオリジナルデータの調査・整理 ←————→ 完了			
		申請者の実測データの調査・整理 ←————→ 完了			
③とりまとめ (課題の提起)	岩岡和輝(量研) 富坂侑斗(量研) 神田玲子(量研)	(整理・分類・とりまとめ 課題提起) ←————→ 完了			

成果 本研究で整理したデータ

本研究で整理したデータ

約200種に整理

データ集①: 国内使用量 (一部)

物質名	輸入量(トン)	国内生産量(トン)	輸入量の文献	国内生産量の文献
石炭	173754558	1665966	財務省貿易統計2020確々報	平成28年経済センサス-活動調査
アンチモン及びその製品	4835	不明	財務省貿易統計2020確々報	
トリウム鉱	0	0	財務省貿易統計2020確々報	平成28年経済センサス-活動調査
コバルト鉱	0	0	財務省貿易統計2020確々報	平成28年経済センサス-活動調査

∴ 下に続く

データ集②: 放射能濃度 (一部)

物質名	U-238 Bq/kg		Ra-226 Bq/kg		Th-232 Bq/kg		Ra-228 Bq/kg	
	データ数	平均濃度	データ数	平均濃度	データ数	平均濃度	データ数	平均濃度
石炭	24	43	28	38	34	21	14	23
トリウム鉱	7	30000	4	36000	8	300000	3	320000

∴ 下に続く

データ集③: 統合データ (一部)

物質名	輸入量(トン)	国内生産量(トン)	U-238 Bq/kg		Ra-226 Bq/kg		Th-232 Bq/kg		Ra-228 Bq/kg	
			データ数	平均濃度	データ数	平均濃度	データ数	平均濃度	データ数	平均濃度
石炭	173754558	1665966	24	43	28	38	34	21	14	23
アンチモン及びその製品	4835	不明	0		0		0		0	
トリウム鉱	0	0	7	30000	4	36000	8	300000	3	320000
コバルト鉱	0	0	0		0		0		0	

∴ 下に続く

7

成果 新たな課題の提起①

本研究で整理したデータから言えること

どのような物質の濃度が高そうか？

物質名	関連産業
酸化セリウム	レアアース
鉱物(その他)レアアース含む	レアアース
酸化ランタン	レアアース
その他希土類金属の化合物	レアアース
ゲルマニウムの酸化物、ジルコニウムの酸化物	レアメタル
タンタル処理工場からの廃棄物	レアメタル
精油所のスケール	化石燃料
火力発電所からの廃棄物	化石燃料
廃油(石油汚泥など)	化石燃料

補足: 上記は、国際的な濃度レベル1Bq/g(計画被ばくの要件が適用される濃度レベル, IAEA GSR Part3)を超える物質。ただし、我が国の管理対象(国内のガイドラインの対象)となっているものや自然環境場にそのままの状態が存在するものを除く。

キーワード

- 「レアアース・レアメタル」
- 「化石燃料」

成果 新たな課題の提起②

本研究で整理したデータから言えること

我が国で使用されているレアアース・レアメタルと化石燃料は何か？

レアアース・レアメタルの関連物質(例)			化石燃料の関連物質(例)		
物質名	国内使用量※ (トン)	放射能濃度の データ数	物質名	国内使用量※ (トン)	放射能濃度の データ数
フェロセリウム	794	0	泥炭灰	原料から生成	6
鉱物(その他)	290,703	4	泥炭	原料から生成	7
希土類金属など	6,791	4	石油、歴青油(原油)	123,679,076	24
酸化セリウム	2,039	6	亜炭灰	原料から生成	60
その他希土類金属の化合物	2,072	12	廃油(石油汚泥など)	333,229	60
ビスマス及びその製品	690	0	精油所のスケール	原料から生成	62
コバルト及びその製品	11,915	0	精製油	191,960,412	83
クロム及びその製品	3,639	0	石炭	175,420,524	100
クロムの酸化物など	3,592	0	亜炭	21,570	118

濃度データが少ない

濃度データが多い

※輸入量+国内生産量

優先すべき調査は？

- ・レアアースレアメタルは濃度調査
- ・化石燃料は被ばく調査

9

成果 学術発表

●データ集

他に2つとないデータ集



将来的に



量研NORMデータベースで公開予定



●学会発表

- ・Kazuki Iwaoka, Kazuaki Yajima, Reiko Kanda. Current status of comprehensive survey on naturally occurring radioactive material. The 64th Annual Meeting of the Japanese Radiation Research Society. September 22–24, 2021, Mito (web), Japan.
- ・富坂侑斗、矢島千秋、岩岡和輝、神田玲子. 国内におけるNORM被ばく防護検討のためのデータ調査、第59回アイントープ学会、東京(web)、2022年7月6–8日 (本資料作成時点では予定)

●放射線審議会での報告

- ・岩岡和輝: 国内におけるNORM被ばくの実態, 第153回放射線審議会, 2021年6月23日
- ・岩岡和輝: 第156回放射線審議会, 2022年(本資料作成時点では予定)

●その他の発表(ワークショップ、講演)4件

自己評価①

個別の項目	自己評価	概要
研究目標の達成度	目標通り	当初の研究計画通りに、4名のエキスパートで構成された研究体制で、限られた予算内で効率的に本研究を実施して完了することができた。
研究成果	やや高い	NORMの国内使用量や濃度データのデータ集を作成し、規制管理に繋がる新たな課題を提起した。このデータ集は大量のデータを入手して整理するという非常に時間がかかる作業の結果得られたものであり、唯一性があるものである。また、本研究はデータ整理を目的としており、学術的な成果を挙げるのが難しいテーマであったが、学会や放射線審議会等において積極的に発表することにより学術的な成果も着実に挙げた。さらに、将来、本成果(データ集)を量研NORMデータベースに組み込む予定であるため、量研NORMデータベースを講演会等で積極的にアピールし、本成果(データ集)の将来の普及に向けた活動も行った。
放射線規制及び放射線防護分野への貢献度	高い	NORMIによる被ばくについて、我が国において規制管理方法の検討が進められているが、NORMは多種多様であり関連するデータは無数に存在するため、国内規制を検討できるほど情報が整理されていない。このような問題を解決するため、本研究では、我が国の実情に応じた最新のデータ(天然資源の国内使用量と放射能濃度)を入手して整理・分類を行うという研究計画を立て、これを計画通りに達成することができた。さらに、我が国のNORM規制検討に必要な新たな課題を示すことができた。これらの成果は、放射線審議会の議論に実際に活用されるなど、放射線規制及び放射線防護分野への貢献度は高い。
研究コスト及び費用対効果	やや高い	4名のエキスパートが、それぞれ得意とする課題に取り組む研究体制で研究期間1年という期間ならびに予算の限られた中で効率的に本研究を実施し、規制検討に資する成果を得ることができた。

11

自己評価②

自己評価(全体): 有用な成果が得られた。

- 研究計画に沿って進め、我が国の実情に応じた最新のデータ(天然資源の国内使用量と放射能濃度)を入手して整理・分類することができた。
- これにより、我が国のNORM規制検討に必要な新たな課題を提起することができた。

本事業目的(フィジビリティ研究)に合致する成果

評価委員会総合コメントと成果報告書への対応

- 総合コメント
NORM に関するデータベース整備の第一段階としては評価できる。本課題では文献調査が主となっているが、被ばく評価の観点からは現場における使用実態の調査が必要である。成果報告書においては、規制課題を提起する観点から議論を展開して頂きたい。
- 総合コメントに対する成果報告書への対応
 - ・ 使用実態について
使用実態の調査は将来の課題として重要な項目であり、報告書のとりまとめ（Ⅲ.2.3）及び成果の概要（Ⅳ）に記載した。
 - ・ 規制課題の提起
規制課題の提起は重要な項目であり、報告書の成果（Ⅳ）に、将来の課題やその優先順位を記載した。

13

研究成果の放射線規制及び放射線防護分野への活用方針

- 本成果は、我が国の実情に応じたNORMデータを整理して、その整理した情報から新たな課題を提起したものである。
- 整理したNORMデータについては、本研究実施者が開発公開してきた量子科学技術研究開発機構のNORMデータベースを活用して情報発信を検討する。
- 新たな課題については、規制行政におけるNORMからの放射線防護の検討材料として活用が期待される。

水中の放射性ストロンチウムの 安全、迅速、安価な分析法の開発

研究代表者	箕輪はるか(慈恵医大)
分担研究者	小島貞男(愛知医大)
	青山道夫(筑波大)
研究協力者	緒方良至(愛知医大・大阪産業大)
	加藤結花(日立製作所)
	宮部慎介(日本化学工業)
	佐久間貴志(荏原製作所)
研究参加者	有信哲哉(愛知医大)

1

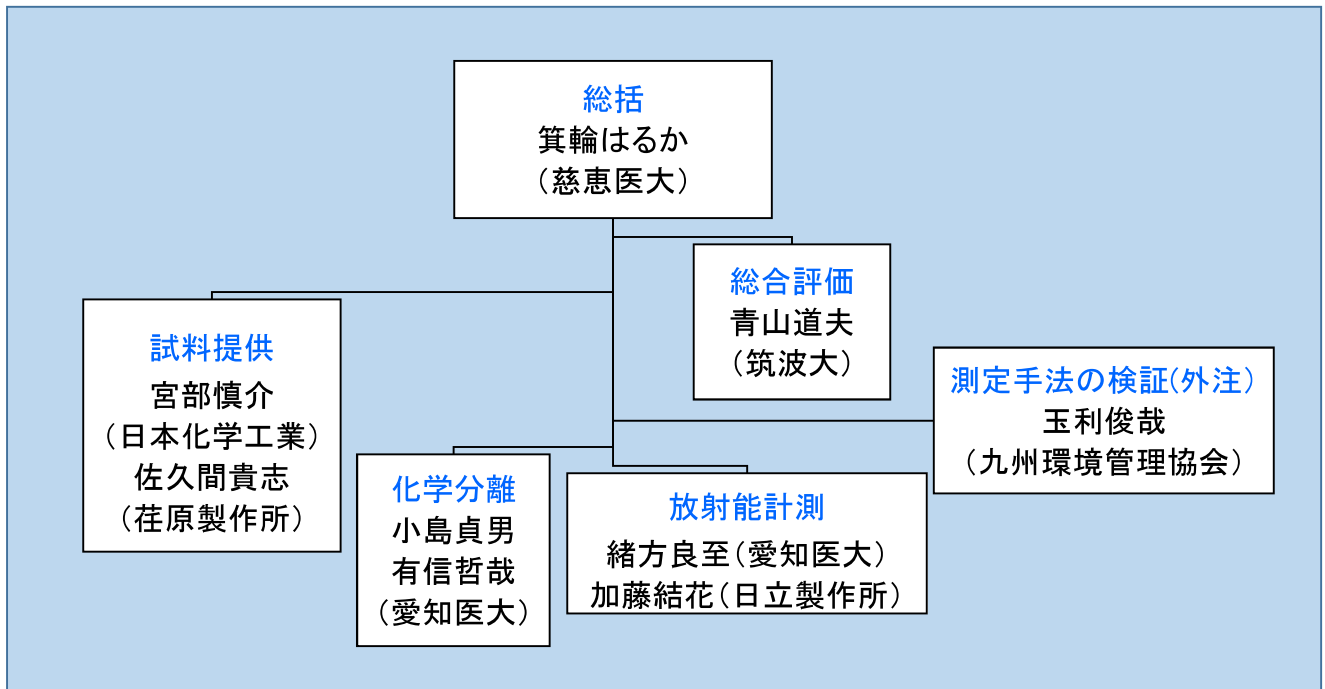
課題名 水中の放射性ストロンチウムの安全、迅速、安価な分析法の開発

研究期間: 令和3年度(1年間)

背景・目的: 放射性ストロンチウム (^{90}Sr , ^{89}Sr) は、環境モニタリングにおける重要な核種であるが、その分析には、多量の劇物を用いた複雑な化学操作が必要で時間を要するため、十分な分析ができていないのが現状である。本研究では、放射性ストロンチウムの安全、迅速、安価な分析法として、Sr吸着剤ピュアセラムMAqを用いた測定法を開発することを目的とした。

項目	実施状況
Sr吸着剤における天然放射能 ^{210}Pb の影響評価	計画通り実施済
Sr吸着剤における ^{140}Ba の影響評価	計画通り実施済
Sr吸着率の評価	計画より遅れて実施済
Sr吸着剤のSr吸着率が予備実験の結果(98%)に及ばず、90%程度であったため、その原因の追究と対策の為研究が遅延した。大気中 CO_2 の吸収による劣化が原因と推定し、防止策を検討した。	
^{90}Sr の迅速測定法の確立	計画より遅れて実施済
迅速測定法の天然海水試料への応用	計画より遅れて実施済
精密測定における ^{90}Y のミルクキング法の開発	計画より遅れて実施済
当初予定していたSr吸着剤からの塩酸を用いたY溶出がうまくいかなかったため、方針の変更を余儀なくされた。EDTAを用いた脱離により、測定可能であることがわかり、実用化の目途は付いた。	
大容量試料への適用	計画より遅れて一部実施済
精密測定の天然海水試料への応用	研究期間終了後

期待される成果: 本法の迅速測定により、**測定頻度・測定箇所を増加し**、かつ、**コスト低減**が可能となる。安心できる情報を**すみやかに公開**することができ、一般公衆の**被ばくリスクを低く抑え**、**健康・安全に貢献**すると思われる。本法の精密測定の利用により、平常時においても**信頼できる値が広範囲・高頻度で得られ**、海洋の放射性物質の**広がりの実態の把握**が容易に可能となることが期待できる。



研究の概要1 背景

緊急時の ^{89}Sr ^{90}Sr 、および 平常時の ^{90}Sr は、環境モニタリングにおける重要な核種である。

「平常時モニタリングについて(原子力災害対策指針補足参考資料)」p.41 表A-1

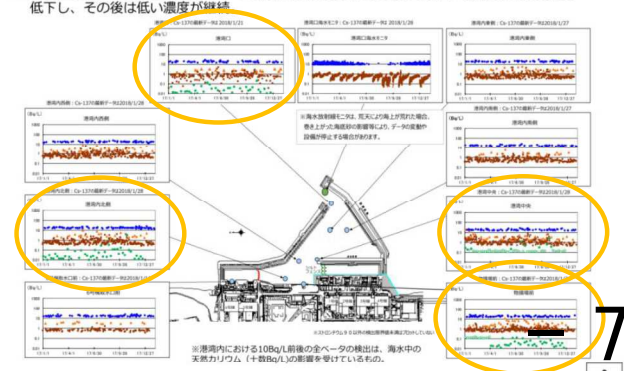
目的	調査項目	対象核種
周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価	大気中の放射性物質の濃度	Co-60、I-131、Cs-134、Cs-137
	環境試料中の放射性物質の濃度	Co-60、 <u>Sr-90</u> 、I-131、Cs-134、Cs-137
環境における放射性物質の蓄積状況の把握	環境試料中の放射性物質の濃度	Cs-137
緊急事態が発生した場合への平常時からの備え	環境試料中の放射性物質の濃度	H-3、Co-60、 <u>Sr-90</u> 、Cs-137、Pu-238、Pu-239+240

原子力規制庁監視情報課(平成30年4月4日、令和3年12月21日改訂)

しかし、放射性Srは純ベータ線放出核種のため、発煙硝酸など劇物を使う複雑で長時間の前処理が必須で、測定に時間がかかる。

【港湾内】 海水サンプリング結果

■海側遮水壁閉合後、港湾内の1~4号機取水口開渠の外側では、海水中の放射性物質濃度が低下し、その後は低い濃度が継続



東京電力による ^{90}Sr の2018年2月公開データでは、港内の測定点9地点のうち ^{90}Sr の測定値は4地点のみで、測定は3日に1回程度である。
※ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の測定は毎日

β 核種測定も γ 核種測定と同程度の測定点・測定頻度となるのが理想的である。

放射性Srの安全、迅速、安価な前処理法の開発が必要とされている。

74 福島第一港湾内・周辺海域の海水モニタリング状況
東京電力ホールディングス 2018年2月14日

研究の概要2 海水のストロンチウム分析法 5

	文科省 放射能測定法シリーズ23	文科省 放射能測定法シリーズ2
	「液体シンチレーションカウンタによる放射性核種分析法」	「放射性ストロンチウム分析法」
Sr分離方法	①イオン交換法 ②シュウ酸塩法	①イオン交換法 ②シュウ酸塩法 ③発煙硝酸法
測定機器	液体シンチレーションカウンタ	低BG-ガスフロー
試料量	2 L	40 L
分析時間 測定時間	①イオン交換法 約25時間 ②シュウ酸塩法 約30時間 分離直後および2週間後に 100分測定	分離操作1週間+2週間放置後 60分測定
検出下限	40 mBq・L ⁻¹	0.6 mBq・L ⁻¹

海水からSrを分離するのが困難で、時間や手間・費用がかかるのが問題である。

研究の概要3 目的・方法 6

目的: 環境水中のストロンチウムの安全・迅速・安価な分析方法の開発と海水・陸水への適用

方法: Sr吸着剤「ピュアセラム[®]MAq」を利用して海水からSrを選択的に回収し、放射性Srを測定する。

(1) 迅速測定 【緊急時モニタリング】

海水からSrを吸着させた吸着剤をそのまま測定

(2) 精密測定 【平常時モニタリング】【環境研究測定】

⁹⁰Yの成長を待ち、Sr吸着剤から分離して測定

(3) 天然海水試料への適用

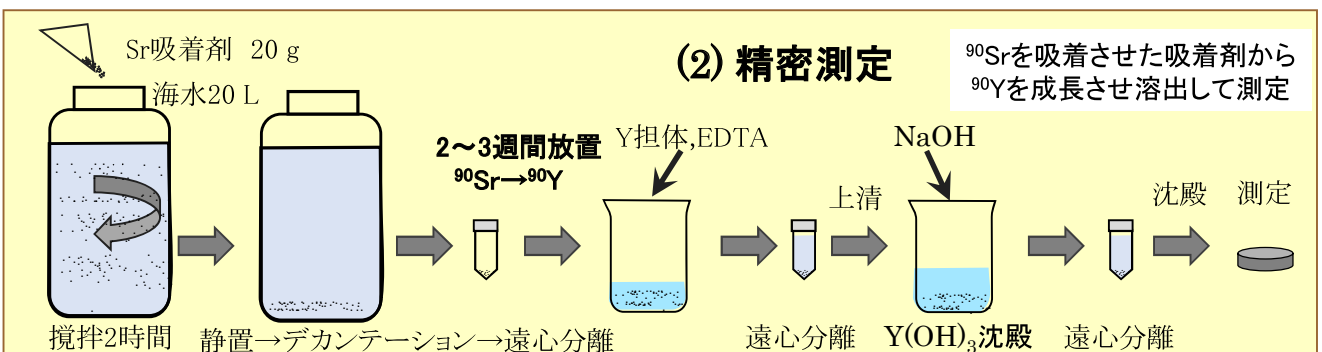
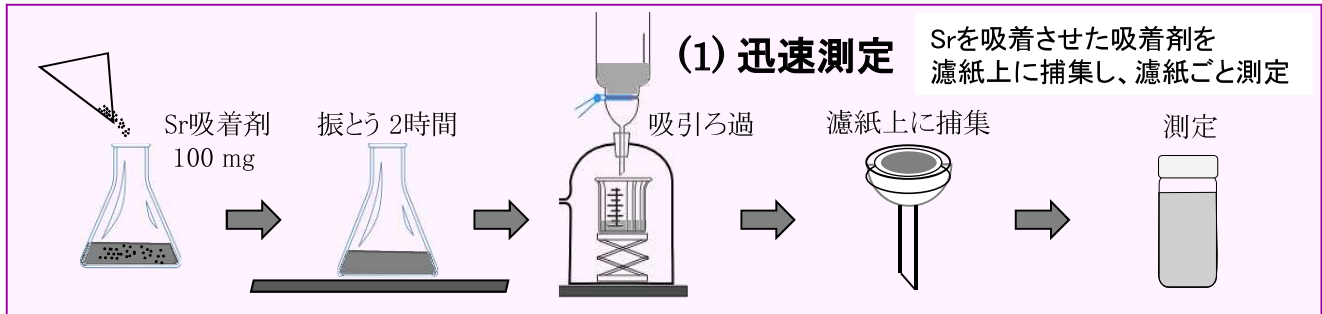
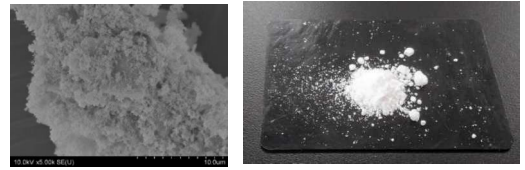
目標検出下限値 迅速測定: ⁹⁰Sr濃度 0.4Bq・L⁻¹

精密測定: ⁹⁰Sr濃度 0.2mBq・L⁻¹

研究の概要4 本研究の特色

7

Sr吸着剤:ピュアセラム®MAq (日本化学工業)
 主成分:ケイ酸バリウム($BaSi_2O_5$)
 Srを選択的に吸着・捕集する/海水に適用可能である



研究の概要5 期待される成果

8

緊急時モニタリング

平常時モニタリング・環境研究試料

	TEPCO	Uesugi et al. (2018)	本研究 迅速測定	文科省 ストロンチウム分析法	田副ら (2017)	本研究 精密測定
分析法	Sr レジン	Sr RadDisk	Sr吸着剤	①イオン交換法 ②シュウ酸塩法 ③発煙硝酸法	DGA レジン	Sr吸着剤
測定機器	ピコベータ	液体シンチレーションカウンタ	液体シンチレーションカウンタ/低BG-ガスフロー	低BG-ガスフロー	低BG-ガスフロー	低BG-ガスフロー
試料量	1 L	0.1 - 1 L	0.1 L	40 L	0.5 - 3 L	20 L
分析時間 測定時間	7日間程度	4h	3h すぐに測定	操作1週間+ 2週間後測定	20hすぐに測定or 2週間後測定	3h+2週間後 測定
劇物	劇物不使用	硝酸	劇物不使用	発煙硝酸 (③の場合)	硝酸	劇物不使用
費用	高	44,000円 /試料	数千円 /試料	中	高	低
検出下限	0.3 Bq・L ⁻¹	0.035 Bq・L ⁻¹	0.4 Bq・L ⁻¹	0.6 mBq・L ⁻¹	0.15 mBq・kg ⁻¹	0.2 mBq・L ⁻¹

76

実施項目		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	状況	
基礎 実験	迅速・精密	天然放射能(²¹⁰ Pb)の影響評価								一部実施
	迅速・精密	¹⁴⁰ Baの影響評価								実施済
	迅速・精密	⁹⁰ Sr吸着率の確認								実施済
	精密	⁹⁰ Yミルキング法の確立 →								実施済
	迅速・精密	⁹⁰ Sr測定の整備								実施済
	精密	大容量試料へ適用 →								一部実施
環境水 への応 用	迅速	天然海水に應用 (迅速測定) →								実施済
	精密	天然海水に應用 (精密測定)								未実施
まとめ							結果のとりまとめ		実施済	

迅速測定法を確立し、海水に応用した。

精密測定法については克服すべき課題が生じ開発が遅れたが、実用化への目途がついた。

進捗2 実施済の課題

(1) Sr吸着率の確認

⁹⁰Srトレーサによる実験(2021年9月、12月実施)

⁸⁵Srトレーサによる実験(2021年10、11、12月実施)

☞ 予備実験と同等の98%以上にはならず、1回操作で90%以上

☞ ピュアセラムMAqの劣化と推定 ☞ 2回の攪拌(2時間と30分)で98%以上

(2) Sr吸着剤の⁹⁰Sr測定における¹⁴⁰Baの影響評価(2021年9月実施)

☞ BaはSr吸着剤にほぼ定量的に吸着する。

混入が疑われる場合は寄与を見積もり差し引くことで補正できる。

(3) Y吸着率の確認

☞ 吸着率は10%以下であり、⁹⁰Sr分析の妨害とならない。

⁹⁰Yトレーサによる実験(2021年11月実施)

(4) ピュアセラムMAqにおけるSr吸着率の安定性の評価

☞ 吸着率の低下は大気中のCO₂によるものと推定

☞ 保存状態による劣化の影響の7/7確認、劣化の予防法を検討

(5) ⁹⁰Srの測定 of 整備

低BGガスフローカウンタの導入と、⁹⁰Y計数効率の測定

(6) 迅速測定法の確立 (2022年1月実施)

海水 100 mL、吸着剤 150 mg、2時間攪拌

☞人工海水 + ⁹⁰Srトレーサで確認 → Sr回収率 平均 93%

(7) 迅速測定法の天然海水試料への応用 (2022年1月実施)

☞⁹⁰Srトレーサで確認 (2022年1月実施) → Sr回収率: 1回 2.4%, 2回合計97.6%

適用条件: 塩酸酸性pH=2、Y担体の添加、SO₄²⁻イオン存在下

(8) 精密測定法の確立

⁹⁰Sr吸着～⁹⁰Y溶出(ミルクィング)方法

☞当初の考え通りにYを酸溶出するのは困難→EDTAによる脱離

☞⁸⁵Sr, ⁹⁰Yトレーサで確認 (2021年12月, 2022年1月実施)

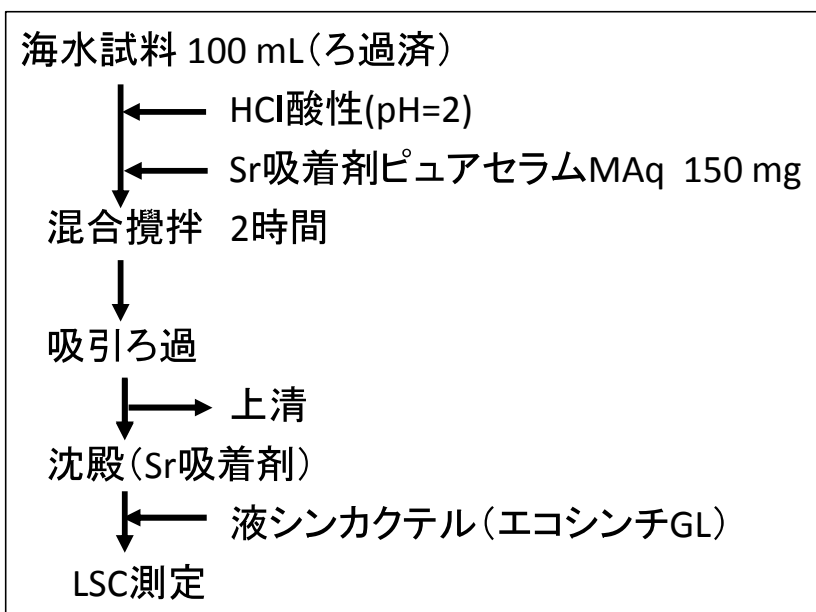
(9) 精密測定法の大容量試料への適用 (2022年2月実施)

☞1 L海水試料に適用. ⁸⁵Srトレーサで確認. P-MAqへのSr吸着率95%

[EDTA分解 + NaOH過剰添加]によりYをミルクィングし回収←改善の余地あり

(10) 精密測定法の天然海水試料への応用 (本研究期間外)

実験操作



実験操作に要する時間
3時間

天然海水 (小笠原, 表層水)
+ ⁹⁰Srトレーサ
で検証した結果:
Sr回収率 平均 93%

Sr吸着剤ピュアセラムMAq
を用いた海水中の放射性
Srの迅速測定法を確立した

検出下限濃度 (MDC: the minimum detectable concentration)

算出条件: 試料容量100mL, Sr回収率90%, 計数効率97%, バックグラウンド 42cpm, 計測時間60min

⇒ MDC = 0.00046 Bq・mL⁻¹ = 0.46 Bq・L⁻¹

学会発表(口頭)

小島貞男(愛知医大)、緒方良至(愛知医大・大阪産業大)、加藤結花(日立製作所)、高宮幸一(京大複合研)、箕輪はるか(慈恵医大)

「ケイ酸バリウム(BaSi₂O₅)を主成分とする Sr 吸着剤への Ba の吸脱着特性」

日本放射化学会第 65 回討論会 Web 開催(2021/9/22-24)講演番号2K07

緒方良至(愛知医大・大阪産業大)、小島貞男(愛知医大)、箕輪はるか(慈恵医大)、加藤結花(日立製作所)

「ケイ酸バリウムを主成分とする Sr 吸着剤を用いた ⁹⁰Sr の測定 -子核種 ⁹⁰Y のチェレンコフ測定-」

日本放射化学会第 65 回討論会 Web 開催(2021/9/22-24)講演番号2K08

(1) 迅速測定法の確立と海水試料への応用 →成果発表準備中

・迅速測定法の実験操作

- ☞ 海水試料 100 mL と Sr 吸着剤 150 mg を混合攪拌 2 時間, Sr 回収率 90% 以上
適用条件: 塩酸酸性 pH=2、Y 担体の添加、SO₄²⁻ イオン存在下

・迅速測定法における ⁹⁰Sr の検出下限値

- ☞ 海水試料量 100 mL で MDC=0.46 Bq・L⁻¹
目標値 0.4 Bq・L⁻¹ ほぼ達成。排水濃度基準 30 Bq・L⁻¹ の 1/65

(2) 精密測定法の実用化への目途

ピュアセラムMAq吸着⁹⁰Srからの⁹⁰Yミルキング法の確立

- ☞ Sr 吸着剤に Y キャリアを加え 0.05M-EDTA で Sr, Y 脱離 → NaOH で Y(OH)₃ 沈殿を生成、回収し測定
※最終的に ⁹⁰Y を測定するため、Pb, Ra など天然 RI の影響が少ない
- ☞ 海水試料量 100 mL, Sr 吸着剤 120 mg で ⁹⁰Y 回収率 98% を確認
大容量試料へ適用できる目途がついた。

項目	計画	成果	評価
Sr 吸着剤ピュアセラムMAqの Sr 吸着能評価	試料 100 mL に対し、100 mg、2 時間攪拌で Sr 吸着率 98%	試料 100 mL に対し 150 mg × 2 時間攪拌で Sr 吸着率 90%、さらに 50 mg × 2 時間攪拌で吸着率 98%	代替手段によって目標を達成した
放射性妨害核種の評価	Pb, Ba, Ra の吸着率を測定し評価する	吸着率 Pb 86% Ba 99.93%, Ra 99.85%	目標を達成した
迅速測定法の確立	操作時間 3 時間 Sr 回収率 98%	操作時間 3 時間 Sr 回収率 90% 以上	目標をほぼ達成した
迅速測定法の海水試料への応用	Sr 検出下限 目標値 0.4 Bq・L ⁻¹	Sr 検出下限値 0.46 Bq・L ⁻¹	目標をほぼ達成した
精密測定法の確立	酸による Y のミルキング	EDTA による Sr と Y の脱離、Y 回収率 98%	代替手段によって目標を達成した
精密測定の大容量試料への適用	試料量 1 L - 20 L	試料量 1L まで実施済	目標をほぼ達成した
精密測定法の天然海水試料への応用	Sr 検出下限 目標値 0.2 mBq・L ⁻¹	実施は研究期間終了後	目標を達成しなかった

評価の視点	自己評価	コメント
評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか	4. 計画を達成できないが代替手段によって今年度の目標を達成した	迅速測定法を確立し、海水に応用した。精密測定法については克服すべき課題が生じ開発が遅れたが、実用化への目途がついた。

研究評価委員会による評価結果への対応 15

(1) 不純物(妨害核種等)の吸着率データ

元素	測定核種	液相 %	溶液量 mL	固相 %	P-MAq g	分配係数 K_d mL·g ⁻¹
Na	-	99%	100	1%	0.100	1.0 × 10
Mg	-	99%	100	1%	0.100	1.0 × 10
K	-	99%	100	1%	0.100	1.0 × 10
Ca	-	99%	100	1%	0.100	1.0 × 10
Sr	⁸⁵ Sr	1.6%	100	98.4%	0.100	6.2 × 10 ⁴
Cs	¹³⁴ Cs	99.9998%	100	0.0002%	0.100	2.0 × 10 ⁻³
Ba	¹³³ Ba	0.07%	80	99.93%	0.082	1.4 × 10 ⁶
Pb	²¹² Pb	14%	100	86%	0.040	1.5 × 10 ⁴
Ra	²²⁸ Ra	0.15%	100	99.85%	0.040	1.7 × 10 ⁶
Ac	²²⁸ Ac	0.15%	100	99.85%	0.040	1.7 × 10 ⁶

研究評価委員会による評価結果への対応 16

(2) 海水を用いた迅速測定の実証試験(2022年1月実施)

試料: 海水(小笠原・表面海水, HCl添加) + ⁹⁰Srトレーサー

実験操作: 試料100 mLにP-MAqを154.2 mg添加し、2時間攪拌後、

ガラス繊維フィルタにて吸引濾過し、分取したろ液およびフィルタに乳化シンチレータを加え液体シンチレーションカウンタにて測定した。(1回目)

残りのろ液にP-MAq 50.0 mgを加え、30分攪拌した後、同様に測定した。(2回目)

結果:

海水による迅速測定 of ⁹⁰ Sr測定結果 (3週間後の測定値により補正済)						
Sample	No.	全体の放射能 Bq	Sr回収率 %	1回目計算値 %	2回目計算値 %	合計 %
⁹⁰ Srスパイク後	J2A-7a	6159 ± 32	100	100	-	-
1回目 ろ液	J2A-7b	466.0 ± 9.2	7.6	7.6	100	-
1回目フィルタ	J2A-7c	8706 ± 5	141	92.4	-	-
2回目 ろ液	J2A-7d	149.1 ± 5.6	2.4	-	31.6	97.6
2回目フィルタ	J2A-7e	411.1 ± 1.2	6.7	-	68.4	-

考察: 1回目ろ液の⁹⁰Sr回収率が7.6%だったことから、2時間の攪拌で92.4%の⁹⁰SrがP-MAqに吸着されたと考えられる。2回の攪拌で合計97.6%が回収できた計算となる。1回目フィルタの⁹⁰Sr回収率が100%を超えたのは、粉末が沈殿したためと考えられる。本方法を適用する際には、バイアル内に均一に分散させるためゲル状の乳化シンチレータを使うなどの工夫が必要である。

研究評価委員会による評価結果への対応 17

(3) 吸着剤の実用上の課題

・吸着率の低下

旧ロット 98.5%→79.7%

新ロット 平均93.5%

☞吸着率低下の原因:

空気中CO₂の吸着による

炭酸バリウムの生成

実験 No.	実験 年月	試料容量 mL	P-MAq g	Sr吸着率 %	ロット
MTK-1	2019/1	100 mL	0.1 g	98.5±14.3	旧ロット (予備実験)
J1K-3	2021/10	100 mL	0.15 g	79.7±7.6	
J2B-2	2022/2	1,000 mL	1.5 g	94.7±2.3	新ロット
J2A-1	2022/1	80 mL	0.12 g	93.6±2.2	
A2B-41	2022/2	80 mL	0.12 g	93.0±1.7	
A2A-1	2022/1	89 mL	0.12 g	92.8±2.8	
平均				93.5±2.3	新ロット平均

課題の解決策とその実現性について

試薬提供方法: 包装フィルムをガスを透過しにくい素材とする。
販売時に使用量ごとの個包装とする。

保管の方法: デシケータ内で二酸化炭素吸着剤とともに保管を推奨。

研究評価委員会による評価結果への対応 18

(4) Sr吸着の条件

・SO₄²⁻イオンが必要: 海水中平均SO₄²⁻濃度 0.28 M. 淡水の場合は添加する。

・海水試料を弱酸性とする(海水 1 Lあたり濃塩酸 1 mLを添加する。)

・安定Sr量から考慮したP-MAqの適量:

海水中平均Sr濃度 7mg kg⁻¹として、海水 1 Lあたり P-MAq 1.5 mg

(5) 課題と今後の展望

- ・迅速測定における回収率の再現性・測定システムの構築
- ・精密測定におけるYミルキングにおける最適条件の検討
- ・精密測定におけるY測定の測定機器別の最適条件の検討
- ・迅速測定法と精密測定法の間となる基本(Basic)測定法の提案

放射線規制及び放射線防護分野への活用 19

	目的	試料量	所要時間	検出下限値
迅速測定法	事故時・緊急時	100 mL	4時間	400 mBq L ⁻¹
基本測定法	日常モニタリング	1 L	2-3日	1 - 10 mBq L ⁻¹
精密測定法	研究・長期影響	> 10 L	2 - 3週間	0.2 mBq L ⁻¹

(1) 迅速測定法 Emergency

- ・試料採取後、3時間の分析操作+1時間の測定後に結果を得ることができる。
- ・劇薬を用いることなく、簡便な操作で分析が可能である。
- ・1試料あたり数千円の費用で分析が可能である。

☞ 本法の適用により、測定頻度・測定箇所を増加し、安心できる情報をすみやかに公開することができる。

(2) 基本測定法 Basic

- ・試料採取後、煩雑な操作を伴わず、2-3日の分析時間で結果を得ることができる。

☞ 平常時の環境モニタリングに適用すれば、信頼できる値が広範囲・高頻度で得られる。一般公衆の被ばくリスクを低く抑え、健康・安全に貢献すると思われる。

(3) 精密測定法 Low level

- ・特別の装置や設備を必要とせずに分析が可能である。
- ・検出下限値 0.2 mBq L⁻¹ 程度まで測定可能である。

☞ 低濃度の環境試料に適用すれば、海洋の放射性物質の広がりの実態の把握が可能となり、長期的な影響の把握や環境研究に役立つと考えられる。

環境放射線モニタリングに適した 半導体受光素子ベースの検出器の開発

課題名 環境放射線モニタリングに適した半導体受光素子ベースの検出器の開発

研究期間：2021年度（1年間）

背景・目的

KURAMA-IIで実績のある受光素子にMPPCを使用したシンチレーション検出器をベースに、環境放射線モニタリングに適したMPPC受光素子ベースのシンチレーション放射線検出器の開発や実装の研究を行う。

実施状況

KURAMA-IIで実績のある受光素子にMPPCを使用したCsI(Tl)検出器をベースに、平時や緊急時に想定される環境放射線モニタリングに適した測定範囲と特性を持った全固体シンチレーション検出器の設計、試作、評価を行った。新型コロナによる出張等の自粛や物流混乱等の影響で試作や試験評価に大きな影響が出たが、主要部分は実施・あるいは期間内の終了の見込みが立っている。利用者のニーズを踏まえ、NaI(Tl) 2 inch相当の低線量率用検出器と10 mSv/h程度までをカバーする高線量率用検出器を過去の試験評価やシミュレーションで設計し、試作品をJAEA核サ研の校正施設で試験評価した。また、試作品は既設モニタリングポストに隣接する場所に設置し、長期耐久試験及び測定値の比較検証に着手している。

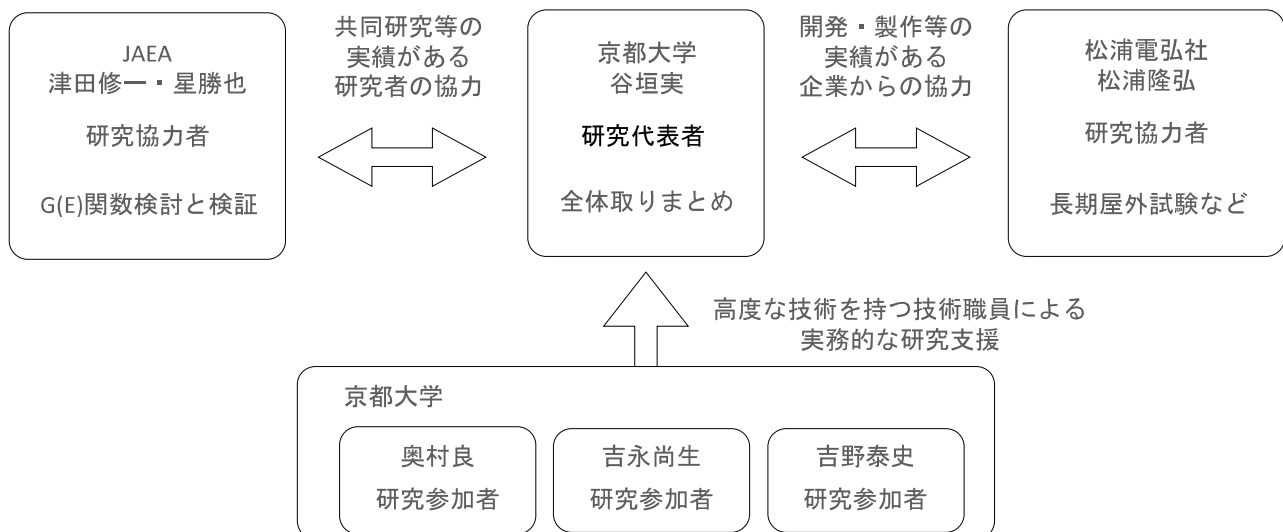
また、今回の研究成果である10 mSv/h程度まで計測可能な高線量率用検出器については商品化を実現した（浜松ホトニクス社C12137-06HA）。

実施項目	担当者 (所属機関)	第一四半期	第二四半期	第三四半期	第四四半期
検出器の試作	谷垣実 (京都大学) 津田修一 (JAEA)	基本設計 ←→ シミュレーション			
		詳細設計・追加シミュレーション	低線量率用試作器製作		
性能評価	谷垣実・奥村良 (京都大学) 津田修一・星勝彦 (JAEA)	高線量率用試作機 照射試験		低線量率用試作機 照射試験	
運用試験	谷垣実 (京都大学) 松浦隆弘 (松浦電弘社)			既設モニタリングポストとの 比較試験	
成果発表など	谷垣実 (京都大学)		原子力学会	EPR2021	

期待される成果

原発立地及び周辺自治体が展開するNaI(Tl)検出器、電離箱、半導体検出器を用いた固定・可搬モニタリングポストの測定能力の維持や向上と運用の負担軽減を実現し、測定結果の信頼性や評価の一貫性を高める。

研究体制



研究の背景

既存のモニタリングポスト用検出器

参考図：茨城県Webページより引用



NaI(Tl)検出器

- エネルギー情報が得られる
- 低線量率でも安定した計測が可能
- 高線量率での数え落とし
- 潮解性が大きい
- 外気温や湿度に影響される
- 高電圧の精密制御が必要（±1%未満）

参考図：茨城県Webページより引用



電離箱検出器

- エネルギー特性・方向特性が良い
- 線量率直線性が良い
- エネルギー情報が得られない
- 平常時レベルの測定が困難
- 外気温や気圧、湿度に影響される

鳥根県の例：放射能測定法シリーズ No.17より



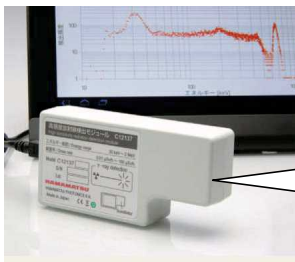
半導体検出器

- 高線量率計測が可能
- 安価
- エネルギー情報が得られない
- 環境の外気温の変化に対する安定性
- 平常時レベルの測定は難しい

研究の背景

MPPCを受光素子とした全固体検出器の実用化

CsI(Tl)+MPPC検出器（浜ホトC12137シリーズ）



ヘッダ（CsIシンチ+MPPC）部分
（従来のシンチ+PMTに相当）

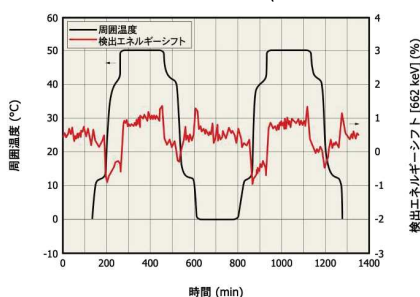


30 mm

- 検出器+受光素子の大幅な小型化
検出器+受光素子のモールドで
適切な温度補償・湿度管理の実現
- MPPCで低バイアス電圧（～50 V）動作
電圧制御が容易
耐圧処理が不要になり小型化・軽量化に貢献
低消費電力（USBバスパワー動作）
- CsI(Tl)の発光波長とMPPCの受光効率が適合

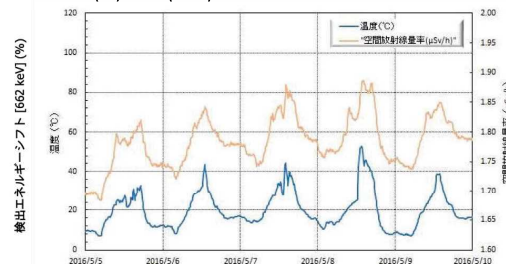
検出器を温度管理なしで使用した場合の温度依存性の例

浜ホトC12137シリーズ(注1)



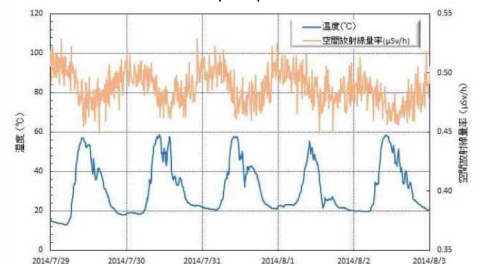
0~50°Cでゲインシフト±1%
（線量率で±2%相当）
温度そのものへの依存は小さい

NaI(Tl)の例(注2)



10~50°Cで線量率±5%
外気温の日時変動に対応した線量率変化

シリコン半導体の例(注2)

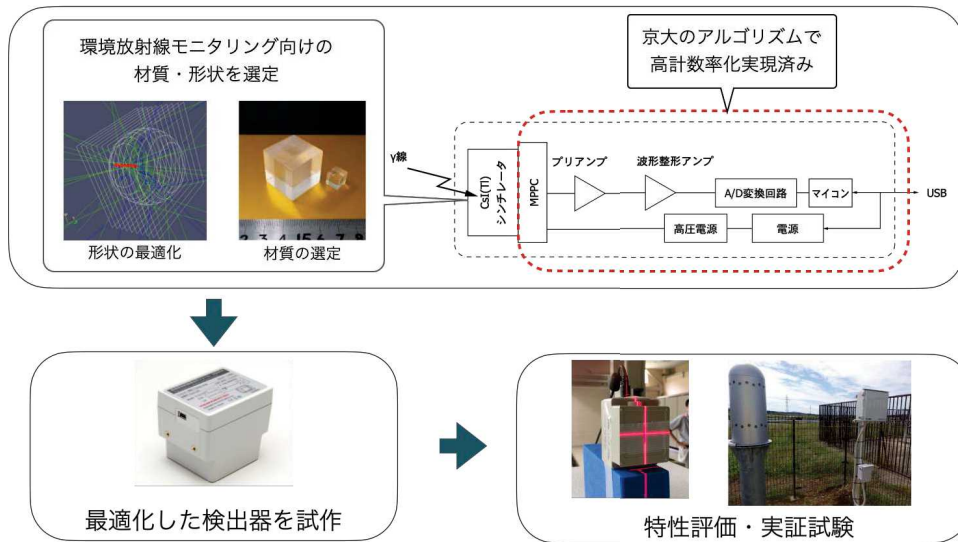


20~50°Cで線量率±5%
外気温の日時変動に対応した線量率変化

(注1) 浜ホトトニクスカタログより (注2) 放射能測定法シリーズ No. 17 可搬型モニタリングポストのデータより

研究の概要

目標：モニタリングポストの測定能力維持＋維持管理コスト削減

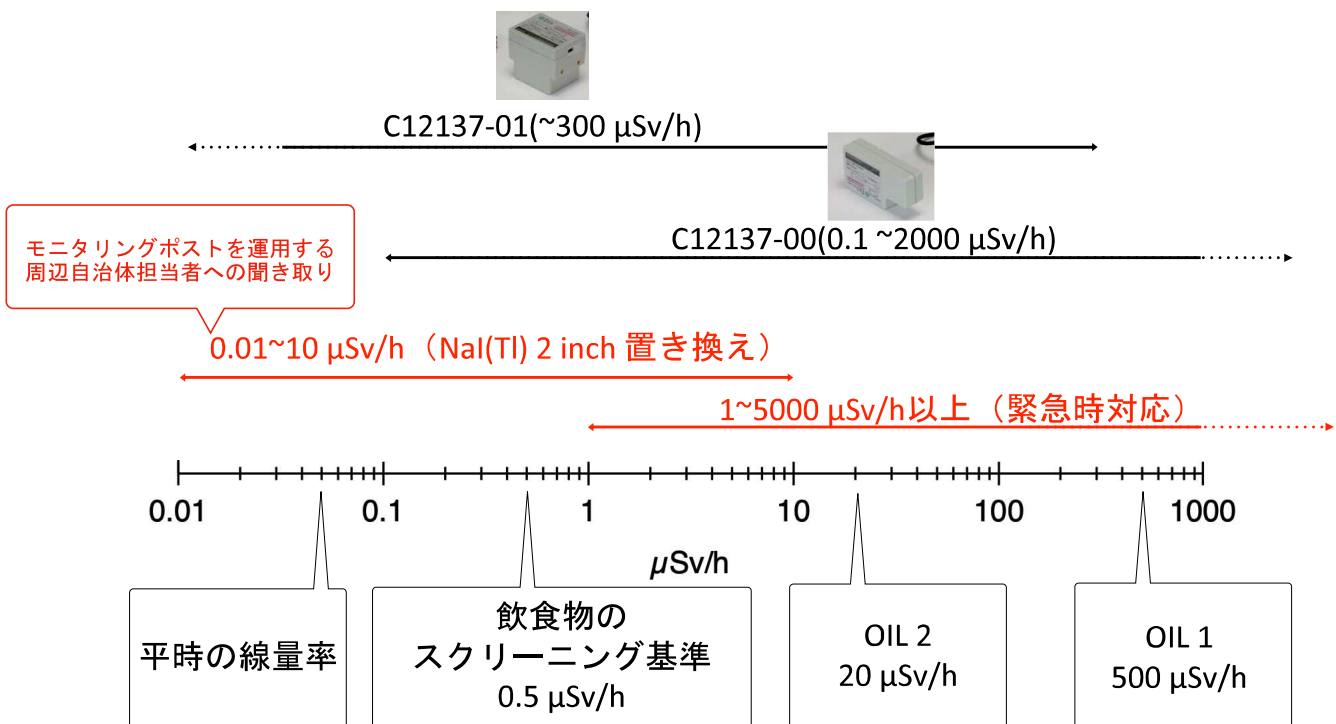


具体的には

- モニタリング目的に合致した線量率範囲
- 特性及び価格面で合理的なシンチレータの検討（材質や形状）
- 耐環境性向上による維持管理コスト削減（温度、湿度、機械強度など）
- 既存モニタリングポストとの運用の連続性

目標とする設定範囲

ユーザの声を聴きながら用途に応じた範囲を設定



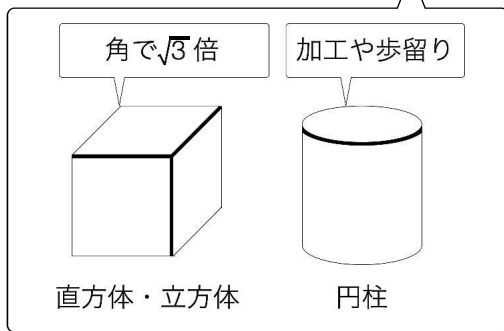
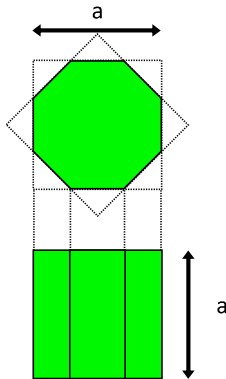
シンチレータの検討

形状：低線量率は八角柱・高線量率は立方体

低線量率

立方体の異方性は角の実効厚で発生。

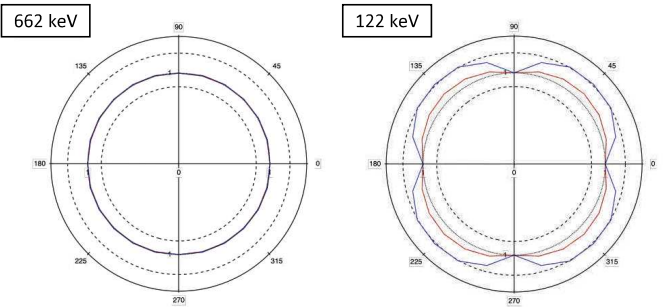
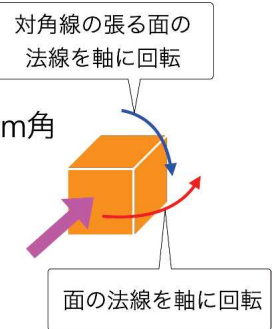
加工しやすさや歩留まりを考慮して八角柱を採用



高線量率

γ 線の平均自由行程が結晶寸法以上になる。e.g. CsIで2.6 cm@662 keV

立方体のままでJISを満たす特性が得られる

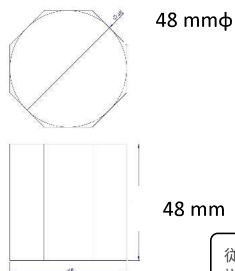


図中の点線はJIS Z4325 (モニタリングポスト) $\pm 20\%$ (^{137}Cs , $0^\circ \sim \pm 120^\circ$)
JIS Z4333 1型 (サーベイメータ) は $-29 \sim +67\%$ ($80 \text{ keV} \sim 1.5 \text{ MeV}$, $0^\circ, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ$)

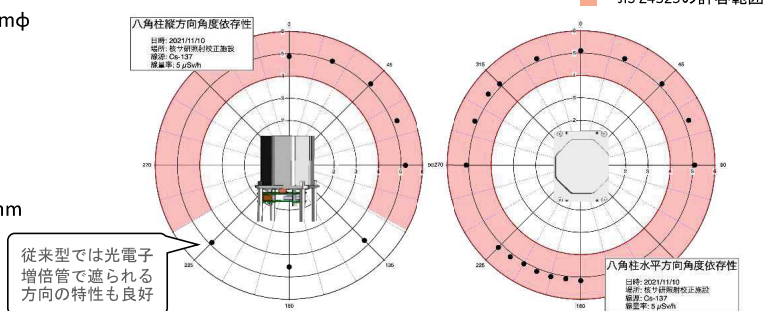
試作品評価: 低線量率用(八角柱)

良好な特性+設計通りのダイナミックレンジ

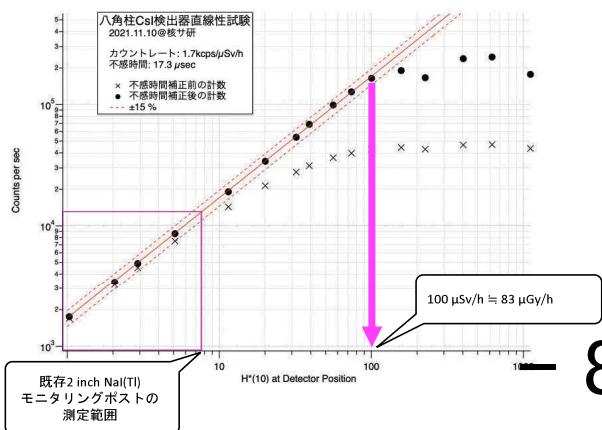
試作品形状



方向特性試験@JAEA核サ研

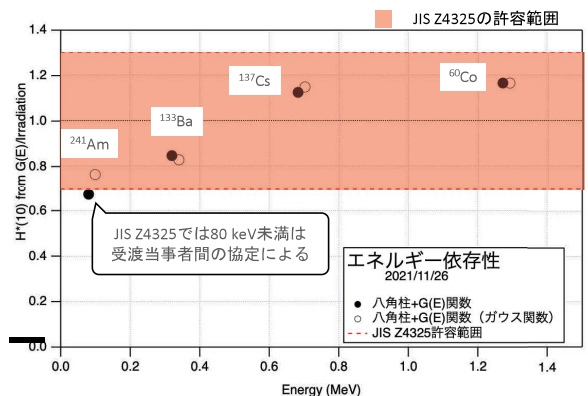


直線性試験@JAEA核サ研



エネルギー特性@JAEA核サ研

※現時点でのG(E)関数による。改善に向けた作業を継続中



試作品評価: 高線量率用(立方体)

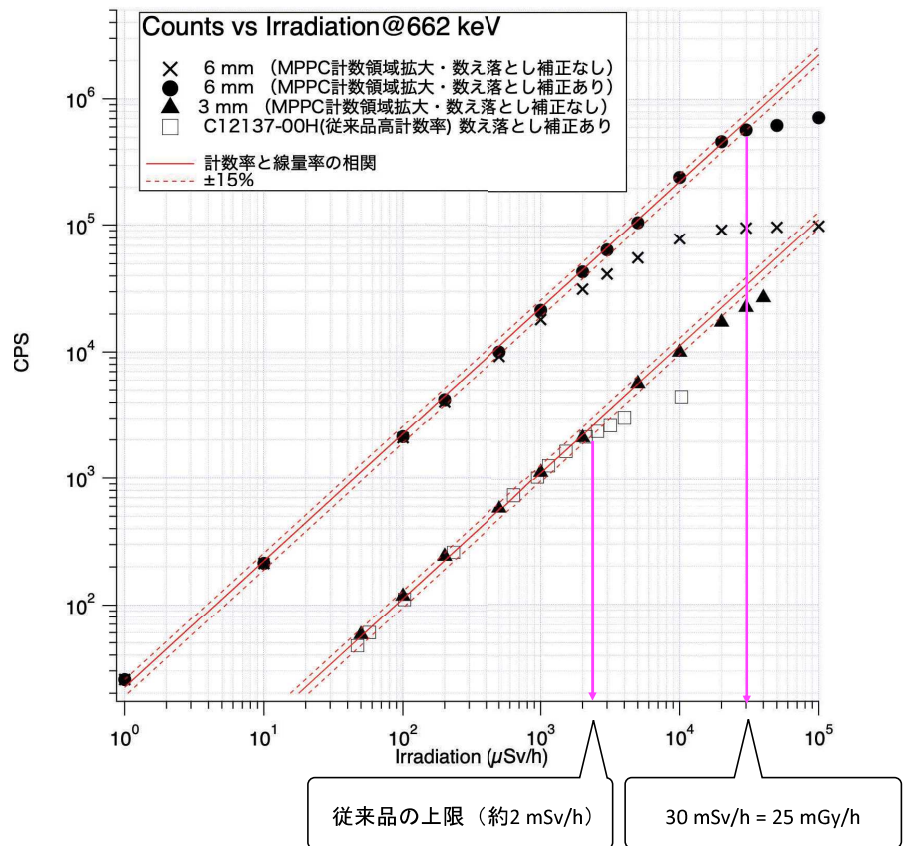
CsI(Tl)の直線性評価



結晶の大きさを変える

- CsI(Tl) 6 mm角立方体
- CsI(Tl) 3 mm角立方体

- 従来品（白抜き四角）に比べて大幅に改善
- 3 mm角はFRSの照射上限 40 mSv/hまでしか取れなかった



今年度の成果

高線量率用検出器の商品化

浜松ホトニクスC12137-06HA（6 mm角 CsI(Tl)搭載）

※ 低線量率用八角柱検出器も商品化作業中

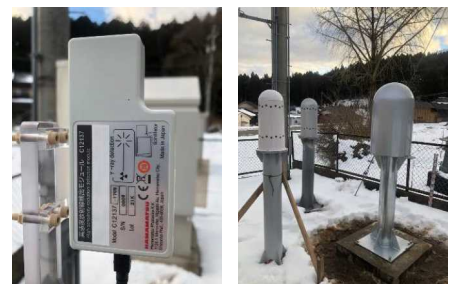
学会等での発表

日本原子力学会2021年秋の大会 (2021年9月8-10日)

谷垣 実: 福島における放射性物質分布調査 (2) KURAMA-IIの手法に基づく分布測定技術開発の現状

International Conference on the Development of Preparedness for National and International Emergency Response (EPR2021) (2021年10月11-15日)

M. Tanigaki: A Carborne Gamma-ray Survey System, KURAMA-II



左: 商品化され石川県に導入されるC12137-06HA (銘板は間に合わず試作品のものを流用)

右: C12137-06HAは樹脂容器に収められて設置される (写真内の一番右側)

一般向け広報

- 「鈴木光司のパートーク」出演 (2021年9月19日より公開)
- Maker Faire Tokyo出展 (2021年10月2-3日)

高線量率用検出器(C12137-06HA)

石川県赤住局で設置後約半年[※]無故障稼働を達成中

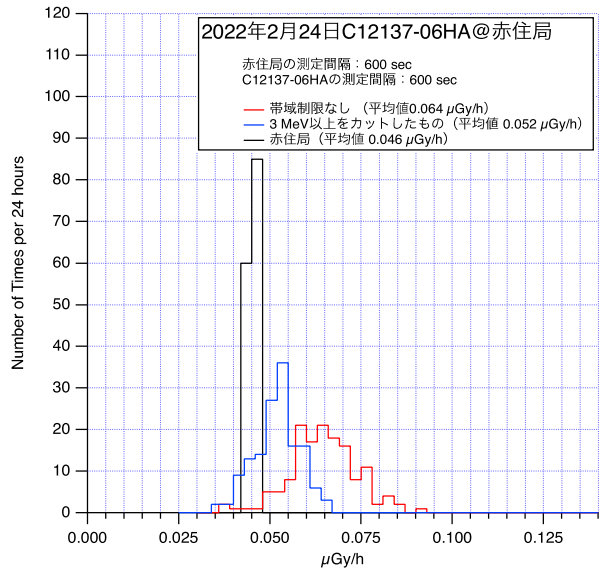
※2022年5月20日現在

設置の様子



石川県導入の高線量率用検出器で試験
既存モニタリングポストに隣接して設置

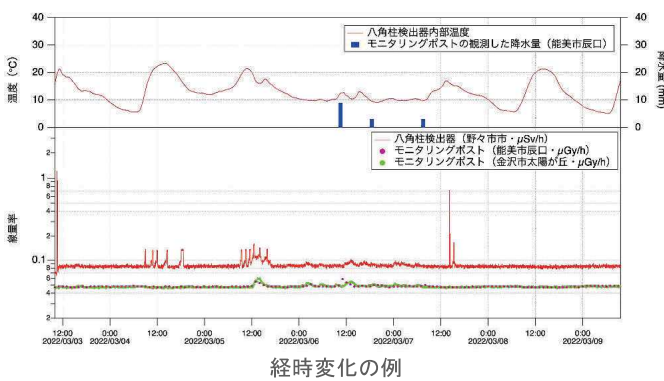
既存モニタリングポストの公表値との比較



mSv/h以上の計測に対応する高線量率測定用であり今回見られた差は実用上問題ない。3 MeV以上の計数の線量率への寄与が大きい。宇宙線とみられるが今後の運用の中で検証を進める予定。

低線量率用検出器

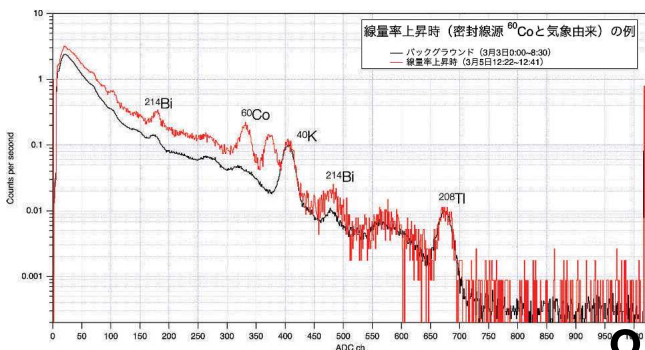
屋外試験中 (松浦電弘社敷地内)



経時変化の例



近隣モニタリングポストとの位置関係



気象および密封線源由来の線量率上昇時の波高スペクトル

近隣のNaI(Tl)モニタリングポストと矛盾ない挙動が確認されている。

温度・湿度管理なしでも安定に稼働。

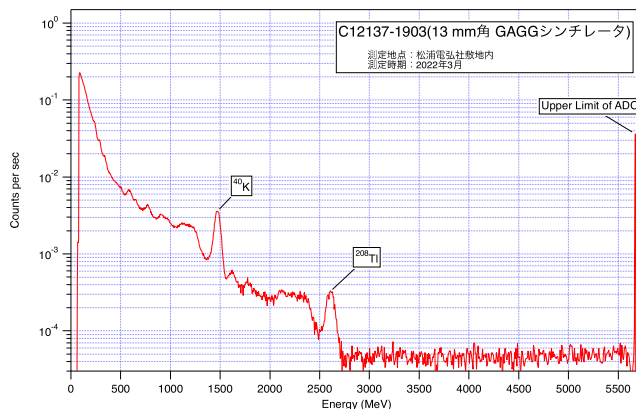
降雨由来の線量率上昇や近隣で使用されたチェックソースも検知している。

GAGG検出器 (C12137-1903)

13 mm角GAGG検出器を屋外試験中



GAGG検出器の屋外設置の様子



GAGG検出器で取得した環境放射線の波高スペクトル

屋外試験用・屋内試験用2個作製した。
うち屋外試験用はエネルギー校正ののちバックグラウンドレベルでの環境放射線測定中。

屋外で温度・湿度管理なしでも安定に稼働している。

予約が取れ次第校正施設での各種性能評価を開始する予定。

自己評価

項目	当初計画	現状	評価	
検出器の試作	安定した運用実績のあるCsI(Tl)+MPPCたいぷで、各種判断基準をカバーする環境放射線モニタリングに適した特性をもつ検出器の設計・製作	PHITSによるシミュレーション等をもとに、製造時の歩留まりと方向特性を両立させた2 inch NaI(Tl)置き換え八角柱型検出器と緊急時モニタリングに対応可能な10 mGy/h以上測定可能な検出器を試作し、これらに適用するG(E)関数も決定した。またGAGG結晶の新規調達の見処がついたため、事業期間内に実用的なサイズである13 mm角GAGGの検出器を試作できた。	新型コロナの影響で遅れが発生したものの、事業内で目標通りの試作を行うことができた	○
性能評価	校正場をもちいた検出器の特性評価 G(E)関数の妥当性を確認	試作した検出器について校正場による評価を行い、JIS規格に適合する良好な結果を得た。G(E)関数の改善による一層の特性改善ができた。13mm角GAGG検出器についても特性評価に着手した。	目標通りの結果を得た	○
運用試験	既設のモニタリングポスト横に設置して長期運用を行い、実測値の相互比較や耐久性の評価を行う	新型コロナの影響の試作遅れで着手が遅れる。高線量率対応型は2021年秋頃より屋外耐久性試験を実施。2022年1月より八角柱型と高線量率対応型を石川県内のモニタリングポスト横で3ヶ月程度長期運用を実施した。なお事業後も13mm角GAGG検出器を加えて運用継続中。	試作の遅れによる遅れが発生したが、年度内に当初予定の成果をまとめた。	○
成果公表 社会実装	研究成果の学会等での発表 一般への研究開発状況の紹介	国内外での学会発表 (原子力学会・EPR2021) 一般への情報公開 (Maker Faire, Twitter等) 高線量率対応検出器の商品化 (浜ホトC12137-06HA) 低線量率対応検出器の商品化 (浜ホトC12137-07HA)	研究成果を商品化まで結びつけることができた	◎

評価委員会から頂いたコメントについて

評価委員会からのコメント：

Nal 等の既存の検出器との比較データを示すとともに、可能な範囲で長期間に亘る環境耐性についても検討されたい。

高線量率用は隣接して設置した赤住局モニタリングポストとの、低線量率用は近隣二ヶ所のモニタリングポストとの比較を実施した。いずれも問題ない結果を得ている。また、高線量率用検出器は約半年にわたる屋外での連続運用を実施し、故障等の問題が発生していないことを確認した。

研究成果の放射線規制及び放射線防護分野への活用

高線量率用検出器及び低線量率用検出器はそれぞれ浜松ホトニクスより C12137-06HA、C12137-88HAとして商品化された。C 12137-06HAは実際に石川県に導入され運用が始まっている。