

平成31年度 放射線安全規制戦略的推進事業費 —事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の 開発に関する研究—

事後評価用資料

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

安全研究・防災支援部門 安全研究センター

原子炉安全研究ディビジョン リスク評価・防災研究グループ



(主任研究者) 谷村 嘉彦

【概要】 事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究
 (平成29年度～平成31年度)



【背景・目的】

原子力事故等緊急時には、高線量率下における多数の公衆及び作業者が摂取した放射性ヨウ素の迅速かつ高精度な測定・評価が必要

➡ **γ線エネルギー分析方式の可搬型甲状腺モニタシステムを開発**

【実施状況】 ロードマップに従い、ほぼ当初の計画どおりに実施

開発項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度
① 甲状腺モニタ測定器	検出器の試験・選定 遮蔽体材質等最適化 検出器及び遮蔽の選定 ▲	測定器の試作、性能評価 試作機の完成 ▲	実機の製作、性能評価 実機の完成 ▲
② 高精度放射性ヨウ素定量法	年齢別頸部ファントム製作 頸部ファントムの製作 ▲	頸部・数値ファントムによる定量法の開発 定量法の完成 ▲	
③ 甲状腺モニタシステム		標準化用治具の設計	標準化用治具の製作 マニュアル作成 システム完成 ▲

平成29年度: 最適な検出器の選定、遮蔽体の材質・厚さの最適化、年齢別頸部ファントムの製作

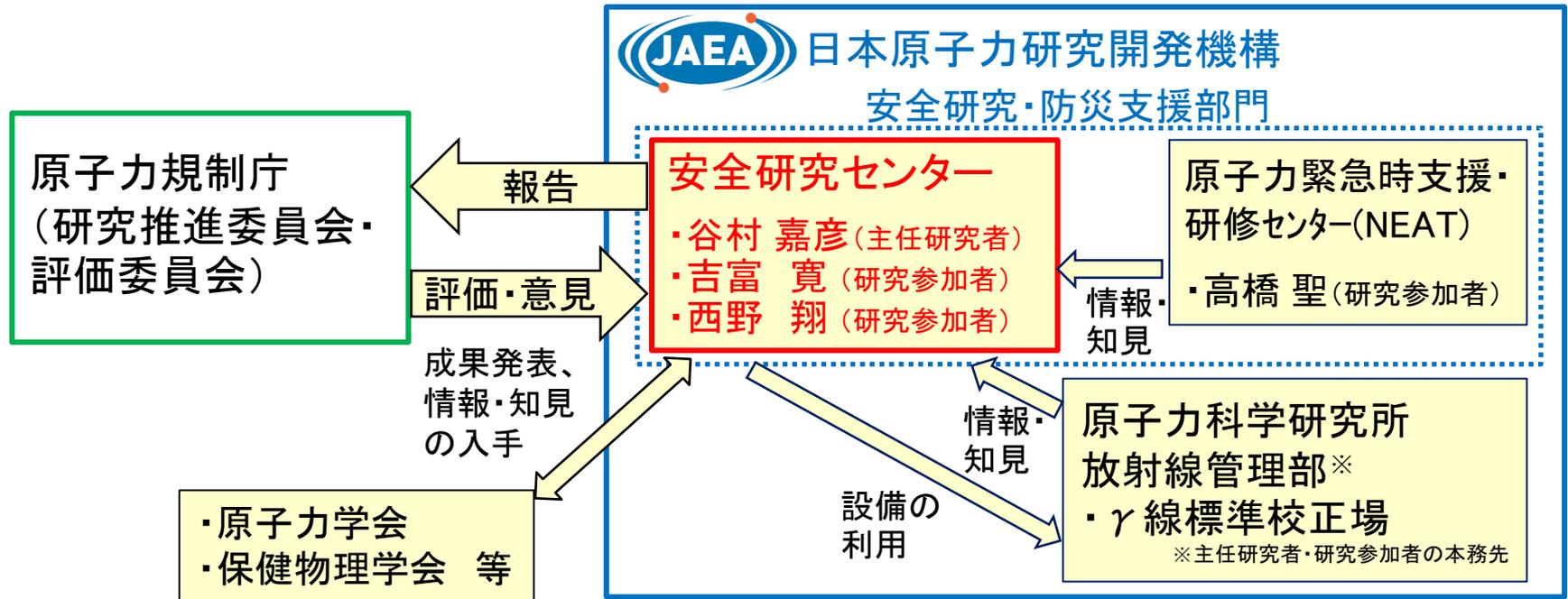
平成30年度: 甲状腺モニタ測定器の試作、放射性ヨウ素定量法の開発、標準化用治具の概念設計

平成31年度: 甲状腺モニタ測定器実機の製作、性能評価、標準化用治具の製作、マニュアル完成

【期待される効果】

NEAT、オフサイトセンターへの集中配備と、各避難所、指揮所への緊急輸送体制の構築により、多数の公衆・作業者の高精度甲状腺等価線量モニタが可能となる

【研究体制】 平成31年度事業の研究体制



【研究分担】

研究統括
・谷村 嘉彦

- ① 甲状腺モニタ測定器実機の製作
・西野 翔 (製作・評価)、谷村 嘉彦 (設計)
- ③-1 標準化用治具の製作
・吉富 寛 (設計)、谷村 嘉彦 (製作)
- ③-2 マニュアルの作成
・西野 翔 (機器操作)、吉富 寛 (定量・校正法)、谷村 嘉彦 (全体統括)、高橋 聖 (助言)

- 甲状腺簡易測定研修 (2019年10月、量研機構) や実務者会合 (2020年1月、NEAT) における甲状腺モニタシステムのデモンストレーションを通じて防災関係者の意見を収集

【今年度の研究概要】 平成31年度の実施内容と達成目標

平成31年度(令和元年度)の研究ロードマップ及びマイルストーン(▲)

開発項目	平成31年度(令和元年度)						
① 甲状腺モニタ測定器	実機の仕様検討	実機の製作			実機の性能評価 実機の完成 ▲		
③ 甲状腺モニタシステム	治具の詳細設計	治具の製作	マニュアル作成 システムの完成 ▲				
実績		↑ 実務者会合	↑ SSD-19	↑ 甲状腺研修 (試作機デモ)	↑ ARA DOS-5	↑ 実機納品	↑ 実務者会合 (実機デモ)

① 甲状腺モニタ測定器の開発

- 公衆用LaBr₃検出器の改良
- 検出器遮蔽体の最適化及び可搬性の向上
- 検出器制御・スペクトル解析用ソフトウェアの改良
- γ線標準校正場を用いた高線量率下での性能試験

➡ 目標: 甲状腺モニタ測定器実機の完成

③ 甲状腺モニタシステムの開発

- 測定条件を標準化するために必要な検出器固定治具の開発
- バックグラウンド放射線測定用治具の製作
- 甲状腺モニタシステムのマニュアルを作成

➡ 目標: 甲状腺モニタシステムの完成

【今年度の研究概要】 ①甲状腺モニタ測定器の開発

○公衆用LaBr₃検出器

シンチレータと光電子増倍管をパッケージ化

➡ 信頼性の向上と製品化へのスムーズな移行



CdZnTe検出器



LaBr₃検出器

○検出器用遮蔽体

更なるダウンサイズによる軽量化(公衆用)

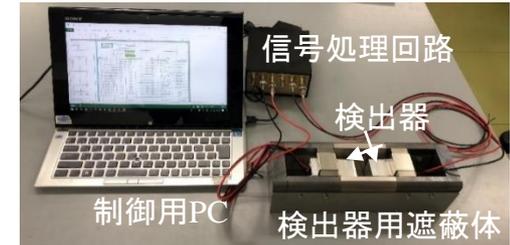
持運びし易くなる構造の工夫

➡ 可搬性の向上により、柔軟な運用が可能

○ソフトウェアの改良

検出器制御系の改良、年齢群に応じたバックグラウンドスペクトル選択機能の追加等

➡ 操作に精通していなくても容易に操作可能



甲状腺モニタ試作機(平成30年度)

○甲状腺モニタ測定器実機の特性試験

実機について、 γ 線標準校正場で高バックグラウンド線量率環境を模擬して測定下限値などを評価

➡ 事故時の高線量率下での使用の判断基準

【今年度の研究概要】 ③甲状腺モニタシステムの開発

○標準化用治具の開発

被検者の年齢ごとに甲状腺と検出器の配置を正確に決定できる治具を開発

➡ 位置ずれの感度への影響を軽減し測定精度の向上

○バックグラウンド放射線測定用治具の開発

高線量率下での使用時には、周辺の放射性ヨウ素からのバックグラウンドγ線の影響を受けるため、この影響補正に用いるバックグラウンドスペクトル測定用治具を開発

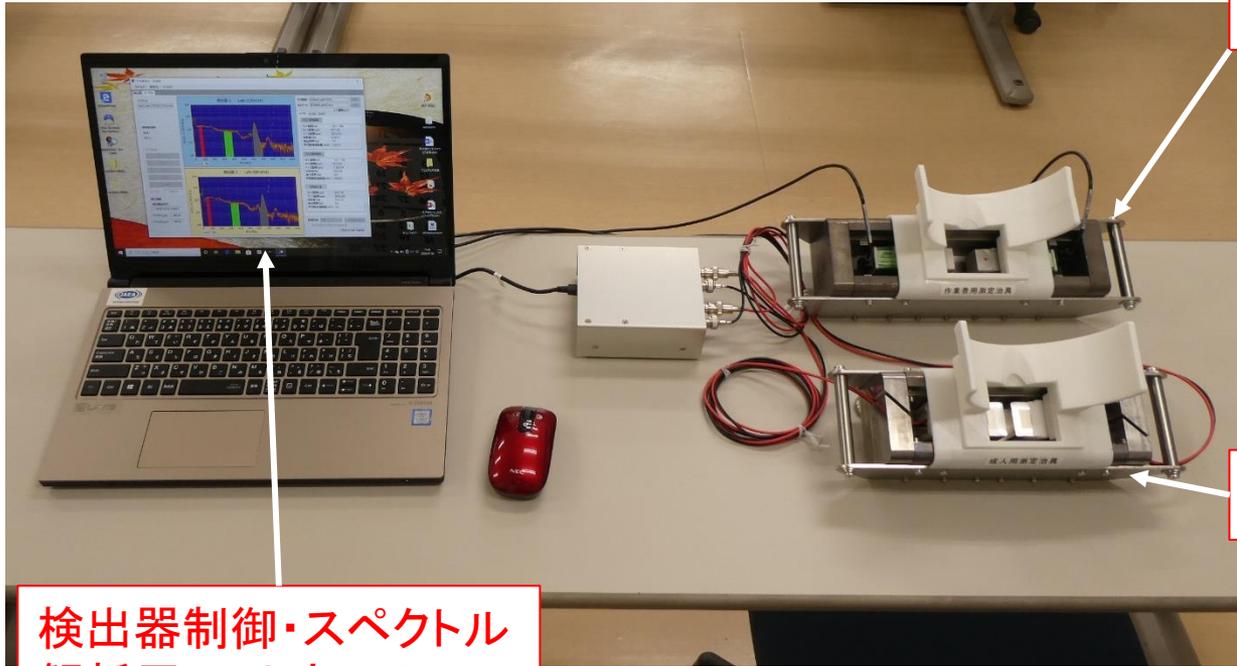
➡ バックグラウンド放射線の正確な補正による測定精度の向上

○マニュアルの作成

甲状腺モニタ測定器の設置、測定器の校正方法、バックグラウンド補正用スペクトルの取得方法、検出器制御・スペクトル解析用ソフトウェアの使用方法等をまとめたマニュアルを作成

➡ 操作に精通していなくても正確な測定が可能

【研究成果】 ①甲状腺モニタ測定器の開発 (1)



作業用: 16.6kg

- 遮蔽体及び検出器については試作機を活用し、持ち手を追加



試作機より可搬性が大きく向上

公衆用: 14.4kg

- 遮蔽体幅の最適化(縮小)と持ち手の追加



試作機の軽量化(-2kg)と可搬性の大幅な向上

- 検出器のパッケージ化



試作機より信頼性が向上

検出器制御・スペクトル解析用ソフトウェア

- CdZnTe検出器制御機能の改良
- 年齢別B.G.スペクトル選択機能の追加
- データ保存形式の改良
- ピーク解析機能の追加

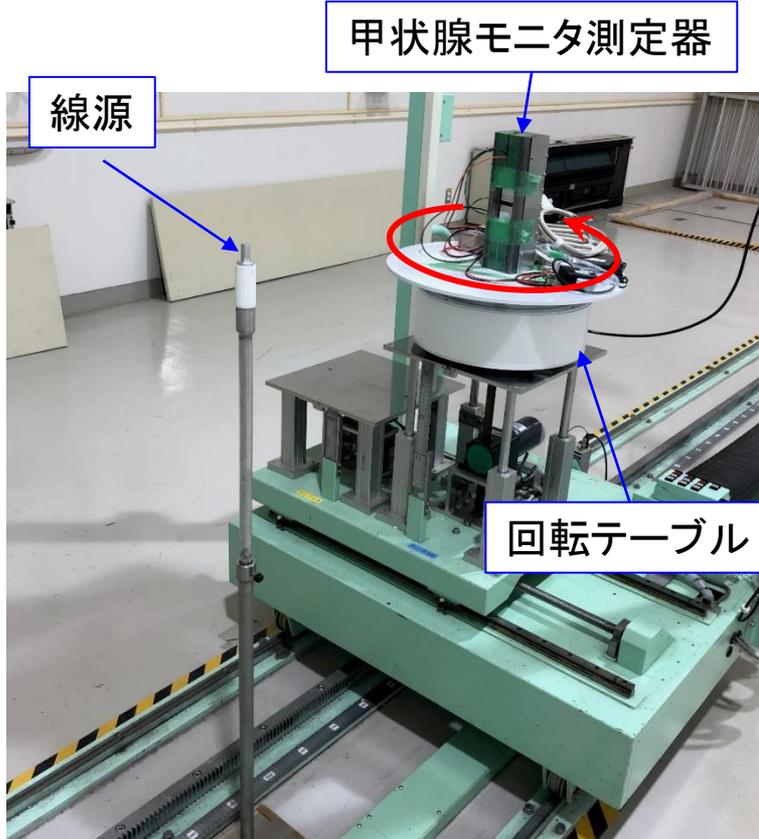


習熟者でなくても容易に操作可能

甲状腺モニタ測定器実機を製作

【研究成果】 ①甲状腺モニタ測定器の開発 (2)

測定器の特性試験結果



γ線標準場における特性試験

- ^{137}Cs 、 ^{60}Co の高線量率環境下での特性試験
- 回転テーブルによる全方位照射
➔ 高B.G.環境を模擬

甲状腺等価線量評価下限値[mSv]

線源	環境線量 [$\mu\text{Sv/h}$]	公衆 (LaBr_3)			作業者 (CdZnTe)
		乳児	小児	成人	
^{137}Cs	5	7.8	3.8	1.1	2.6
	20	15.6	7.6	2.2	5.2
^{60}Co	5	5.9	2.8	0.8	1.3
	20	11.7	5.7	1.7	2.6

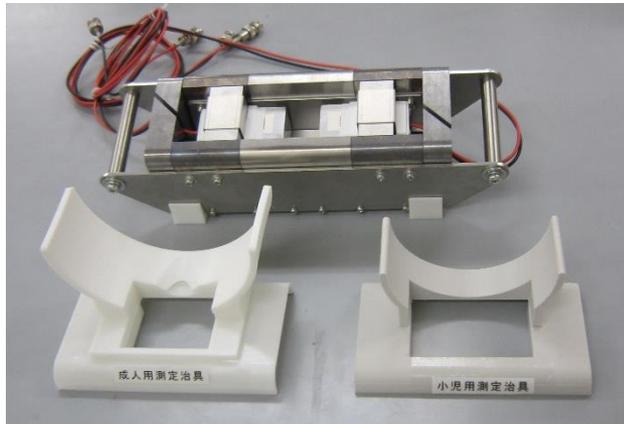
*測定時間: 150秒

- 公衆・作業者ともに $5 \mu\text{Sv/h}$ の高線量率環境下で 10 mSv の評価が可能
- 乳児を除き $20 \mu\text{Sv/h}$ でも 10 mSv の評価が可能

甲状腺モニタ測定器 ➔ 高線量率環境下でも測定可能

○標準化用治具の開発

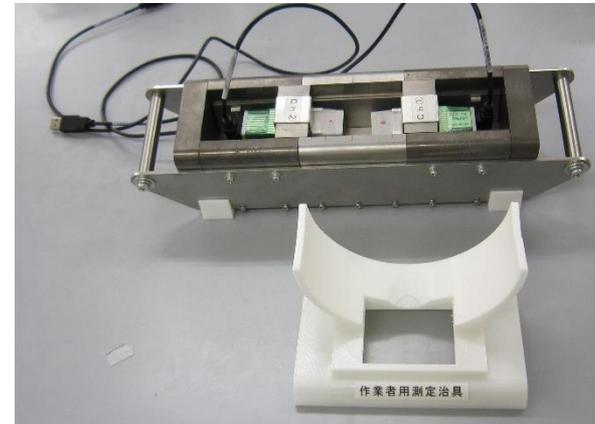
公衆用



成人用
測定治具

小児・乳児用
測定治具

作業者用



作業者用測定治具

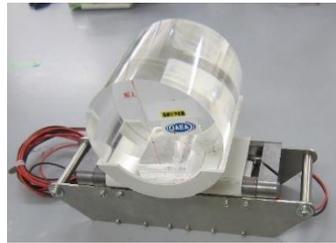
- 治具の製作に3Dプリンタを使用 ➡ 複雑な形状を自在に製作可
- 人体への有害性が認められず、様々な製品にも使用されている素材を採用
➡ 環境負荷が小さい生分解性プラスチック樹脂、軟質ウレタン樹脂
- 被検者の頸部が接触する箇所は、軟質のウレタン樹脂を使用
➡ 測定時の不快感を軽減するとともに頸径の個人差に対応

【研究成果】 ③甲状腺モニタシステムの開発(2)

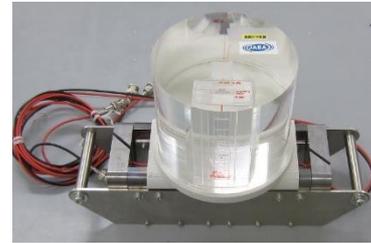
○バックグラウンド放射線測定用治具の開発



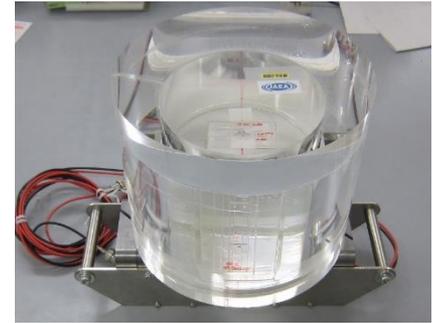
校正用簡易頸部ファントム
(PMMA製13cmΦ × 12cm)



乳児用治具



小児用治具



成人用治具

- 甲状腺モニタシステム校正用簡易頸部ファントムでバックグラウンド放射線（周辺の放射性ヨウ素からの γ 線）の被検者による遮蔽効果を模擬
- 甲状腺モニタリング時にバックグラウンド放射線のスペクトルを差引く
➡ **バックグラウンド放射線の影響を正確に補正可能**

○マニュアルの作成

- 試作機（平成30年度製作）用の簡易マニュアルを作成して、10月に量研機構で開催された甲状腺簡易測定研修においてデモンストレーションを実施
- 甲状腺モニタシステムの実機について、公衆用と作業員用それぞれの使用方法に係るマニュアルを作成

研究評価委員会におけるコメントとその検討事項

○研究評価委員会総合コメント

- 研究目標である甲状腺モニタリングシステムについては完成したと考えられるが、実用上の課題及びそれらへの対応等のソフト面での検討結果(治具の向き、測定体位、乳幼児対応、様々な方の意見のフィードバック)等についても報告書に記載されたい。

検討事項と本資料及び報告書への記載箇所

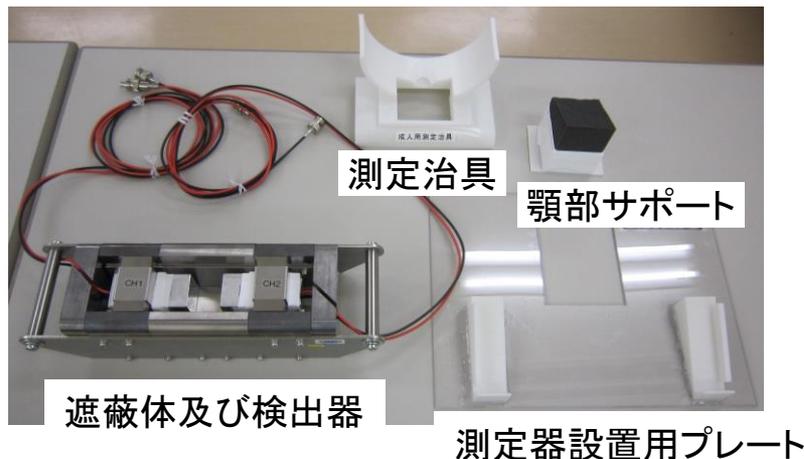
	検討事項	スライド番号	報告書記載箇所
研究評価委員会	治具の向き、測定体位等に関すること	11 ページ	4. 3. 2. 2項 (53～55ページ)
	乳幼児等の測定に関すること	12 ページ	4. 3. 2. 3項 (56～57ページ)
	保管場所など具体的な運用に関すること	13 ページ	4. 3. 6項 (70～71ページ)
その他専門家からのご意見	使用環境を考慮した検出器の温度特性	14 ページ	4. 2. 3. 5項 (46～49ページ)
	甲状腺の位置・大きさの個人差に関すること	15 ページ	4. 1. 2項 ⑥ (23ページ)

○測定治具と測定体位に係る課題

- 測定治具(頸部)に頭部の荷重がかかるため、長時間の測定が困難
- 机上への検出器遮蔽体設置時に手前に傾斜させた方が密着性がよいが、角度が大きすぎると無理な姿勢となる

⇒ ウレタンクッション付顎部サポートを作成・使用することにより、頸部に集中していた頭部の荷重を分散できるように改良

デモンストレーションでの意見を参考に、適切な傾斜角度(15°)で検出器遮蔽体を設置できる測定器設置用プレートを作成(顎部サポートとの位置関係を正確に決定できるようにプレートに切り欠きを設けるなど形状を工夫)



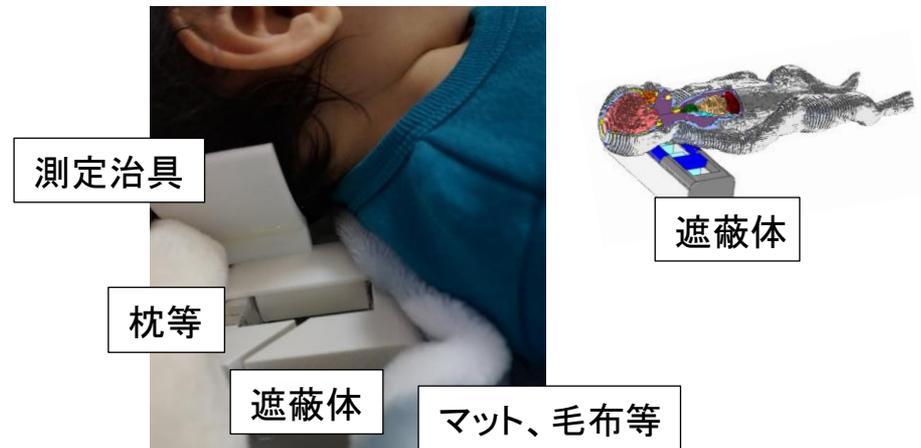
○乳児など測定困難者に係る課題

➤ 乳児や妊婦、寝たきりの要介助者等、長時間のうつ伏せ測定が困難な被検者への対応

⇒ 仰臥位による測定を検討した結果、 $5\mu\text{Sv/h}$ の高バックグラウンド線量率の環境において、600秒の測定で成人・小児はほぼ10mSv、乳児は100mSvの測定下限値は担保できる

仰臥位測定時の甲状腺等価線量評価
下限値[mSv] 測定時間: 600秒

線源	線量率 [$\mu\text{Sv/h}$]	公衆(LaBr ₃)		
		乳児	小児	成人
環境	0.06	10	1.8	0.5
¹³⁷ Cs	5	64	11	3.1
⁶⁰ Co	5	48	8.6	2.3



乳児の仰臥位測定イメージ

既存の測定治具に頭部(小児成人の場合は頸部)を乗せて測定する。

○緊急時の運用法に係る課題

➤ 原子力事故などが発生した直後の緊急時において、開発した甲状腺モニタシステムをどのように運用するか

⇒ 乳児を除き、検査時間5分/人(交換時間含む、乳児除く)、12時間/日の検査時間を想定すると、1システムで一週間で約1,000人の検査が可能。

公衆については、NaI(Tl)サーベイメータによる簡易検査(スクリーニング)で詳細検査の被検者を10万人に選定したとすると、100システムで対応可能。原子力緊急時支援・研修センター(2箇所)やオフサイトセンター(全国で23施設)に集中配備し、緊急時には甲状腺モニタリングを実施する拠点となる避難所や原子力災害拠点病院に輸送することが考えられる。

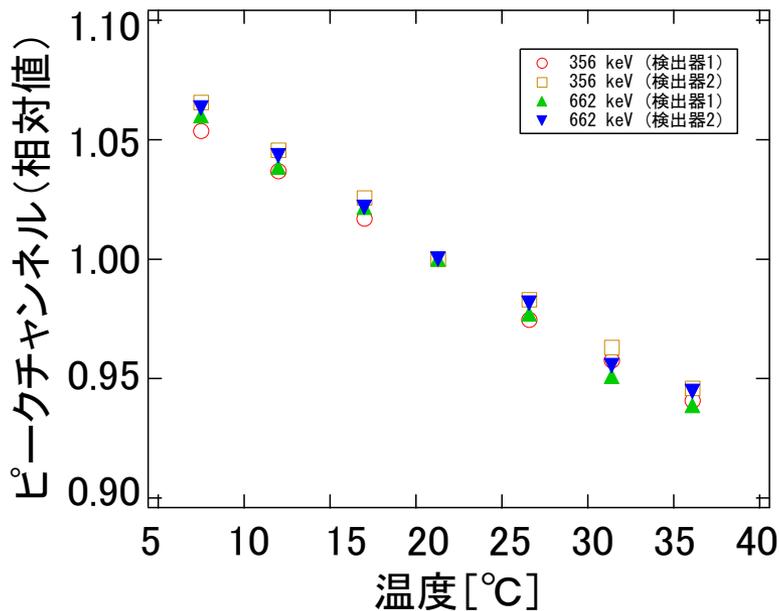
作業員用については、4,000人*の場合、4システムで対応可能。事業者の作業員用に各原子力施設に常備し、施設間で融通。自衛隊員、原子力規制検査官、警察官、消防隊員、海上保安庁、地方自治体職員等向けに、陸上自衛隊各方面隊、原子力規制事務所、オフサイトセンター、海上保安本部等への常備も必要。各箇所で1~2システムで対応可能。

* 福島第一原子力発電所事故では、平成23年8月まで(5~6か月)の緊急作業従事者が約20,000人であることから、1月分の4,000人を想定。

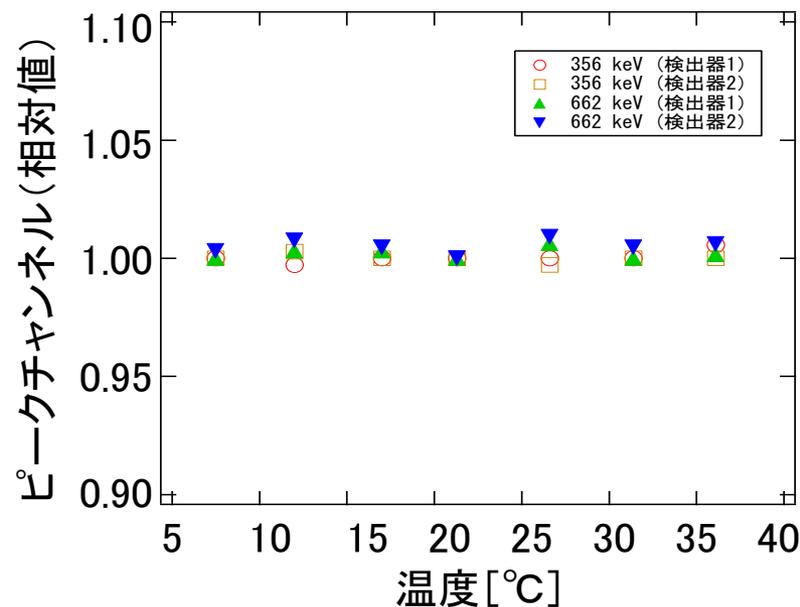
○環境条件に係る課題

➤ 放射線検出器の特性が測定環境の温度に依存することはないか

⇒ 恒温槽を用いて、5°C～35°Cの範囲で温度特性を試験した結果、LaBr₃検出器で最大±5%のゲインの変動がみられたが、計数には有意な変化はないことから、測定時のピーク位置に合わせたゲイン調整を実施すれば使用可能。



LaBr₃検出器



CdZnTe検出器

○甲状腺位置の個人差に係る課題

- 甲状腺の位置には、個人差があり、ごく稀にはあるが頸部から大きく上下にずれている被検者がいる。また、左右で甲状腺の大きさが異なることがある。
- ⇒ 標準的な位置から大きくずれている被検者をどこまで検知する必要があるかについては検討が必要である。検知する方法として、「検出器用遮蔽体の左右の構造(上下方向の開口角)を非対称にして、左右の検出器の計数差を利用する」、「左右非対称のアルミ又はSUS板を開口部に設置して80 keV γ 線の吸収の差を利用する」こと等が考えられる。遮蔽体及びモニタの再設計が必要となるため、今後の新たな検討・開発項目となる。

成果の放射線規制・防護分野への活用

▶ 原子力災害対策への活用

⇒ 開発した甲状腺モニタシステムは、遮蔽一体型であり可搬性に優れる、机といすがあればどこにでも設置できる、という特長がある。このため、原子力事故によりバックグラウンド放射線量率が上昇した環境においても、測定場所を選ばずに柔軟に使用できる。

また、取り扱いが困難な非密封の溶液線源ではなく、 ^{133}Ba 密封点線源を用いて校正が可能であることから、それぞれの測定現場での校正頻度を上げることができ、精度の良い測定が可能である。

上記の特長を有することから、チェルノブイリ原発事故のような海外での事故を含めて、国内外で原子力災害が発生したときの詳細な甲状腺等価線量の測定に活用できる。また、高線量率下で利用できることから、緊急作業従事者の発災現場近辺での迅速な測定が可能となる。

○ 論文

- 19th International Conference on Solid State Dosimetry (SSD19)において
成果公表(9月15日~20日、広島、ポスター発表&論文投稿 3件)
 - S. Nishino et al.: Prototype Test of a Potable Thyroid Dose Monitoring System using Gamma-ray Spectrometers, Radiation Measurements, doi:10.1016/j.radmeas.2020.106292 (論文掲載決定)
 - H. Yoshitomi et al.: A study of a calibration technique for a newly developed thyroid monitor and uncertainties due to body size for radioiodine measurements, Radiation Measurements, doi:10.1016/j.radmeas.2020.106279 (論文掲載決定)
 - Y. Tanimura et al.: Background Correction Method for Portable Thyroid Dose Monitor Using Gamma-ray Spectrometer Developed at JAEA in High Dose Rate Environment (論文査読中)

○ 特許

- 特許公開:特開2019-138665「甲状腺モニタ用可搬型放射線測定器及び測定方法」(平成30年2月6日出願、令和元年8月22日公開)

【成果の公表】 主な成果の公表状況(2)

○ 口頭発表(国際会議)

- 5th Asia Radiation Dosimetry Group annual meeting (ARADOS-5) (令和元年11月6日～8日、中国)
 - Y. Tanimura et al.: Development of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers
- 4th Asia Radiation Dosimetry Group annual meeting (ARADOS-4) (平成30年10月17日～19日、韓国)
 - Y. Tanimura et al.: Conceptual design of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers

○ ポスター発表(国際会議)

- 5th Asia and Oceanic IRPA Congress on Radiation Protection (AOCR-5) (平成30年5月20日～23日、オーストラリア)
 - Y. Tanimura et al.: Characteristics of spectrometer and shield for thyroid dose monitoring system in high dose rate environment.
 - H. Yoshitomi et al.: A new method to evaluate radioiodine activity in thyroid by the gamma spectroscopy measurements using a simplified physical phantom incorporated with numerical simulations
- 5th European IRPA Congress (平成30年6月4日～8日、オランダ)
 - S. Nishino et al.: Conceptual design of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers

○ 口頭発表(国内学会)

- 日本原子力学会2020年春の年会 (令和2年3月、学会中止のため予稿発表のみ)
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 モニタの製作と測定手法の開発
- 日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月19日～21日、茨城大学)
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 (4) 試作機の製作と特性試験
- 日本原子力学会2018年春の年会 (平成30年3月26日～28日、大阪大学)
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 (1) 全体概要
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 (2) 検出器及び遮蔽体の最適化
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 (3) 頸部ファントム及び定量法の開発

【自己評価】 進捗状況及び成果公表

(1) 進捗状況(平成31年度)

① 甲状腺モニタ測定器の開発

- 公衆用及び作業者用の甲状腺モニタシステムについて製作を完了
- γ 線標準場において動作試験を行い、測定性能を評価

⇒「実機の製作」を達成

③ 甲状腺モニタシステムの開発

- 被検者と検出器の配置の正確な決定に用いる標準化用治具を3Dプリンタで製作
- 平成30年度に製作した試作機について、簡易マニュアルを作成し、甲状腺簡易測定研修においてデモンストレーションを実施
- 甲状腺モニタシステム実機の使用法に係るマニュアルを作成し、成果報告書に含めた

⇒「標準化用治具の作製及びマニュアルの作成」を達成



概ね計画どおりに実施でき、目標を達成できた