

# 令和 2 年度事後評価 対象課題 成果報告書

## (平成 30 年度)

### ○目次

1. 原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立（平成 30 年度）・・・P. 1
2. 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 30 年度）・・・P. 184
3. 環境モニタリング線量計の現地校正に関する研究（平成 30 年度）・・・P. 273
4. 放射線業務従事者に対する健康診断のあり方に関する検討（平成 30 年度）・・・P. 313
5. 染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に関する調査研究（平成 30 年度）・・・P. 436

平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業

原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握  
に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立

平成 30 年度 事業成果報告書

平成 31 年 3 月

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

本報告書は，国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構が実施した「平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立）事業」の成果を取りまとめたものです。

## 目次

1. 事業の概要及び目的要及び目的 .....	1
2. 事業の実施体制 .....	2
3. 事業の進捗 .....	3
4. 実施報告書 .....	5
4.1 背景 .....	5
4.2 既存検出器を用いた測定法の改善 .....	6
4.3 新モニタの試作及び試験 .....	16
4.4 情報収集システムの構築 .....	26
4.5 海外調査及び実務者会合 .....	32
4.6 参考文献.....	36
4.7 成果発表.....	38
5. まとめ及び次年度の予定 .....	39
6. 付録 .....	41
6-① NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査マニュアル .....	41
6-② 新モニタ用制御・解析ソフトウェア使用説明書 .....	61
6-③ 情報収集支援システム.....	109
6-④ 実務者会合の発表資料.....	124
6-⑤ 平成 30 年度成果報告会の発表資料.....	173

## 1. 事業の概要及び目的要及び目的

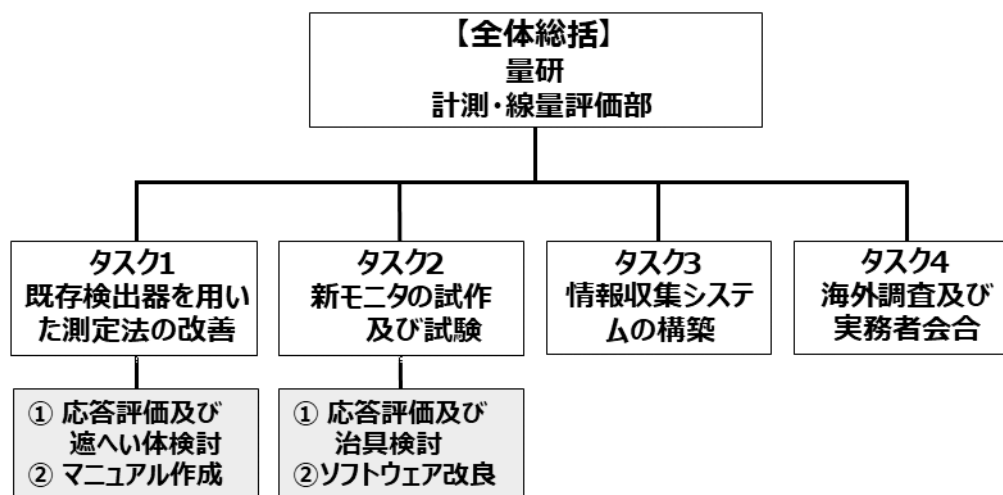
東電福島第一原子力発電所事故（以下、福島原発事故）に伴い周辺環境中に放出された大量の放射性核種により近隣住民が受けた被ばく線量の把握は、放射線による将来の健康影響（確率的影響）の可能性を評価する上で重要であり、これまでも多くの調査報告がなされてきた。しかしながら、放射性ヨウ素を初めとした短寿命核種による事故初期の内部被ばく、特に甲状腺内部被ばくに関しては、その線量推計の基礎となる人の実測データが十分に得られなかったことから、正確な線量の把握を困難にしている。この反省に立ち、今後段階的に進められる原発再稼働に際し、不測の原子力災害時における緊急時対応の一環として、緊急防護措置計画範囲（Urgent Protective action Planning Zone, 以下UPZ）内の近隣住民等を対象とした個人内部被ばくモニタリングを迅速かつ確実にできる体制の整備が急務である。これは、原発事故の当事国として、原発建設の進むアジア諸国、ひいては世界各国から見本とされる体制の実現を目指すべきである。

本事業は、原子力規制庁の放射線安全規制研究推進事業の一課題として、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下、量研）が提案した「原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立」に研究計画に沿って進めるものである。本研究の目的は、福島原発事故の教訓を踏まえ、短寿命の放射性ヨウ素を精度良く実測できる期間は事故発生から概ね1ヶ月程度であること、また、原子力規制委員会が定めた新規基準に適合した原子力発電所における不測の過酷事故は、東日本大震災と同等以上の自然災害が引き金となる可能性が高いことを鑑み、既存検出器を用いた堅実な方法による甲状腺線量測定を行うことを基本としつつ、小児を対象とした測定や上昇した放射線環境下での測定などの課題を克服した新しい測定器の開発や海外における原子力災害対応の情報等を含めた網羅的な取り組みを行うことにより、本研究の目的を達成する。

本事業は、平成29年度から平成31年度まで3ヶ年で実施する予定である。初年度（平成29年度）は、汎用のNaI(Tl)サーベイメータを用いる甲状腺簡易検査の精度評価、小型の検出素子を多数用いる新しい甲状腺モニタ（以下、新モニタ）の試作、多数の住民を対象とした甲状腺線量測定を円滑に行い、後の線量再構築のために必要な情報を収集するためのシステムの概念設計を行った。今年度（平成30年度）は、NaI(Tl)サーベイメータを含む既存検出器を用いた甲状腺線量測定に必須となる年齢別換算係数（検出効率）を、フランスの放射線防護・原子力安全研究所（Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, 以下 IRSN）が開発した年齢別ファントムを用いた試験により網羅的に取得した。また、昨年度に引き続き、甲状腺簡易検査の精度評価の更なる検証のためのデータの蓄積を行った。新モニタについては、機械的強度を向上させた改良型検出素子の製作、これを12チャンネルに拡張した大人用検出部の試作、制御・解析用ソフトウェアの改良等を行った。検出素子を最適化した配置で保持するための固定治具の製作についても概ね完了した。さらに、甲状腺簡易検査マニュアルの素案作成と海外調査（フランス、ドイツ）を行うとともに、情報収集システムの改良と格納する避難所データベースの拡充を実施した。

## 2. 事業の実施体制

今年度の研究実施体制図は下図に示すとおりである。適宜、外部機関の専門家と情報共有を図りつつ研究を行った。また、新モニタ及び情報収集システムについては、量研が作成した仕様に基づき、外注により制作を行った。



既存の検出器及び新モニタの特性試験は、年齢別頸部ファントムに内蔵される甲状腺形状容器に標準放射性溶液を充填して線源を製作して行った。これらの試験は、量研が有する施設（管理区域）内にて実施した。NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査の精度評価に関しては、同測定に関連する実務研修会に参加した受講者から得られたデータを解析して行った。

本事業の進捗状況については、原子力規制庁が指名したプログラムオフィサーに電子メール（2ヶ月に一回）に報告をした。また、同一課題を進めている別の研究チーム（日本原子力研究開発機構）との情報交換を同程度の頻度で行った。

### 3. 事業の進捗

研究代表者らが提案する包括的個人内部被ばくモニタリングの方法は、福島原発事故において住民が受けた事故初期の内部被ばく線量の把握が十分に行えなかった反省を踏まえ、既存方法と認識された技術的課題を克服するための新モニタを用いた測定を有機的に併用した測定ストラテジー、さらには多数の避難住民を対象とした甲状腺線量測定から得られる様々な情報・データを後の線量再構築に有効かつ漏れなく活用するための仕組みの構築等を含むものである。今年度（平成30年度）の当初計画に対する実績は下記のとおりであり、各項目の詳細は第4章にて述べる。

#### 平成30年度実施計画及び実績

平成30年度実施計画	実施報告	備考
1. 既存検出器を用いた測定法の改善		
① NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査（同測定の実状況における精度を把握する。）	量研が主催した甲状腺簡易検査研修を利用して、実状況における精度を評価するとともに、その要因を明らかにした。また、その成果を論文発表した。	4. 実施報告書 4.2 ①
② 既存検出器の年齢別換算係数の評価	年齢別頸部ファントムを用いた試験により、甲状腺線量測定の候補となる既存検出器（1インチ、1.5インチ、2インチ NaI（Tl）検出器及び1.5インチ CeBr <sub>3</sub> 検出器）の換算係数（検出効率）を網羅的に整備した。	4. 実施報告書 4.2 ②
③ 遮へい体仕様の検討	シミュレーションにより、 <sup>137</sup> Csを線源とする外部放射線に対する鉛遮へい体による遮へい効果を、NaI(Tl)サーベイメータを対象として試算した。	4. 実施報告書 4.2 ③
④ 甲状腺簡易検査マニュアル	マニュアル素案を作成した。同マニュアルには、①及び②で得られた結果を反映させた。	4. 実施報告書 4.2 ④及び付録6-①
⑤ ホールボディカウンタを用いた甲状腺中ヨウ素測定に係る検討	公衆の測定に実績のある立位型ホールボディカウンタ（FASTSCAN）を用いて甲状腺中ヨウ素を測定した場合の応答をシミュレーションにより評価した。	4. 実施報告書 4.2 ⑤
2. 新モニタの試作及び試験		
① 新モニタ用検出素子の改良及び検出素子固定治具の製作	昨年度製作したCe:GAGG検出素子（8台）について基礎特性試験を行うとともに、最適配置について年齢別ファントムを用いた	4. 実施報告書 4.3 ①

	試験により検討した。また、機械的強度を向上させた改良版検出素子（12台）を製作し、同様に試験を行った。これらの検出素子の固定治具を試作した。	
② 応答特性試験	年齢別頸部ファントムを用いた試験により応答を評価するとともに、検出素子の最適配置を検討した。	4. 実施報告書 4.3 ②
③ 新モニタ用ソフトウェアの改良	昨年度作成した新モニタ制御・解析用ソフトウェアに関して、2測定系統（8チャンネル測定系及び12チャンネル測定系）の同時測定が行えるように改良を行った。また、測定に使用する検出素子を任意に選択できる機能を持たせた。	4. 実施報告書 4.3 ③
④ 新モニタを用いた測定標準化	標準化のための検討を行った。引き続き、来年度実施予定である。	4. 実施報告書 4.3 ④
3. 情報収集システムの構築		
① 情報収集支援システムの構築	昨年度実施した情報収集システムの概念設計に基づき、本システムの製作に着手した。甲状腺線量測定が行われる会場において、被検者から取得される情報や測定結果等の項目を検討し、これらを簡易に格納するシステムを構築した。	4. 実施報告書 4.4 ①
② 広域避難計画調査及びデータベース化	今年度は、玄海、浜岡、川内、大飯、高浜、各サイトの原子力災害時広域避難計画の調査を行うとともに、情報収集支援システムに格納する避難所・避難経路のデータベースを拡充させた。	4. 実施報告書 4.4 ②
4. 海外調査及び実務者会合		
① 海外調査	欧州の代表的な公的機関の内、①フランスの IRSN 及び②ドイツの BfS に訪問し、公衆の初期内部被ばくモニタリングのための対応状況に関する情報収集を行った。	4. 実施報告書 4.5 ①
② 実務者会合	3回の実務者会合を行った。同一課題を進めている他機関（日本原子力研究開発機構）と研究の進捗状況や意見交換を行った。	4. 実施報告書 4.5 ②



## 4. 実施報告書

### 4.1 背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により引き起こされた福島原発事故により、大量の放射性核種が周辺環境中に放出されることになり、事故の収束作業に従事した緊急作業員のみならず、一般公衆に対しても追加の放射線被ばくをもたらすこととなった。幸いにも、人々が福島原発事故で受けた被ばく線量は低く、放射線被ばくに起因する将来の健康リスクは検出することが困難なほど小さいと推定されている<sup>1)</sup>。ただし、低線量であっても、科学的に可能な限り正確な個人の被ばく線量を評価することが重要であり、福島県住民については、これまでも数多くの報告がなされてきた<sup>2)</sup>。特に重要な事故初期の被ばく線量について、外部被ばく線量に関しては福島原発事故の発生から4ヵ月間の積算値としてIshikawaらが報告しており、推計を行った約42万人の99.4%が3 mSv未満であった<sup>3)</sup>。この推計は、福島県民健康調査の一部として、個人の避難行動記録（滞在場所の時系列）と再構築された福島県内の空間線量率マップに基づき行われた。他方、内部被ばく線量に関しては、外部被ばく線量と同様な推計では不確実性が大きいために、甲状腺計測や全身計測などの個人の実測値に基づき推計を行うことが基本となるものの、事故初期の内部被ばく線量に大きく寄与する放射性ヨウ素（特に、<sup>131</sup>I）の実測値が十分に取得されなかったことから、現在でも正確な推計のための検討が続けられている。周知のとおり、放射性ヨウ素は人体頸部の前方に位置する甲状腺に選択的に取り込まれ、甲状腺被ばくをもたらす。福島原発事故初期に取得された人の<sup>131</sup>Iの実測値としては、Tokonamiら<sup>4)</sup>、Matsudaら<sup>5)</sup>、Kimら<sup>6)</sup>といった主要な報告での被検者数を合計しても1,300件程度しかない。これは、1986年に発生したチェルノブイリ原発事故の際に住民を対象として実施された数十万件の甲状腺計測<sup>7)</sup>と比較して相当少ない<sup>8)</sup>。これは、チェルノブイリ原発事故の場合は、汚染した飲食物の摂取制限等が適切になされなかったために放射性核種の経口摂取が累積し、物理半減期が約8日と短い<sup>131</sup>Iであっても、比較的長期間にわたり検出が可能であったという見方もできる。福島原発事故の際に国が2011年3月下旬に行った小児甲状腺被ばくスクリーニング検査では、被検者の半数以上が未検出、さらに大半が統計的有意値とは見なせない結果であった<sup>9)</sup>。しかしながら、同検査は福島県内の避難指示区域に指定された自治体を除く3市町村のみで実施されたこと（飯舘村は2011年4月に避難指示区域に指定）、簡易な測定器を用いた精度の高くない計測であったこと、被検者の代表性が不明であること等の問題が付随している。

我が国において今後段階的に進められる原発再稼働に際し、万一の原子力災害時における緊急時対応の一環として、UPZ内の近隣住民を対象とした個人内部被ばくモニタリングを迅速かつ確実にける体制の整備が喫緊の課題である。本研究では、福島原発事故での反省を踏まえ、放射性物質の環境中への大量放出を伴う原発のシビアアクシデントにおいて、近隣住民の初期内部被ばくを正確に、かつ、確実に測定・評価するための手法・手順・体制の具体的な提案を行うことを目的として、既存の測定手法の見直し、新しいモニタの開発、海外調査、マニュアル作成、研修会の開催等の様々な試みを行うものである。

本研究において提案する個人被ばくモニタリング手法は、住民の短半減期の放射性ヨウ素

による甲状腺被ばくの把握が十分に行えなかった福島原発事故の教訓を踏まえ、新しく開発を行う甲状腺モニタを含めた幾つかの測定手法を有機的に組み合わせ、高線量被ばく者の迅速なトリージと多数の住民を対象とした初期内部被ばく線量の正確な推計を確実に行うことを目指した手法である。2年目となる平成30年度には、既存検出器を用いた測定法の改善（甲状腺簡易検査用測定ジオメトリの標準化及び年齢別の換算係数評価等）、大人用新モニタの製作や特性試験及び新モニタ用（子供用及び大人用）固定治具の製作、甲状腺検査が実施される検査会場での情報収集システムの構築及び海外調査等を実施しており、詳細は以下の通りである。

#### 4.2 既存検出器を用いた測定法の改善

##### ① NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査

前年度、甲状腺簡易検査の実証試験として、平成29年度甲状腺簡易検査研修（原子力規制庁委託）において同測定に係るデータを取得し、精度検証を行った。その際、測定データの研修生（測定者）間の変動を増加させると考えられる、研修生間の測定ジオメトリ（測定時プローブ位置）のばらつき、NaI(Tl)サーベイメータ機器間の校正定数のばらつきの二つの要因が見出された。そこで、平成30年度甲状腺簡易検査研修を実施するにあたり、それぞれ次の改善策を講じた。

- ・ 同一測定ジオメトリ（甲状腺部測定では頸部下部にプローブ先端を密着させる、被検者バックグラウンド測定では模擬被検者台支柱の目印位置にプローブ先端を合わせる）を徹底させるため、前年よりも詳細に事前説明を行う。また、研修生のプローブ位置のずれを講師が見かけた場合にはその場で指摘し修正する。
- ・ 校正定数が良好（1に近い）な機器を実習に使用する。  
前回の校正定数範囲：0.86－1.32， 今回の校正定数範囲：0.99－1.05
- ・ 模擬被検者の甲状腺部に設置した模擬線源が、隣接する模擬被検者位置の空間線量率に影響を与えないように、模擬被検者の間隔を前回までの間隔の約2倍に拡張した。
- ・ 甲状腺部に設置する模擬線源にヨウ素-131（<sup>131</sup>I）のフィルター線源を用いた。

図1に平成29年度及び平成30年度に実施した甲状腺簡易検査実証試験における測定者間の測定データのばらつきを示す。図1から、平成30年度測定データのばらつきが、平成29年度測定データに比べて線量率が $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 以上では若干低減化されており、これは平成30年度研修で実施した改善策の効果が現れたものと考えられる。

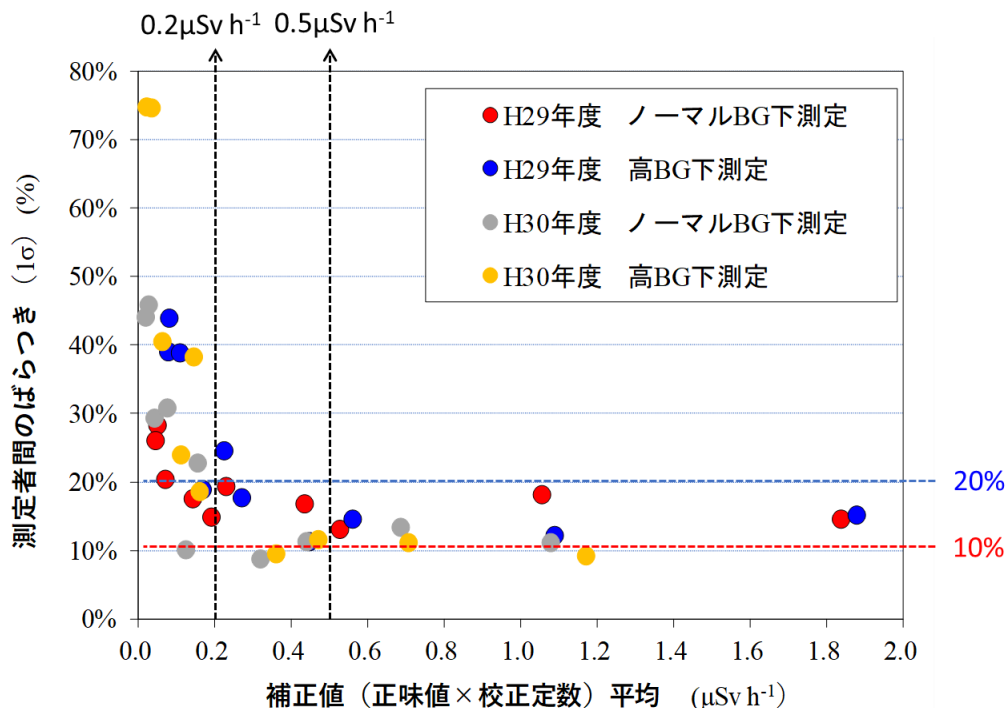


図1 平成29年度及び平成30年度に実施した甲状腺簡易検査実証試験における測定者間の測定データのばらつき

甲状腺簡易検査の測定精度として、平成29年度及び平成30年度の測定データから、次のようにまとめられる。

- ・比較的高いバックグラウンド ( $\sim 0.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ ) においても、正味値 (補正值) が  $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$  以上では測定者の手技によらず安定した結果が得られる。OIL8 ( $0.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ ) 以上は十分に識別できる。
- ・正味値 (補正值) が  $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$  未満では、サーベイメータの指示値の統計変動や測定者間の読み方の違いが影響し、ファクター2程度のばらつきを生じる。

## ② 年齢別の換算係数の評価

平成29年度に引き続き、頸部物理ファントム及び数値ファントムを用いて、甲状腺測定に用いる既存検出器の年齢別応答—甲状腺中ヨウ素放射エネルギー換算係数を評価した。

### (1) 年齢別甲状腺ファントムを用いた実測による評価

#### a. 評価対象検出器

環境ガンマ線スペクトル測定や放射能定量測定に用いられる NaI(Tl)シンチレーション検出器から、甲状腺測定に応用可能なサイズの3つの検出器を評価対象検出器に選定した。

- ・ 1 インチ NaI(Tl)シンチレーション検出器 (以下, 1-inch NaI 検出器)  
結晶サイズ(mm) :  $25 \phi \times 25$  型式 : 25B25/1.5, SCIONIX 社製
- ・ 1.5 インチ NaI(Tl)シンチレーション検出器 (以下, 1.5-inch NaI 検出器)  
結晶サイズ(mm) :  $38 \phi \times 38$  型式 : 38B38/1.5, SCIONIX 社製

- 2 インチ NaI(Tl)シンチレーション検出器 (以下, 2-inch NaI 検出器)  
結晶サイズ(mm) : 51 φ×51 型式 : 51B51/2, SCIONIX社製  
NaI(Tl)検出器よりエネルギー分解能に優れる CeBr<sub>3</sub> 検出器を比較のため 1 台評価した。
- 1.5 インチ CeBr<sub>3</sub> シンチレーション検出器 (以下, 1.5-inch CeBr 検出器)  
結晶サイズ(mm) : 38 φ×38 型式 : 38B38/2M-CEBR-X, SCIONIX社製  
上記の検出器は MCA, 前置増幅器, バイアス電圧集積型の光電子増倍管ベース (digiBASE, ORTEC 社製) に接続して使用した。

また, 甲状腺簡易検査に用いる放射線測定器として NaI(Tl)サーベイメータを選定した。

- NaI(Tl)サーベイメータ  
結晶サイズ(mm) : 25 φ×25 型式 : TCS-172B (一部 TCS-1172, 日立製)

#### b. 年齢別甲状腺ファントム

測定にはフランスの IRSN で開発された年齢別の甲状腺ファントム (以下, IRSN ファントム) を用いた<sup>8)</sup>。図 2 に大人, 15 歳児, 10 歳児, 5 歳児の IRSN ファントムを示す。IRSN ファントムに設置する甲状腺容器はリアルな甲状腺形状を持ち, その容積は ICRP 勧告に準拠している<sup>9)</sup>。

IRSN ファントムは甲状腺容器内に <sup>131</sup>I 又は <sup>133</sup>Ba 標準線源溶液を注入して使用した。線源調製時点での各年齢ファントムの甲状腺容器内の <sup>131</sup>I, <sup>133</sup>Ba 放射能を表 1 に示す。

図 3 に, IRSN ファントムの各年齢別の甲状腺容器サイズに対して相対的に決められた g-0~g-7 の 8 つの測定位置を示す。各位置に検出器プローブの先端面中心を合わせて測定を行った。g-1 は甲状腺容器の峽部中央位置であり, g-1 を検出器の応答—甲状腺中ヨウ素放射能量換算係数の実測評価のための基準位置に設定した。

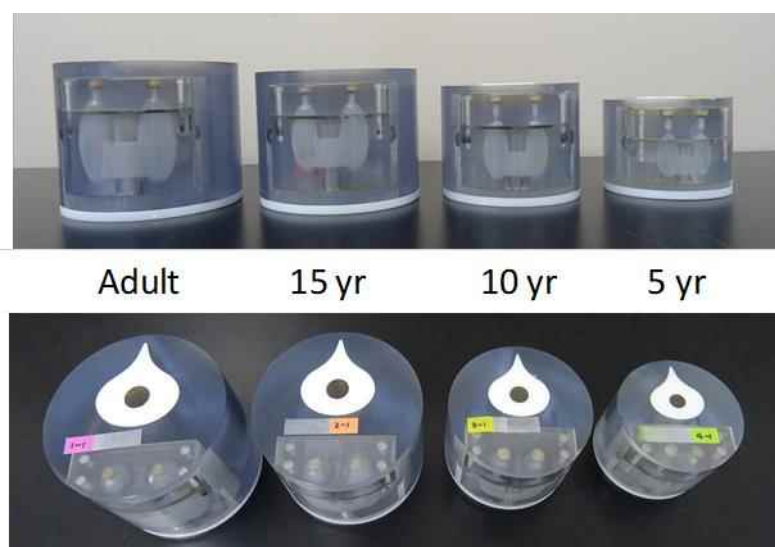


図 2 IRSN ファントム (左から大人, 15 歳児, 10 歳児, 5 歳児)



図3 IRSN ファントム測定位置ジオメトリー。図中の番号0～7がg-0～g-7に対応する。

表1 IRSN ファントム甲状腺容器中の $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{131}\text{I}$ 放射能

	甲状腺容器容積 [ $\text{cm}^3$ ]	甲状腺容器中 $^{133}\text{Ba}$ 放射能[Bq] (2018/07/25時点)	甲状腺容器中 $^{131}\text{I}$ 放射能[Bq] (2018/10/19時点)
大人	19.05	4.96E+03	4.16E+04
15歳児	11.4	4.75E+03	4.09E+04
10歳児	7.5	5.01E+03	4.19E+04
5歳児	3.2	4.90E+03	4.12E+04

### c. 測定

図4に例として1-inch-NaI検出器, 1.5-inch CeBr検出器, NaI(Tl)サーベイメータによるIRSNファントム測定の様子を示す。NaI検出器及び1.5-inch CeBr検出器に関しては, g-1位置で, 検出器表面-ファントム表面距離(D)を0, 0.5, 1 cmとした場合の測定を行い, 得られた波高分布の364 keVピーク( $^{131}\text{I}$ )から正味計数率を求め, 測定時の甲状腺容器中 $^{131}\text{I}$ 放射能から効率(Bq/cps)を算出し, 応答-甲状腺中ヨウ素放射エネルギー換算係数の評価とした。

NaI(Tl)サーベイメータに関しては, g-1位置で, プローブ表面-ファントム表面距離(D)を0, 0.5, 1, 3, 5 cmとした場合の周辺線量当量率測定( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )及び計数率測定(cps)を実施し, 測定時の甲状腺容器中 $^{131}\text{I}$ 放射能から( $\text{kBq}/(\mu\text{Sv h}^{-1})$ ), 及び(Bq/cps)を算出し, 応答-甲状腺中ヨウ素放射エネルギー換算係数の評価とした。



図4 既存検出器によるIRSNファントム測定の様子。

左から1-inch NaI検出器, 1.5-inch CeBr検出器, NaI(Tl)サーベイメータを示す。

d. 結果

図5に1-inch NaI 検出器, 1.5-inch NaI 検出器, 2-inch NaI 検出器, 1.5-inch CeBr 検出器で得られた,  $^{131}\text{I}$  から放出されるガンマ線の波高分布の例を示す。

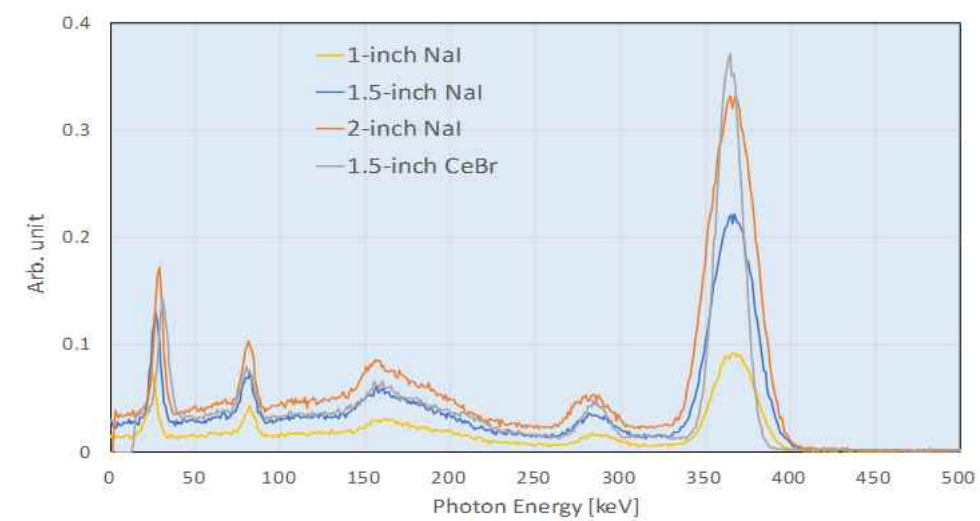


図5 1-inch NaI, 1.5-inch NaI, 2-inch NaI, 1.5-inch CeBr 検出器で得られた  $^{131}\text{I}$  波高分布

表2～5に, 1inch-NaI 検出器, 1.5inch-NaI 検出器, 2inch-NaI 検出器, 1.5-inch CeBr 検出器に対する年齢別の応答－甲状腺中ヨウ素放射エネルギー換算係数 (Bq/cps) を表す。

表2 年齢別の応答－甲状腺中ヨウ素放射エネルギー換算係数 (1-inch NaI)

1-inch NaI検出器		応答－甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 放射エネルギー換算係数(Bq/cps)		
ファントムと検出器の距離 : D		0cm	0.5cm	1cm
IRSNファントム 年齢	大人	131	177	220
	15歳児	108	142	181
	10歳児	98	132	172
	5歳児	77	109	146

表3 年齢別の応答－甲状腺中ヨウ素放射エネルギー換算係数 (1.5-inch NaI)

1.5-inch NaI検出器		応答－甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 放射エネルギー換算係数(Bq/cps)		
ファントムと検出器の距離 : D		0cm	0.5cm	1cm
IRSNファントム 年齢	大人	50	62	77
	15歳児	41	54	67
	10歳児	38	49	64
	5歳児	40	53	69

表4 年齢別の応答—甲状腺中ヨウ素放射能換算係数 (2-inch NaI)

2-inch NaI検出器		応答—甲状腺中 <sup>131</sup> I放射能換算係数(Bq/cps)		
ファントムと検出器の距離: D		0cm	0.5cm	1cm
IRSNファントム 年齢	大人	30	35	43
	15歳児	25	31	38
	10歳児	22	28	35
	5歳児	19	25	31

表5 年齢別の応答—甲状腺中ヨウ素放射能換算係数 (1.5-inch CeBr)

1.5-inch CeBr検出器		応答—甲状腺中 <sup>131</sup> I放射能換算係数(Bq/cps)		
ファントムと検出器の距離: D		0cm	0.5cm	1cm
IRSNファントム 年齢	大人	41	52	65
	15歳児	34	44	55
	10歳児	31	41	52
	5歳児	25	34	44

e. NaI(Tl)サーベイメータの換算係数評価結果

<sup>133</sup>Ba 線源を設置した IRSN ファントムを用いて、g-1 から g-7 の7か所の測定位置に対して、NaI(Tl)サーベイメータのプロープ表面—ファントム表面間距離 D (cm) を 0, 0.5, 1, 3, 5 と変えて実施した測定から得られた、NaI(Tl)サーベイメータの周辺線量当量率—甲状腺中<sup>133</sup>Ba 放射能換算係数の一覧を表6~9に示す。

<sup>131</sup>I 線源を設置した IRSN ファントムを用いて、g-1 の測定位置に対して、NaI(Tl)サーベイメータのプロープ表面—ファントム表面間距離 D (cm) を 0, 0.5 と変えて実施した測定から得られた、NaI(Tl)サーベイメータの周辺線量当量率—甲状腺中<sup>131</sup>I 放射能換算係数 (kBq / (μSv h<sup>-1</sup>)), 及び計数率—甲状腺中<sup>131</sup>I 放射能換算係数 (Bq/cps) を表10に示す。

表6 周辺線量当量率—甲状腺中<sup>133</sup>Ba 放射能換算係数 (IRSN ファントム 大人)

D (cm)	<sup>133</sup> Ba 放射能換算係数 kBq / (μSv h <sup>-1</sup> )						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	20	20	23	21	22	26	31
0.5	26	26	29	26	27	30	35
1	32	30	32	32	32	35	40
3	59	60	61	59	66	72	66
5	91	102	91	98	107	102	91

表 7 周辺線量当量率—甲状腺中  $^{133}\text{Ba}$  放射能換算係数 (IRSN ファントム 15 歳児)

D (cm)	$^{133}\text{Ba}$ 放射能換算係数 $\text{kBq} / (\mu\text{Sv h}^{-1})$						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	16	16	17	18	18	22	23
0.5	20	21	22	22	22	26	27
1	24	25	28	28	29	31	33
3	51	53	52	53	55	60	64
5	87	81	78	94	90	81	98

表 8 周辺線量当量率—甲状腺中  $^{133}\text{Ba}$  放射能換算係数 (IRSN ファントム 10 歳児)

D (cm)	$^{133}\text{Ba}$ 放射能換算係数 $\text{kBq} / (\mu\text{Sv h}^{-1})$						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	15	15	16	17	16	18	25
0.5	20	20	21	22	21	23	29
1	26	26	26	28	28	29	34
3	59	58	55	64	54	58	62
5	95	99	92	99	103	103	99

表 9 周辺線量当量率—甲状腺中  $^{133}\text{Ba}$  放射能換算係数 (IRSN ファントム 5 歳児)

D (cm)	$^{133}\text{Ba}$ 放射能換算係数 $\text{kBq} / (\mu\text{Sv h}^{-1})$						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	12	12	13	13	14	14	20
0.5	17	16	18	18	19	18	25
1	22	23	24	25	25	23	30
3	52	49	53	51	54	56	61
5	90	93	90	87	87	87	101

表 10 周辺線量当量率及び計数率—甲状腺中  $^{131}\text{I}$  放射能換算係数

線源核種	表面距離 D	$\text{kBq} / (\mu\text{Sv h}^{-1})$			
		Adult	15y	10y	5y
$^{131}\text{I}$	0cm	24	21	19	16
	0.5cm	30	27	25	21
		$\text{Bq/cps}$			
	0cm	20	16	15	12
	0.5cm	26	20	20	17



### ③ 遮へい体仕様の検討

甲状腺簡易検査用として用いられている NaI(Tl)サーベイメータにおいて、 $^{137}\text{Cs}$  成分によるバックグラウンドの高い場での甲状腺測定を行う場合を想定して、放射線輸送コード (MCNP) による鉛遮へい体による  $^{137}\text{Cs}$  の遮へい効果を確認した。図 6 は、計算体系を示す。図に示すように、計算では、 $^{137}\text{Cs}$  によるバックグラウンド成分をできるだけ均一に分布している場を想定するために、NaI(Tl)サーベイメータと  $^{133}\text{Ba}$  線源がセットされた甲状腺ファントム (ORINS ファントム) を  $^{137}\text{Cs}$  線源から 200cm 離れた場所に設置して、鉛遮へい体がない場合 (0mm)、鉛遮へい体の厚さが 0.5mm, 1mm, 2mm での NaI(Tl)サーベイメータの  $^{133}\text{Ba}$  からの線量率及び  $^{137}\text{Cs}$  からの線量率を評価・比較した。ここで、 $^{133}\text{Ba}$  の線量率は甲状腺からの測定値を示している。表 11 は鉛遮へい体の厚さ毎の 1kBq 当たりの NaI(Tl)サーベイメータでの線量率を示しており、鉛遮へい体がない場合 (0mm) に対して鉛遮へい体 0.5mm, 1mm, 2mm でそれぞれ 8%, 10%, 18%の線量率が減少している。一方、鉛遮へい体による影響が甲状腺からの  $^{133}\text{Ba}$  の線量率への影響もあり、鉛遮へい体がない場合と比べ、鉛遮へい体 2mm では、約 5%程度と線量率の減衰が確認できた。これは甲状腺から放出された  $^{133}\text{Ba}$  成分の一部 (NaI(Tl)サーベイメータの側面への入射成分) が鉛遮へい体により遮へいされたものと思われる。

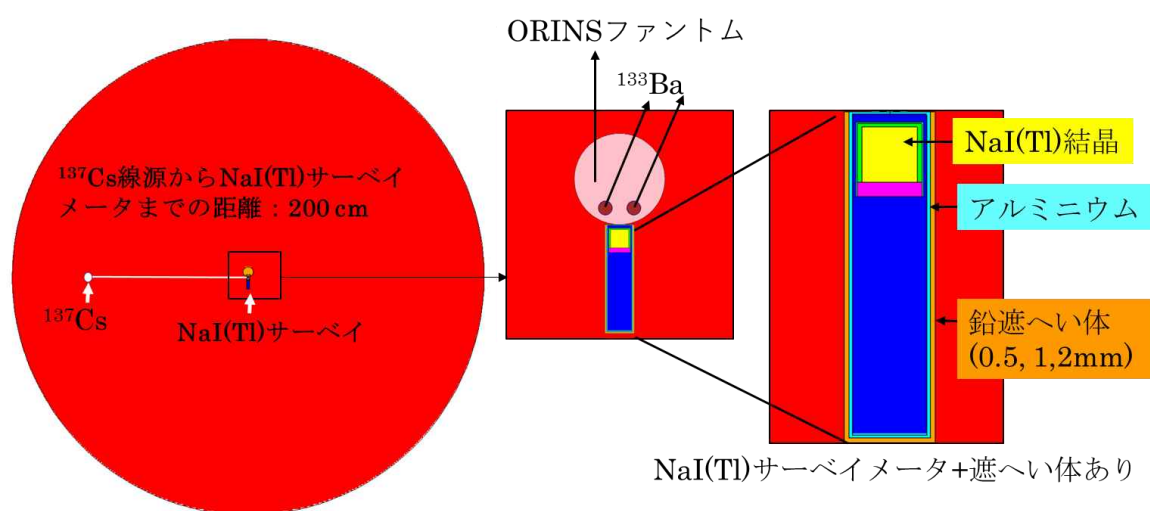


図 6 計算体系

表 11 鉛遮へい体の厚さ毎の 1kBq 当たりの NaI(Tl)サーベイメータでの線量率

	Pb:0mm		Pb:0.5mm		Pb:1.0mm		Pb:2.0mm	
	$^{133}\text{Ba}$ (ORINS)	$^{137}\text{Cs}$ (BG)	$^{133}\text{Ba}$ (ORINS)	$^{137}\text{Cs}$ (BG)	$^{133}\text{Ba}$ (ORINS)	$^{137}\text{Cs}$ (BG)	$^{133}\text{Ba}$ (ORINS)	$^{137}\text{Cs}$ (BG)
( $\mu\text{Sv/h}$ )/kBq	2.55E-02	2.58E-05	2.49E-02	2.37E-05	2.45E-02	2.33E-05	2.42E-02	2.12E-05
Pb:0mmに対する比			98%	92%	96%	90%	95%	82%

来年度は引き続き、本計算結果の妥当性を量研の<sup>137</sup>Cs照射場の試験で確認を行う予定である。そして、その結果をもって、バックグラウンドの高い場での測定においては、測定対象及び測定ジオメトリ（新モニタを含む検出器と頸部との距離、検出器の有効測定視野等）を考慮した遮へい体仕様の検討を引き続き行う予定である。

#### ④ 甲状腺簡易検査マニュアル

甲状腺簡易検査用として用いられているNaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査マニュアルを作成した。本マニュアルは付録6-①に添付する。

#### ⑤ ホールボディカウンタ（FASTSCAN）の甲状腺中ヨウ素の応答特性評価

原子力災害時における公衆被ばくにおいて問題となる放射性ヨウ素（特に<sup>131</sup>I）は物理学的半減期が短いことから、甲状腺内部被ばく検査の対象者が多数に及ぶ場合には別の手段を用いる必要がある。そこで、福島原発事故以降に福島県を中心に数多く導入されたホールボディカウンタ（FASTSCAN）を用いた<sup>131</sup>Iの測定について予備的検討を行った。本研究では、今後の原子力災害対応において、現在、福島県に設置されている車載型FASTSCANの活用を想定して、FASTSCANを検討対象とした。

FASTSCANは、シャドーシールドを採用し、周辺環境からの外部放射線が検出器に直接入射しない構造になっている。FASTSCANには、40.6 cm (H) × 12.7 cm (W) × 7.6 cm (T)の結晶サイズを有するNaI(Tl)シンチレーション検出器2式が、被検者の前面に位置する支柱内に収められている。甲状腺中<sup>131</sup>Iに対するFASTSCANの応答は、支柱部分及び年齢別数学ファントム（5歳児：109cm, 10歳児：139.8cm, 15歳児：168.1cm, 大人：178.6cm）を組み込んだシミュレーションモデルを作成し、放射線輸送コード（MCNP）を用いて評価した。計算の妥当性は物理ファントムを用いたベンチマーク実験との<sup>137</sup>Cs等の全吸収ピーク計数率の比較により行い、概ね10%程度内の再現性があることを確認した。

図7にシミュレーションモデルを示す。同図に示すように、数学ファントムは頭部を水平した状態と上向きに傾斜した状態の2通り、5歳児と10歳児については高さ30cmの台に乗った想定での計算、合計12モデルの計算を行った。図8及び図9に各モデルから得られた計算結果を示す。図8に示すのは、各モデルで得られた甲状腺中<sup>131</sup>Iに対する全吸収ピーク効率（2検出器の合計）の結果である。同図から5歳児と10歳児については、15歳児と大人に比べて検出感度が低くなる。これを解消するために、30cmの台上で測定した場合を想定した場合、10歳児については検出感度が向上したものの、5歳児については逆に減少した。これは、図7の頭部傾斜から分かるように、5歳児モデルの甲状腺位置の高さが2検出器間の隙間にあるためである。頭部傾斜による影響は5歳児と10歳児において見られたが、実用上はほとんど問題ないものと思われる。図9に示すのは、図8の結果を上下の検出器毎に表示したものである。身長が高くなるにつれて上検出器の検出感度は増加し、逆に下検出器の検出感度は低下する。甲状腺と2検出器の位置関係を見れば当然の結果であるが、2検出器の検

出感度の違いは身体汚染による偽計数の判断に有用である。福島県内での住民を対象とした WBC 測定では、身長 130 cm 以下の被検者については高さ 30 cm の台に乗せて測定する運用になっているが、これは全身に均一に分布するセシウム ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) を考慮したものであり、ヨウ素については別途検討が必要と思われる。ただし、本結果から、5 歳児及び 10 歳児の検出感度は、大人に比べて約 30% の低下を見込む程度であり、適切な補正を行えば FASTSCAN は甲状腺中  $^{131}\text{I}$  の測定にも有用であり、さらにセシウムとの同時定量により、後の線量再構築に重要となるヨウ素/セシウム比が評価できる強みがある。

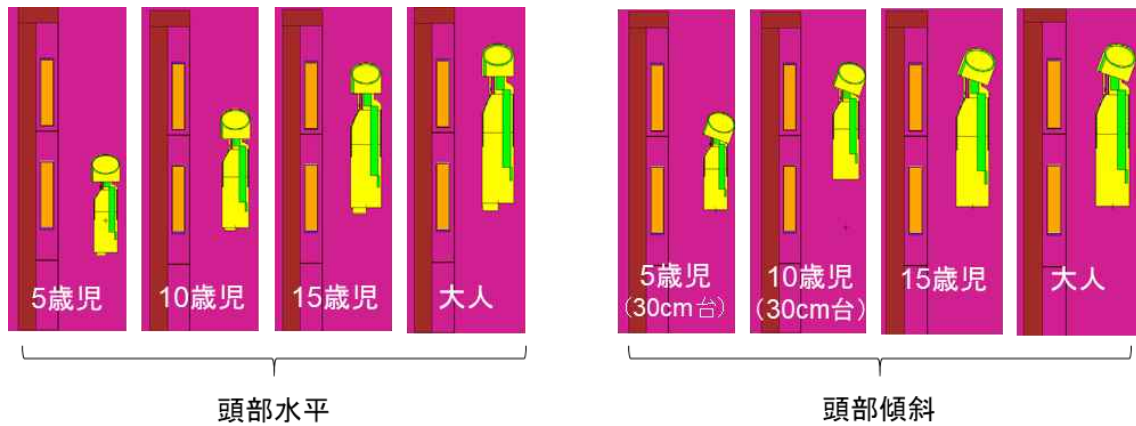


図7 甲状腺中  $^{131}\text{I}$  に対する FASTSCAN 応答評価のためのシミュレーションモデル

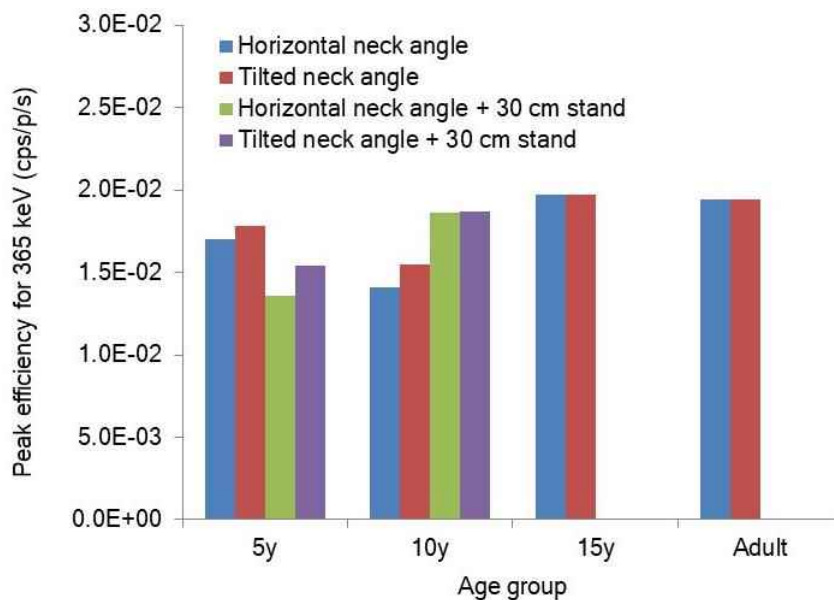


図8 甲状腺中  $^{131}\text{I}$  に対する全吸収ピーク効率 (2 検出器の合計)

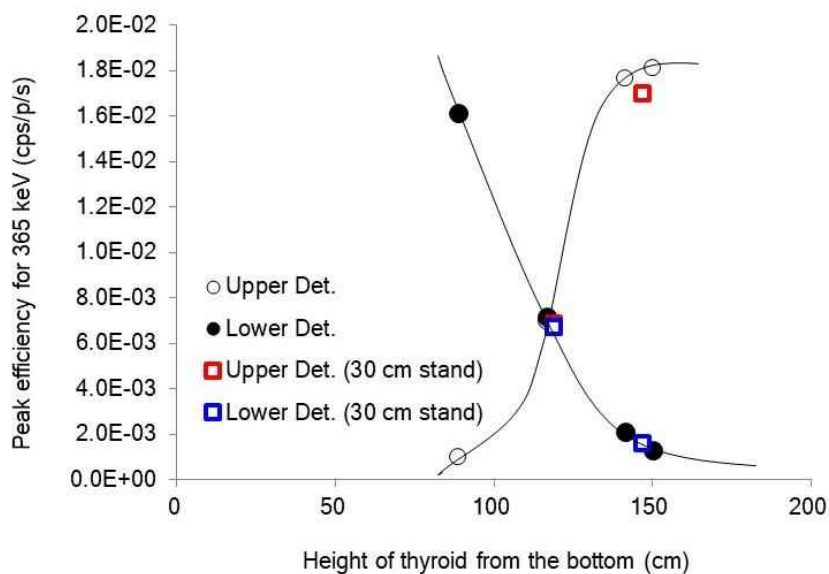


図9 甲状腺中  $^{131}\text{I}$  に対する全吸収ピーク効率 (各検出器)

(○, ● : 頭部水平 (5歳児, 10歳児, 15歳児, 大人), □, ■ : 頭部傾斜 (5歳児, 10歳児))

#### 4.3 新モニタの試作及び試験

##### ① 新モニタ (大人用) の試作及び固定治具

本研究では, 新しく開発する甲状腺モニタの検出素子として,  $\text{Ce:Gd}_3(\text{Al,Ga})_5\text{O}_{12}$  (以下,  $\text{Ce:GAGG}$ ) を選定しており, 平成 29 年度は検出素子 8 台で構成された子供用新モニタを試作した。引き続き, 今年度は, 大人の甲状腺大きさを考慮して,  $\text{Ce:GAGG}$  検出素子 12 台 (5640-HRGAGG1C1C1C 型, クリアパルス製) で構成された大人用新モニタを試作した。図 10 は今回試作した大人用新モニタの概観であり,  $\text{Ce:GAGG}$  結晶は 1cm 角の立方体で SiPM (Silicon Photomultiplier) と光学接合され, 鉄製ケーシングに納められている。各検出素子は信号処理モジュール (80416 型 クリアパルス製) へ接続され, SiPM のデータ収集及びバイアス電圧の供給がなされる。また, 今年度試作機では, 検出素子のケーシングの光漏洩の対策や信号ケーブルの強度向上を図った。現在, 大人用新モニタの特性試験を行っており, 次年度は新モニタ (子供用及び大人用) の測定対象年齢を対象とした換算係数をまとめる予定である。



図 10 試作した大人用新モニタの概観

本研究で試作した子供用及び大人用新モニタはそれぞれ 8 台及び 12 台の Ce:GAGG で構成されており、これらの検出素子の固定治具は応答特性試験結果を参考に Ce:GAGG 検出素子の配置を決めてから各々の新モニタの固定治具を作成した。図 11 は今回試作した新モニタの固定治具の概観図及び試作機を、図 12 は固定治具に固定した新モニタによる測定様子（被検者：大人女性）を示す。しかしながら、今年度試作した固定治具は IRSN ファントムの 10 歳児及び大人ファントムを用いて製作されていて、実際の測定体勢等において検討する必要がある。また、大人用新モニタにおいては、応答特性試験を引き続き行う予定であり、本研究では、来年度引き続き、試作機を用いた測定体勢の検討を行い、より被検者に負担をかけず、より効率よく甲状腺モニタリングできるように、特に小児（乳幼児を含む）を対象とした甲状腺測定に関して助言を得ながら、被検者の年齢、体型や測定体勢等を考慮した実用性のある実機を製作する予定である。

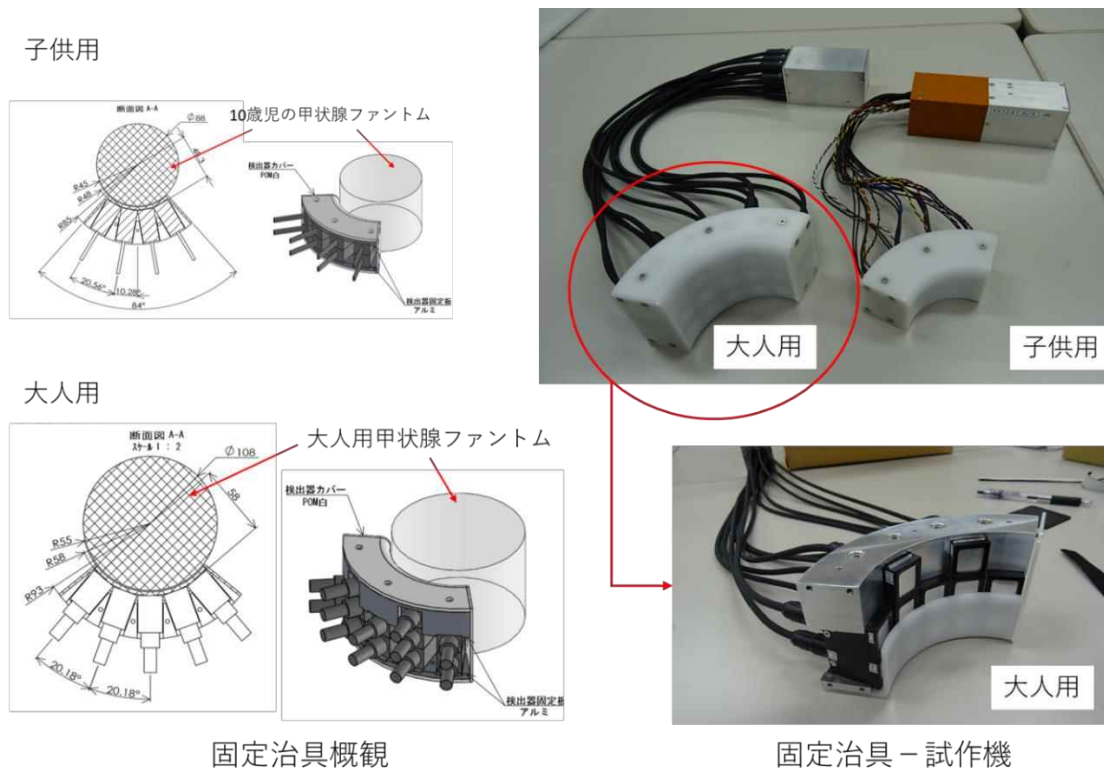


図 11 新モニタ用固定治具の概観図及び試作機

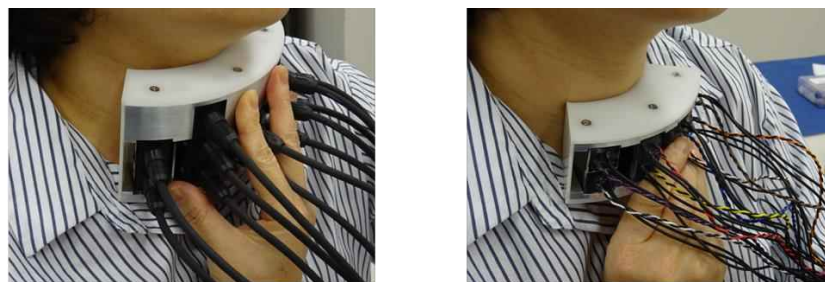


図 12 固定治具に固定した新モニタによる測定様子

## ② 応答特性試験

### (1) 検出素子の基本特性試験

大人用新モニタ試作機は 12 台の検出素子，子供用新モニタ試作機は 8 台の検出素子から構成されている。新モニタの予備試験として， $^{133}\text{Ba}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  ポイント線源を用いて個々の検出素子の動作点検を行った。図 13 は子供用 8 検出素子で測定した  $^{133}\text{Ba}$  ガンマ線の波高分布，図 14 は子供用 8 検出素子で測定した  $^{137}\text{Cs}$  ガンマ線の波高分布である。同じく，図 15 は大人用 12 検出素子で測定した  $^{133}\text{Ba}$  ガンマ線の波高分布，図 16 は大人用 12 検出素子で測定した  $^{137}\text{Cs}$  ガンマ線の波高分布である。子供用 8 検出素子，大人用 12 検出素子とも，特段，異常な挙動を示す検出素子が無いことを確認した。また，温度安定性についても長時間測定試験により良好であることを確認した。

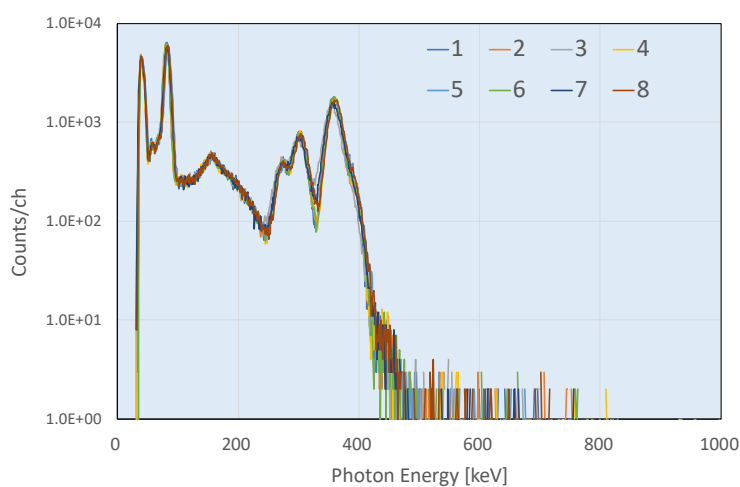


図 13 子供用新モニタ 8 検出素子で測定した  $^{133}\text{Ba}$  ポイント線源の波高分布

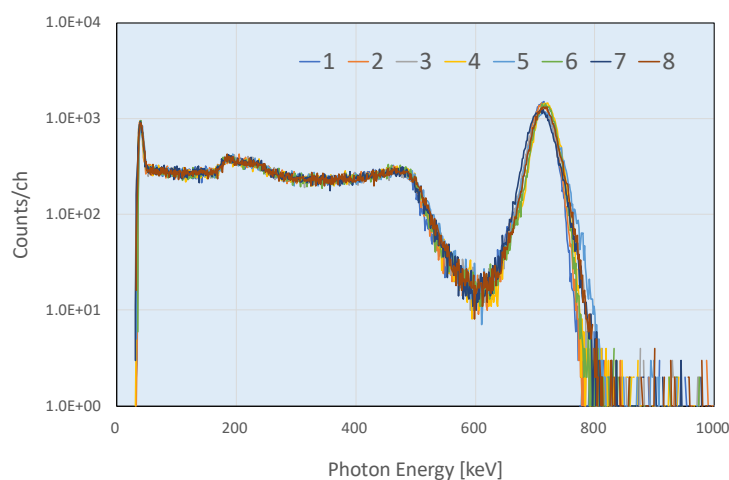


図 14 子供用新モニタ 8 検出素子で測定した  $^{137}\text{Cs}$  ポイント線源の波高分布

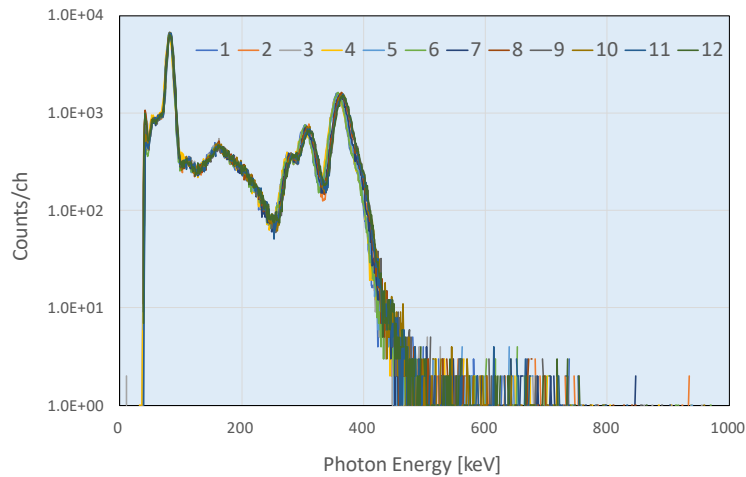


図 15 大人用新モニタ 12 検出素子で測定した  $^{133}\text{Ba}$  ポイント線源の波高分布

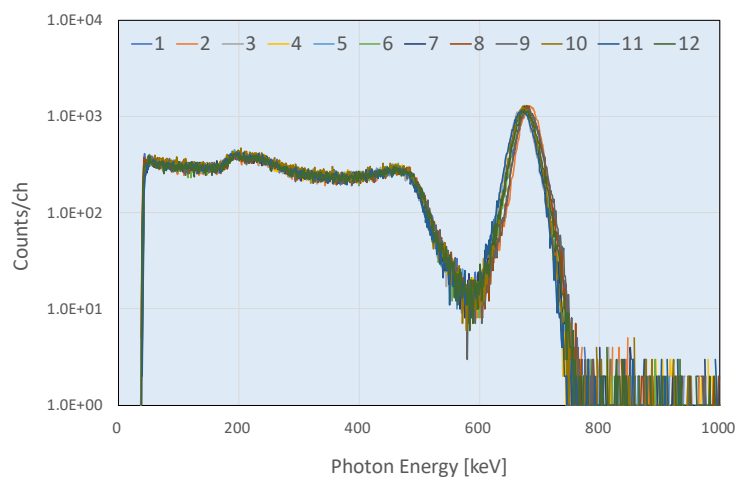


図 16 大人用新モニタ 12 検出素子で測定した  $^{137}\text{Cs}$  ポイント線源の波高分布

## (2) 新モニタ試作機の検出素子配置の検討

本事業で開発する新モニタは、頸部（甲状腺部）を効率よく測定可能な配置に小型の検出素子を構成することにより、従来型の  $\gamma$  線スペクトロメータでは困難であった小児甲状腺モニタリングにおいて、測定ジオメトリの最適化及び測定効率の向上を目指している。ここでは、8 台の検出素子で構成される子供用試作機を用いて、5 歳から大人の甲状腺測定に対応する想定で、検出素子配置の検討を行い、次の 2 種類の配置を考案した。

- 配置 1：甲状腺形状型

甲状腺は、2 葉が峡部でつながっている形状であることから、3・2・3 段で構成される配置を検討した（図 17）

- 配置 2：2×4 密着型（便宜的に図中等で 2×4c と表記する）

2 段の検出素子を水平に 4 組並べた 2×4 型、さらに測定の効率を上げるため頸部に密着させる 2×4 密着型を検討した（図 18）



図 17 配置 1 (甲状腺形状型)



図 18 配置 2 (2×4 密着型)

### (3) 配置の検証

IRSN ファントムを用いて配置 1, 配置 2 の実測検証を行った。また, 合計の結晶容量が同程度である 1-inch NaI 検出器との比較を行った。図 19 に 1-inch NaI 検出器と子供用新モニタを示す。図 20 に配置 1 による 5 歳児ファントムと大人ファントムの測定の様子, 図 21 に配置 2 による 5 歳児ファントムと大人ファントムの測定の様子をそれぞれ示す。図 22 に配置 1 (凹) 及び配置 2 (2×4c) で取得した  $^{131}\text{I}$  波高分布の例を示す。また, 図 23 に配置 2 (2×4c) と 1-inch NaI 検出器で得られた  $^{131}\text{I}$  波高分布を示す。これらの図から, 配置 1 よりも配置 2 のピークが大きく, また 1-inch NaI 検出器よりも配置 2 のピークが大きい様子が判る。

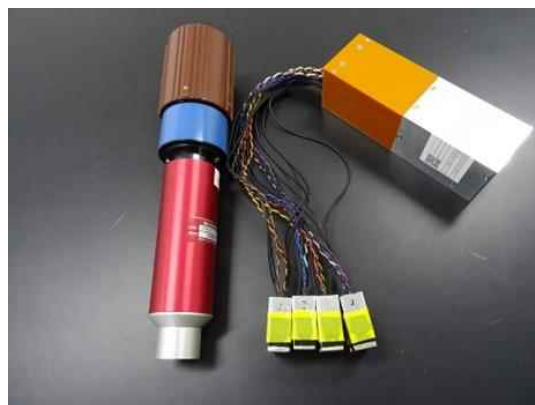


図 19 1-inch NaI 検出器と新モニタ試作機

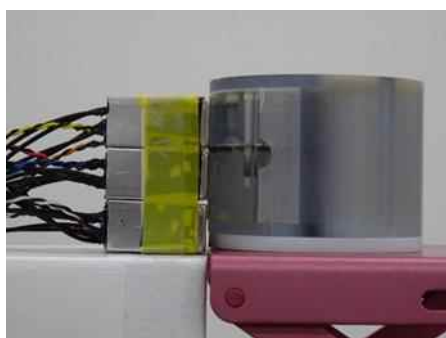


図 20 配置 1 による 5 歳児ファントム (左) 及び大人ファントム (右) 測定の様子



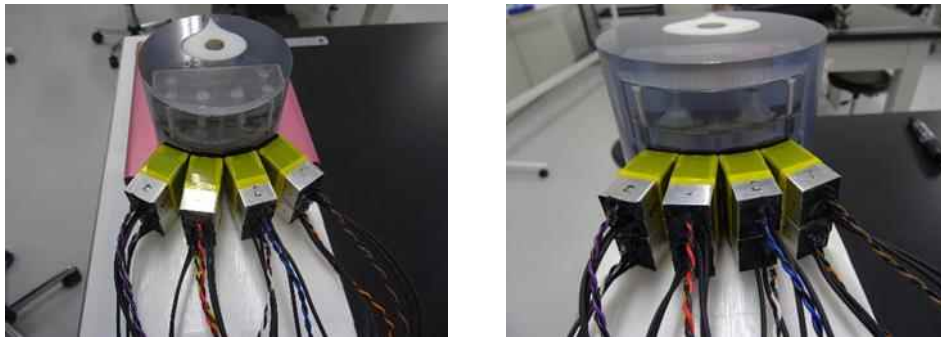


図 21 配置 2 による 5 歳児ファントム (左) 及び大人ファントム (右) 測定の様子

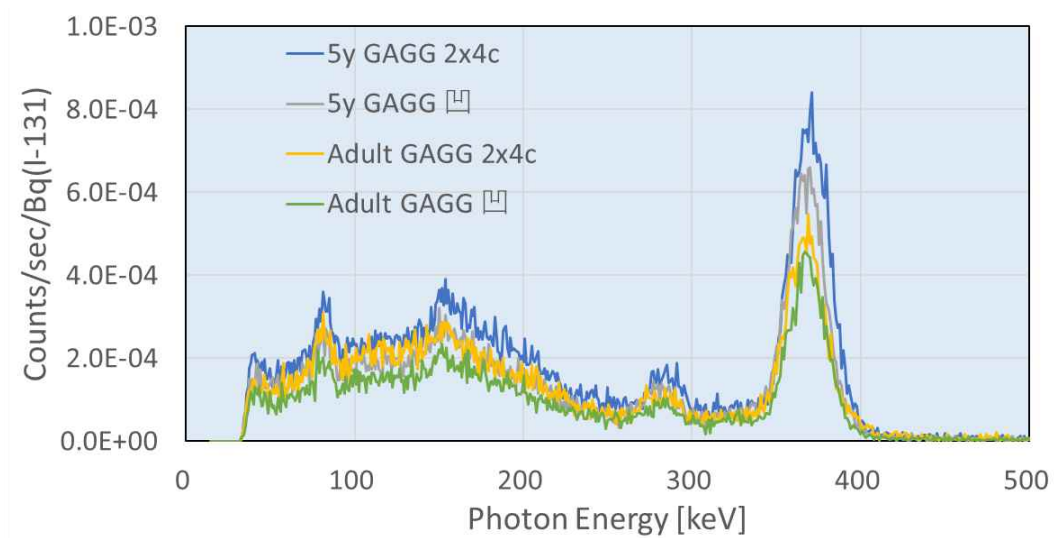


図 22 配置 1 (□) 及び配置 2 (2×4c) で取得した  $^{131}\text{I}$  波高分布の例

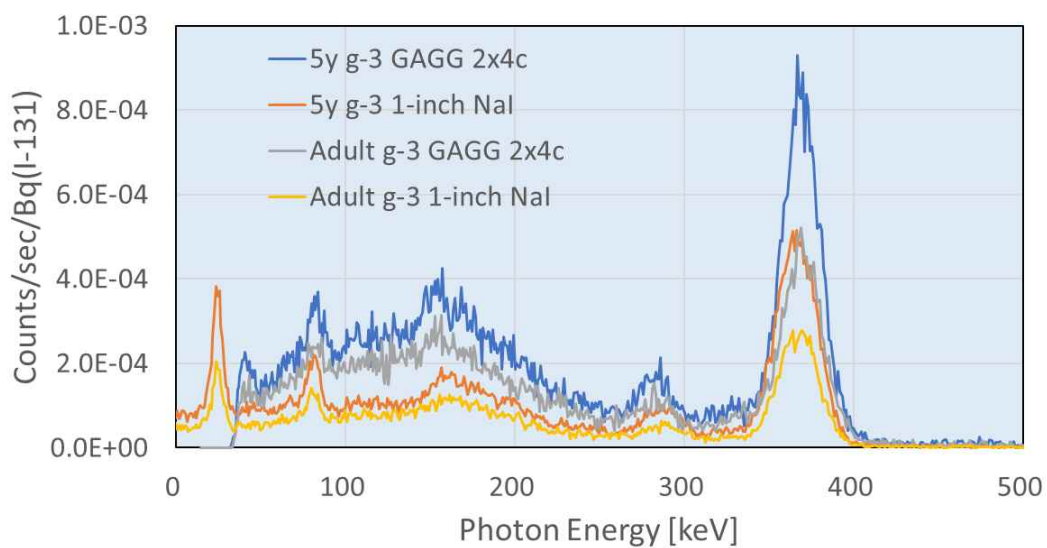


図 23 配置 2 (2×4c) と 1-inch NaI 検出器で得られた  $^{131}\text{I}$  波高分布の比較

表 12 には、新モニタ試作機（配置 1，配置 2，2×4 配置）により IRSN ファントムを用いて、様々な測定位置ジオメトリにおいて測定した結果の一覧を示す。また、表 13 に、新モニタ試作機の配置 1 と配置 2 及び 1-inch NaI 検出器の IRSN ファントムを用いた特性試験の結果のまとめを示す。配置 1，配置 2 とも既存の 1-inch NaI 検出器よりも良好な検出下限値を示したが、さらに配置 1 と 2 を比較すると、配置 2 の方が良好であることが判った。以上の結果を参考に新モニタの固定治具を試作した。

表 12 新モニタによる測定結果一覧

GAGG配列	IRSNファントム	ジオメトリ	正味計数率1cpsあたりの <sup>131</sup> I放射能(Bq/cps)				
			0cm	0.5cm	1cm	3cm	5cm
凹	Adult	g-1	102	144	174	324	614
	15y		99	156	180	276	512
	10y		80	101	129	276	608
GAGG配列	IRSNファントム	距離	正味計数率1cpsあたりの <sup>131</sup> I放射能(Bq/cps)				
凹	Adult	0cm	g-0	g-0-1*	g-1	g-1-2**	g-2
			169	112	102	99	91
			g-2-3***	g-3	g-4	g-5	
			99	99	113	115	
GAGG配列	IRSNファントム	距離	正味計数率1cpsあたりの <sup>131</sup> I放射能(Bq/cps)				
凹	15y	0cm	g-0	g-1	g-1-2**	g-2	g-3
			98	99	79	80	81
			93	80	79	71	71
2x4	Adult	0cm		67	67	63	70
	15y		131	100	93	92	121
	10y		99	82	78	78	83
	5y-1		102	79	99	72	70
	5y-2		78	94	67	77	62
2x4c	Adult	0cm	104	80	63	76	80
	15y		141	87	78	115	91
	10y		83	71	68	92	73
	5y		82	65	71	75	70
			80	54	52	53	52

g-0-1\* : 測定位置 g-0 と g-1 の間, g-1-2\*\* : 測定位置 g-1 と g-2 の間, g-2-3\*\*\* : 測定位置 g-2 と g-3 の間

表 13 新モニタ試作機の特性試験まとめ

検出器	IRSNファントム	測定位置	計数効率 (Bq/cps)	MDA(Bq) 365keV
新配置1	成人	g-1	102	35
	15歳		99	34
	10歳		80	28
	5歳		67	23
新配置2	成人	g-1	87	31
	15歳		71	26
	10歳		65	23
	5歳		54	19
1-inch NaI	成人	g-1	132	45
	15歳		111	38
	10歳		103	35
	5歳		80	27

### ③ 新モニタ用ソフトウェアの改良

本研究で、平成 29 年度に製作した子供用新モニタ用として開発された制御・解析用波高スペクトル解析ソフトウェアは、制御できる Ce:GAGG の検出素子の 8 台と制限されていること、また、2 測定系での制御機能がないために、今年度は、子供用新モニタ用制御・解析用波高スペクトル解析ソフトウェアに大人用新モニタ (Ce:GAGG 検出素子：12 台) の制御ができるように、(1) 2 測定系の制御機能、(2) 簡易操作によるゲイン調整機能及び(3) 妨害核種を考慮した核種同定機能を追加した。今年度追加した機能について下記に述べており、より詳細な内容においては、付録 6-②に示す。

#### (1) 2 測定系の制御機能

子供用 (平成 29 年度製作) 及び大人用 (平成 30 年度製作) 新モニタの 2 測定系、それぞれを一台の PC システムで運用できるように 2 測定系制御可能機能を追加した。この機能の追加により、各測定系の切り替えをソフトウェア上で行うことが可能になり、測定系毎の諸データも区分して使用することができた。また、複数の Ce:GAGG 検出素子で構成されている新モニタの制御において、甲状腺モニタリング時の必要に応じて、接続できる検出素子を指定できる機能を追加した。本機能は、甲状腺検査時、使用しない検出素子について一連の処理をスキップするためのものである。図 24 は改良版ソフトウェアのユーザインタフェース画面を示しており、MCA 接続管理画面② (図 25) において、測定系の選択、検出素子の指定及び指定 MCA への接続を行うことができる。また、各測定系において、使用する検出素子の指定が可能であり、検出素子毎のスペクトルを保存するところで、指定した検出素子だけの合算スペクトルにより動的な合算効率を作成することができる。本機能により、甲状腺モニタリング中に検査対象者に合わせた新モニタの選択及び検出素子に指定を簡易にできる。

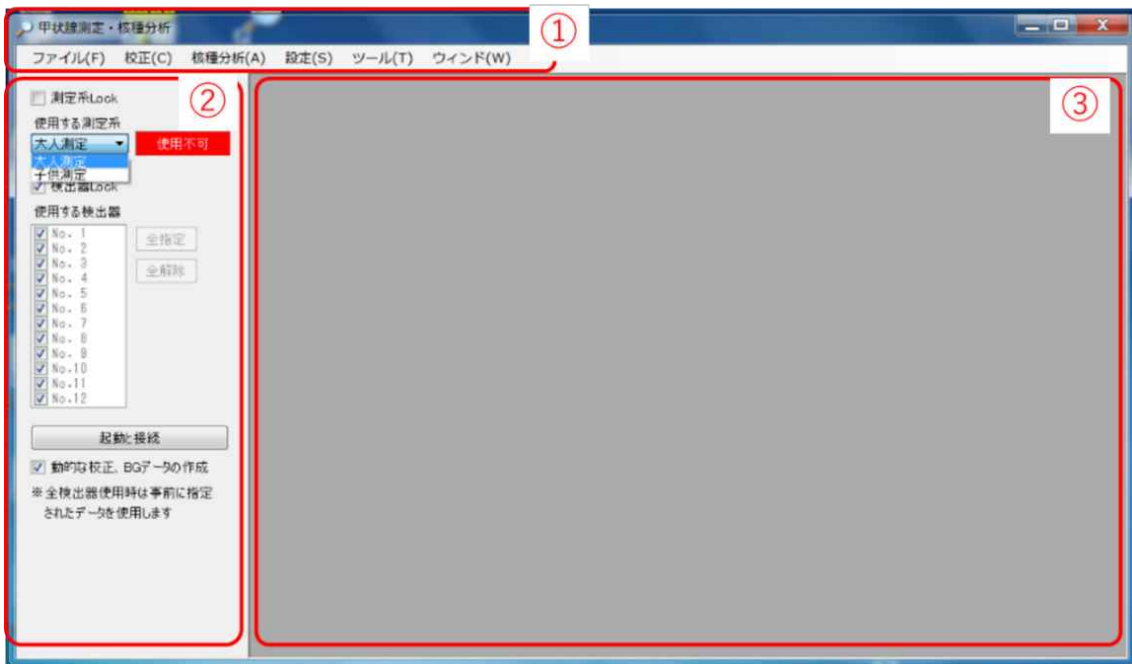


図 24 改良版ソフトウェアのユーザインタフェース画面

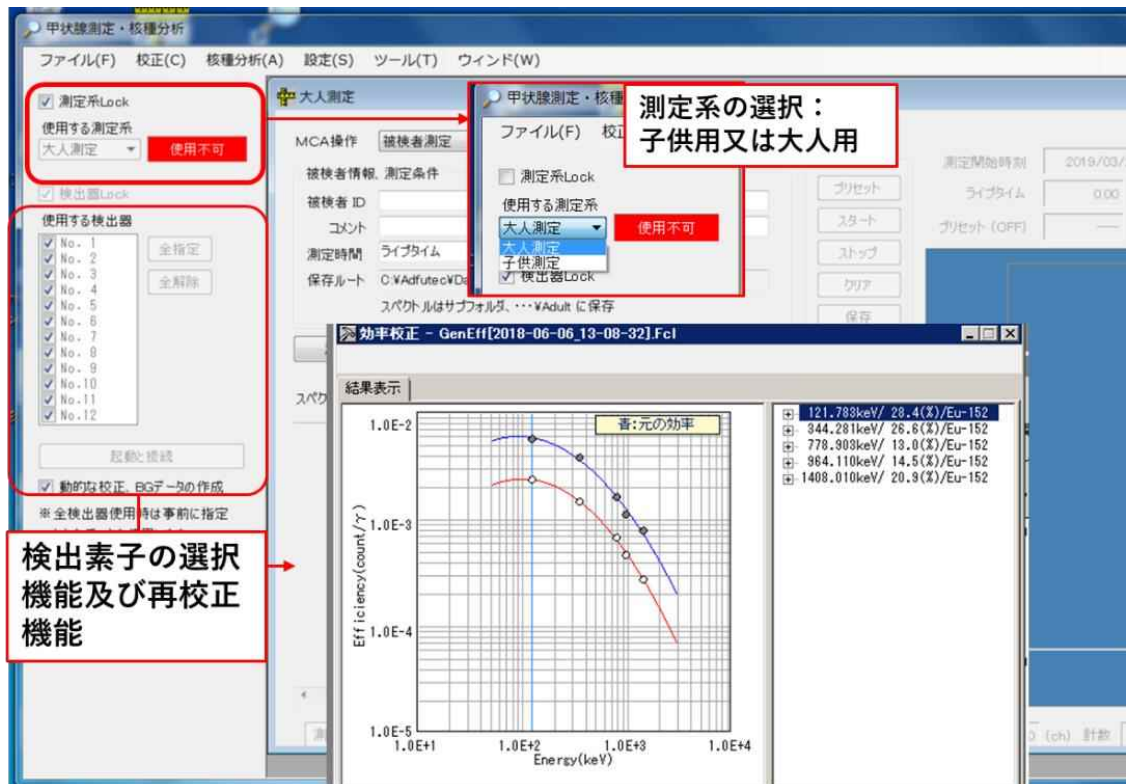


図 25 MCA 接続管理画面

## (2) 簡易操作によるゲイン調整機能

通常、Ce:GAGG 検出素子のゲイン調整は、電荷増幅器、波形整形増幅器及びアナログ→デジタル変換回路等が内蔵されている検出素子用信号処理モジュールで行う。しかし、甲状腺モニタリング時、急なピークドリフトが起きた場合、検出素子毎の調整を行うことは困難である。そこで、検出素子のバイアスの調整ではなく、ソフトウェア上で事前に校正しておいてエネルギー校正結果を用いて調整できる機能を追加した。まず、個々の検出素子のスペクトル処理を行って指定 $\gamma$ 線のピークを検出し、事前に指定したエネルギー校正からのドリフト量を計算、バイアス調整に必要なパラメータを計算して測定系のエレクトロニクスに送信して、すべての検出器のピーク位置が一定の範囲内に収まる処理を行う。この機能により、甲状腺モニタリング中に起こりえるピークドリフトを新モニタの検出素子個々のバイアス調整作業ではなく、ソフトウェア上で行う事で、調整にかかる時間を短縮できる。

## (3) 妨害核種を考慮した核種同定機能追加

核種同定時に妨害成分を考慮して誤同定を減少させる核種同定機能を追加した。例えば、甲状腺測定の対象として $^{131}\text{I}$ からの365keV（以下、 $^{131}\text{I}/365\text{keV}$ ）が想定されるが、近傍には $^{214}\text{Pb}$ からの352keV（以下、 $^{214}\text{Pb}/352\text{keV}$ ）が存在する。両者のエネルギー差は13keVであり、Ce:GAGGの分解能（ $\sim 4\% @ 662\text{keV}$ ）ならば両成分が存在する場合、既存プログラムに実装されている複合ピーク処理（非線形関数適合）による同定を行える。しかし、 $^{214}\text{Pb}/352\text{keV}$ だけが検出された場合、測定系に若干のドリフト等により $^{214}\text{Pb}/352\text{keV}$ は $^{131}\text{I}/365\text{keV}$ と同定させる可能性がある。そして、その結果、 $^{214}\text{Pb}/352\text{keV}$ のみの単独核種同定とならず、 $^{131}\text{I}/365\text{keV}$ と $^{214}\text{Pb}/352\text{keV}$ の多重同定する可能性がある。そこで、 $^{214}\text{Pb}/352\text{keV}$ の成分以外（295keV or 238keV）の同定を行い、その検出値が有意であるかどうかを判断する機能を追加した。本機能により、妨害核種による誤判定が起きる可能性をできるだけ抑えることができる。

## ④ 新モニタによるモニタリングの標準化

新モニタによるモニタリングの標準化を目指すため、福島原発事故での教訓を取り入るよう、簡易甲状腺スクリーニング研修に参加した地方自治体からの研修生を対象に甲状腺簡易検査実習において、甲状腺測定法を含む実習内容において意見聴取を行った。研修生からは、甲状腺測定法やスクリーニングレベルに関する内容以外に、バックグラウンド測定（大腿部の測定）の必要性、測定以外に測定基準及び記録方式の改良、検査時の記録用紙例を提示してほしいとの意見をいただいている。また、量研機構他に、甲状腺測定を必要とする事故の想定例、甲状腺測定以外に体表面検査法及び簡易除染法、甲状腺スクリーニングの際の衛生管理（甲状腺モニタの養生法）等についても取り組んでほしい要望があった。新モニタによるモニタリング標準化には、これらの内容をできるだけ考慮して行う予定である。

## 4.4 情報収集システムの構築

### ① 情報収集支援システムの構築

情報収集支援システムは、原子力災害時、甲状腺検査が実施される会場にて避難者から収集される情報及び検査会場での体表面検査、甲状腺測定結果を収集してデータベース化するためのもので、避難を伴う住民の被ばく線量評価や事故後の被ばく線量再構築に必要な情報をより効率的に散逸することなく収集することを目的としている。本システムの概要は、図 26 に示しており、甲状腺検査実施会場で収集された情報を避難者毎に登録及び管理するために、(1) 避難者情報データベース管理機能、(2) 測定結果データベース管理機能、(3) 避難情報データベース管理機能を有するシステムを構築した。下記に各機能について述べる。

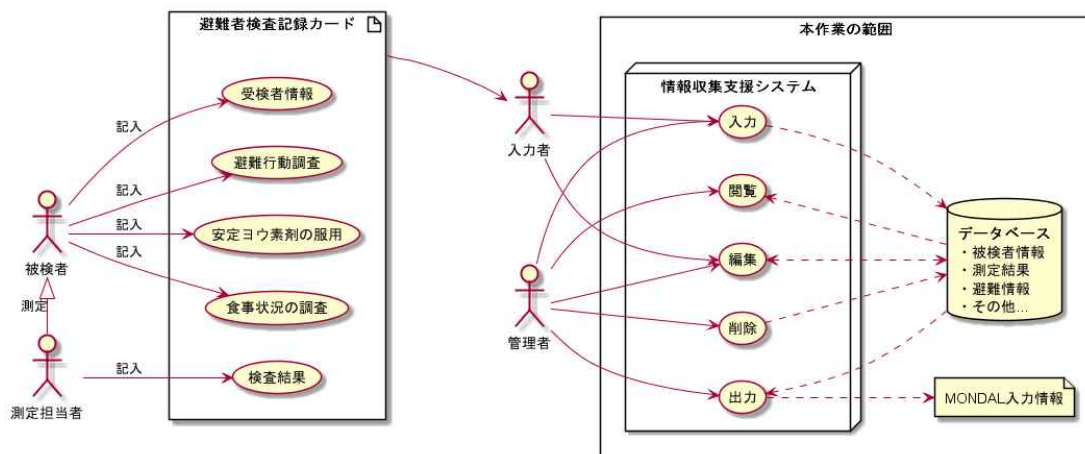


図 26 本システムの概要

#### (1) 避難者情報データベース管理機能

甲状腺検査実施会場で収集された情報をデータベースとして管理（登録、修正、閲覧等）する機能で、本データベースへ登録された受検者情報を各個人識別 ID で登録し、データベースに登録されている内容、個人登録情報、測定検査結果及び避難行動情報等を CSV ファイルとして一括出力し、MONDAL 等の線量評価ツールの入力情報として参照できる。図 27 はシステムに登録されている被検者の情報出力例を示しており、出力機能は管理者権限をもっているユーザーだけは使用できる。なお、図中の被検者については、架空人物の情報である。

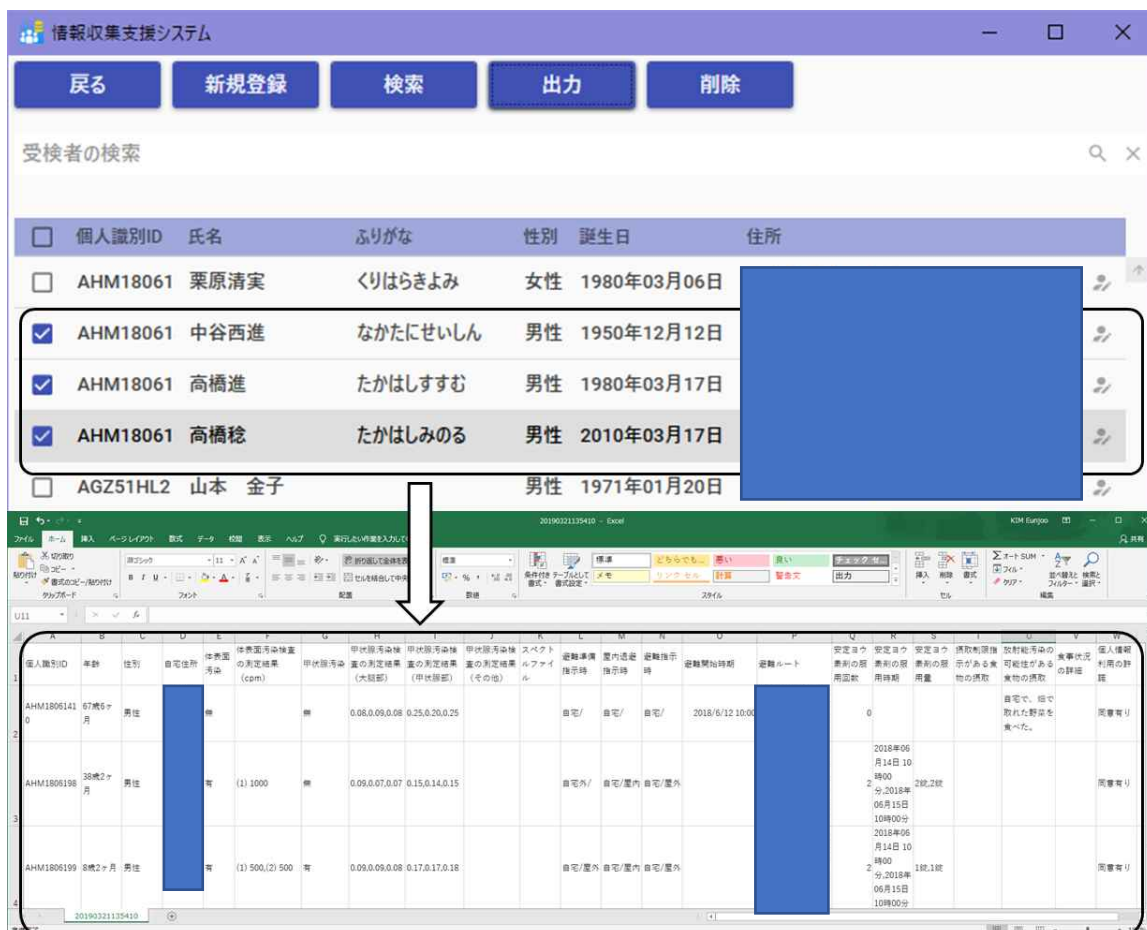


図 27 受検者情報内容の出力(CSV ファイル)例

## (2) 測定結果データベース管理機能

体表面検査や甲状腺測定等の測定結果を管理するための機能で、検査結果は受検者情報データと関連付けて管理することで、測定データの見直しや被ばく線量評価及び再解析ができる。図 28 は本システムに登録されている受検者情報と検査結果の登録されている例を示す。

情報収集支援システム

戻る 保存 出力

1. 受検者登録情報 2. 検査結果 3. 避難行動調査 4. 安定ヨウ素剤の服用 5. 食事状況調査 6. 個人情報利用の許諾

### 1. 受検者登録情報

作成日: 2018/06/15 検査場: [ ] 個人識別ID: AHM1806198

氏名: 高橋進 生年月日: 1980/03/17

ふりがな: たかはしすすむ 測定時の年齢: 38 歳 2 ヶ月

性別:  男性  女性  未記入  判読不可

住所: [ ]

### 2. 検査結果

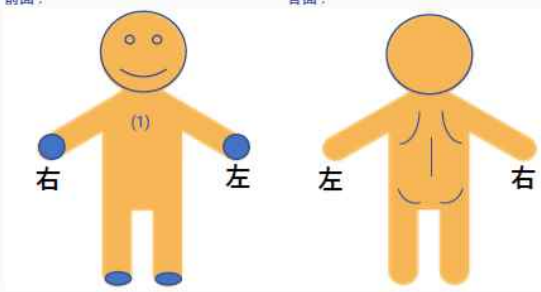
体表面汚染検査

測定器名: GMサーベイ 測定員: 栗原 記録員: 矢島

管理番号: [ ]

バックグラウンド (BG): 150 cpm 測定場所の空間線量率: 0.1  $\mu$ Sv/h

前面: 背面:



部位	グロス[cpm]	Net [cpm]
(1)	1000	850

PDFファイル: PDFファイルを選択してください。

表面汚染:  有  無  未記入  判読不可

除染実施:  済み  未実施  未記入  判読不可

甲状腺検査時汚染:  有  無  未記入  判読不可

#### 甲状腺測定

測定機器:  NaIサーベイメータ( $\mu$ Sv/h)  スペクトロメータ(計数値)  未記入  判読不可

測定器名: NaIサーベイ 測定員: 三井 測定に要した時間: [ ] 秒

管理番号: [ ] 記録員: 土屋 ファイル名: スペクトルファイルを選択してください。

測定場所の空間線量率: 0.1  $\mu$ Sv/h

No. 大腿部 (袖検者BG)	甲状腺部	その他: ピークチャンネル及び領域(ch)等
1	0.09	0.15
2	0.07	0.14
3	0.07	0.15

図 28 本システムへの登録例



### (3) 避難情報データベース管理機能

この機能は、入力担当者が避難情報を簡易に入力できるように支援する機能で、避難ルートデータ（避難開始場所、一時集結所、広域避難所等の場所の情報を避難順にまとめたデータ）の新規作成・データベースへの登録により、広域避難計画等に基づいて事前に整備した「避難場所データベース」から、避難場所名をキーにして該当するデータを検索・地図上に表示し、避難者調査記録カードに記載された情報と照会できる。また、「避難パターンデータ」は避難ルートデータに各避難場所への到着時刻、出発時刻の入力により、「避難パターンデータベース」として「受検者情報管理データベース」と関連付けられる。図30は、登録された避難ルートデータ（図29）を地図上に示したもので、避難開始場所（避難指示を受け取った場所）は、住所及び避難所の座標情報を検索し、該当するデータが見つかったときは、避難順番が分かる番号付きで地図上に表示し、避難者検査記録カードに避難記載された情報と照会できる機能を整備した。

情報収集支援システム

戻る 保存 出力

1. 受検者登録情報 2. 検査結果 3. 避難行動調査 4. 安定ヨウ素剤の服用 5. 食事状況調査 6. 個人情報利用の許諾

### 3. 避難行動調査

避難場所

避難準備指示: 自宅外 / 住所: \_\_\_\_\_ / 未記入

屋内退避指示: 自宅 / 住所: \_\_\_\_\_ / 屋内

避難指示: 自宅 / 住所: \_\_\_\_\_ / 屋外

避難開始

避難開始日時: \_\_\_\_\_

同行者

家族: 代表者の氏名 \_\_\_\_\_ 人数 \_\_\_\_\_ 1

その他: 代表者の氏名 \_\_\_\_\_ 人数 \_\_\_\_\_ 0

避難経路

No.	行動	移動手段	期間	場所 (移動元・先、滞在)
1	移動	車	2018/06/13 17:30~	
2	滞在		~	
3	移動	車	2018/06/14 09:00~2018/06/14 19:00	
4	滞在		~	
5	移動		2018/06/15 11:00~	
6	未記入		~	

避難経路の確認...

図29 登録された避難ルートデータ

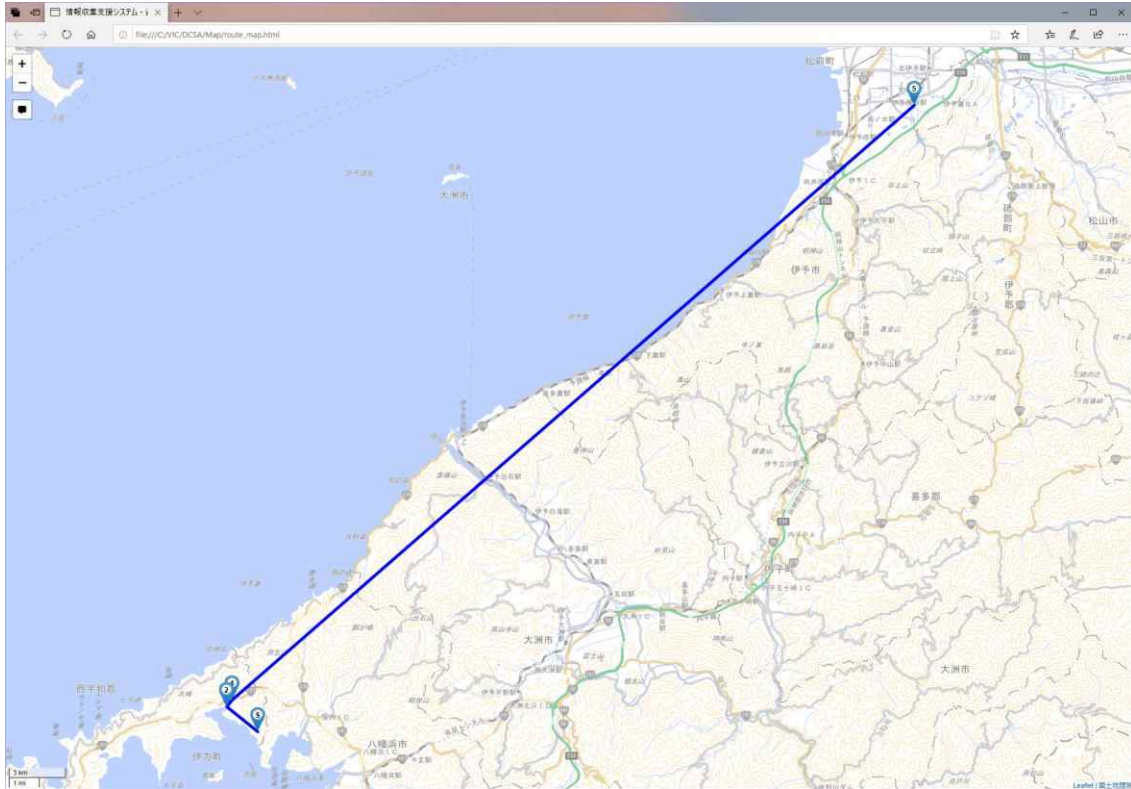


図 30 登録された避難ルートデータ（図 29）を地図上に示したものの

本研究では、情報収集支援システムの構築に伴い、甲状腺検査実施会場において、避難を伴う住民の被ばく線量を確実に評価するために必要とされる避難者情報（姓名、性別、生年月日、住所等）、検査会場での体表面検査、甲状腺測定結果、避難行動情報、安定ヨウ素剤の服用有無、食事状況に関する情報を収集するために、甲状腺検査実施会場にて使用する避難者の避難者検査記録カードを作成した(図 31)。図 31 は模擬避難者に対する検査記録カードの記入例であり、本システムの実用性を確認するために、模擬の記録カードを作成して、本システムの動作確認及び実用性等の確認を行った。

本システムの詳細は、付録 6-③で述べる。

作成日	20 年 6 月 15 日	個人識別ID	AHM1806198
検査場	原子力災害時 避難者検査記録カード		

1. 受検者登録情報

① 氏名 (ふりがな) 高橋 進 ② 生年月日 1980年 3 月 17日 ③ 性別 男・女

④ 住所

2. 検査結果 (測定担当者記入欄)

① 体表汚染検査  
測定器名: GM-1000 測定員: 栗原 記録員: 佐田  
管理番号: BG: 1572 cpm (測定場所の空間線量率: D:  $\mu\text{Sv/h}$ )

部位	測定結果 cpm
①	1000

表面汚染: ①・無  
除染実施: ②・未実施  
甲状腺検査時汚染: ①・有

② 甲状腺測定 簡易検査 (測定機器: NaIサーベイメータ( $\mu\text{Sv/h}$ )・スペクトロメータ(計数値))  
測定器名: NaIサーベイメータ 測定員: 三井 記録員: 佐田  
管理番号: 測定時間: (測定場所の空間線量率:  $0.1 \mu\text{Sv/h}$ ) スペクトル名:

結果	大腸部 (被検者BG)	甲状腺部	その他: ビークチャンネル及び領域(ch等)
1	0.09	0.15	
2	0.07	0.14	
3	0.07	0.15	

備考

3. 避難行動調査

① 避難準備指示、屋内退避指示、避難指示を受けた場所と、その時の屋内・屋外滞在の別をご記入ください。  
避難準備指示: 自宅・自宅外 (場所・住所) / 屋内・屋外  
屋内退避指示: 自宅・自宅外 (場所・住所) / 屋内・屋外  
避難指示: 自宅・自宅外 (場所・住所) / 屋内・屋外

② 避難を開始した日時をご記入ください。 ( 月 日 : )

③ 避難時同行者 (一緒に行動した人) がいた場合、家族・その他別に代表者のお名前と人数をご記入ください。  
家族: 代表者 ( )・人数 ( / 人) / その他: 代表者 ( )・人数 ( / 人)

④ 避難開始から避難完了までの避難経路 (行動、移動手段、期間、場所) を教えてください。

行動	移動手段	期間	場所 (移動元・先、滞在)
1 移動・滞在 (車)	徒歩・その他 ( )	6/13 17:30 ~ / : / :	
2 移動・滞在 (車)	徒歩・その他 ( )	/ : ~ / : / :	
3 移動・滞在 (車)	徒歩・その他 ( )	6/14 9:00 ~ 6/14 19:00	
4 移動・滞在 (車)	徒歩・その他 ( )	/ : ~ / : / :	
5 移動・滞在 (車)	徒歩・その他 ( )	6/15 11:00 ~ / : / :	
6 移動・滞在 (車)	徒歩・その他 ( )	/ : ~ / : / :	

⑤ 避難中の出来事や気づいた点があればご記入ください。

4. 安定ヨウ素剤の服用

① 安定ヨウ素剤\*を服用しましたか? : はい・いいえ \* : ヨウ化カリウム(mg), ヨウ化セシウム錠(錠)

② ①で「はい」の場合、服用回数、服用時期、日時、服用量を教えてください。服用回数: 1  
1回目 服用時期: 避難前 (避難後) | 服用日時 (6月14日 10:00) | 服用量: 3 mg・錠  
2回目 服用時期: 避難前 (避難後) | 服用日時 (6月15日 10:00) | 服用量: 3 mg・錠  
3回目 服用時期: 避難前・避難後 | 服用日時 ( 月 日 : ) | 服用量: mg・錠

5. 食事状況調査

① 震災後から現在まで、摂取制限指示のあった食品等を摂取しましたか? : はい・可能性あり・いいえ  
② 震災後から現在まで、放射性汚染の可能性のある食品等を摂取しましたか? : はい・可能性あり・いいえ  
③ ①②で「はい」「可能性あり」を選択した方は、その状況について詳しく教えてください

6. 個人情報利用の許諾  
本記録カードの記載内容は、個人特定可能な情報を除いて、放射線による被ばく線量推計または推計手法の開発等にかかわる研究に用いることがあります。上記の情報利用に同意して下さる方は自筆 (未成年者の場合は保護者) による署名をお願いします。  
氏名 (自筆) 高橋 進  
ご協力ありがとうございます。

図 31 避難者検査記録カードの記入例

② 情報収集支援システム用データベースの追加

伊方，女川サイトを対象とした平成 29 年度に引き続き，玄海，浜岡，川内，大飯，高浜サイトの原子力災害時の広域避難計画の調査を行い，各自治体の近隣住民の人口や避難経路等に関する情報をデータベース化し，そのデータ一式を情報収集支援システムの避難情報データベース管理機能の基本データとして格納した。また，これらのデータベースは，甲状腺被ばく検査実施場所及びその運用に関する検討のための基礎情報として活用できる。

## 4.5 海外調査及び実務者会合

### ① 海外調査

欧州の代表的な公的機関の内、(1) フランスの IRSN 及び(2) ドイツの放射線防護庁 (Federal Office for Radiation Protection, 以下 BfS) に訪問し、公衆の初期内部被ばくモニタリングのための対応状況に関する情報収集を行った。

#### (1) フランスにおける放射線緊急時対応について

フランスの原子力発電所は、原子力規制当局である原子力安全局 (Autorité de sûreté nucléaire, 以下 ASN) の監督下において主にフランス電力会社 (Electricite de France, 以下 EDF) により運営されている。また、緊急計画地域 (Emergency Planning Zone, 以下 EPZ) に設定された範囲内における緊急時の防護措置は、各地域の県知事によってオフサイト緊急時計画 (Plans Particuliers d'Intervention, 以下 PPI) として取りまとめられている。福島での原子力発電所事故の経験を踏まえ、フランスにおける EPZ は 2016 年 10 月に従来の 10 km から 20 km に拡大されている。PPI の範囲を超える大規模な原子力事故に対しては、2014 年 2 月にまとめられた国家対応計画 (National Response Plan, 以下 NRP) に従うことになる。NRP では、事故時の状況として以下に示す 8 つの事態 (表 14) が定義されている<sup>10)</sup>。

表 14 フランスにおける事件事態分類

事態	状況の概要
0：不確かな状況	事故の特徴 (規模や性質) , 環境中への放射性物質の放出の有無などが不明である。
1：即時かつ短期間の放射性物質の放出を伴う状況	放射性物質の放出が事故発生から 1 時間以内に開始され、数時間以内で終了する。数 km 以内の範囲において中程度の影響が及ぶ可能性がある。
2：中長期の放射性物質の放出を伴う状況	放射性物質の放出が事故発生から 6 時間以内に開始され、数日から数週間にわたり継続する。PPI の対象範囲を超える規模で大きな影響が及ぶ可能性がある。
3：放射性物質の放出が遅れ長期間継続する状況	放射性物質の放出までに事故発生から 6 時間以上が経過し、数日から数週間にわたり継続する。PPI の対象範囲を超える規模で大きな影響が及ぶ可能性がある。
4：輸送中の放射性物質が放出されるおそれのある状況	フランス国内の陸路又は水路における放射性物質 (固体、液体又は気体) の輸送中の事故。
5：国外で発生した事故がフランスに大きな影響を及ぼす可能性のある状況	原子力施設や放射性物質の輸送中におけるフランス国外での事故がフランスに大きな影響を与える可能性がある。事故が発生した国にいるフランス国民に関連する問題にも取り組むこと。
6：国外で発生した事故がフランスに僅かな影響を及ぼす状況	フランス国外での事故がフランスに僅かな影響を及ぼす。事故が発生した国にいるフランス国民に関連する問題にも取り組むこと。

7：沿岸での事故によって放射性物質の放出する可能性のある状況	船舶による放射性物質の輸送中における事故。フランスの沿岸に近い海洋や陸上への放射性物質の放出を伴う事故。
--------------------------------	--

事態の分類は放射線の影響度に基づいており、事故の原因（自然災害、技術的要因、人的要因など）とは関係がない。表 14 のとおり、事態 1-3 はフランス国内の原子力施設における事故であり、事態 4-7 はフランス国内外における放射性物質の輸送中の事故に対応している。いずれの事態においても、放射線緊急時には以下に示す公衆を対象とした防護策を講じることが決められている（表 15）。

表 15 放射線緊急時公衆を対象とした防護措置及び線量基準

防護措置	防護措置を講じる目安
屋内退避	実効線量 10 mSv を超える可能性がある場合
避難	実効線量が 50 mSv を超える可能性がある場合
安定ヨウ素剤の服用	甲状腺等価線量が 50 mSv を超える可能性がある場合

ただし、表 15 に示した線量は限度として定めているわけではなく、特に実際の意思決定にあたっては「合理的に達成できる範囲で被ばく線量を低く保つこと」を目的として、状況に応じた最適化プロセスに基づく基準で防護措置を講じていくことが求められる。緊急時の放射線業務従事者の線量に関しては、実効線量で 100 mSv を超えないこととされているが、人を防護する目的で作業する場合には 300 mSv まで限度を引き上げることができる。

フランスでは各原子力発電所に安定ヨウ素剤が備蓄されていたが、1997 年からは EPZ 圏内の住民、企業、公共機関（学校等）に直接配布されるようになった。その後、2000 年、2005 年、2009 年及び 2016 年と定期的に配布キャンペーンが実施されている。2005 年の配布キャンペーンから対象者に対して引換券が郵送されるようになり、事業者から提供される安定ヨウ素剤が最寄りの薬局で無償提供されている<sup>11)</sup>。配布される安定ヨウ素剤の有効期限は 7 年間であり、使用しなかった安定ヨウ素剤は新しいものを入手する際に薬局に返却することになっている。前述した 2016 年 10 月のフランスにおける EPZ 拡大に伴い、各原子力発電所の 10-20 km 圏内を対象とした配布キャンペーンが 2019 年に初めて実施される予定である。放射線緊急事態における安定ヨウ素剤の服用指示の権限は各地域の県知事が有している。服用量は表 16 に示すとおり、世界保健機関（World Health Organization, 以下 WHO）の指針<sup>12)</sup>を採用している。

表 16 安定ヨウ素剤の服用量

年齢	ヨウ素量 (mg)	安定ヨウ素剤 (mg)
12 歳を超える	100	130
3 歳～12 歳まで	50	65
生後 1 ヶ月～3 歳まで	25	32
生後 1 ヶ月未満	12.5	16

(2) ドイツにおける放射線緊急時対応について

ドイツでは、原子力による危険と電離放射線による有害作用から公衆の生命、健康及び資産を保護することを目的のひとつとする「原子力の平和利用及びそれに伴う危険に対する防護に関する法律（原子力法）<sup>13)</sup>」が制定されている。これに基づき、連邦政府の原子力機関である連邦環境・自然保護・建築・原子力安全省（Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety, 以下 BMUB）が安全規制を実施しており、特にチェルノブイリ事故後の 1989 年に設立された BfS は放射線防護に関して BMUB を専門的な立場から支援する役割を担っている。BfS の具体的な役割の一つとして、有意な放射線影響を伴う可能性のある事象に対して科学と実状の両方の観点から人の放射線被ばくと環境の放射能汚染を可能な限り低減することを目的として制定された「放射線被ばくに対する公衆の予防的防護に関する法律（予防的放射線防護法）<sup>14)</sup>」の中で、以下の項目が規定されている。

- 環境中の放射能レベルの把握すること
- 除染及び汚染物質の取扱いについて勧告すること
- 安定ヨウ素剤の各州の配布地点への輸送及び服用について勧告すること

また、予防的放射線防護法に基づく放射線監視によって収集されたデータを、BfS が運用する環境放射能測定システム（Integrated Measurement and Information System for the Surveillance of the Environmental Radioactivity, 以下 IMIS）に集約することも明記されている。IMIS には、環境中に放出された放射性核種による  $\gamma$  線量率・地表面沈着、大気・降水・河川・海水等の放射能、土壌・食物・飲料水・肥料等の放射能などの測定データがネットワークを通じて格納される。ドイツ国内の緊急時体制を支援するシステムとして、IMIS の他にも緊急時意思決定支援オンラインシステム（An Integrated and Comprehensive Real Time Online Decision Support System, 以下 RODOS）が開発、整備されている。RODOS は、オフサイトにおける緊急時対応のための意思決定支援システムであり、大気拡散モデルに基づく放射能分布及び被ばく線量の時空間的分布の予測や、防護対策（屋内退避、避難、ヨウ素剤服用、食品摂取制限等）の有用性評価を可能としている。BfS は、放射線緊急時において、図 32 に示すような RODOS に基づく状況報告書を半自動的に作成しながら、現場における迅速かつ的確な意思決定を支援する体制を整えている。

放射線緊急時に服用する安定ヨウ素剤について、原子力発電所の 25 km 圏外の住民の分は、連邦政府が国内 8 ヶ所に設置した備蓄所において集中的に管理されている。一方、25 km 圏内の住民の分については州政府が管理することになっており、周辺の学校や病院等で備蓄されている。住民への事前配布については州政府の判断に任されている。BfS が安定ヨウ素剤を服用すべきであると判断した場合には、州政府をはじめとした関係組織との連携・調整の下、警察・消防・軍の関係者の他、地元の薬剤師などが実際に安定ヨウ素剤を配布する役割を担うことになる。BMUB の諮問機関である放射線防護委員会（German Commission on Radiological Protection, 以下 SSK）は、25 km 圏内においては 45 歳以下の住民、25 km 圏外においては 18 歳以下の住民及び妊婦を安定ヨウ素剤の配布対象者とすることを推奨しており、45 歳を超える大人の服用については副作用が便益を上回るため正当化されないと考えられている。安定ヨウ素剤の服用に係る介入レベルは、最初の 7 日間における甲状腺線量として 18 歳～45 歳に対して 250 mSv、18 歳未満及び妊婦に対して 50 mSv が設定されている。表 17 に SSK の指針<sup>15)</sup>で推奨されている安定ヨウ素剤の服用量を示す。45 歳を超える大人の服用が推奨されていない点で WHO の指針<sup>12)</sup>と異なるが、WHO の指針でも 40 歳を超える大人に対するリスクについては指摘されている。

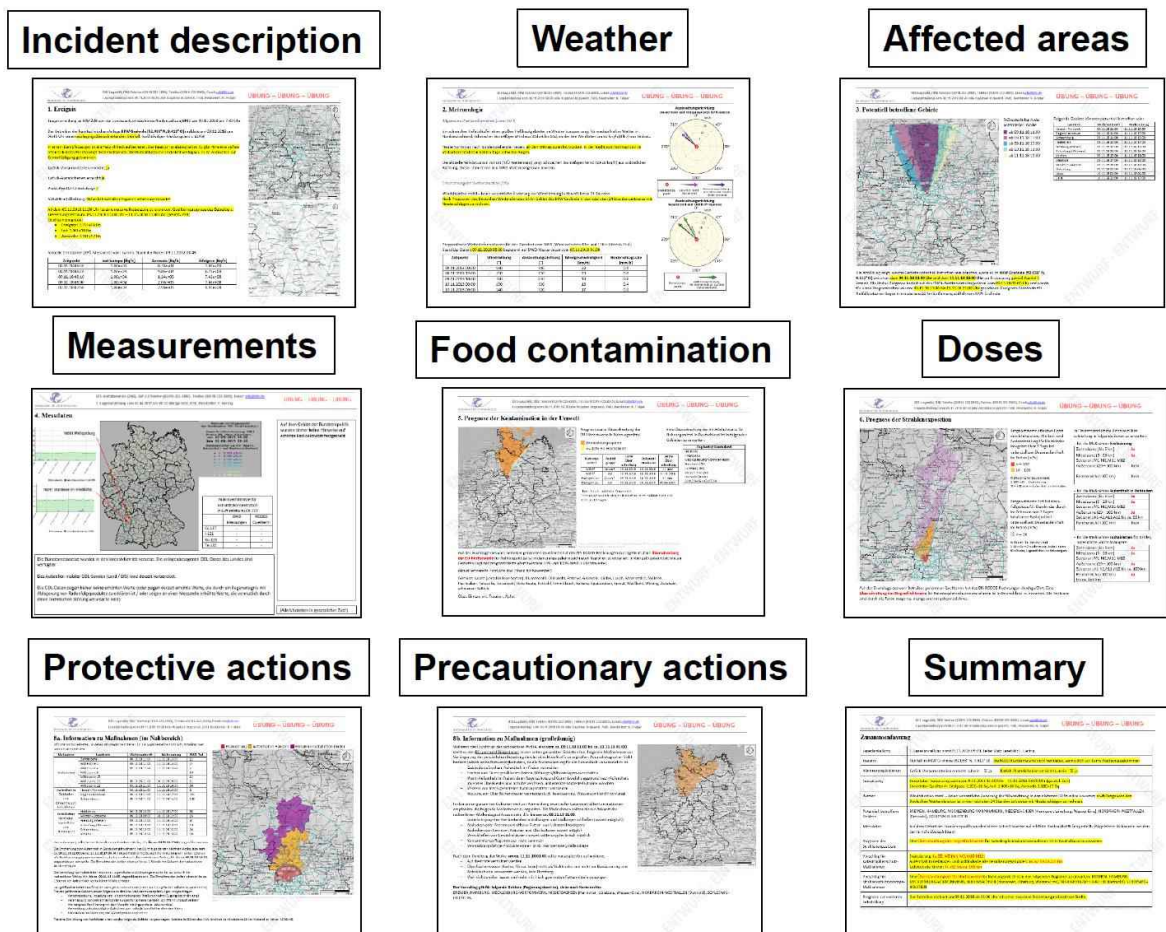


図 32 RODOS に基づく状況報告書の例

表 17 安定ヨウ素剤の服用量

年齢	ヨウ素量 (mg)	安定ヨウ素剤 (mg)
45 歳を超える	0	0
13 歳～45 歳	100	130
3 歳～12 歳	50	65
生後 1 ヶ月～36 ヶ月	25	32.5
生後 1 ヶ月未満	12.5	16.25

## ② 実務者会合

第 1 回目の実務者会合では、原子力機構や被ばく医療機関等の関係者との実務者会合を行い、実行的な公衆の初期内部被ばくモニタリングの構築に向けた課題について議論を行った。第 2 回目及び第 3 回目の実務者会合は、本研究において、新モニタ開発を行っている JAEA 班と中心に行っており、各研究班の進捗状況、意見交換等を行った。各実務者会合での QST 班の発表資料類は付録 6-④に述べる。

## 4.6 参考文献

- 1) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Levels of effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami: UNSCEAR 2013 Report. Vol. I. Annex A; 2014.
- 2) Ishikawa T. Radiation doses and associated risk from the Fukushima nuclear accident: a review of recent publications/ Asia Pacific Journal of Public Health: 29, 18S-28S; 2017.
- 3) Ishikawa T, Yasumura S, Ozasa K, Kobashi G, Yasuda H., Miyazaki M, Akahane K, Yonai S, Ohtsuru A, Sakai A, Sakata R, Kamiya K, Abe M. The Fukushima Health Management Survey: Estimation of external doses to residents in Fukushima Prefecture. Sci Rep. 5: 12712; 2015.
- 4) Tokonami S, Hosoda M, Akiba S, Sorimachi A, Kashiwakura I, Balonov M. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident. Sci Rep. 2: 507; 2012.
- 5) Matsuda N, Kumagai A, Ohtsuru A, Morita N, Miura M, Yoshida M, Kudo T, Takamura N, Yamashita S. Assessment of internal exposure doses in Fukushima by a whole body counter within one month after the nuclear power plant accident. Radiat Res. 179: 663-668; 2013.
- 6) Kim E, Kurihara O, Kunishima N, Momose T, Ishikawa T, Akashi M. Internal thyroid doses to Fukushima residents – Estimation and issues remaining. J Radiat Res. 57: i118-i126; 2016.
- 7) Weiss W. Thirty years after Chernobyl – overview of the risks of thyroid cancer, based on the UNSCEAR scientific reports (2008-2012). Thyroid cancer and nuclear accidents Long term aftereffects of Chernobyl and Fukushima (ed. Yamashita S., Thomas G.). 3-10; 2017.
- 8) Beaumont, T., Ideias, P.C., Rimlinger, M., Broggio, D., and Franck, D., Development and test of sets of 3D printed age-specific thyroid phantoms for <sup>131</sup>I measurements, Phys. Med. Biol. 62, 4673-4693,



2017.

- 9) ICRP, Report of the Task Group on Reference Man, ICRP Publication 23, Oxford: Pergamon, 1975.
- 10) The General Secretariat for Defence and National Security (SGDSN), National Response Plan: Major nuclear or radiological accident. 200/SGDSN/PSE/PSN (2014). available at: <http://www.sgdsn.gouv.fr/uploads/2018/02/plan-national-nucleaire-fevrier2014-anglais.pdf>
- 11) フランスにおける安定ヨウ素剤の配布キャンペーン  
available at: <http://www.distribution-iode.com/>
- 12) WHO, Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents update 1999. WHO/SDE/PHE/99.6 (1999). available at: [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/pub\\_meet/Iodine\\_Prophylaxis\\_guide.pdf](http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/Iodine_Prophylaxis_guide.pdf)
- 13) The Federal Office for Radiation Protection, Act on the Peaceful Utilization of Atomic Energy and the Protection against its Hazards (Atomic Energy Act). (2016). Available at: [https://www.bfe.bund.de/SharedDocs/Downloads/BfE/EN/hns/a1-english/A1-07-16-AtG.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bfe.bund.de/SharedDocs/Downloads/BfE/EN/hns/a1-english/A1-07-16-AtG.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- 14) The Federal Office for Radiation Protection, Act on the Precautionary Protection of the Population against Radiation exposure (Precautionary Radiation Protection Act). (2015). Available at: [https://www.bfe.bund.de/SharedDocs/Downloads/BfE/EN/hns/a1-english/A1-09-15-StrVG.pdf;jsessionid=827B7AA7EE367C186192EAD9A982FB5D.1\\_cid391?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bfe.bund.de/SharedDocs/Downloads/BfE/EN/hns/a1-english/A1-09-15-StrVG.pdf;jsessionid=827B7AA7EE367C186192EAD9A982FB5D.1_cid391?__blob=publicationFile&v=1)
- 15) The German Commission on Radiological Protection, Use of Iodine Tablets for Thyroid Blocking in the Event of the Nuclear Accident. (2011). Available at: [http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2011/2011\\_02e.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2011/2011_02e.pdf?__blob=publicationFile)

#### 4.7 成果発表

##### ① 学会発表

Yajima et al., A reliable and robust method for monitoring large populations to assess thyroid internal exposure in a nuclear accident: A proposal based on experiences from Fukushima (12th International Conference on Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR 2018)で口頭発表(2018年10月))

##### ② 本研究提案に関連する論文が受理

1. Yajima K, Kim E, Tani K, Tatsuzaki H, Li C, Kurihara O. A screening survey exercise for thyroid internal exposure from radioiodine after a nuclear accident. *Radiat Protect Dosim* Accepted 12 September 2018. Doi: 10.1093/rpd/ncy175.
2. Li. C, Tremblay M, Capello K, Kurihara O, Youngman M, Ansari A, Lopez M, Franck D and Dewji S. Monitoring and Dose Assessment for children following a radiation emergency part II: Calibration factors for thyroid monitoring (Accepted November 10 2018)
3. Tani K; Kunishima N; Igarashi Y; Kim E; Imoto T; Kurihara O. MCNP simulations with a personalized voxel phantom to verify  $^{131}\text{I}$  content in thyroid estimated based on measurements with an NaI(Tl) spectrometer (Accepted January 27 2019)

平成 29 年度成果分（前年度（2018 年 1 月 28 日）にアクセプトされ、雑誌へ掲載）。

Kurihara et al. Experiences of population monitoring using whole-body counters in response to the Fukushima nuclear accident. *Health Phys.* Vol 115, Issue 2, 259-274, 2018

## 5. まとめ及び次年度の予定

本研究のテーマとして掲げた「原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立」に向けて、2年目である今年度の主な成果は以下のとおりである。

- 既存検出器の甲状腺線量測定への適用に関連して、①甲状腺簡易検査研修の機会を活用して、NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺中ヨウ素測定に係る実用上の精度を評価するとともに、②5種類の候補検出器の甲状腺中ヨウ素に対する換算係数（検出効率）を網羅的に整備した。①については、NaI(Tl)サーベイメータの正味値が $0.2\ \mu\text{Sv/h}$ 以上の場合には十分な精度であることと、測定環境の周辺線量当量率が $0.5\ \mu\text{Sv/h}$ 程度まで上昇してもバックグラウンドを適切に差し引くことにより精度に影響しないこと等の結果が得られた。②については、IRSNが開発した最新の年齢別頸部ファントムを用いた実験により換算係数を評価したことから、シミュレーション用のベンチマークデータや他の同型検出器の参考データになると考えられる。小児用の甲状腺中ヨウ素測定の校正に用いる標準ファントムは世界的にも未だなく、IRSNファントムがその候補になると予想される。
- 新モニタの開発に関しては、昨年度試作したGAGG検出素子（8台）を用いて特性試験を行うとともに、IRSNファントムを用いて検出素子の最適配置を検討した。また、機械的強度を高めた改良機（12台）を制作し、併せて特性試験を行った。GAGG検出素子を最適配置に保持できる治具についても製作が完了した。新モニタの検出感度は、同等の結晶サイズを有するNaI(Tl)検出器に比べて高いことを確認した。また、温度安定性についても長時間測定試験により良好であることを確認した。
- 情報収集システムの構築に関しては、昨年度から継続して、サイト周辺自治体の広域避難計画に関する情報を収集整理するとともに、避難所情報をデータベース化した。このデータベースを情報収集システムに実装するとともに、甲状腺線量測定の対象者から後の線量評価に必要となる情報を効率的に取得するためのフォーマットを検討した。これらの情報も本システムに格納できるように改良を行った。
- 海外調査及び実務者会合については、概ね当初の計画通り進めた。海外調査先としてIRSN（フランス）とBfS（ドイツ）を選定し、各国の原子力災害対応のモニタリング能力について情報を収集するとともに、本研究の概要紹介を行った。

以下は来年度（最終年度）に予定する実施項目である。

- 既存検出器の甲状腺線量測定に関するマニュアル作成  
NaI(Tl)サーベイメータを用いる甲状腺簡易検査についてはマニュアル素案の作成が終了した。次年度は外部有識者からのコメント等を基に改訂を行い、標準マニュアルとして研修会等で配布する。その他の既存検出器についても、マニュアル類を整備する。

- 新モニタの実機開発及びマニュアル作成

外部有機者の意見を取り入れながら実機の作成を行う。新モニタの遮へい機能については、それが必要となる場合と必要でない場合の両方のケースを想定して、メーカーとデザインを検討し製作する。また、研修会等の機会を利用し、新モニタのデモンストレーションを行う。

- 情報収集システムの改良

データ入力項目の追加等の改良を行う。

なお、当初計画にあった国際シンポジウムについては、研究評価委員会の評価及びコメントを受けて、関係者らと調整したうえで研究計画の変更により取り下げることとした。

6. 付録

6-① NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査マニュアル

NaI(Tl)サーベイメータを用いた  
甲状腺簡易検査マニュアル

初版（2019年3月）

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

## 目次

1. はじめに-----	43
2. 甲状腺簡易検査の概要-----	44
3. 甲状腺中ヨウ素の測定に用いる機器-----	45
4. NaI(Tl)サーベイメータの操作方法-----	46
5. 甲状腺簡易検査の手順-----	50
6. 適用条件-----	54
7. おわりに-----	56
8. 引用文献等-----	57
別添 甲状腺等価線量の計算等に必要データ(I-131)(1)-----	58
別添 甲状腺等価線量の計算等に必要データ(I-131)(2)-----	59
別添 甲状腺等価線量の計算等に必要データ(I-131)(3)-----	60

## 1. はじめに

原子力発電所において不測の事故が発生し、放射性ヨウ素や放射性セシウム等の放射性核種が大量に周辺環境に放出された場合、近隣住民が受けた被ばく線量を速やかに把握し、必要な防護措置を講じる必要がある。被ばく線量の把握に関して特に重要なものは、放射性ヨウ素による甲状腺内部被ばくである。体内に取り込まれた放射性ヨウ素は甲状腺に集積する性質を有するため、甲状腺が集中して被ばくを受けることになる。甲状腺内部被ばくによる健康影響は、大人よりも子供に出やすい。一方、放射性ヨウ素は物理学的半減期が比較的短いことから（最も線量寄与が大きいヨウ素-131の物理学的半減期は8.02日）、内部被ばくのおそれのある住民に対して個人線量測定を迅速に行う必要がある。

本マニュアルは、我が国で広く使用されているNaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺内部被ばく線量測定（以下、甲状腺簡易検査）の方法や手順について記述したものである。この手法は、従前から検討されていた手法であり、東電福島第一原発事故直後に行われた小児甲状腺被ばくスクリーニング検査にも適用された手法であるが、現時点でも多数を対象とした測定に最も適した手法である。ただし、小児甲状腺被ばくスクリーニング検査では本手法の技術的課題も認識されたことから、本マニュアルの作成に際しては、これらの課題についても可能な限り改善を図っている。

本マニュアルは、甲状腺簡易検査を行う担当者及びこれに関連する国・自治体等の関係者を主な対象としている。原子力災害訓練等を通じて徐々に関係者や住民に浸透しつつある避難退域時検査と同様に、甲状腺簡易検査についても具体的な運用方針が今後策定されることが期待される。

## 2. 甲状腺簡易検査の概要

吸入や経口を介して放射性ヨウ素が体内に取り込まれると、安定（放射性でない）ヨウ素と同様に甲状腺に集積するため、甲状腺内部被ばくをもたらす。原子力災害時に最も甲状腺内部被ばく線量に寄与する核種はヨウ素-131 ( $^{131}\text{I}$ ) である<sup>1</sup>。甲状腺は外部放射線からも被ばくを受けるが、その線量は外部放射線による実効線量と同程度であり、甲状腺内部被ばく線量に比べて軽微である。ヨウ素-131の物理学的半減期は8.02日であるため、原子力災害時に近隣住民の内部被ばくのおそれがある場合には、速やかに対象者に対する甲状腺線量測定を開始する必要がある。

ヨウ素-131は放射性壊変（ベータ壊変）に伴い、幾つかのエネルギーのガンマ線を放出する。最も放出率の高いガンマ線のエネルギーは365 keV（81.7%）であり、被測定者の頸部（前面）近傍にガンマ線検出器を配置することにより、甲状腺に集積したヨウ素-131を確認することができる（図1）。また、使用するガンマ線検出器を事前に校正（後述）しておけば、甲状腺中のヨウ素-131を定量することができる。こうした測定は体外計測とよばれ、ホールボディカウンタ（WBC）は体外計測装置の代表例である。

本マニュアルで述べる甲状腺簡易検査では、場の空間線量率（または周辺線量当量率）の測定に広く使われているNaI(Tl)サーベイメータを用いる。同機器では核種同定はできないものの、操作が簡易なために測定者の確保がしやすく、多数の住民を対象としたスクリーニングを目的とした測定には適している。また、事前に機器を適切に校正しておけば、必要十分な精度で甲状腺中ヨウ素-131の定量が可能である。

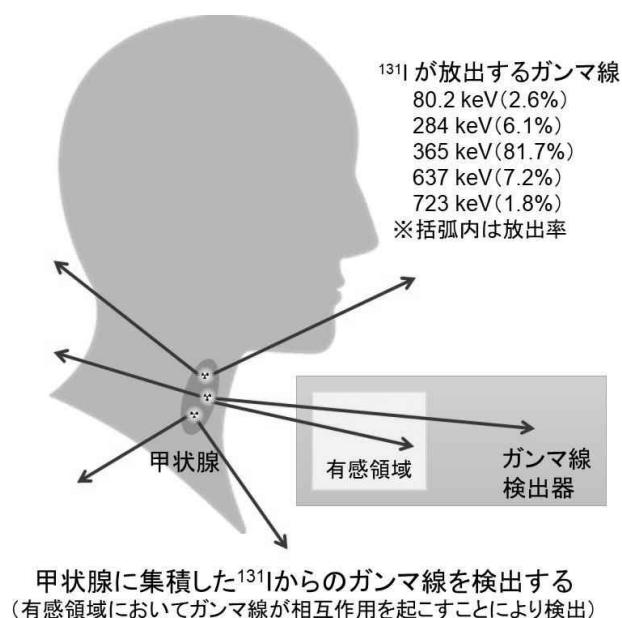


図1 甲状腺中ヨウ素の測定原理

<sup>1</sup>  $^{131}\text{I}$  以外に、 $^{132}\text{Te}$ — $^{132}\text{I}$ 、 $^{133}\text{I}$  等も甲状腺内部被ばく線量に寄与する可能性がある。 $^{132}\text{Te}$ 、 $^{132}\text{I}$ 、 $^{133}\text{I}$  の物理学的半減期はそれぞれ3.204日、2.295時間、20.8時間である（ $^{132}\text{Te}$ と $^{132}\text{I}$ は速やかに放射性平衡になる）。これらの核種は、原子力発電所の運転停止直後は $^{131}\text{I}$ よりも放射能が高い。



### 3. 甲状腺中ヨウ素の測定に用いる機器

甲状腺に集積した放射性ヨウ素の測定には、本マニュアルの対象とする NaI(Tl)サーベイメータ以外にも幾つか候補となる機器がある。それぞれの機器は異なる特徴を有しており（図2）、目的に応じて使い分けることが必要である。例えば、NaI(Tl)サーベイメータの測定で基準値を超えた者について、可搬型スペクトロメータや甲状腺モニタを用いたより精密な測定を行うことが考えられる。東電福島第一原発事故では、NaI(Tl)サーベイメータ、NaI(Tl)スペクトロメータ、甲状腺モニタ、WBCを用いた甲状腺線量測定例<sup>1)5)</sup>がある。緊急作業員に対しては、高純度Ge検出器を用いた測定例<sup>6)</sup>も報告されている。なお、乳幼児を対象とした甲状腺線量測定については、既存の機器では難しいことから、新しい機器の開発の必要性が指摘されている<sup>7)</sup>。

機器	NaI(Tl)サーベイメータ	可搬型スペクトロメータ	(据置型)甲状腺モニタ
外観			
結晶	NaI(Tl)	NaI(Tl), LaBr <sub>3</sub> (Ce)等	高純度Ge
分解能	線量率, 計数率のみ	可	良
1名測定時間	1.5 ~ 2 分間	3 ~ 5 分間	3 ~ 10分間
測定人数 (1時間当たり目安)	約 30 名	約 10 名	約 5 名
コスト	良	可	やや可
操作性	簡便(スクリーニング向)	スペクトル解析必要	スペクトル解析必要
欠点	核種同定不可	操作性 (PCで制御するタイプの方が良い)	基本的に移動不可
	避難所等		中核拠点病院等

図2 甲状腺中ヨウ素の測定に用いる機器

#### 4. NaI(Tl)サーベイメータの操作方法

本マニュアルの対象とする NaI(Tl)サーベイメータは、日立アロカメディカル社製(現、日立) TCS-172B<sup>2</sup> (図3) である。機器の仕様はカタログに示されているが、甲状腺簡易検査では通常の線量率測定モード(単位は $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )を選択する。使用上の注意点は以下の2点である。

- 定期的(1年間に1回以上)にメーカー等による機器の点検・校正を行う。
- 万一の汚染に備えてプローブ先端をガーゼまたはラップ等で養生する。

機器の操作方法については取扱説明書に解説されているが、甲状腺簡易検査に限定した操作方法は以下のとおりである。

- ① 電源スイッチを ON にする(長押し)。起動時に自動的に自己点検(バッテリー、HV)が行われるので確認する(図4)。バッテリーが不足している場合には、電池(単二)を交換する。
- ② 時定数(Time Const) ボタンを押して 10 秒に設定する(図5)。
- ③ 30 秒程度経過した後、機器に表示される**指示値の振れの中心**となるような数値を読み取る(参考1)。人を測定する際は、消音モードにする。

以上の操作は、測定会場のバックグラウンドの測定でも同様である。



図3 TCS-172Bの外観(右はプローブを外した場合)

<sup>2</sup> TCS-171B でも良い。ただし、TCS-171B/172B ともに製造中止になったため、今後は後継機種(LUCENT TCS-1172)を使用することが考えられる。

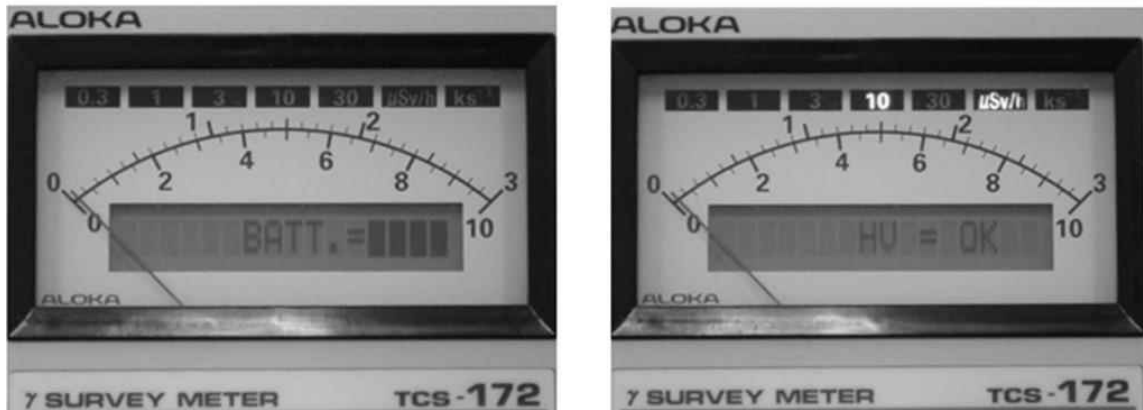


図4 TCS-172 起動時の自己点検

(左：バッテリーチェック ※メモリが2/4になったら電池交換,  
右：HV チェック ※OK でない場合は使用しない)

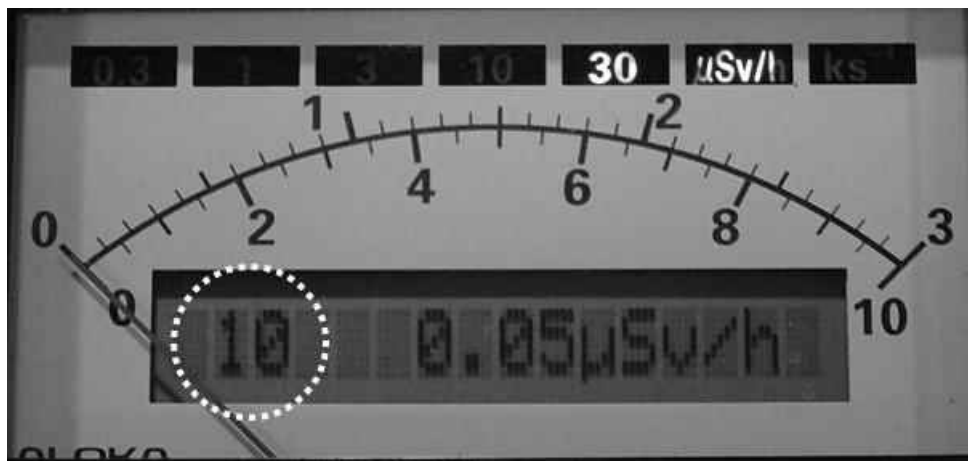
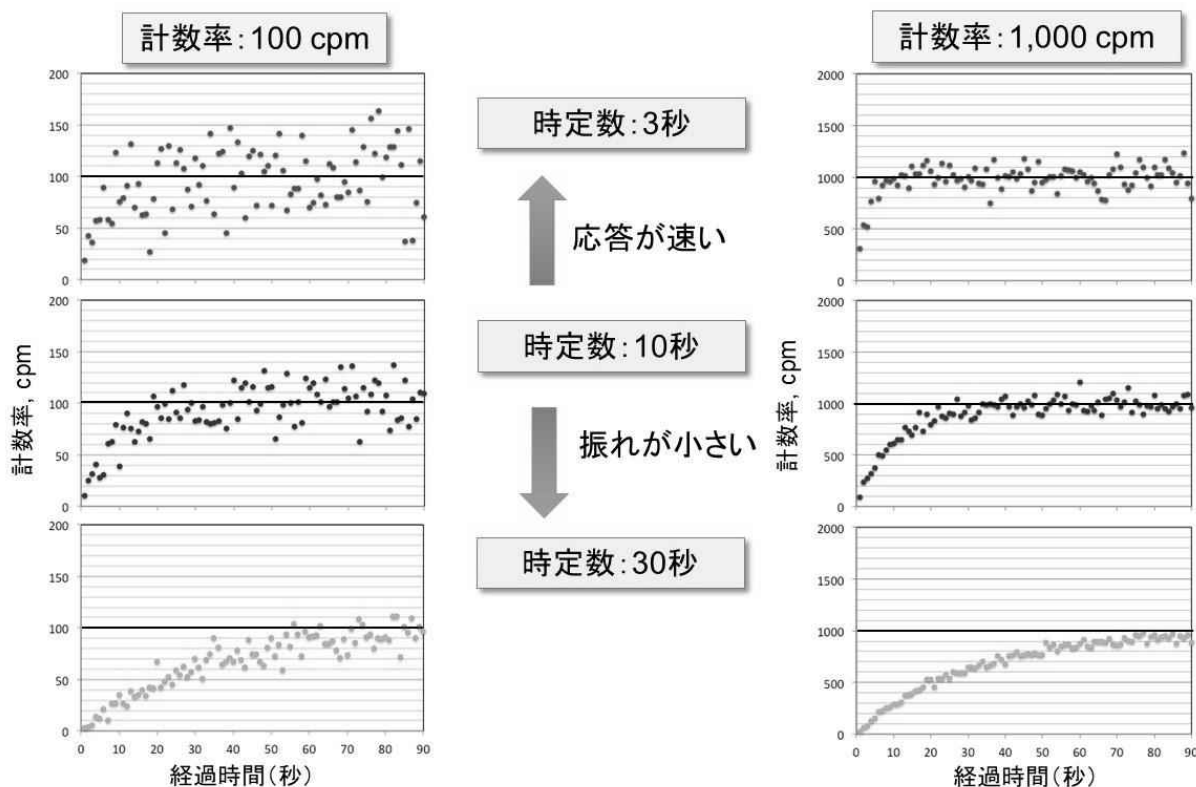


図5 時定数の設定

(○内の数値が時定数 (秒) ※10 でない場合は Time Const ボタンを何回か押して設定する)

参考 1 指示値の読み方



放射線測定は確率的事象であるため、決して同じにならないことを理解して振れ幅の中心となるような数値を読み取る。上図は GM サーベイメータの起動からの経過時間に応じた指示値の変化を時定数毎に示した例であるが、時定数が短い（3 秒）だと応答が早いですが指示値は安定せず、時定数が長い（30 秒）だと指示値は安定するが応答が遅いことが分かる。NaI(Tl)サーベイメータも同様であり、甲状腺簡易検査では時定数を 10 秒に設定し、概ね 30 秒（時定数の 3 倍）を経過したところで上記数値を読み取る。注意しなければならないのは、いつでも同様な感覚で行うことである（測定の都度、指示値の振れ幅の高い方、低い方で読み取ったりしてやり方を変えないこと）。

## 5. 甲状腺簡易検査の手順

図6は甲状腺簡易検査の手順を示している。各手順について以下に説明する。

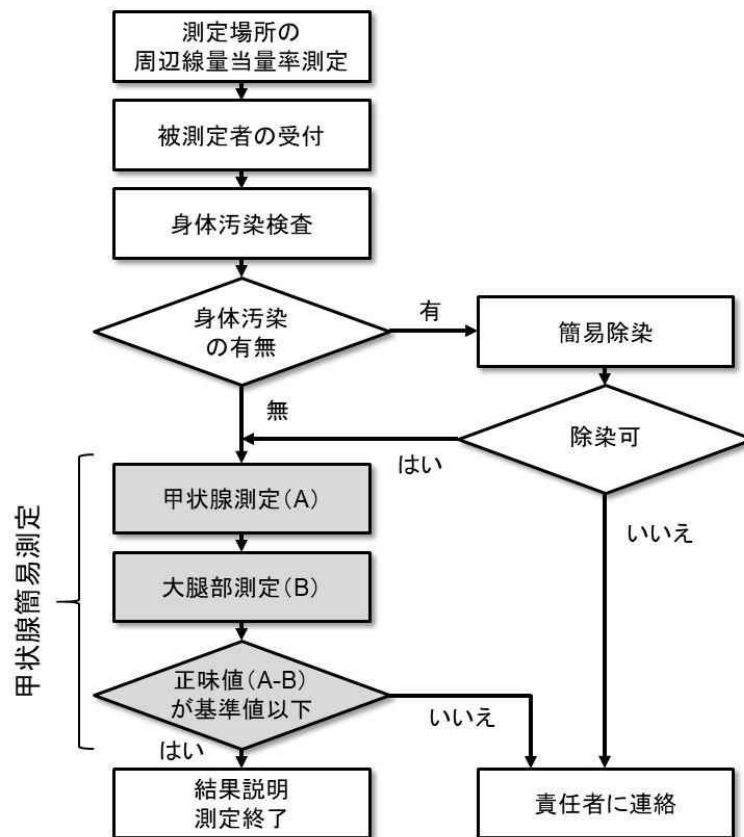


図6 甲状腺簡易検査の手順

### (1) 測定場所の周辺線量当量率測定

現時点で甲状腺簡易検査を行う場所は決まっていらないものの、避難退域時検査<sup>8)</sup>と併せて行うことは困難<sup>3)</sup>であることから、同検査後の移動先となる避難所の中から選定されるものと思われる。甲状腺簡易検査の対象者としては、UPZ（緊急防護措置区域、概ね当該原発から30 km 圏内）において避難指示の出された区域の住民が第一候補として想定される<sup>4)</sup>。

### (2) 被測定者の受付

被測定者に対し、①氏名、②生年月日、③性別、④住所、⑤避難経路、⑥安定ヨウ素剤の服用有無、⑦食事状況等について回答してもらうためのアンケート用紙（参考2）を配布し、必要事項を記載してもらう。アンケート用紙はなるべく簡便なものとする。

<sup>3)</sup> 避難退域時検査（OIL4 を超過する身体汚染の有無を確認する検査）は、避難者が検査場所までの移動に使用した車両を測定することを基本とするため、その運用を変更しない限り甲状腺簡易検査を行うのは難しい。

<sup>4)</sup> より近傍のPAZ（予防的措置区域）内住民については、放射性物質の放出前に避難することとされている。

(3) 身体汚染検査

避難退域時検査と同等な要領（時定数 3 秒，スキャン速度 10 cm/秒程度，測定レンジは 10 kcpm）で GM サーベイメータを用いて身体汚染検査を行う。ただし，バックグラウンドの変動範囲を超える有意な汚染を検知した場合は<sup>5</sup>には，汚染箇所の特定を行い詳細なサーベイを行うとともに，被測定者に対して簡易除染を促す。

(4) 簡易除染

被測定者に上着を脱いでもらい，再度身体汚染の測定を行う。それでも汚染が残っているようであれば，濡れワイプ等を用いて簡易除染を行う。

(5) 甲状腺測定

NaI(Tl)サーベイメータのプローブを，着座した被測定者の頸部下部（左右鎖骨の中央付近の上側）に軽く密着させる形で保持し（図 7），前章の要領で指示値(A)を読み取る。測定中はなるべくプローブが動かないようにする。なお，被測定者に上を見るような形で頸部を伸展してもらいと，プローブを密着させやすい。



図 7 甲状腺測定におけるプローブ位置

(6) 大腿部測定

(5)と同様な要領で被測定者の大腿部上にプローブを置いて指示値(B)を読み取る。

(7) 正味値の確認

指示値(A)から指示値(B)を差し引いて正味値(A-B)を求める。正味値が下記の基準値（参考 3）を超えた場合には甲状腺簡易検査の責任者に連絡する。

7 歳以下 : 0.2 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ ， 8 歳以上 17 歳以下 : 0.5 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ ， 18 歳以上 : 1 $\mu\text{Sv h}^{-1}$
---

<sup>5</sup> 避難退域時検査に用いる OIL4 は，緊急時に行う除染の基準として用いられるものである。甲状腺簡易検査を行う前は，可能な限り身体汚染のない状況であることが必須である。これは体外計測全般に言えることである。

(8) 結果説明

(7)において基準値以下の被測定者については、測定結果を説明し終了する。また、後の詳細な線量評価や将来の健康管理に活用するために<sup>6</sup>、被測定者に対して測定結果を使用することの同意をなるべく得られるようにする。

以上の手順は一例であり、実態に即して適宜見直してゆくものとする。なお、(6)の大腿部の測定は、甲状腺中ヨウ素による線量率の正味値を、より正確に求めるための工夫であるが<sup>9),10)</sup>、難しい状況であれば測定室内の外部放射線による線量率に置き換えることもできる<sup>7</sup>。

---

<sup>6</sup> 詳細に行った線量評価の結果をどのように被測定者に通知するかは今後の検討事項である。なお、甲状腺簡易検査では基準値に対する判定結果のみを被測定者に通知することを現時点では想定している。また、将来の健康管理とは、基準値を超過した者を対象とした医学的フォローアップと集団を対象とした疫学的調査のことである。

<sup>7</sup> 東電福島第一原発事故に際に行われた小児甲状腺被ばくスクリーニング検査では、被測定者の肩付近を測定し、個人バックグラウンドとして正味値の計算に使われた<sup>11)</sup>。

参考2 アンケート（測定結果記録）用紙の例<sup>8</sup>

作成日	20 年 月 日	原子力災害時 避難者検査記録カード	個人識別ID
検査場			
<b>1. 受検者登録情報</b>			
① (ふりがな)	氏名	② 生年月日	年 月 日
③ 性別	男・女		
④ 住所			
<b>2. 検査結果 (測定担当者記入欄)</b>			
① 体表汚染検査			
測定器名:		測定員:	記録員:
管理番号:		測定場所の空間線量率: $\mu\text{Sv/h}$	
BG:	cpm	部位	測定結果 cpm
		(前面)	
		右	
		左	
		(背面)	
		右	
		左	
除去業務: 済み・未実施			
甲状腺検査時汚染: 有・無			
② 甲状腺測定 簡易検査 (測定機器: NaIサーベイメータ( $\mu\text{Sv/h}$ )・スペクトロメータ(計数値))			
測定器名:		測定員:	スペクトロメータによる測定の場合
管理番号:		記録員:	測定時間:
(測定場所の空間線量率: $\mu\text{Sv/h}$ )		スペクトル名:	
結果	大腸部(検査者BG)	甲状腺部	その他: ビータカウンタ及び重錳(GB)
1			
2			
3			
備考			

<b>3. 避難行動調査</b>			
① 避難準備指示: 屋内退避指示、避難指示を受け取った場所と、その時の屋内・屋外滞在の別をご記入ください。 ( ) / 屋内・屋外			
避難準備指示: 自宅・自宅外 (場所・住所) / 屋内・屋外			
屋内退避指示: 自宅・自宅外 (場所・住所) / 屋内・屋外			
避難指示: 自宅・自宅外 (場所・住所) / 屋内・屋外			
② 避難を開始した日時をご記入ください。( 年 月 日 )			
③ 避難は同行者(一緒に行動した人)がいた場合、家族・その他別に代表者のお名前と人数をご記入ください。 家族: 代表者 ( )・人数 ( ) / その他: 代表者 ( )・人数 ( )			
④ 避難開始から避難完了までの避難経路(行動、移動手段、期間、場所)を教えてください。			
行動	移動手段	期間	場所(移動元・先、滞在)
1 移動・滞在	車・徒歩・その他 ( )	/ : ~ / :	
2 移動・滞在	車・徒歩・その他 ( )	/ : ~ / :	
3 移動・滞在	車・徒歩・その他 ( )	/ : ~ / :	
4 移動・滞在	車・徒歩・その他 ( )	/ : ~ / :	
5 移動・滞在	車・徒歩・その他 ( )	/ : ~ / :	
6 移動・滞在	車・徒歩・その他 ( )	/ : ~ / :	
⑤ 避難中の出来事や気づいた点があればご記入ください。			
<b>4. 安定ヨウ素剤の服用</b>			
① 安定ヨウ素剤を服用しましたか? はい・いいえ ;ヨウ化カリウム(mg)、ヨウ化カリウム錠(錠)			
② ①で「はい」の場合、服用回数、服用時期、日時、服用量を教えてください			
1回目	服用時期: 避難前・避難後	服用日時 ( 月 日 )	服用量: mg・錠
2回目	服用時期: 避難前・避難後	服用日時 ( 月 日 )	服用量: mg・錠
3回目	服用時期: 避難前・避難後	服用日時 ( 月 日 )	服用量: mg・錠
<b>5. 食事状況調査</b>			
① 食事後から現在まで、摂取制限指示のあった食品等を摂取しましたか? はい・可能性あり・いいえ			
② 食事後から現在まで、放射能汚染の可能性のある食品等を摂取しましたか? はい・可能性あり・いいえ			
③ ①②で「はい」「可能性あり」を選択した方は、その状況について詳しく教えてください。			
<b>6. 個人情報利用の許諾</b>			
本記録カードの記載内容は、個人特定可能な情報を除いて、放射線による被ばく量推計または推計手法の開発等に かかる研究に用いることがあります。上記の情報利用に同意していただく方は自筆(未成年者の場合は保護者)に よる署名をお願いします。			
氏名(自筆)			ご協力ありがとうございました。

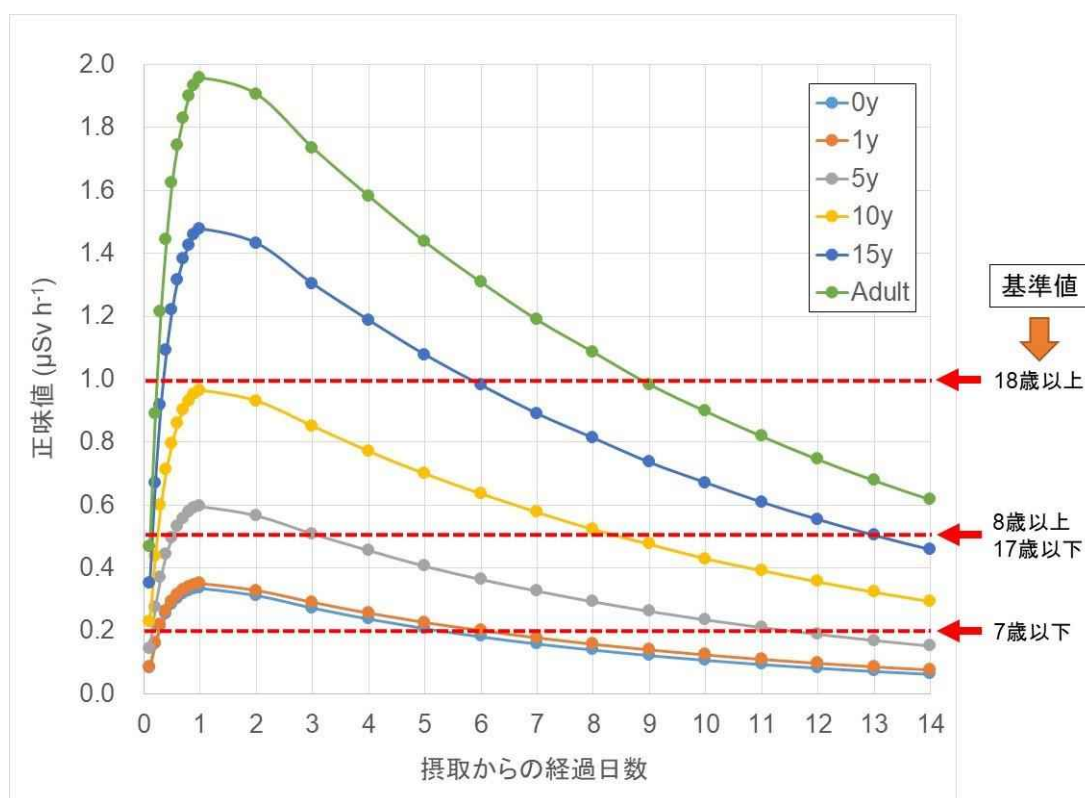
(上: 表面, 下: 裏面)

<sup>8</sup> 受付にて被測定者に配布するアンケート用紙の例である。被測定者に、①氏名、②生年月日、③性別、④住所、⑤避難行動情報、⑥安定ヨウ素剤服用状況、⑦食事状況などを回答・記入してもらう(⑤から⑦は可能な範囲で)。この例のように測定結果の記入欄を設けておけば、情報が集約されて便利である。



### 参考3 基準値の設定について

下図は各年齢群<sup>9</sup>の甲状腺等価線量が 100 mSv に相当する NaI(Tl)サーベイメータの正味値と設定した基準値（破線）の関係を示している。核種は <sup>131</sup>I のみを考慮し、化学形は元素状ヨウ素、摂取経路は吸入（急性）を計算条件に設定した。<sup>131</sup>I 甲状腺残留量が時間とともに変化するために、正味値も連動して変化する。<sup>131</sup>I 甲状腺残留量は摂取から 1 日後に最大となり、その後は徐々に減少してゆく。今回設定した基準値は暫定的なものであり、今後必要に応じて見直しを行ってゆく。



甲状腺等価線量 100 mSv に相当する NaI(Tl)サーベイメータの正味値と設定した基準値

なお、IAEA 安全文書<sup>13)</sup>には、甲状腺被ばく線量に対する介入レベルを定める OIL8 が与えられている。OIL8 も甲状腺等価線量 100 mSv から導出されている。OIL8 と本マニュアルで提示した基準値が異なるのは、使用する検出器のサイズが異なるためと思われる<sup>10)</sup>。

<sup>9</sup> 図中の 0y, 1y, 5y, 10y, 15y 及び Adult は下記の年齢に対応する<sup>12)</sup>。0y : 1 歳未満 (満年齢で 0 歳のみ), 1y : 1 歳以上-3 歳未満 (満年齢で 1 歳, 2 歳), 5y : 3 歳以上-8 歳未満 (満年齢で 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳), 10y : 8 歳以上-13 歳未満 (満年齢で 8 歳, 9 歳, 10 歳, 11 歳, 12 歳), 15y : 13 歳以上-18 歳未満 (満年齢で 13 歳, 14 歳, 15 歳, 16 歳, 17 歳), Adult : 18 歳以上 (満年齢で 18 歳以上)

<sup>10</sup> 有効面積が 15 cm<sup>2</sup> 以下のプローブとしている。本マニュアルの対象としている NaI(Tl)サーベイメータは直径 1 インチ×高さ 1 インチの結晶を内蔵するが、有効面積 (窓面積) は約 5 cm<sup>2</sup> に過ぎない。

## 6. 適用条件

### (1) 測定場所の周辺線量当量率

甲状腺簡易検査は可能な限り低い周辺線量当量率の場所で行うのが理想であり、IAEA 安全文書<sup>13)</sup>と同様に  $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$  以下の場所で行うことを推奨する。東電福島第一原発事故後に行われた小児甲状腺被ばくスクリーニング検査でも、同じ条件が設定された。コンクリート建屋の外部放射線に対する平均的な線量低減係数が  $0.2$ <sup>14)</sup>であるため、屋外の周辺線量当量率が  $1.0 \mu\text{Sv h}^{-1}$  程度の区域であれば条件を満たす測定場所の選定は可能と考えられる。

### (2) 測定可能な年齢

概ね3,4歳以上の子供から測定可能である。乳幼児の測定についてはプローブが適切な位置に配置できないため(図8)、測定精度が担保できない可能性がある。ただし、要望に応じて、可能な限り測定は行うべきである。



図8 1歳児にNaI(Tl)サーベイメータのプローブを近接させた状況

### (3) 機器

使用するNaI(Tl)サーベイメータは、メーカー等による点検・校正を少なくとも年1回は行うこと。ただし、年1回の点検・校正でも感度が変化する場合があるので、測定終了後に使用した機器を回収し、専門機関による感度の確認を行うのが良いと思われる。

### (4) 測定者の要件

NaI(Tl)サーベイメータの使用経験がある者が望ましい。量子科学技術研究開発機構が主催する甲状腺簡易検査研修を受講すれば、必要な技能を取得できる。

(5) 測定期間

放射性ヨウ素を摂取してから 24 時間以降から概ね 2 週間程度位までに行う<sup>11</sup>。

(6) 測定精度

正味値で  $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$  以下ではファクター 2 程度、 $0.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$  以上では  $\pm 20\%$  程度の誤差が見込まれる。主な誤差の要因は、放射線計測における統計変動とプローブ位置のばらつきに伴うランダム誤差である<sup>15)</sup>。

---

<sup>11</sup>  $^{131}\text{I}$  を摂取してから甲状腺に集積するまでに約 1 日要する。また、小児甲状腺被ばくスクリーニング検査では、1,080 名の被測定者の内、598 名が正味値 0、約千名が  $0.02 \mu\text{Sv h}^{-1}$  (検出下限値相当) 以下であった。この結果は、被測定者の甲状腺内部被ばく線量が総じて低かったことを示す一方、より早い段階で同検査を行うべきであったことを示唆している。小児甲状腺被ばくスクリーニング検査は 2011 年 3 月 26 日から 30 日に実施された (24 日は測定場所のバックグラウンドが高かったために、検査結果は無効となった)。

## 7. おわりに

放射性核種の環境放出を伴う原子力災害時に必要となる公衆の被ばく線量の速やかに把握に関して、本マニュアルでは NaI(Tl)サーベイメータを用いる甲状腺線量測定の手順について解説した。放射性ヨウ素（特に問題となるのがヨウ素-131）の物理学的半減期が比較的短いことから甲状腺線量測定が行える期間は限られるが、簡便かつ迅速に行える本手法は、多数の住民を対象とした甲状腺内部被ばくの確認に適している。既に、本手法に関する技能講習会も行われてきており、受講生も徐々に増えてきている。ただし、甲状腺線量測定の運用に関しては、まだ具体的な方針が示されておらず、規模感や原子力災害時対応のスキームの中での位置付けが不確実である。したがって、本マニュアルの改訂版では、これらの点についても網羅してゆく予定である。

## 8. 引用文献等

- 1) Kim E, Kurihara O, Suzuki T, et al. Screening survey on thyroid exposure for children after the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. Proceedings of the first NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident. Chiba, Japan: National Institute of Radiological Sciences; 2012.
- 2) Tokonami S, Hosoda M, Akiba S, et al. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident. *Sci Rep* 2: 507; 2012.
- 3) Matsuda N, Kumagai A, Ohtsuru A, et al. Assessment of internal exposure doses in Fukushima by a whole body counter within one month after the nuclear power plant accident. *Radiat Res* 179: 663–668; 2013.
- 4) Uchiyama K, Miyashita M, Sato H, et al. A study of thyroid <sup>131</sup>I activity of five human subjects exposed to a radioactive plume at Tamura city in Fukushima. *Health Phys* 109: 573-581; 2015.
- 5) Kurihara O, Nakagawa T, Takada C, et al. Internal doses of three persons staying 110 km south of the Fukushima Daiichi nuclear power station during the arrival of radioactive plumes based on direct measurements. *Radiat Prot Dosim* 170: 420-424; 2016.
- 6) Kurihara O, Kanai K, Nakagawa T, et al. Measurements of <sup>131</sup>I in the thyroids of employees involved in the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. *J Nucl Sci Technol* 50: 122-129; 2013.
- 7) Broggio D, Baudé S, Belchior A, et al. Child and adult thyroid monitoring after a reactor accident (CATHYMARA): Technical recommendations and remaining gaps. *Radiat Meas* (in press).
- 8) 原子力規制庁. 原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル. 平成 29 年 1 月 30 日修正. 2017. <http://www.nsr.go.jp/data/000119567.pdf>
- 9) Rojas-Palma C, Liland A, Jerstad AN, et al. TMT handbook. 2009.
- 10) International Atomic Energy Agency. Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. EPR-MEDICAL. 2005.
- 11) Hosokawa Y, Hosoda M, Nakata A, et al. Thyroid screening survey on children after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *REM* 2: 82-86. 2013.
- 12) ICRP. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides - part 4 inhalation dose coefficients. ICRP Publication 71. *Ann ICRP* 25(3-4); 1995.
- 13) International Atomic Energy Agency. Actions to protect the public in an emergency due to severe conditions at a light water reactor. EPR-NPP Public Protective Actions. 2013.
- 14) Akahane K, Yonai S, Fukuda S, et al. NIRS external dose estimation system for Fukushima residents after the Fukushima Dai-ichi NPP accident. *Sci Rep* 3: 1670. 2013.
- 15) Yajima K, Kim E, Tani T, et al. A screening survey exercise for thyroid internal exposure from radioiodine after a nuclear accident. *Radiat Prot Dosim* 2018.

別添 甲状腺等価線量の計算等に必要データ(I-131)(1)

別表 1 甲状腺等価線量係数 (Sv Bq<sup>-1</sup>) ※吸入摂取, 元素状ヨウ素

年齢群	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
線量係数	3.3E-06	3.2E-06	1.9E-06	9.5E-07	6.2E-07	3.9E-07

別表 2 甲状腺等価線量 100 mSv 相当摂取量 (Bq) ※吸入摂取, 元素状ヨウ素

年齢群	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
摂取量	3.0E+04	3.1E+04	5.3E+04	1.1E+05	1.6E+05	2.6E+05

別表 3 1日当たりの呼吸量 (m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup>) ※Mは男性

年齢群	0y	1y	5y	10y	15y (M)	Adult (M)
呼吸量	2.86	5.16	8.72	15.3	20.1	22.2

別表 4 甲状腺等価線量 100 mSv.相当の1週間空气中平均濃度 (Bq m<sup>-3</sup>) ※Mは男性, 屋内低減効果含まず

年齢群	0y	1y	5y	10y	15y (M)	Adult (M)
濃度	1.5E+03	8.7E+02	8.6E+02	9.8E+02	1.1E+03	1.7E+03

別添 甲状腺等価線量の計算等に必要データ(I-131)(2)

別表5 甲状腺残留率 (-) ※元素状ヨウ素

経過日数	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
0.1	5.45E-02	5.45E-02	5.46E-02	5.46E-02	5.46E-02	5.46E-02
0.2	1.04E-01	1.04E-01	1.04E-01	1.04E-01	1.04E-01	1.04E-01
0.3	1.41E-01	1.41E-01	1.41E-01	1.42E-01	1.42E-01	1.42E-01
0.4	1.67E-01	1.68E-01	1.69E-01	1.69E-01	1.69E-01	1.69E-01
0.5	1.87E-01	1.87E-01	1.88E-01	1.89E-01	1.89E-01	1.90E-01
0.6	2.00E-01	2.01E-01	2.02E-01	2.04E-01	2.04E-01	2.04E-01
0.7	2.09E-01	2.11E-01	2.12E-01	2.14E-01	2.14E-01	2.14E-01
0.8	2.16E-01	2.17E-01	2.19E-01	2.21E-01	2.21E-01	2.22E-01
0.9	2.19E-01	2.21E-01	2.24E-01	2.26E-01	2.26E-01	2.26E-01
1	2.21E-01	2.24E-01	2.26E-01	2.29E-01	2.29E-01	2.29E-01
2	2.06E-01	2.10E-01	2.15E-01	2.21E-01	2.22E-01	2.23E-01
3	1.80E-01	1.86E-01	1.93E-01	2.02E-01	2.02E-01	2.03E-01
4	1.57E-01	1.64E-01	1.73E-01	1.83E-01	1.84E-01	1.85E-01
5	1.37E-01	1.45E-01	1.54E-01	1.66E-01	1.67E-01	1.68E-01
6	1.20E-01	1.29E-01	1.38E-01	1.51E-01	1.52E-01	1.53E-01
7	1.05E-01	1.14E-01	1.24E-01	1.37E-01	1.38E-01	1.39E-01
8	9.24E-02	1.01E-01	1.11E-01	1.24E-01	1.26E-01	1.27E-01
9	8.09E-02	8.96E-02	9.95E-02	1.13E-01	1.14E-01	1.15E-01
10	7.09E-02	7.94E-02	8.92E-02	1.02E-01	1.04E-01	1.05E-01
11	6.22E-02	7.04E-02	8.00E-02	9.31E-02	9.44E-02	9.57E-02
12	5.45E-02	6.24E-02	7.18E-02	8.46E-02	8.59E-02	8.71E-02
13	4.78E-02	5.53E-02	6.44E-02	7.68E-02	7.81E-02	7.93E-02
14	4.19E-02	4.90E-02	5.77E-02	6.98E-02	7.11E-02	7.22E-02
15	3.67E-02	4.35E-02	5.18E-02	6.35E-02	6.47E-02	6.58E-02
16	3.22E-02	3.86E-02	4.65E-02	5.77E-02	5.88E-02	5.99E-02
17	2.82E-02	3.42E-02	4.17E-02	5.24E-02	5.35E-02	5.45E-02
18	2.47E-02	3.03E-02	3.74E-02	4.76E-02	4.87E-02	4.97E-02
19	2.17E-02	2.69E-02	3.35E-02	4.33E-02	4.43E-02	4.52E-02
20	1.90E-02	2.38E-02	3.01E-02	3.94E-02	4.03E-02	4.12E-02

別添 甲状腺等価線量の計算等に必要データ(I-131)(3)

別表6 甲状腺等価線量 100 mSv に相当する NaI(Tl)サーベイメータの応答 ( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )<sup>12</sup> ※正味値

経過日数	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
0.1	8.3E-02	8.5E-02	1.4E-01	2.3E-01	3.5E-01	4.7E-01
0.2	1.6E-01	1.6E-01	2.7E-01	4.4E-01	6.7E-01	8.9E-01
0.3	2.1E-01	2.2E-01	3.7E-01	6.0E-01	9.2E-01	1.2E+00
0.4	2.5E-01	2.6E-01	4.4E-01	7.1E-01	1.1E+00	1.4E+00
0.5	2.8E-01	2.9E-01	4.9E-01	8.0E-01	1.2E+00	1.6E+00
0.6	3.0E-01	3.1E-01	5.3E-01	8.6E-01	1.3E+00	1.7E+00
0.7	3.2E-01	3.3E-01	5.6E-01	9.0E-01	1.4E+00	1.8E+00
0.8	3.3E-01	3.4E-01	5.8E-01	9.3E-01	1.4E+00	1.9E+00
0.9	3.3E-01	3.5E-01	5.9E-01	9.5E-01	1.5E+00	1.9E+00
1	3.3E-01	3.5E-01	5.9E-01	9.6E-01	1.5E+00	2.0E+00
2	3.1E-01	3.3E-01	5.7E-01	9.3E-01	1.4E+00	1.9E+00
3	2.7E-01	2.9E-01	5.1E-01	8.5E-01	1.3E+00	1.7E+00
4	2.4E-01	2.6E-01	4.6E-01	7.7E-01	1.2E+00	1.6E+00
5	2.1E-01	2.3E-01	4.1E-01	7.0E-01	1.1E+00	1.4E+00
6	1.8E-01	2.0E-01	3.6E-01	6.4E-01	9.8E-01	1.3E+00
7	1.6E-01	1.8E-01	3.3E-01	5.8E-01	8.9E-01	1.2E+00
8	1.4E-01	1.6E-01	2.9E-01	5.2E-01	8.1E-01	1.1E+00
9	1.2E-01	1.4E-01	2.6E-01	4.8E-01	7.4E-01	9.8E-01
10	1.1E-01	1.2E-01	2.3E-01	4.3E-01	6.7E-01	9.0E-01
11	9.4E-02	1.1E-01	2.1E-01	3.9E-01	6.1E-01	8.2E-01
12	8.3E-02	9.8E-02	1.9E-01	3.6E-01	5.5E-01	7.4E-01
13	7.2E-02	8.6E-02	1.7E-01	3.2E-01	5.0E-01	6.8E-01
14	6.3E-02	7.7E-02	1.5E-01	2.9E-01	4.6E-01	6.2E-01
15	5.6E-02	6.8E-02	1.4E-01	2.7E-01	4.2E-01	5.6E-01
16	4.9E-02	6.0E-02	1.2E-01	2.4E-01	3.8E-01	5.1E-01
17	4.3E-02	5.3E-02	1.1E-01	2.2E-01	3.5E-01	4.7E-01
18	3.7E-02	4.7E-02	9.8E-02	2.0E-01	3.1E-01	4.2E-01
19	3.3E-02	4.2E-02	8.8E-02	1.8E-01	2.9E-01	3.9E-01
20	2.9E-02	3.7E-02	7.9E-02	1.7E-01	2.6E-01	3.5E-01

<sup>12</sup>頸部ファントムを用いた実験及びシミュレーションにより、NaI(Tl)サーベイメータの甲状腺中 <sup>131</sup>I に対する応答を次のように決定した。20  $\mu\text{Sv h}^{-1}/\text{kBq}$  (0y, 1y, 5y), 25  $\mu\text{Sv h}^{-1}/\text{kBq}$  (10y, 15y), 30  $\mu\text{Sv h}^{-1}/\text{kBq}$  (Adult)



## 6-② 新モニタ用制御・解析ソフトウェア使用説明書

### 新モニタ用制御・解析ソフトウェアの使用説明書

本プログラムは次の環境で動作する。

OS	: Windows 7(SP1 以上)/Windows 8.1/Windows 10
PC	: AT 互換機
ディスプレイ	: XGA(1024×768)以上の解像度を推奨
MCA	: クリアパルス社製 MCA(80406 後継機)
その他	: Microsoft .Net framework 4.0 以上及び, 同 Language Pack 4.0 以上

ここでは改良版制御・解析ソフトウェアの主な説明法について下記の通りまとめる。

1. 日常の操作方法
2. プログラム機能毎の操作方法

## 1. 日常の操作方法

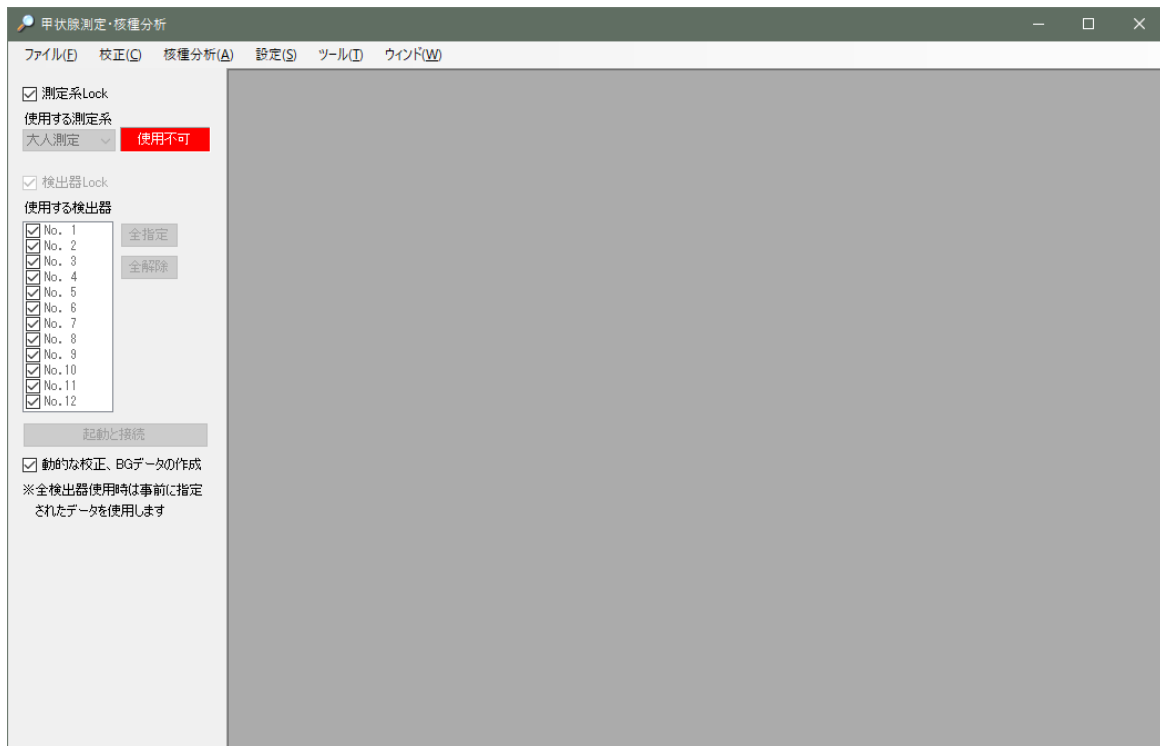
新モニタと接続や起動、校正データの作成や各種設定は完了しているものとする。

### 1.1. プログラム起動

- ① パーソナルコンピュータの電源を投入する。
- ② ディスプレイ上のアイコン"改良甲状腺測定"を起動する。



プログラムが起動する。



※表示画面中のプリセット設定や"保存先"は前回の設定値が表示される。

## 1.2. MCA 起動

MCA 制御機能を有効にする。

①誤操作に対するインタロックを解除する。チェックボックス"測定系 Lock"をアンチェックする。

Two screenshots of the '測定系 Lock' checkbox. The left screenshot shows the checkbox is unchecked, and the right screenshot shows it is checked. Both screenshots show a dropdown menu for '使用する測定系' with '大人測定' selected and a red '使用不可' button.

使用する測定系を選択する。

A screenshot of the '使用する測定系' dropdown menu. The menu is open, showing '大人測定' selected and '子供測定' as an option.

以下は、大人測定が選択されたものとする。

個々の検出器を使用するか否かの指定機能が有効になるが、ここでもチェックボックス"検出器 Lock"をアンチェックする。

Two screenshots of the '検出器 Lock' checkbox and detector selection list. The left screenshot shows the checkbox is unchecked, and the right screenshot shows it is checked. Both screenshots show a list of detectors (No. 1 to No. 12) with checkboxes, and '全指定' and '全解除' buttons.

検出器を使用するか否かは事前に設定した内容が初期状態として表示される。もし、改めて指定し直す検出器がある場合はチェックボックス"検出器 No." で指定して、「起動と接続」ボタンをクリックする。

A screenshot of the '起動と接続' button and '動的な校正、BGデータの作成' checkbox. The '起動と接続' button is highlighted with a blue border and a black arrow pointing to it. Below it is the '動的な校正、BGデータの作成' checkbox, which is checked. A note below the checkbox reads: '※全検出器使用時は事前に指定されたデータを使用します'.

指定した測定系に対応する新モニタ用 MCA 制御プログラムが起動し、以降、測定が可能になる。

なお、MCA 起動後は誤操作に対するインタロックが有効 ("測定系 Lock"と"検出器 Lock"が ) になり、MCA を起動、終了する機能が無効になり、測定中に MCA を終了させる等の誤操作を防ぐ。

使用しない検出器がある場合、使用する検出器のデータだけで、動的に効率データと BG データを作成する。

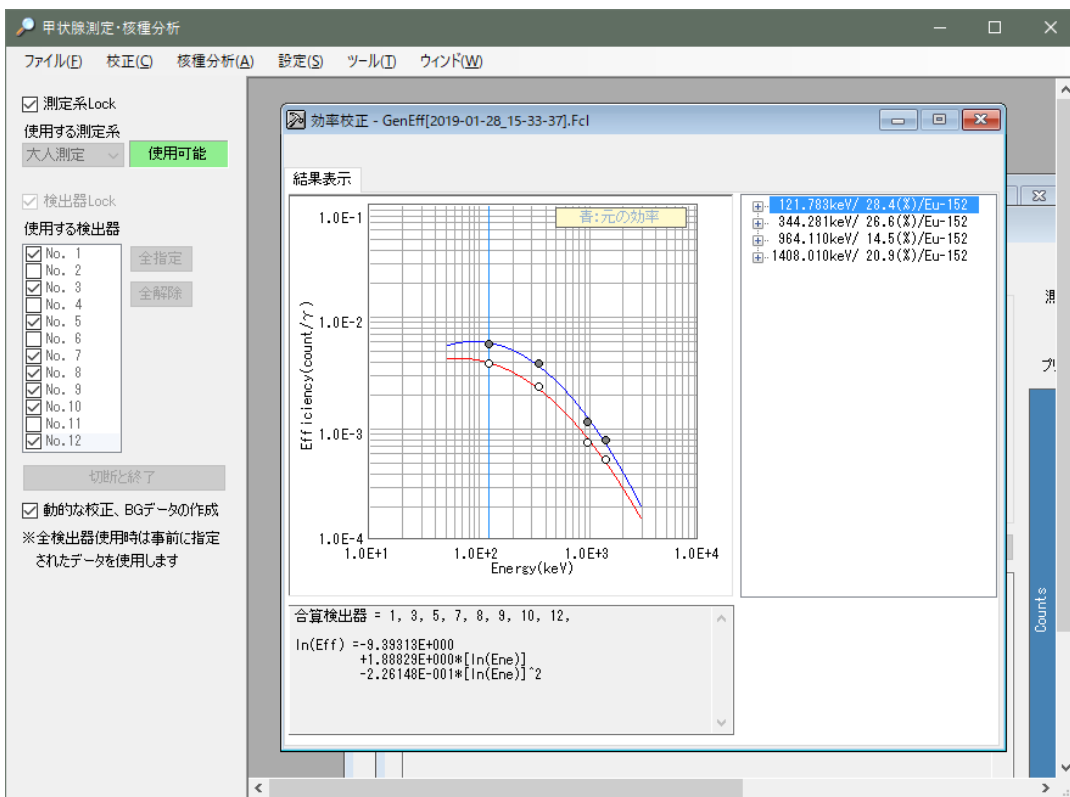
例) 大人測定(検出器数 = 12) の検出器の 1,3,5,7,8,9,10,12 のみを使用するとして MCA 接続した場合、

効率データ : 検出器 = 1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12 の合算スペクトルで効率校正

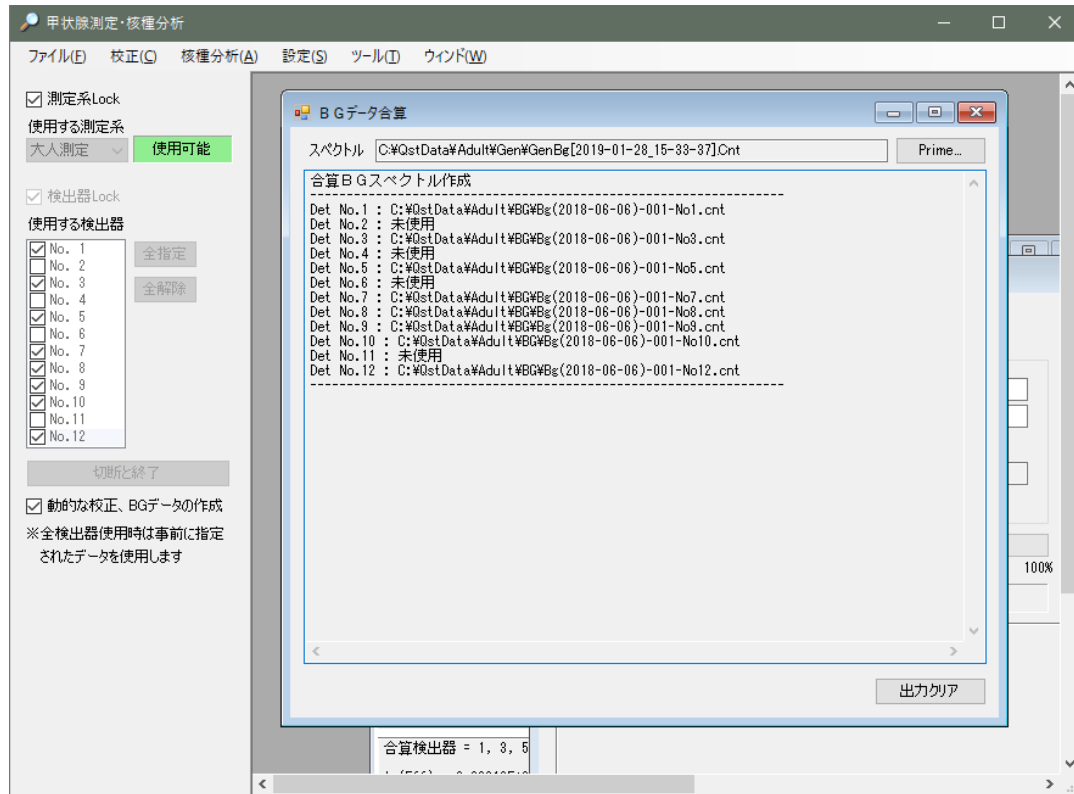
BG データ : 検出器 = 1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12 の合算スペクトルを BG データ

とする。接続後は内容を確認可能である。

指定した検出器だけの合算スペクトルによる効率校正結果確認表示



## 指定した検出器だけのデータによる合算 BG データ確認表示



なお、高圧印加後のしばらくの間は検出器の出力信号は不安定で、信号が安定するまでには30分程度のウォームアップ時間が必要である。このウォームアップの間は測定を行わない。

### 1.3. バックグラウンドテスト

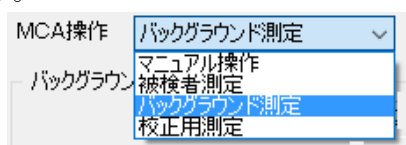
被検者測定を行う前にバックグラウンドに汚染がないかを確認する。

※全計数率(cps)を基準値と比較する。基準値は全検出器のスペクトルの和かつ全チャンネルの計数の和である。

※この測定は必須ではなく、バックグラウンドテストを行わなくても被検者測定は可能である。

バックグラウンドテストを行うかどうかは測定される方が判断する。なお、バックグラウンドの基準値は全ての検出器のスペクトルの和かつ全チャンネルの計数の和であり、使用しない検出器がある場合、バックグラウンドテストは基準値以下の判定になる。

まず、検出器周辺に試料や線源がないことを確認する。本プログラムの起動時の"MCA操作"は「被検者測定」であるため、コンボボックス"MCA操作"を「バックグラウンド測定」に切り換える。



画面の一部がバックグラウンド測定の情報入力画面に切り替わるとバックグラウンド測定条件を入力する。

- **BG 分析実行** : 測定後、合算 BG スペクトルに対して BG 分析を実行するか否かを指定する。チェック(☑)すると BG 分析を実行する。
- **許容範囲** : 測定した全計数率(cps)と登録してある BG 基準値(cps)との許容範囲を%単位で指定する。なお、システム導入の段階では BG 基準値が未登録なので、1 回目の BG 測定結果が BG 基準値として自動登録される。
- **測定時間** : 測定可能時間= 1 ~ 99999 秒  
測定のプリセット時間(ライブタイム)を秒単位で入力する。

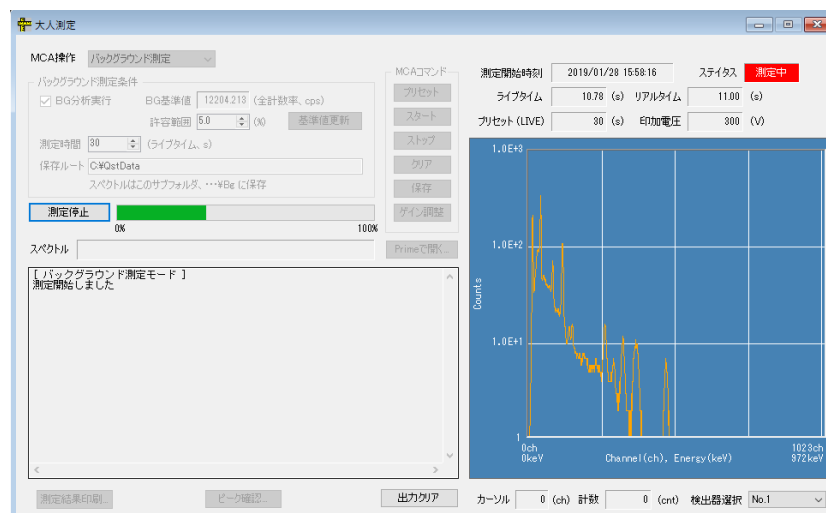
測定したスペクトルデータは、保存ルートの下層に

大人測定 : ...¥Adult¥BG, 子供測定 : ...¥Child¥BG

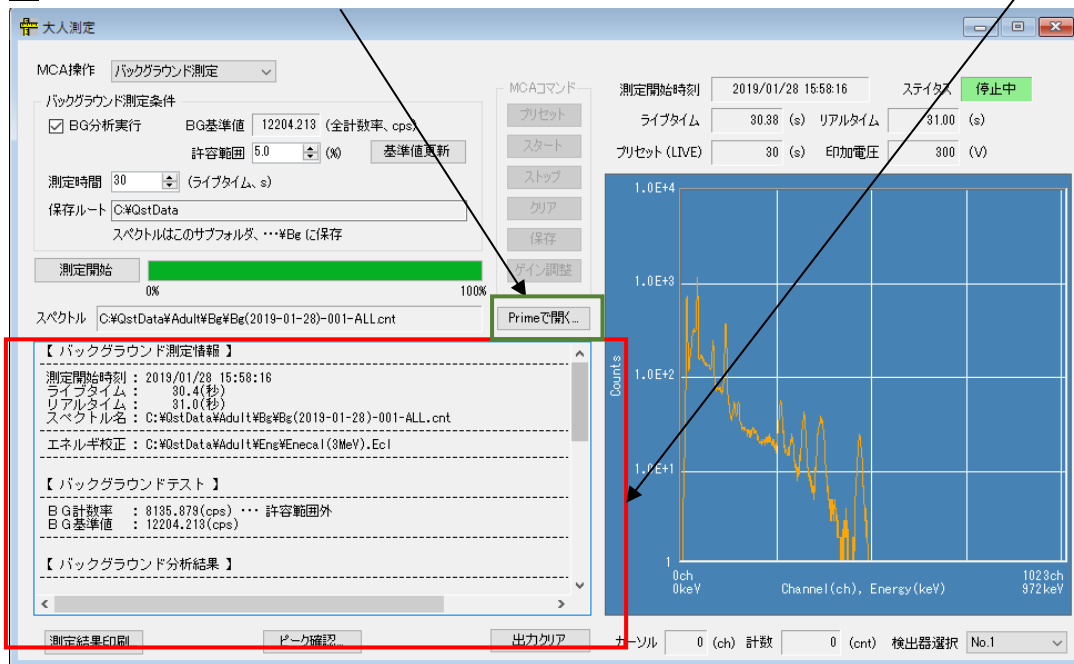
に個々の検出器のスペクトル及び合算スペクトル保存される。

条件入力後に「測定開始」ボタンをクリックすると測定開始する。測定中は画面右側に測定時間やスペクトルがリアルタイム更新される。ただし、本システムは複数の検出器のスペクトルを扱うために、一度に表示するとスペクトルが視認し難くなる。そこで表示する検出器(またはスペクトルの合算)を選択する。なお、測定の進捗状況はプログレスバーでも確認できる。

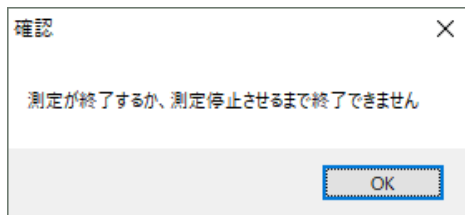
### BG 測定中画面



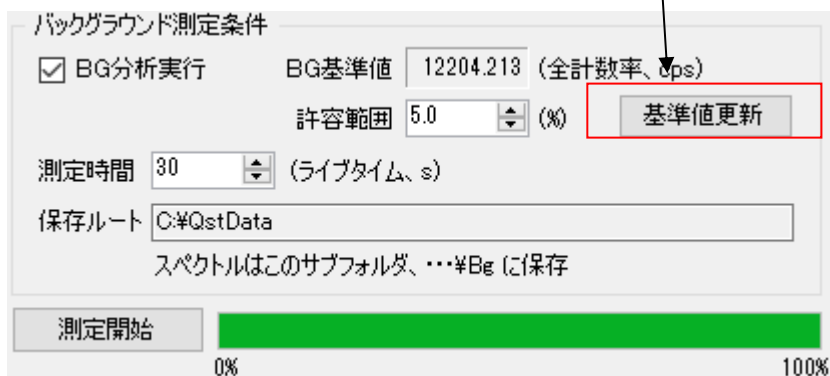
測定後にバックグラウンドテスト(と指定により BG 分析)を実行, 結果を出力画面に表示する。また「Primeで開く...」ボタンをクリックすると合算スペクトルが表示可能である



なお、バックグラウンドテスト中はプログラム終了できません。以下のメッセージが出力される。



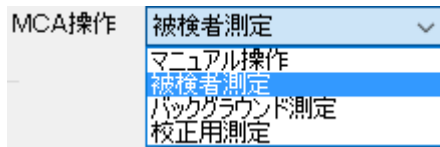
バックグラウンドテストの結果は更新可能であり、「基準値更新」ボタンをクリックするとシステムデータとして保存できる。



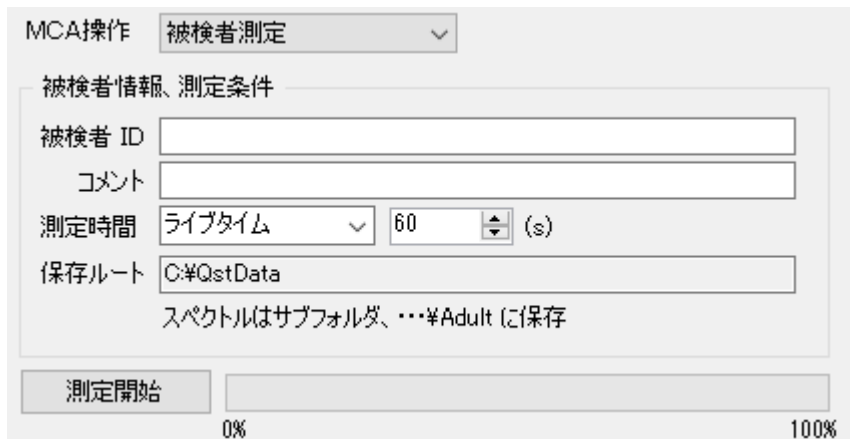
※システム導入の段階では BG 基準値が未登録なので、1回目のバックグラウンドテストでは BG 基準値が自動登録される。

## 1.4. 被検者測定

コンボボックス"MCA 操作"を「被検者測定」に切り換える。

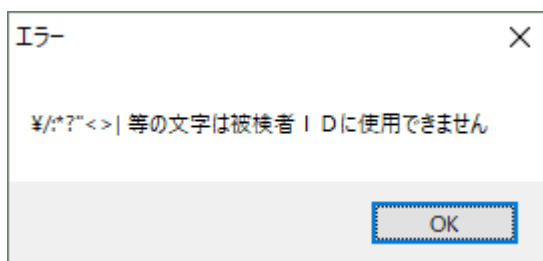


画面の一部が被検者測定の情報入力画面に切り替わる。

A screenshot of the '被検者測定' (Subject Measurement) information input screen. At the top, 'MCA操作' is set to '被検者測定'. Below this is a section titled '被検者情報、測定条件' (Subject Information, Measurement Conditions). It contains several input fields: '被検者 ID' (Subject ID), 'コメント' (Comment), '測定時間' (Measurement Time) with a dropdown set to 'ライブタイム' (Live Time) and a numeric input set to '60' (s), and '保存ルート' (Save Path) set to 'C:\QstData'. Below the save path, there is a note: 'スペクトルはサブフォルダ、・・・\Adult に保存' (Spectrum is saved in subfolder, ... \Adult). At the bottom, there is a '測定開始' (Start Measurement) button and a progress bar showing '0%'.

被検者測定の入力条件を入力する。

- 被検者 ID : 被検者の ID として氏名や一意の番号を入力する。  
※文字数制限はないが被検者 ID はファイル名として使用するため、以下の文字は使用できない。  
¥/ : \*?¥" <>| … これらの禁止文字は、測定開始時にチェックされる。



- コメント : 必要に応じて入力してください。
- 測定時間 : 測定のプリセットモードにライブタイム/リアルタイムを選択し、プリセット時間を秒単位で指定する (範囲 = 1 ~ 99999 秒)。

測定したスペクトルデータは、保存ルート(&&&&&&&&&, ユーザが指定)の下層に

測定 : …¥Adult

測定 : …¥Child

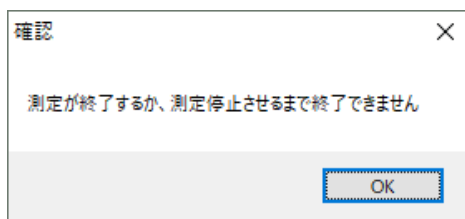
に個々の検出器のスペクトル及び合算スペクトル保存される。



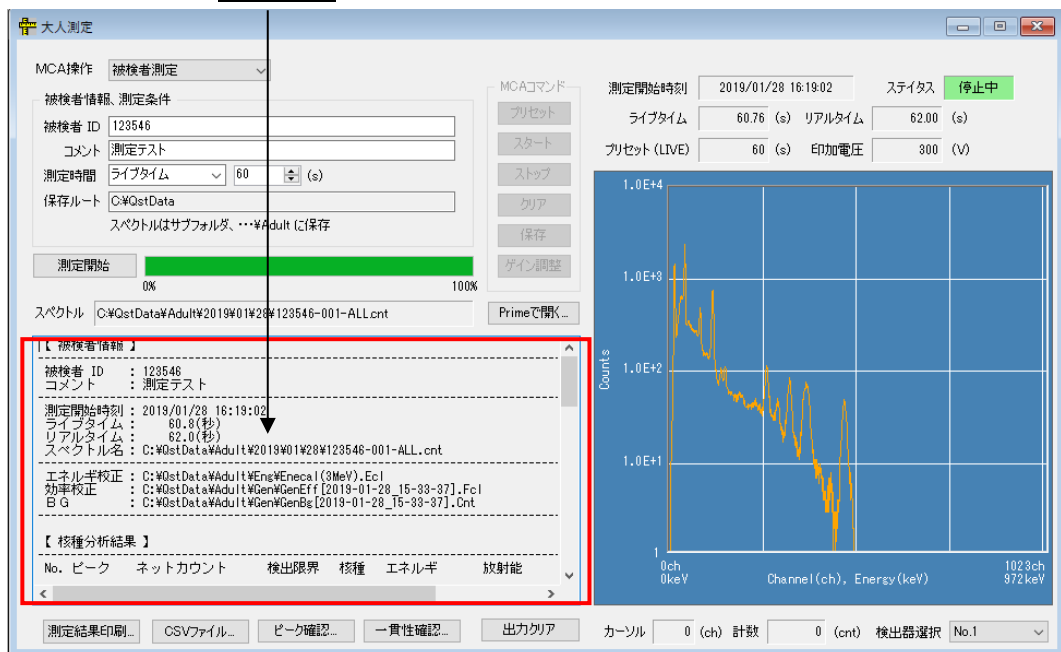
例) C : ¥&&&&&&¥Adult¥yyyy¥MM¥dd¥#####-\$\$\$-%%%.cnt

- yyyy : 測定開始年 (2018 等) ... フォルダは自動生成
- MM : 同月 (02 等, ゼロ埋めする) ... フォルダは自動生成
- Dd : 同日 (08 等, ゼロ埋めする) ... フォルダは自動生成
- ##### : 被検者 ID ... 使用禁止文字 = ¥ / : \* ? ¥ < > |
- \$\$\$ : 当該被検者の測定開始日での測定番号
- %%% : 検出器番号("No1"~"No12"), 合算スペクトルは"ALL"

条件入力後に「測定開始」ボタンをクリックして測定開始する。測定中は画面右側に測定時間やスペクトルがリアルタイム更新される。なお, 被検者測定中はプログラム終了できなく, 以下のメッセージが出力される。



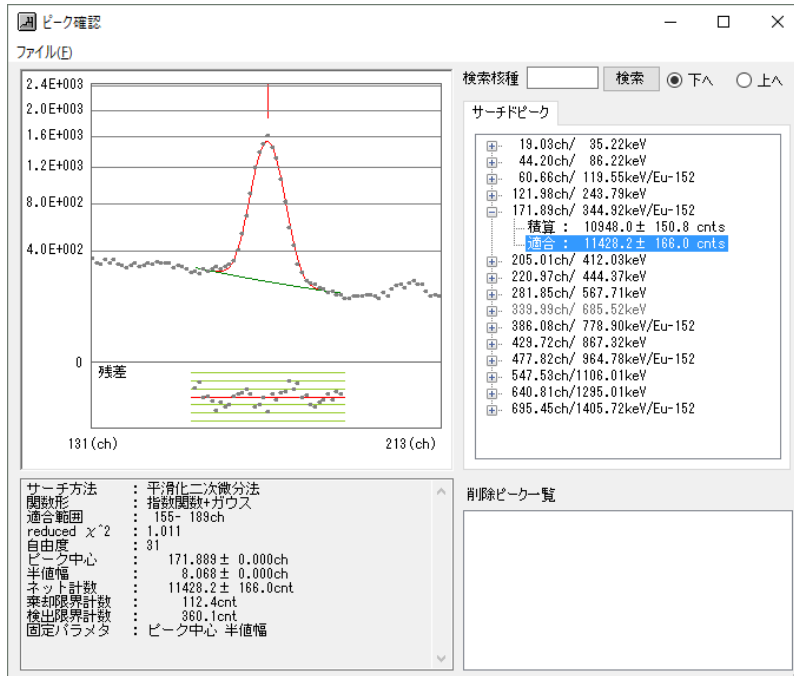
測定が終了するとスペクトルの合算, 合算スペクトルを保存して, 合算スペクトルに対して核種分析を行い, 結果を画面表示する。



なお, 「Prime で開く...」ボタンをクリックすると合算スペクトルファイルが表示される。この時, 合算スペクトルファイルはプログラム Prime によって"開く"ことが可能で Prime の表示上で, 核種分析結果も表示されるが, 被検者 ID 情報は表示されない。

核種分析後は次の機能が有効になる。

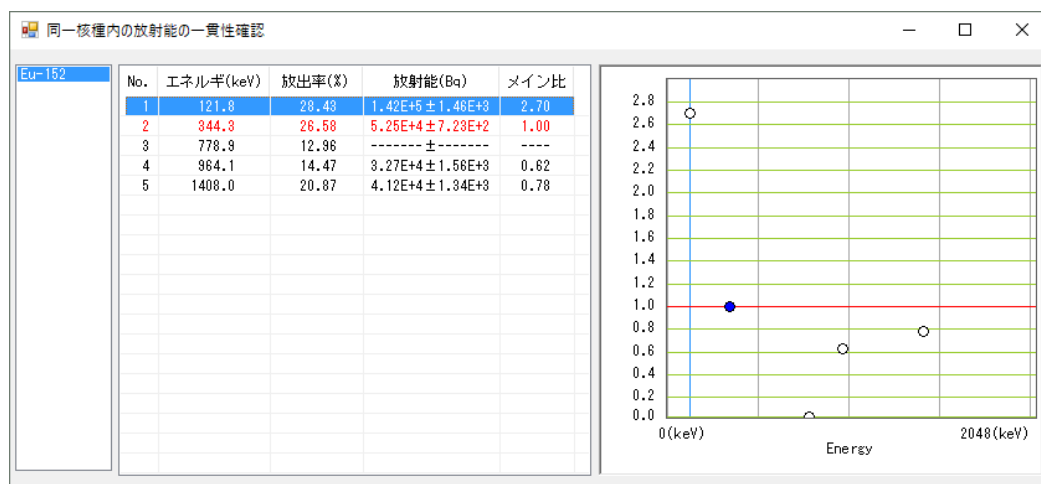
- ・測定結果印刷 : 画面中の測定結果出力をプリンタ出力する。出力プリンタや出力方向 等は Windows 標準の入力画面で行う。
- ・CSV ファイル : 画面中の測定結果出力を CSV ファイルに保存する。
- ・ピーク確認 : 本プログラムで処理した  $\gamma$  線ピークの処理情報詳細を画面出力する。



この例はピーク関数適合でネット面積計算した場合の詳細情報である。

- ・一貫性確認 : 核種が複数の  $\gamma$  線を放出している場合、個々の  $\gamma$  線による放射能計算結果は異なる。

ここではメインピークによる放射能とそれ以外の  $\gamma$  線による放射能との比を計算して、放射能計算の一貫性に関する情報を出力する。



## 1.5. 校正測定

本プログラムは大人測定、子供測定で校正ファイルを管理し、既出のように使用しない検出器がある場合には動的な効率校正や合算 BG スペクトルを生成する。

これらの動的なデータ生成は個々の検出器オリジナルのスペクトルデータが必要である。

本プログラムのマニュアル操作は任意ファイル名でのファイル保存が可能な反面、その自由なファイル名の付けに由来するファイル名の混同は避けられない。

そこで本プログラムでは、

- ・ BG 測定
- ・ エネルギー校正
- ・ 効率校正

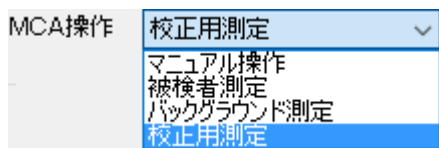
に対して上記のように、ファイル名規約を強制してファイル保存する校正測定モードを実装している。BG 測定については既出の [1.3. バックグラウンドテスト](#) が相当する。

以下、残りのエネルギー校正、効率校正について説明する。

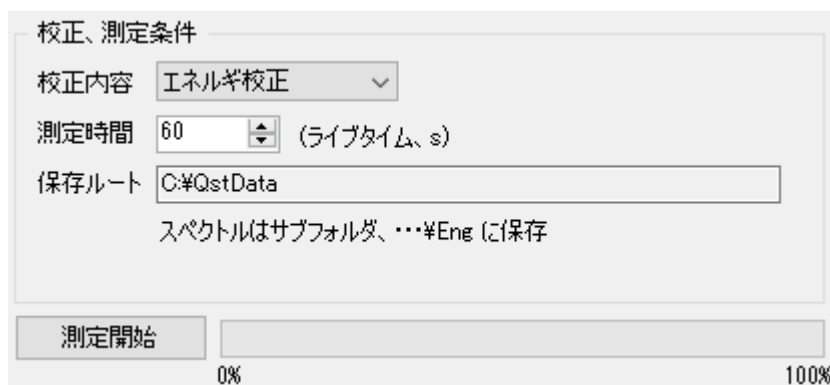
### (1) エネルギー校正用測定

予めエネルギー校正に使用する線源を所定の位置にセットしておく。

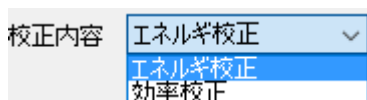
コンボボックス" MCA 操作 " 「校正用測定」 を選択する。



次に、入力画面が切り替わる。



コンボボックス"校正内容" の「エネルギー校正」を選択する。



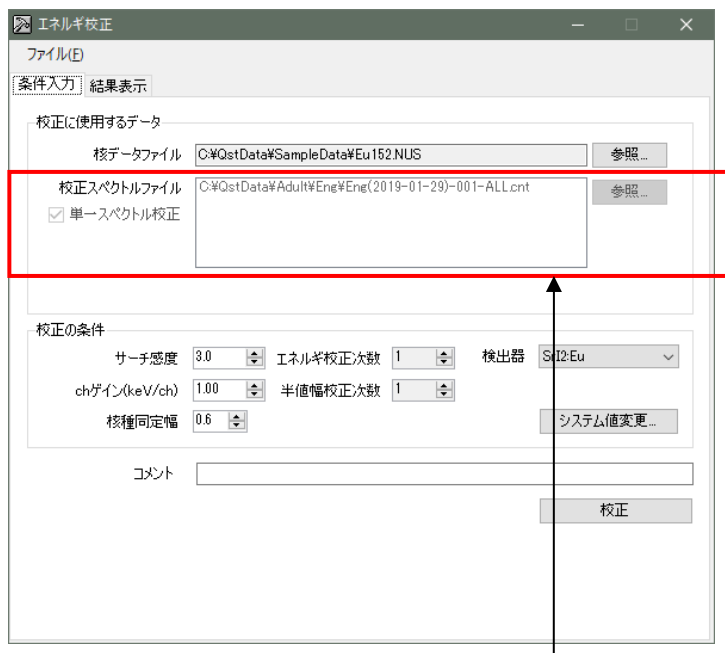
測定時間 : 測定時間をライブタイムプリセットする。

※データ保存フォルダは保存ルートの下層に、

保存フォルダ : C:\#####\Adult\Eng ... 大人測定用のように規定される。

「測定開始」ボタンをクリックして測定を開始する。測定中スペクトルはリアルタイムモニタされる。

測定終了後に、スペクトルは自動的に合算、既出のフォルダに保存され、エネルギー校正プログラムが自動的に起動する。

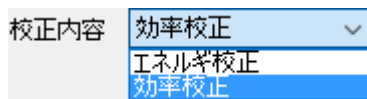


スペクトルファイルは自動的に指定されており、変更できない。

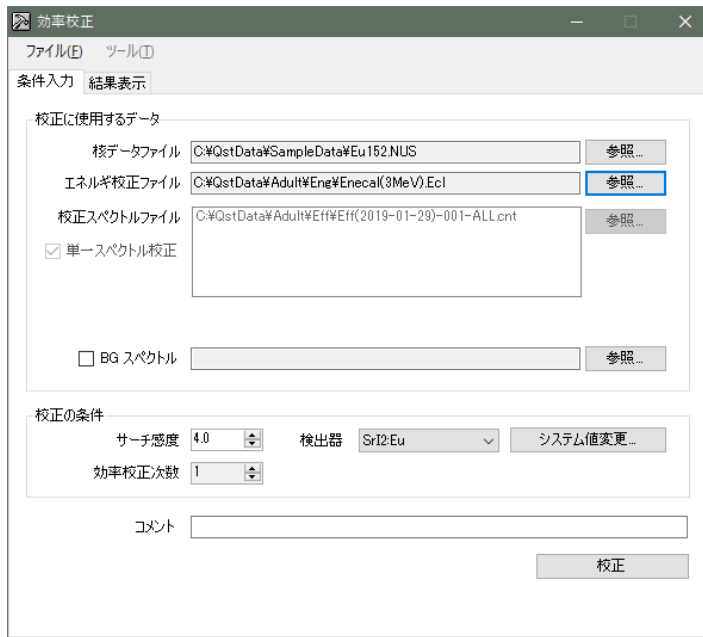
以降の操作はメニューから実行する通常の「エネルギー校正」と同一である。「2.2. エネルギー校正」を参照してください。

## (2) 効率校正用測定

"MCA 操作"「校正用測定」を選択後、校正内容として「効率校正」を選択する。



エネルギー校正測定と同様に測定時間をライブタイムプリセットして「測定開始」ボタンをクリックする。測定後のスペクトルは測定終了後に、自動的に合算、既出のフォルダに保存され、効率校正プログラムが自動的に起動する。



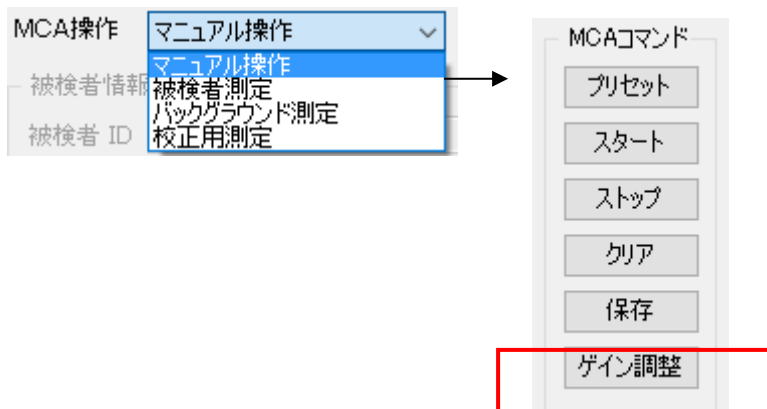
スペクトルファイルは自動的に指定されており、変更できない。  
 これ以降の操作はメニューから実行する通常の「効率校正」と同一である。「2.3. 効率校正」を参照する。

### 1.6. ゲイン微調整

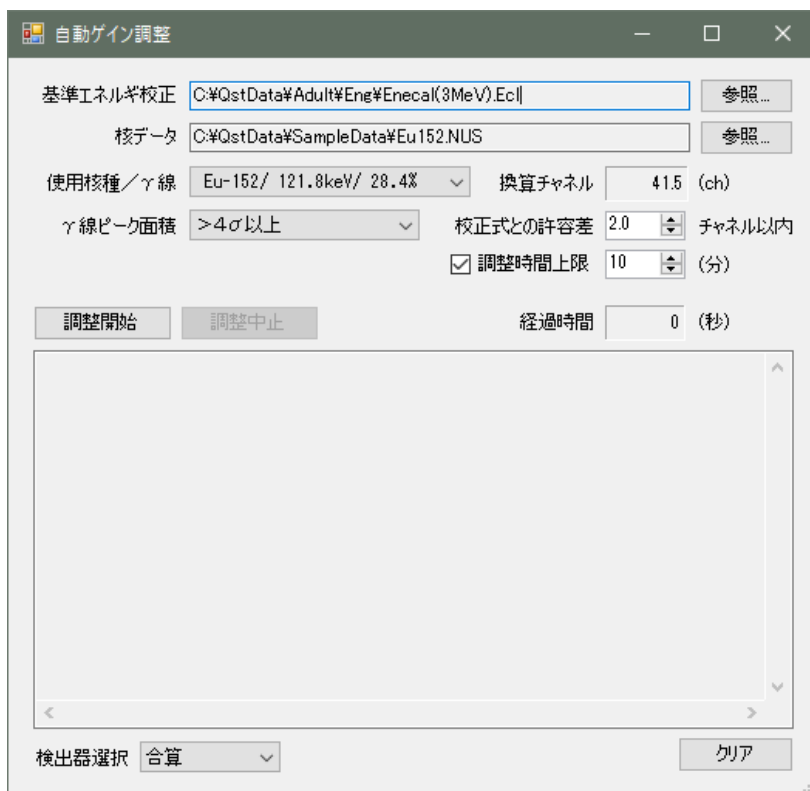
※本機能は初期のゲイン調整からの数 ch 程度のズレをハードウェア調整するものである。数十 ch にも及ぶ大きなズレが発生しているような場合は、新モニタの制御プログラムで再調整する必要がある。

なお、調整にはある程度の放射能の線源を必要とするので、予めご用意する。

目視あるいは測定結果から、数 ch 程度のピークのズレが確認できる場合に使用する。  
 コンボボックス"MCA 操作"で「マニュアル操作」を選択して、MCA コマンド操作を有効にする。



MCA コマンド操作ボタン中「ゲイン調整」ボタンをクリックすると次の画面が表示される。



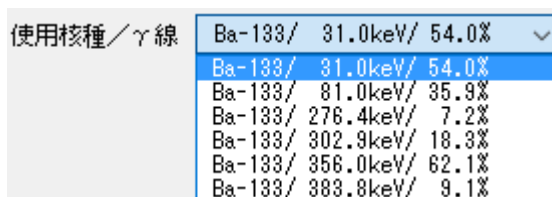
ゲイン調整の画面で、以下の項目を入力する。

- 基準エネルギー校正 :

測定系のエネルギー校正を登録したエネルギー校正ファイル(.Ecl)を指定する。本機能はハードウェアを、指定されたエネルギー校正に登録されているゲインに調整する。初期値は核種分析に使用するエネルギー校正ファイルであるが、変更可能である。
- 核データ :

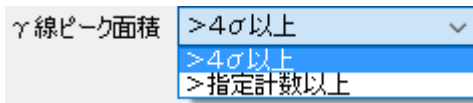
用意した線源の核種/γ線情報が登録された核データファイル(.Nus)を指定する。初期値は核種分析に使用する核データファイルであるが、変更可能である。
- 使用核種/γ線 :

使用する核種/γ線をコンボボックスで選択する。使用核種/γ線を選択すると、γ線エネルギーは指定エネルギー校正によってチャンネル換算され、"換算チャンネル"として表示される。

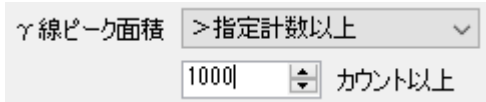


・  $\gamma$  線ピーク面積 :

使用する核種/ $\gamma$ 線のピーク面積を指定する。本機能は全検出器の当該 $\gamma$ 線のピーク面積がこの値を上回ったことを確認してからゲイン調整を行う。ピーク面積の指定方法は以下から選択する。



「>指定回数以上」選択した場合は続けて回数（100～）を数値入力する。



・ 校正式との許容差 :

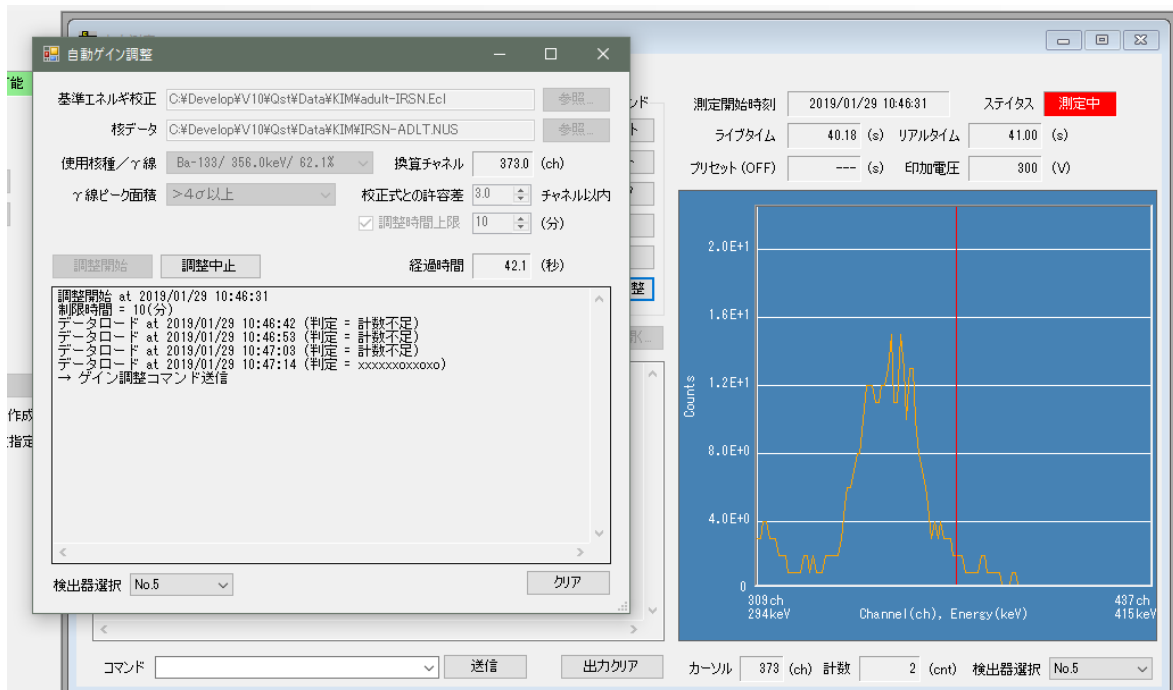
調整後のピーク ch と既出の"換算チャンネル"を比較し, "一致"したと判断するための許容差を指定する。※全検出器のピーク ch が 1.0ch 未満で一致することが理想であるが, 回数が少ない等の理由で, なかなか指定許容差に収斂しないことも想定される。

・ 調整時間上限 :

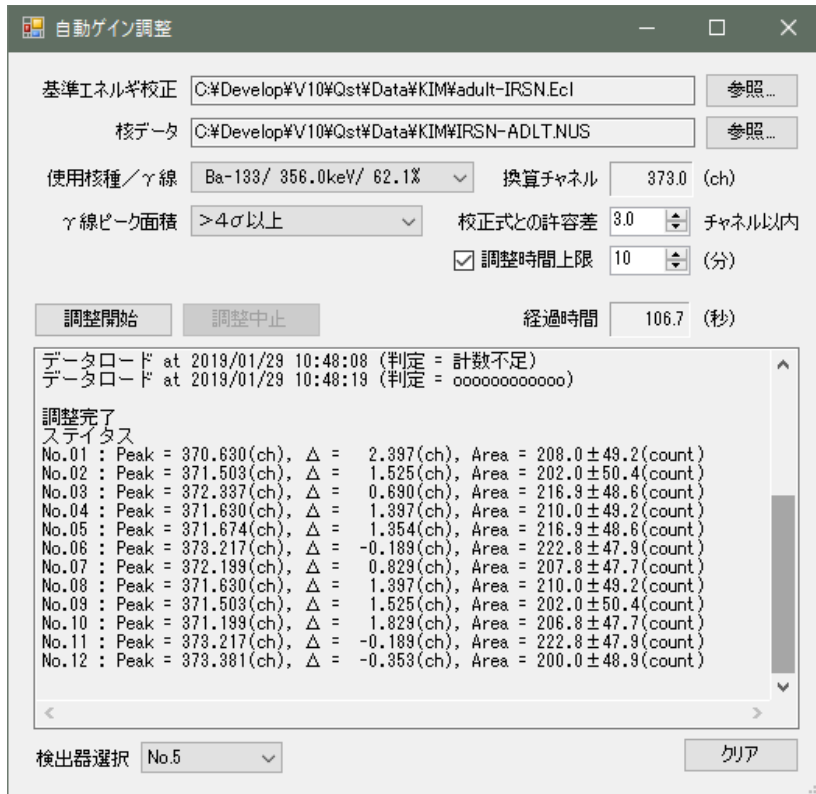
ゲイン調整時間を制限するか否かを指定する。チェック()時, 上限時間が入力可能になり, この上限時間内に許容差内に収斂しなかった場合は調整処理を打ち切る。



入力後, 「調整開始」ボタンをクリックしてゲイン調整用測定を開始する。測定中のスペクトルはリアルタイムで更新される。



調整が完了するとステータスが表示される。



検出器毎のピーク ch, 指定エネルギーによる換算 ch との差, ネット面積等が表示される。この例では全検出器に対して換算 ch との差が 2.5ch 以内に収斂したことを確認して, 調整完了としたと判断する。



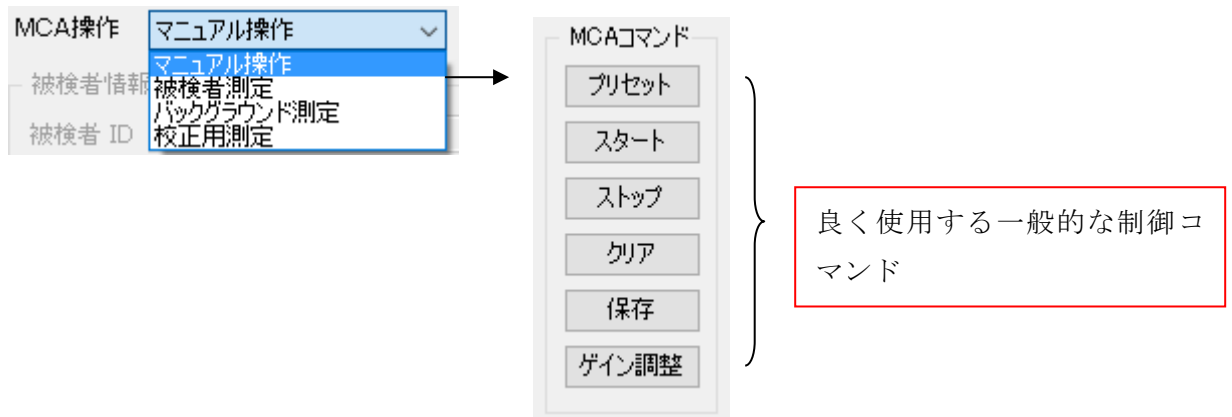
## 2. プログラム機能毎の操作方法

### 2.1. マニュアル操作モード

MCA に対する単一のコマンドを実行する。

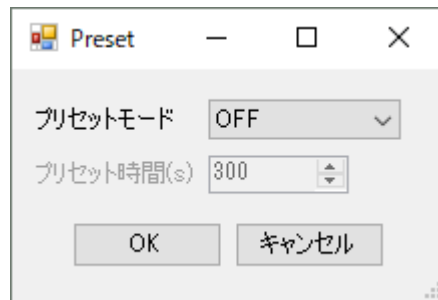
※一部の処理を除いてコマンドは連動しないため、測定開始→終了してもスペクトルの自動保存は行わない。

コンボボックス"MCA 操作"で「マニュアル操作」を選択して、MCA コマンド操作を有効にする。



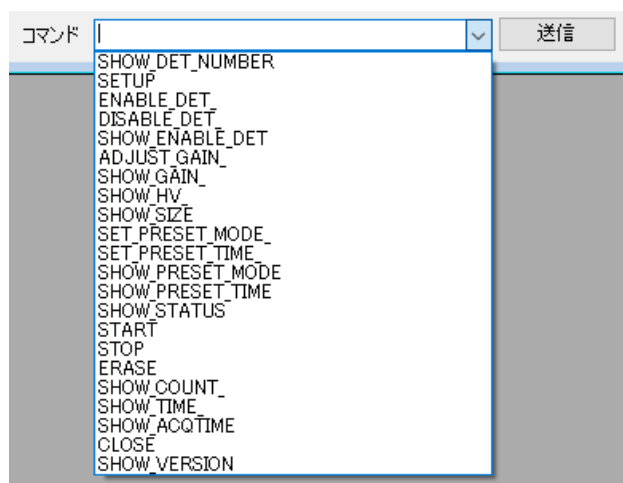
このモードでは良く使用する MCA コマンドが画面にボタンとして配置している。

- ・プリセット : プリセットモード(LIVE/REAL/OFF), プリセット時間を指定する。  
全ての検出器で共通である。



- ・スタート : MCA をスタートする。  
(全ての検出器に対して同時に実行。個別処理はできない)
- ・ストップ : MCA をストップする。  
(全ての検出器に対して同時に実行。個別処理はできない)
- ・クリア : MCA 上の全検出器の測定データ(測定時間情報, スペクトル)をクリアする。
- ・保存 : 検出器毎のスペクトル及び合算スペクトルをファイル保存する。  
※ファイル名は Windows 標準のファイル名入力ウィンドで行う。
- ・ゲイン調整 : MCA に対してゲイン調整を実行する。詳細は 1.5. ゲイン調整を参照

それ以外の MCA コマンドは画面下のコンボボックスから選択し、設定値が必要な場合はその設定値と組み合わせて送信する。



プリセット時間のように、設定値も与える場合にはアンダースコア(\_)に続けて入力する。  
例) SET\_PRESET\_TIME\_10000 ... プリセット時間を 10000 ミリ秒(=10 秒)に設定する。

#### 全制御コマンド一覧

- SHOW\_DET\_NUMBER : 接続している全検出器数を取得する。
- SETUP : 高圧印加, ゲイン調整を行う (全検出器を対象)
- ENABLE\_DET\_## : 特定の検出器を使用する設定  
(改良での追加コマンド, ##=検出器番号)
- DISABLE\_DET\_## : 特定の検出器を使用しない設定  
(改良での追加コマンド, ##=検出器番号)
- ADJUST\_GAIN\_##\_\$\$\$\$ : ゲイン調整する。  
(改良での追加コマンド, ##=検出器番号, \$\$\$\$=調整割合)  
※検出器番号を必ず指定するように改訂されている。
- SHOW\_GAIN\_## : ゲイン(keV/ch)を取得する  
(改良での追加コマンド, ##=検出器番号)  
※検出器番号を必ず指定するように改訂されている。
- SHOW\_HV\_# : パラメタ # (=検出器番号(1~8))で指定した検出器の印加電圧(V)を取得する。
- SHOW\_SIZE : チャンネルサイズ(ch)を取得する (全検出器で共通)。
- SET\_PRESET\_MODE\_\$\$\$ :  
プリセットモード (\$\$\$=LIVE or REAL or OFF)を指定する。  
(全検出器で共通)。
- SET\_PRESET\_TIME\_#### : プリセット時間をミリ秒単位で指定する。  
(全検出器で共通)
- SHOW\_PRESET\_MODE :  
プリセットモード (\$\$\$=LIVE or REAL or OFF)を取得する。  
(全検出器で共通)

- SHOW\_PRESET\_TIME : プリセット時間をミリ秒単位で取得する。  
(全検出器で共通)
- SHOW\_STATUS : MCA の動作状態(BUSY or STOP)を取得する。  
(全検出器で共通)
- START : MCA をスタートする。(全検出器で共通)
- STOP : MCA を停止する。(全検出器で共通)
- ERASE : MCA の測定時間情報, スペクトルデータをクリアする。  
(全検出器で共通)
- SHOW\_COUNT\_# : パラメタ #(=検出器番号(1~8))で指定した検出器のスペクトルデータを取得する。
- SHOW\_TIME\_\$\$\$ : 測定時間をミリ秒単位で取得する。(\$\$\$=LIVE or REAL)。
- SHOW\_ACQTIME : 測定開始時刻を取得する。  
(書式 = yyyy-MM-dd HH : mm : ss)
- CLOSE : MCA 制御プログラムを終了する。
- SHOW\_VERSION : MCA 制御プログラムのバージョンを取得する。

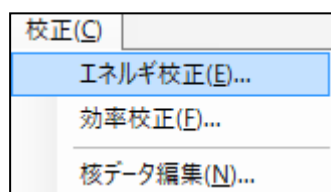
MCA コマンド送信結果は画面に出力される。

```
[ マニュアル操作モード ]
Command : SET_PRESET_MODE_10000
Reply   : True
I/O Time : 20.0004(ms)
```

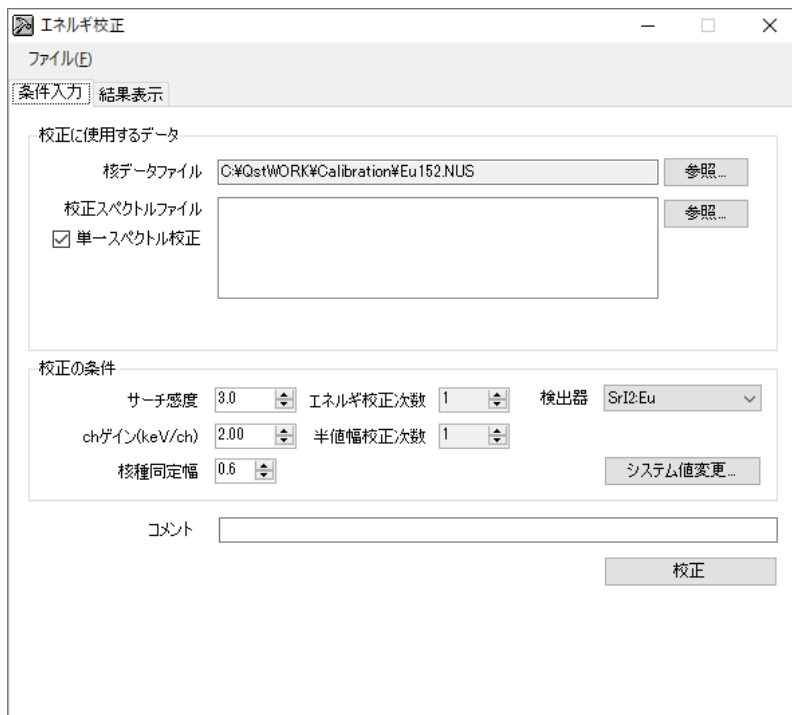
## 2.2. エネルギー校正

測定系のエネルギー校正／半値幅校正を行う。予め MCA マニュアル操作モード等で、校正に必要なスペクトルデータを測定、ファイル保存してあることが必要である。

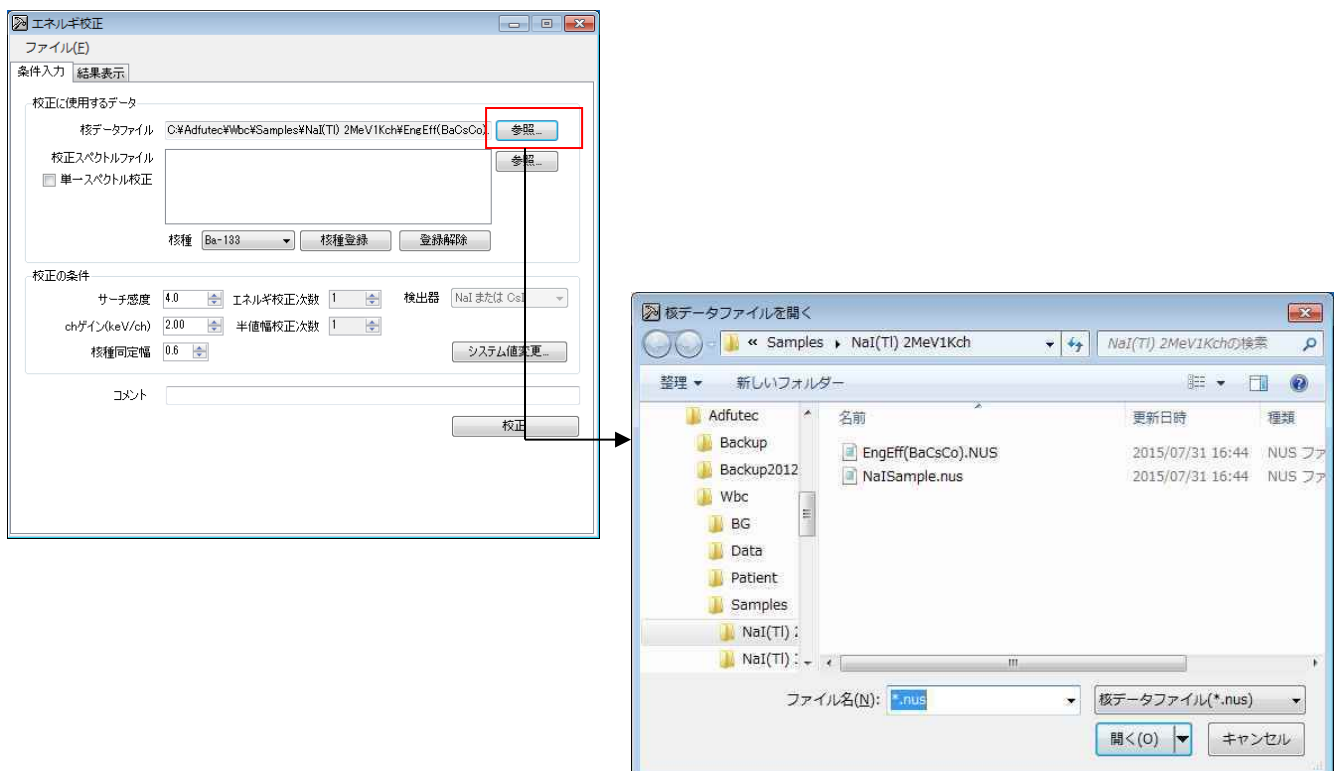
メニュー「校正／エネルギー校正」を実行する。



エネルギー校正／半値幅校正プログラムが起動する。



エネルギー校正に使用する，核データファイルと校正スペクトルを「参照」ボタンをクリックして核データファイルから選択する。



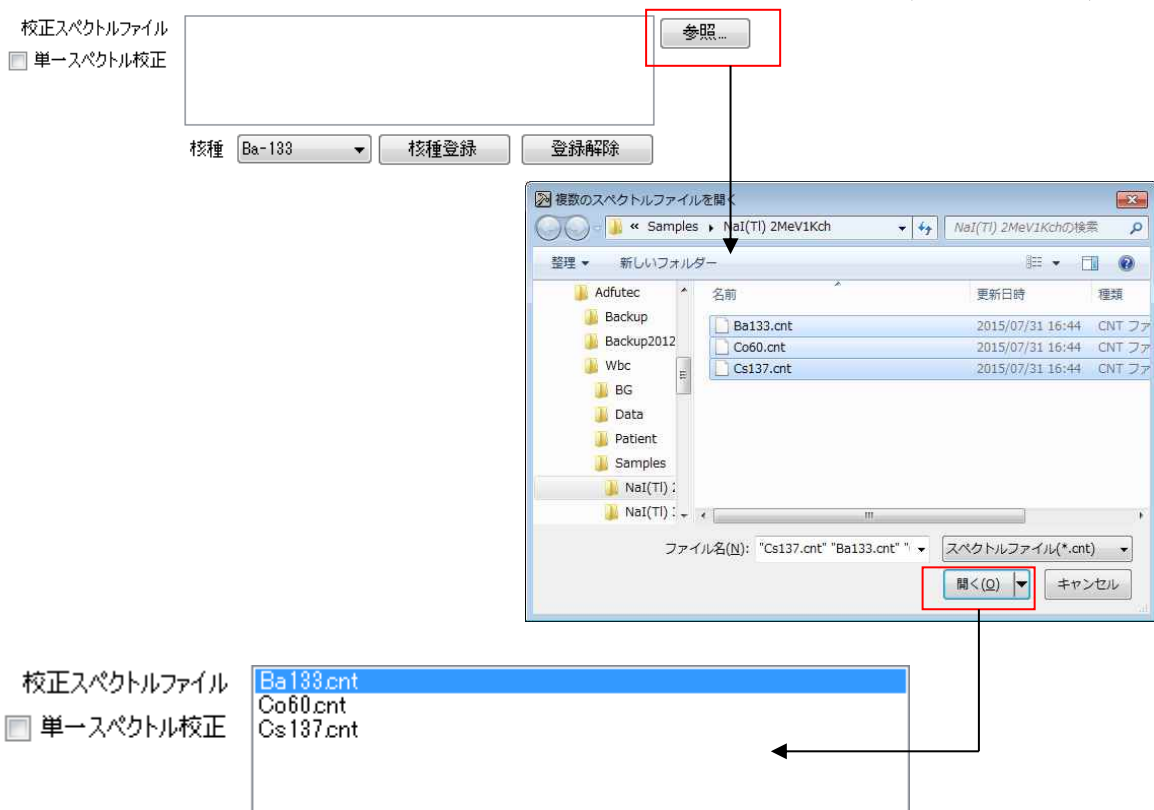
エネルギー校正に使用するスペクトルは核種／線源によって次の2タイプがある。

タイプ1：単一核種毎の線源を個別測定し、複数のスペクトルでエネルギー校正するもの

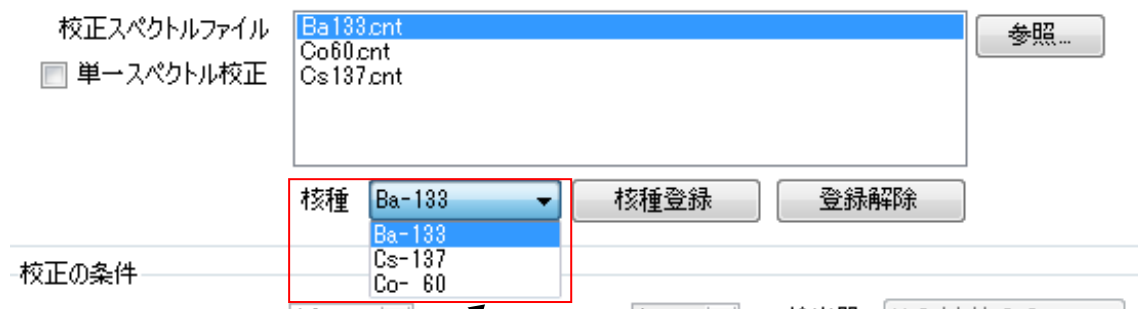
「単一スペクトル校正」の (チェックなし)で画面が切り換わる。



「参照」ボタンをクリックして校正スペクトルファイルを選択する。(複数選択可能)



校正スペクトル毎に対応する核種を指定する。



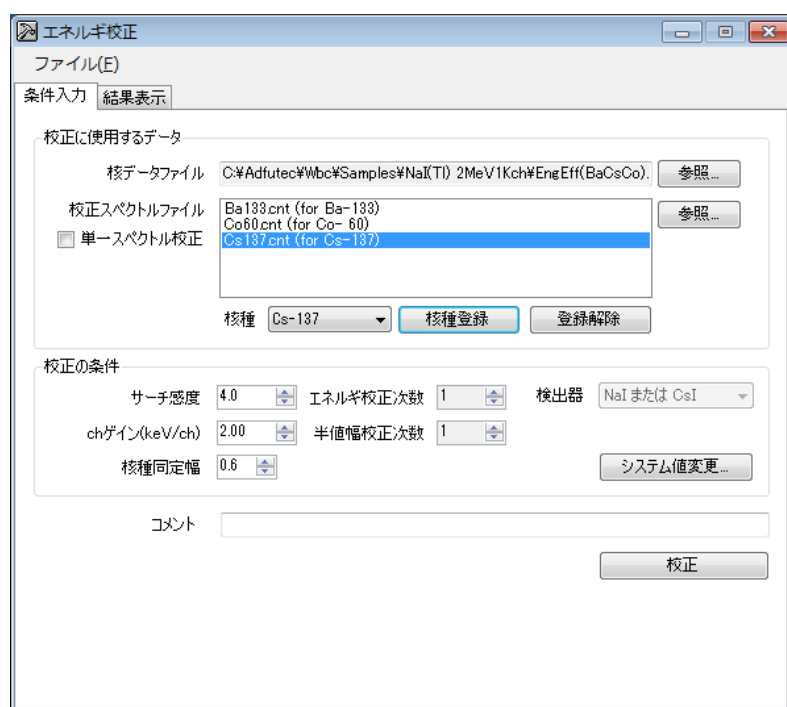
核データファイルを選択すると核種がコンボボックスで選択できる。核種を選択後、「核種登録」ボタンをクリックして校正スペクトルに対応させる。

※参照した全ての校正スペクトルに対する対応付けが必要である。

全ての校正スペクトルに対応する対応付けが完了しない状態で「校正」を実行すると、以下の確認メッセージが出力される。



上記の「OK」ボタンをクリックして条件入力画面に戻り、対応付けられていない全てのスペクトルに対して核種を対応付ける。



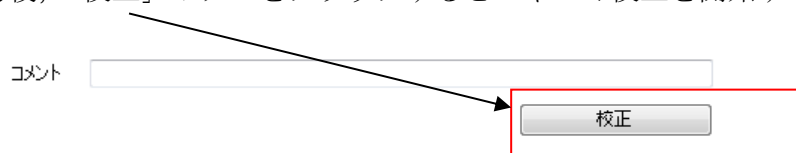
校正の条件として、

- ・サーチ感度(2.5~20.0)
- ・ch ゲイン (0.9~10.0)
- ・核種同定幅(0.4~1.0)
- ・エネルギー校正次数(1 or 2) …… 校正に使用可能な登録  $\gamma$  線数 - 2 が上限  
(3 本なら校正次数  $\leq 1$ )
- ・半値幅校正次数(1 or 2) …… 校正に使用可能な登録  $\gamma$  線数 - 2 が上限  
(3 本なら校正次数  $\leq 1$ )

またスペクトル処理の詳細な条件は「システム値変更...」ボタンをクリックしてすると変更できる。

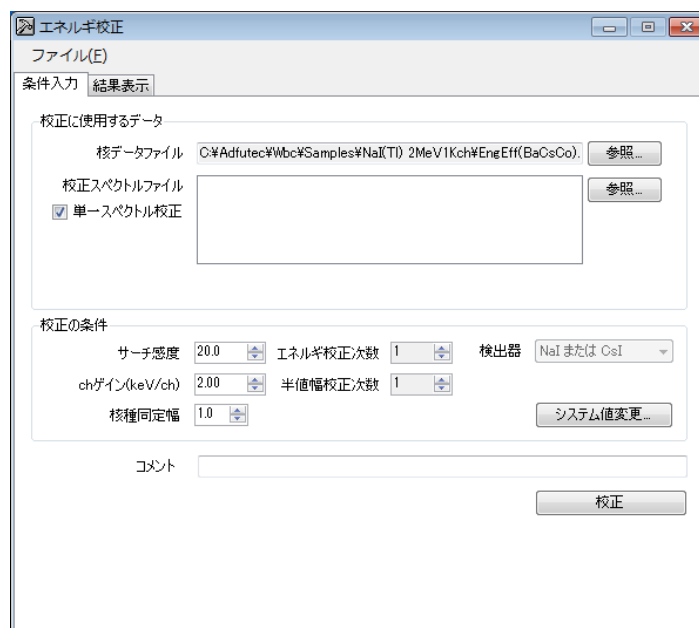
※「システム値変更...」は「設定」メニュー、「核種分析条件設定」と同じである。

条件入力後、「校正」ボタンをクリックするとエネルギー校正を開始する。



タイプ 2 : 1 つの線源に複数核種(Ba-133 + Cs-137 + Co-60 等)が含まれており、1 本のスペクトルだけでエネルギー校正できるもの

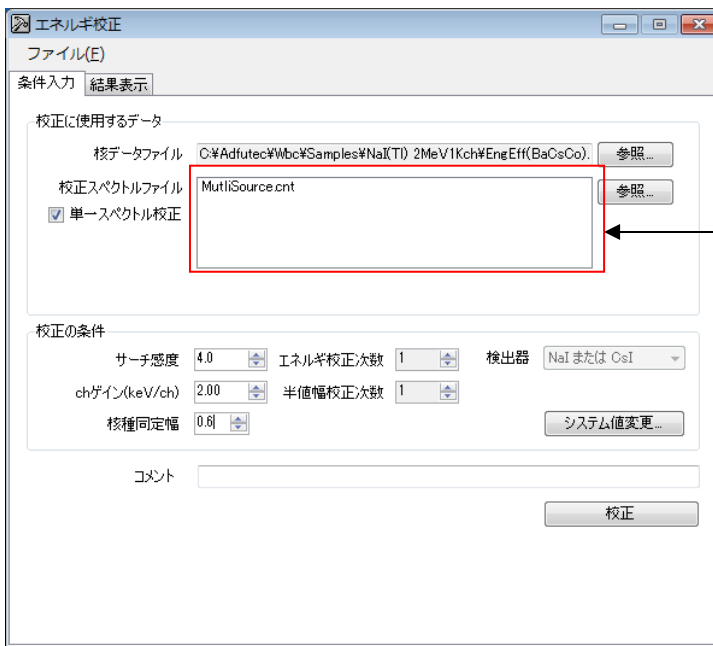
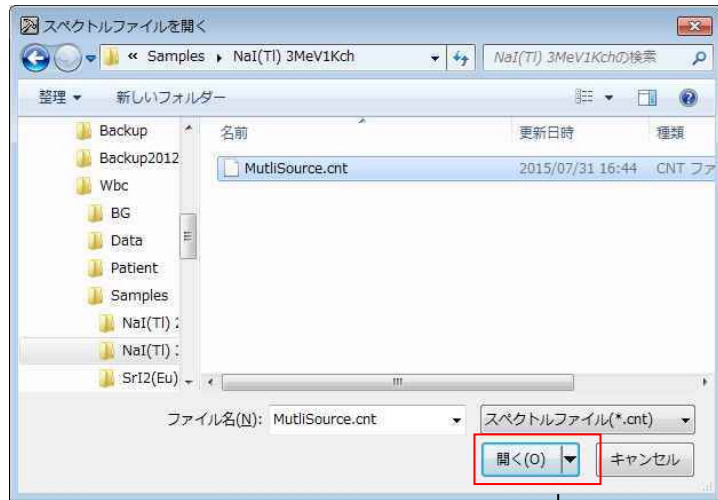
「単一スペクトル校正」を (チェックあり)する。



「参照」ボタンをクリックして校正スペクトルファイルをする(複数選択不可)

校正スペクトルファイル  
 単一スペクトル校正

参照...

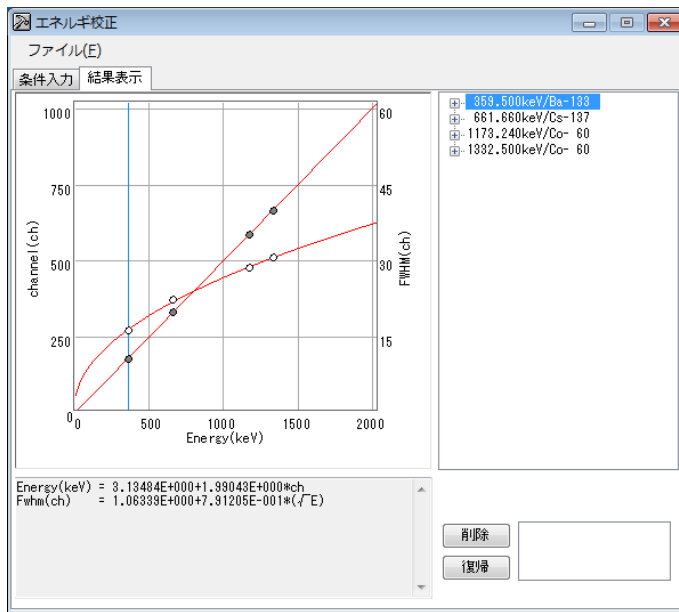


※タイプ2では、核種同定は自動的に行うため、タイプ1のような「核種指定」はない。

タイプ1同様にサーチ感度等の校正の条件を設定して、「校正」をクリックするとエネルギー校正を開始する。

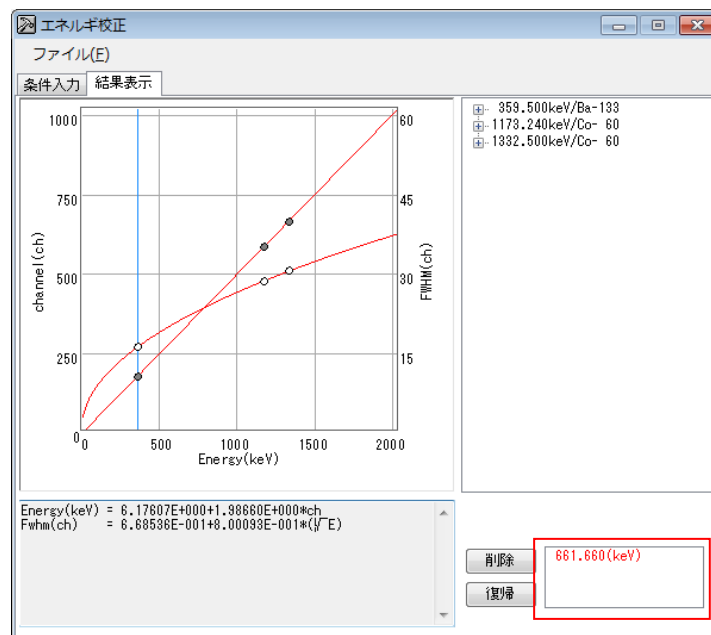


エネルギー校正後の画面は次のとおりである（これ以降、タイプ 1、タイプ 2 で共通となる）。



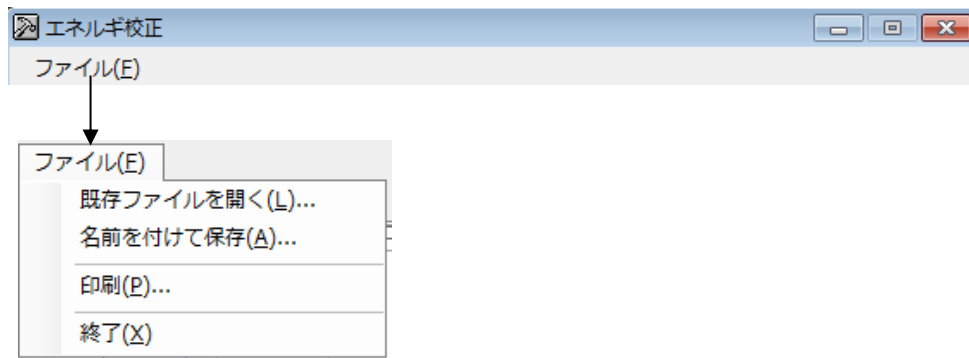
必要に応じて、エネルギー校正に使用したデータを「削除」したり、削除したデータを「復帰」させることができる。

削除：校正に使用したデータ一覧中、削除するデータを選択して「削除」ボタンをクリックする。そうするとエネルギー校正が直ちに再校正され、削除したデータは削除データ一覧に登録される。

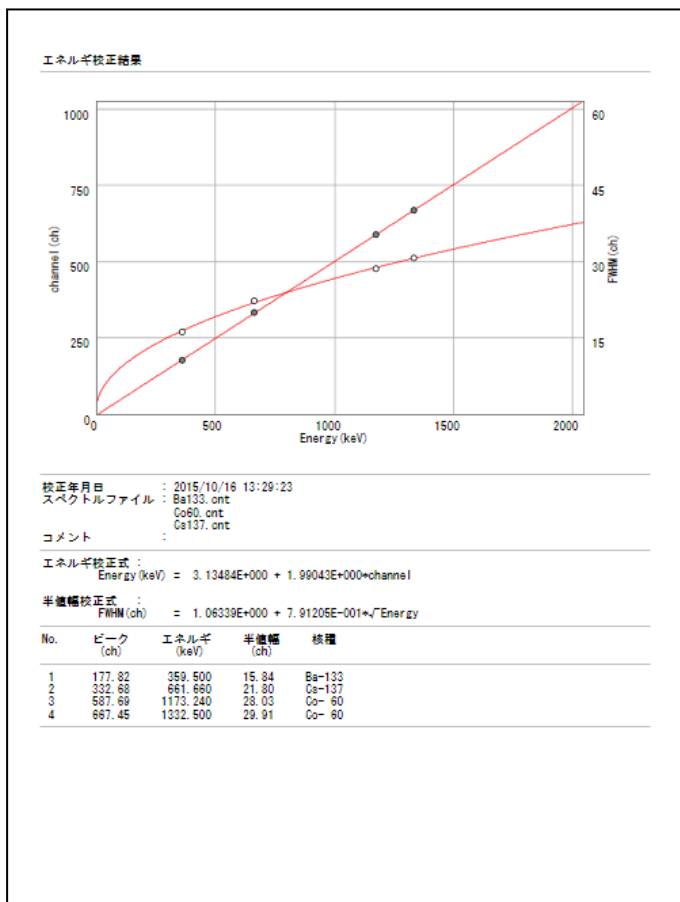


復帰：削除データ一覧のデータを選択して「復帰」ボタンをクリックする。そうするとエネルギー校正が直ちに再校正され、また復帰したデータは削除データ一覧から除かれる。

他の操作は「ファイル」メニューで行う。



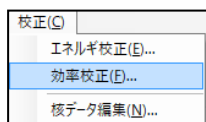
- 既存ファイルを開く : 登録済みのエネルギー校正ファイルを読み込む。(拡張子=.Ecl)
- 名前を付けて保存 : 作成したエネルギー校正データをファイル保存する。(拡張子=.Ecl)
- 印刷 : 作成または読み込んだエネルギー校正データをプリンタ出力する。
- 終了 : 「エネルギー校正」を終了して起動画面に戻る。



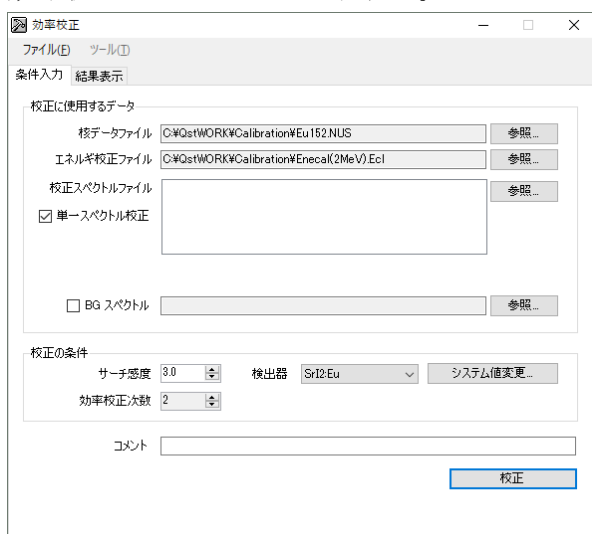
## 2.3. 効率校正

測定系の効率校正を行う。予め MCA マニュアル操作モード等で、校正に必要なスペクトルデータを測定、ファイル保存して置く必要がある。なお、ここで使用するスペクトルは全検出器の合算スペクトルである。

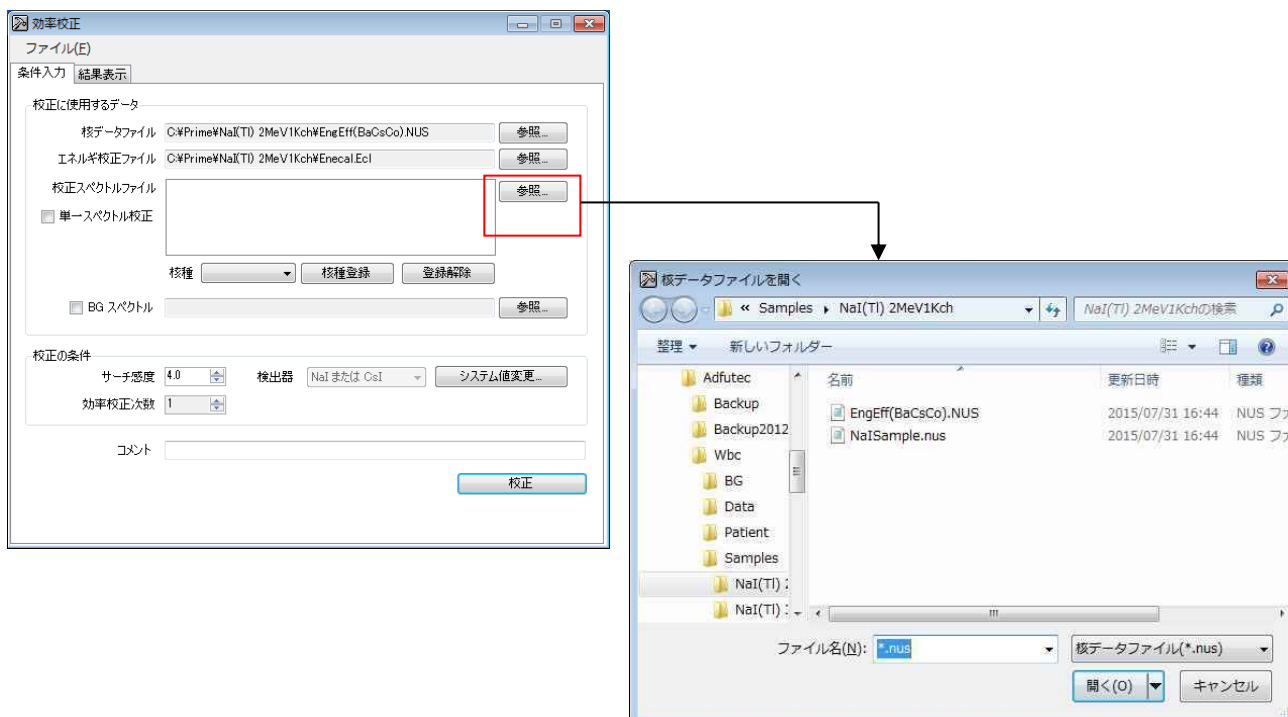
メニュー「校正／効率校正」を実行する。



効率校正プログラムが起動する。



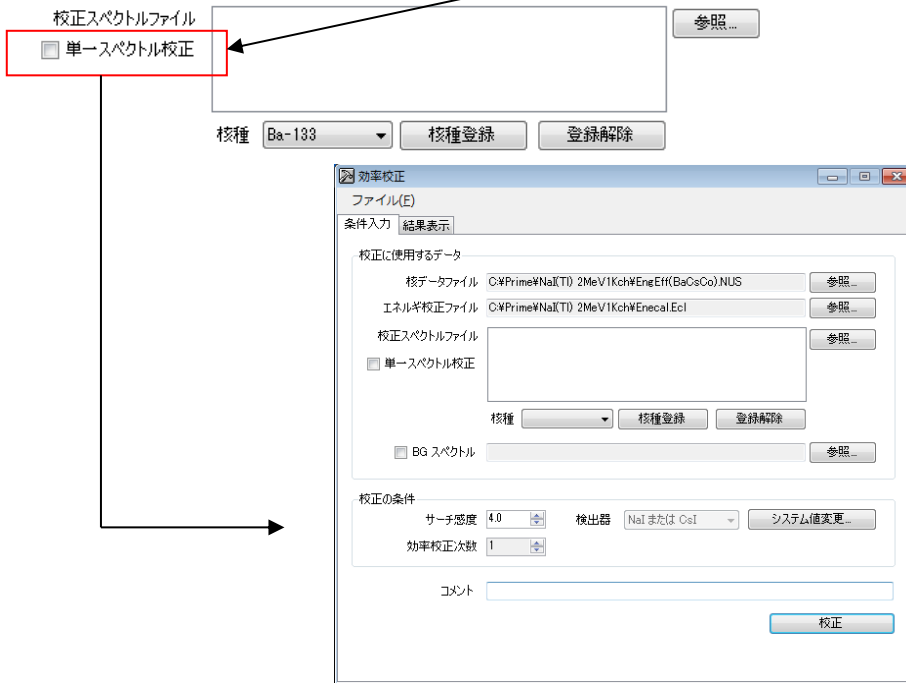
各「参照」ボタンをクリックして効率校正に使用する、核データファイルとエネルギー校正ファイルを選択する。なお、核データファイルには使用する核種の検定強度、検定日を登録しておく必要がある。



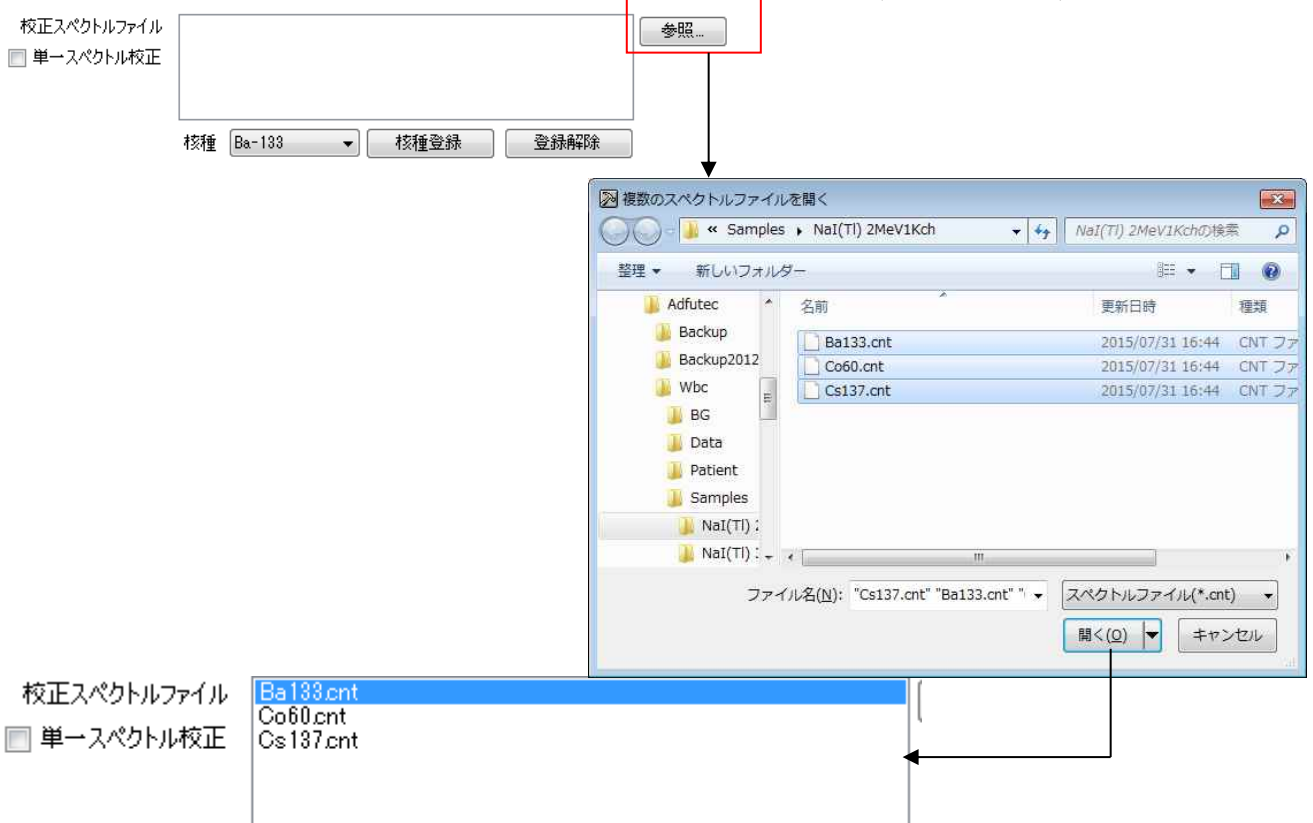
効率校正に使用するスペクトルは核種／線源によって次の3タイプがある。

タイプ1： 単一核種毎の線源を個別測定し、複数のスペクトルで効率校正するもの

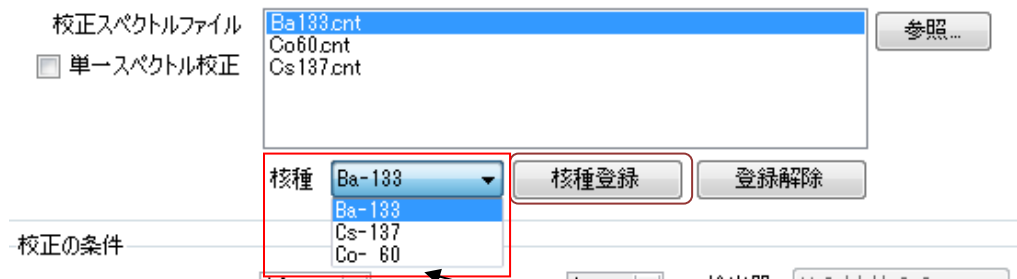
「単一スペクトル校正」を (チェックなし)で画面が切り換わる。



「参照」 ボタンをクリックして校正スペクトルファイルを選択する(複数選択可能)



校正スペクトル毎に対応する核種を指定する。

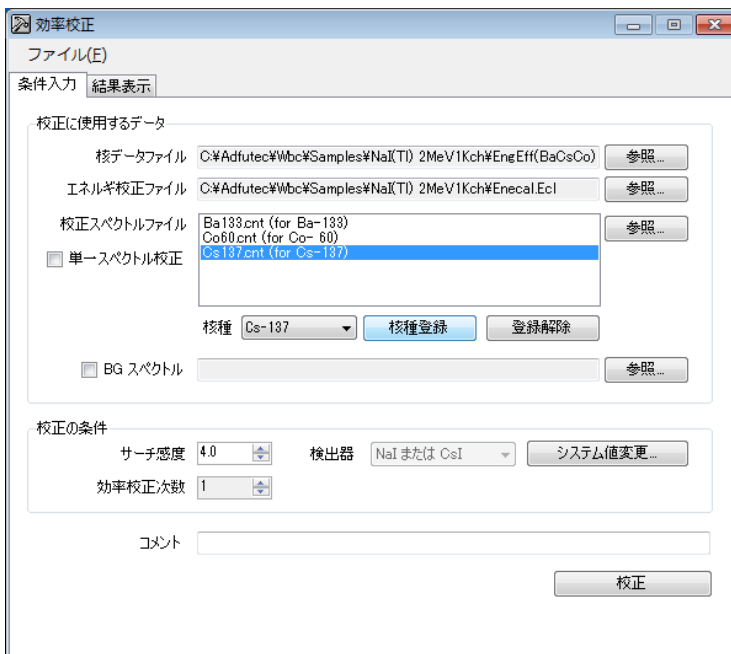


核データファイルを選択すると核種がコンボボックスで選択できる。核種を選択後、「核種登録」ボタンをクリックして校正スペクトルに対応させる。

※参照した全ての校正スペクトルに対する対応付けが必要である。  
 全ての校正スペクトルに対応する対応付けが完了しない状態で「校正」を実行すると、以下の確認メッセージが出力される。



「OK」ボタンをクリックして条件入力画面に戻り、対応付けられていない全てのスペクトルに対して核種を対応付ける。



校正の条件として、

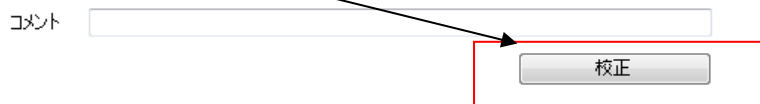
- ・サーチ感度(2.5~20.0)
- ・効率校正次数(1 or 2) ……

校正に使用可能な登録 $\gamma$ 線数 -2 が上限 (2本なら校正次数  $\leq 1$ )

また、スペクトル処理の詳細な条件は「システム値変更…」をクリックして変更する。

※「システム値変更…」は「設定」メニュー、「核種分析条件設定」と同じである。

条件入力後、「校正」ボタンをクリックすると効率校正を開始する。

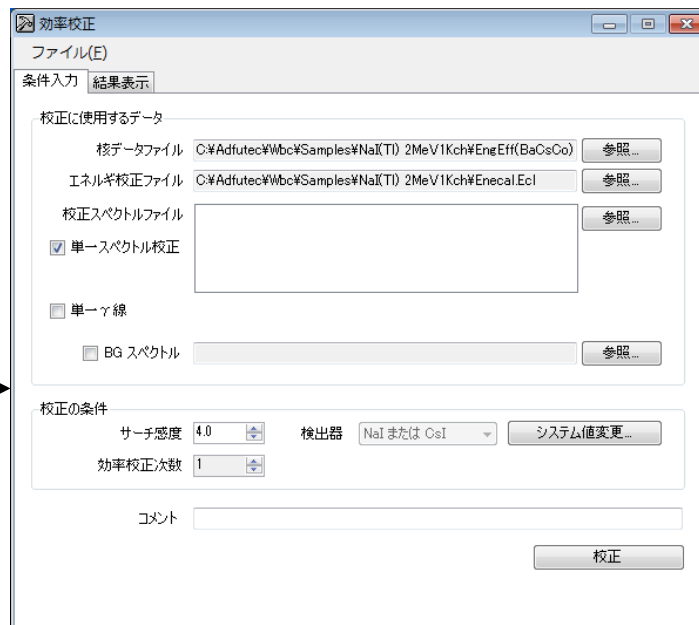


タイプ 2 : 1つの線源に複数核種(Ba-133 + Cs-137 + Co-60 等)が含まれており、1本のスペクトルだけで効率校正するもの

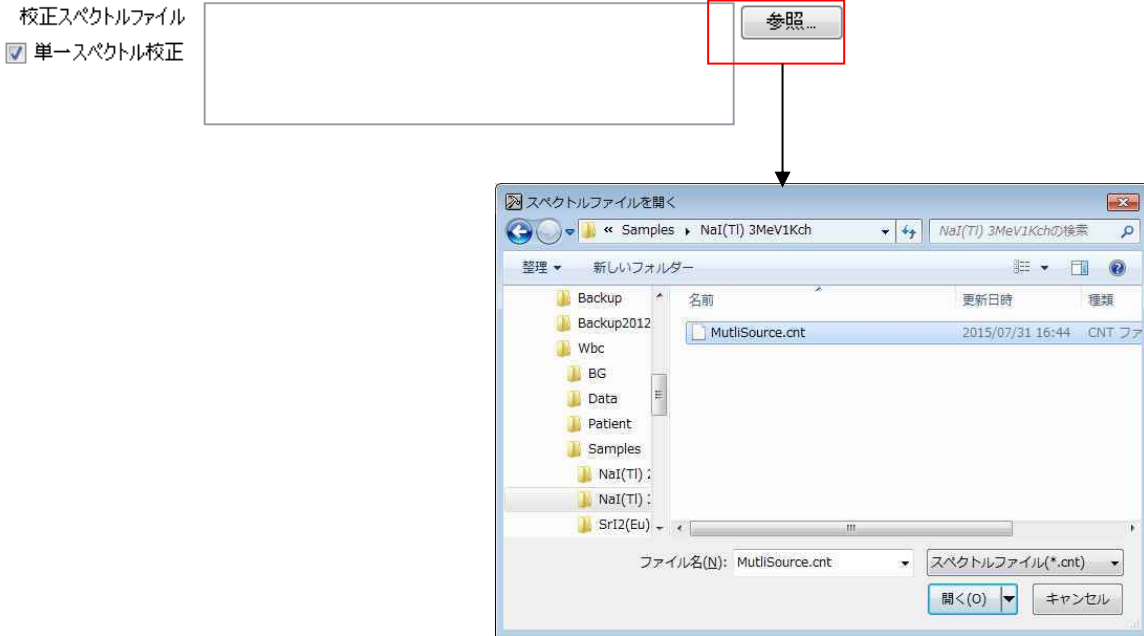
「単一スペクトル校正」を (チェックあり)で切り換わる。また複数 $\gamma$ 線を使用するので、「単一 $\gamma$ 線」はチェックなしとする。



単一 $\gamma$ 線

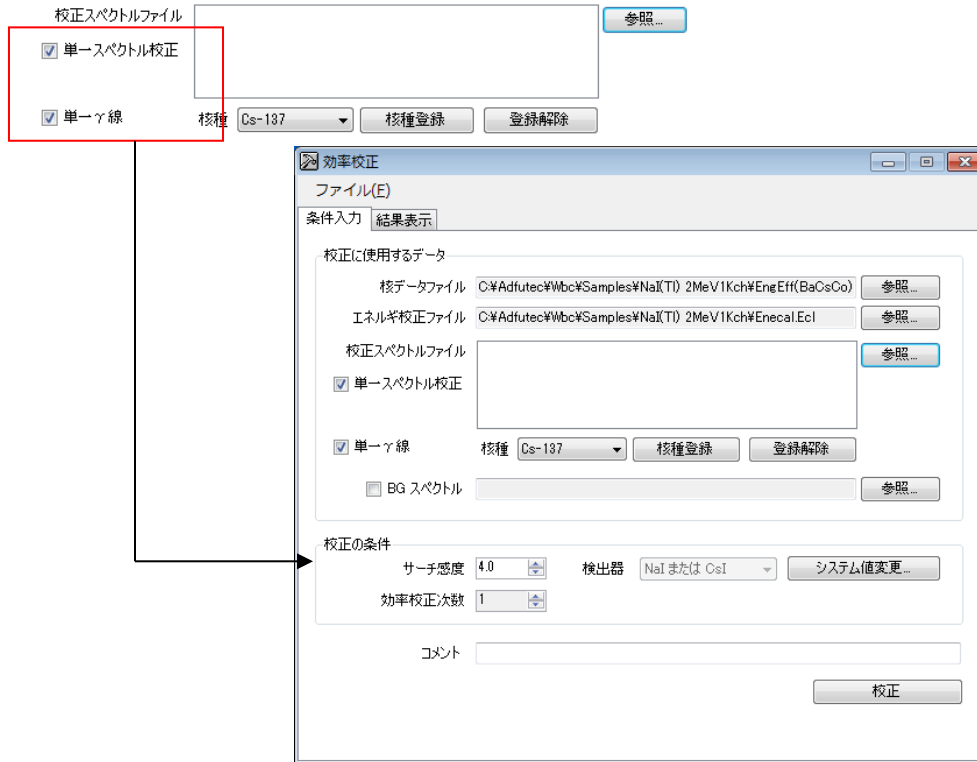


「参照」ボタンをクリックして校正スペクトルファイルを選択する(複数選択不可)

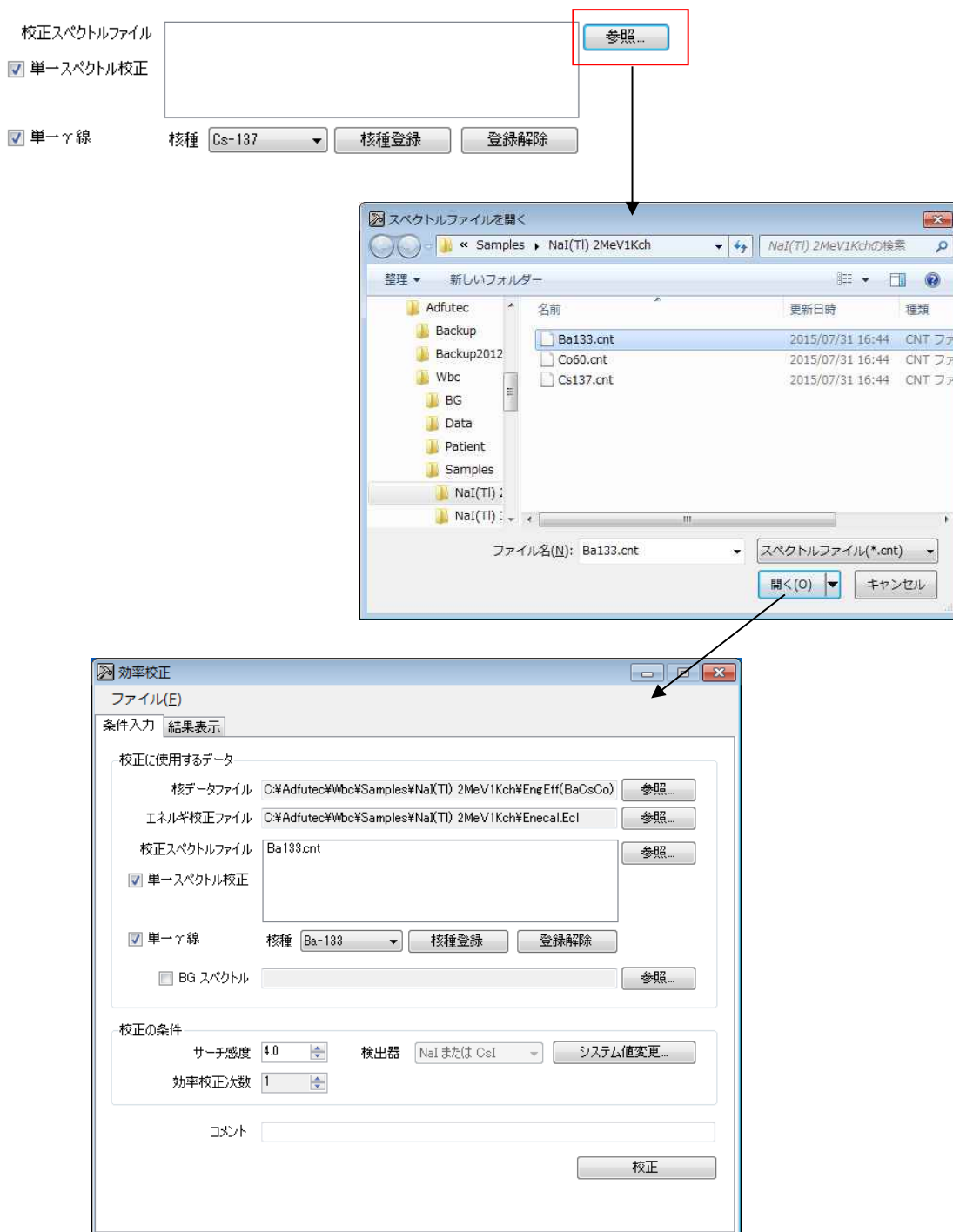


※タイプ2では、核種同定は自動的に行うため、タイプ1のような「核種指定」はない。タイプ1同様にサーチ感度等の校正の条件を設定して、「校正」ボタンをクリックすると効率校正を開始する。

タイプ3 : 単一核種毎の線源を測定し(Mock Iodine), 1本の $\gamma$ 線だけで効率校正するもの「単一スペクトル校正」, 「単一 $\gamma$ 線」両方を (チェックあり)して切り換える。



「参照」ボタンをクリックして校正スペクトルファイルを選択する(複数選択可能)

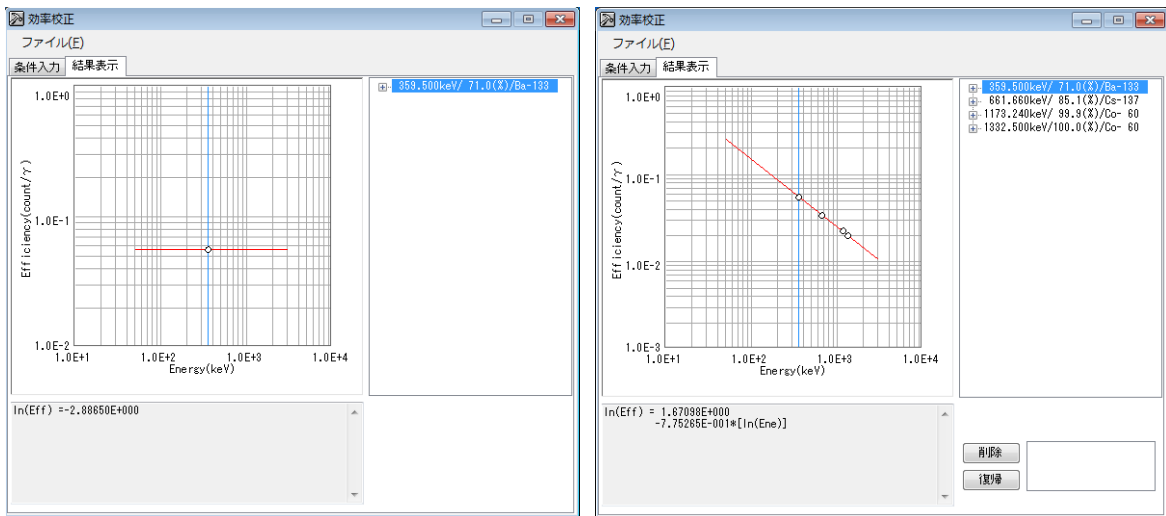


校正スペクトル中の核種の指定手順はタイプ1と同じであるのでタイプ1の手順を参照する。

タイプ1, 2 同様にサーチ感度等の校正の条件を設定して, 「校正」をクリックすると効率校正を開始する。



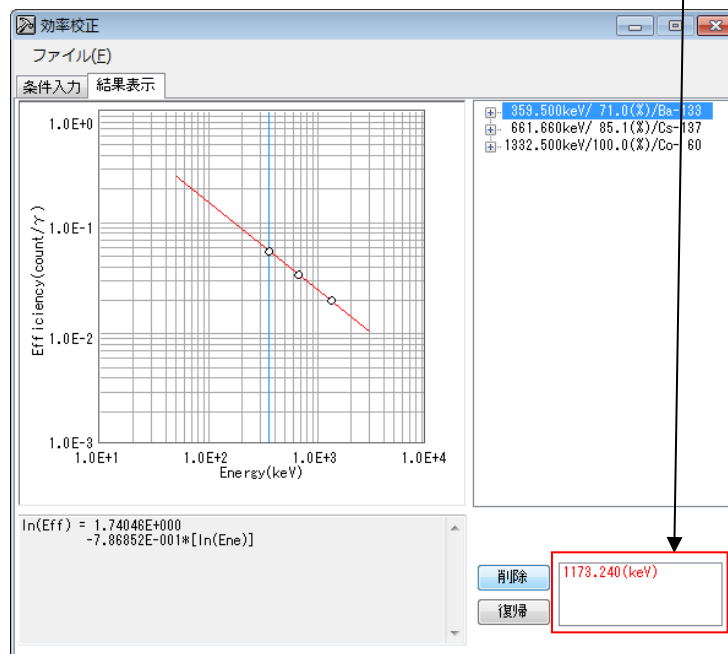
効率校正後の画面は次のとおりである。



タイプ 1,2 の複数  $\gamma$  線による効率校正結果    タイプ 3 の 1本の  $\gamma$  線による効率校正結果

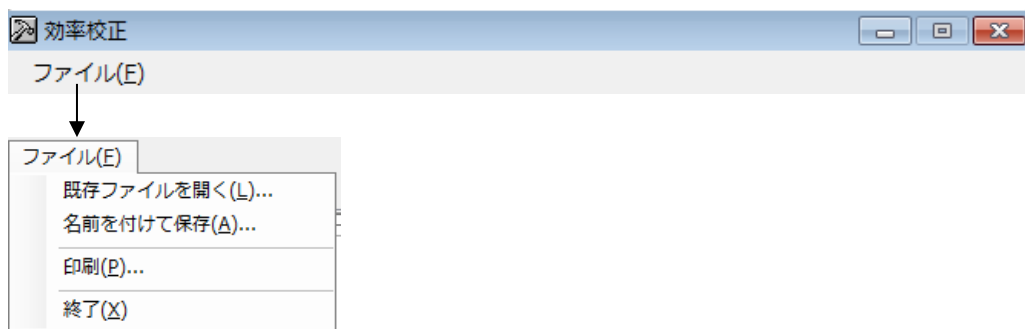
タイプ 1, タイプ 2 の場合, 必要に応じて, 効率校正に使用したデータは削除したり, 削除したデータを復帰させることができる。しかし, 効率データが 1 点しかないタイプ 3 は削除したり, 削除したデータを復帰させることができない。

削除: 校正に使用したデータ一覧中, 削除するデータを選択して「削除」ボタンをクリックする。すると直ちに効率校正が再校正され, 削除したデータは削除データ一覧に登録される。

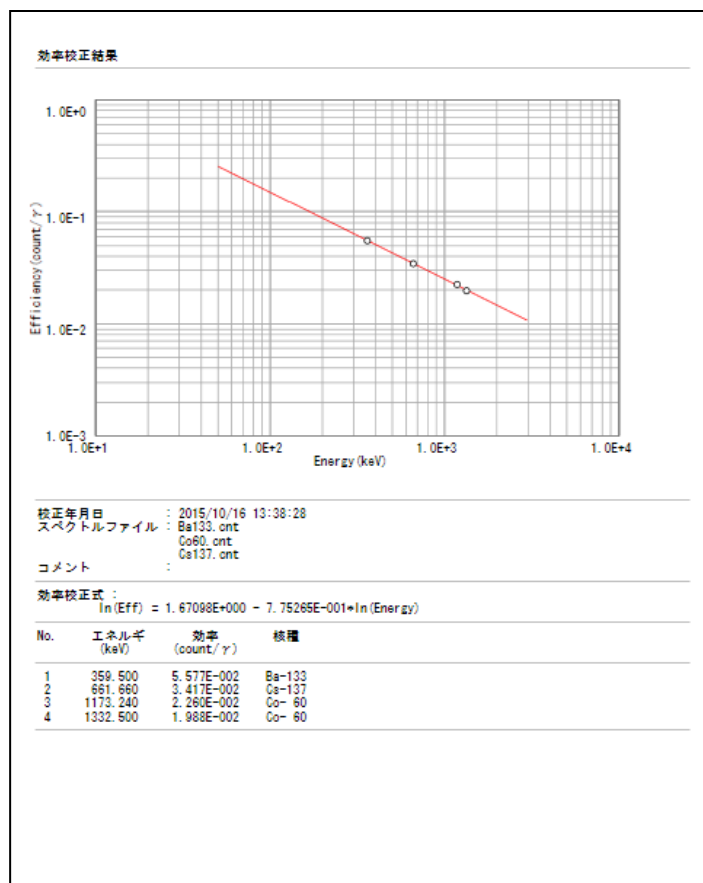


復帰: 削除データ一覧のデータを選択して「復帰」ボタンをクリックする。すると直ちに効率校正が再校正され, また復帰したデータは削除データ一覧から除かれる。

他の操作は「ファイル」メニューで行う。



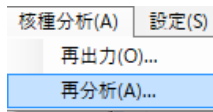
- 既存ファイルを開く : 登録済みの効率校正ファイルを読み込む。(拡張子=.Fcl)
- 名前を付けて保存 : 作成した効率校正データをファイル保存する。(拡張子=.Fcl)
- 印刷 : 作成または読み込んだ効率校正データをプリンタ出力する。



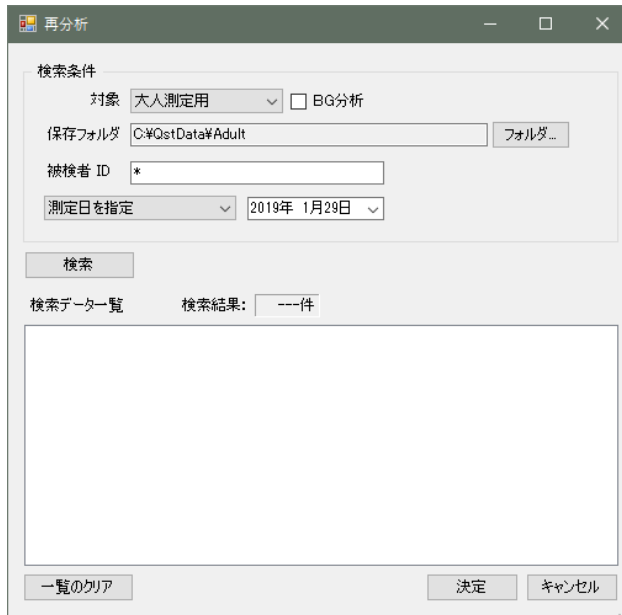
- 終了 : 「効率校正」を終了する。

## 2.4. 再分析

測定済みの被検者スペクトルを再分析する。  
メニュー「核種分析／再分析」を実行する。

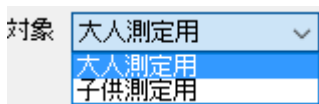


再分析対象を指定する画面が起動する。



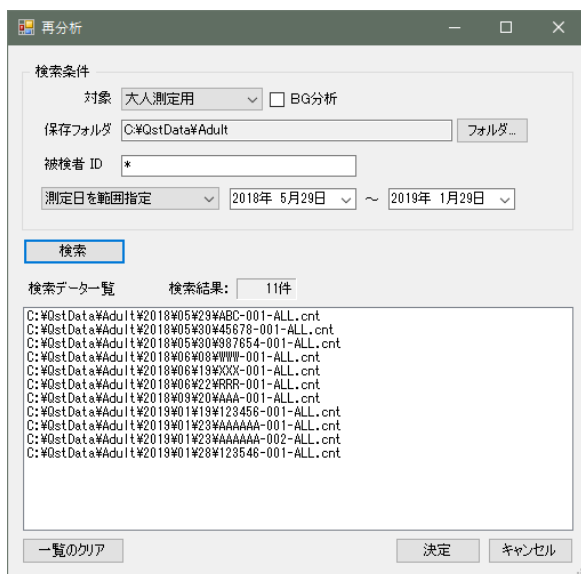
### ◎検索条件

保存フォルダ中データファイルから、測定対象、被検者 ID と測定日でデータを検索する。  
対象 : 大人測定と子供測定から選択する。



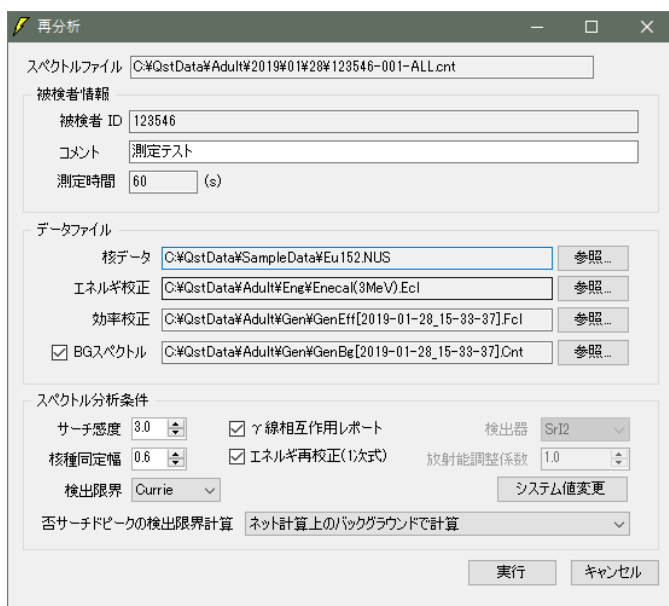
- BG 分析** : チェック()すると、対象を BG 測定結果に変更する。
- 保存フォルダ** : 既出の"対象"と連動し、大人測定用フォルダ、子供測定用フォルダが切り替わる。「フォルダ...」ボタンをクリックすると変更可能である。
- 被検者 ID** : 被検者識別の ID を入力する（起動時の初期表示は常に '\*' である）。  
※ワイルドカード"\*", "?" が使用できる。  
123?? → 最初の 3 文字が"123"の全ての被検者
- 測定日** : 測定日をカレンダー入力する。  
※測定日は範囲入力が可能である

以上の検索条件を入力して「検索」ボタンをクリックして条件に合う被検者データを検索する。検索条件に合致する測定データがある場合は一覧表示される。



上記の例は、「大人測定、測定日が 2018/05/29～2019/01/29」の条件で検索した結果である。

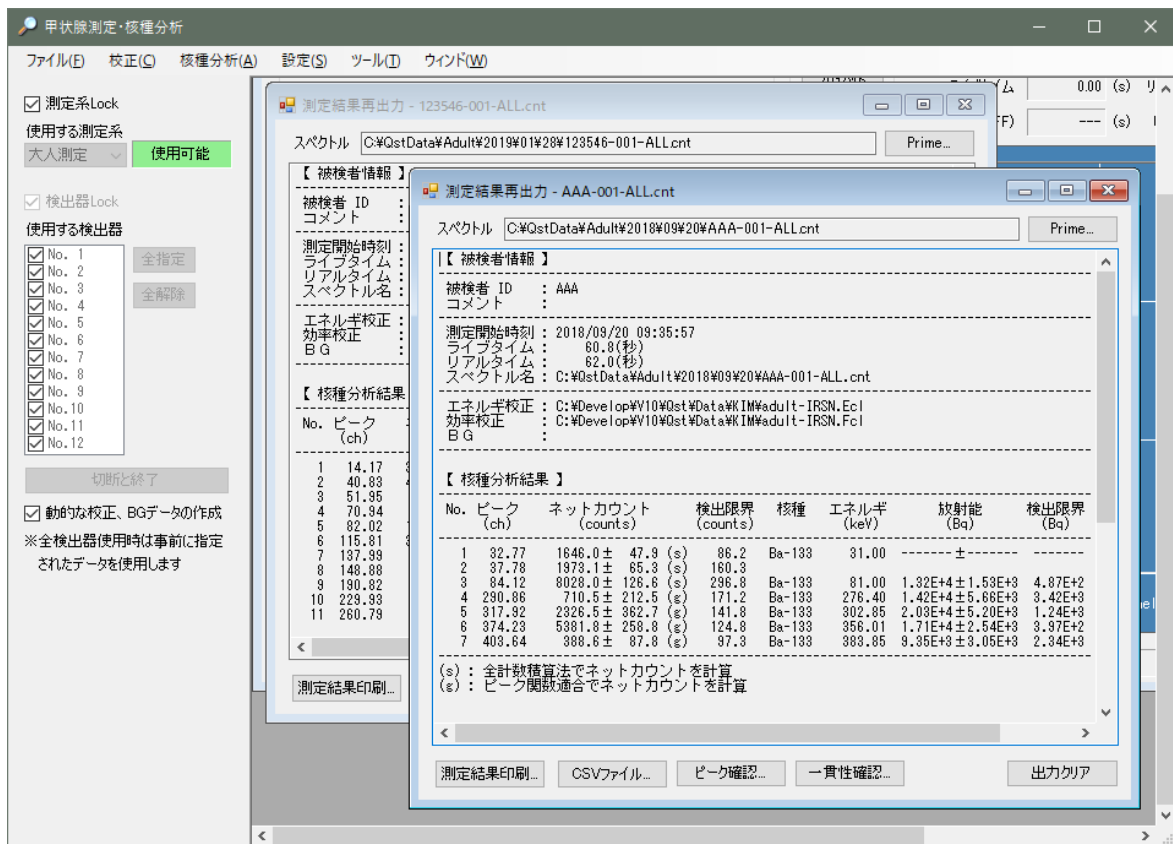
特定被検者が 1 日に何度か測定した場合も全て別のデータとして扱い、検索結果として出力される。一覧から測定データを選択し、「決定」ボタンをクリックして次の条件入力に進む。なお、選択できる測定データは 1 件で、複数選択できない。測定データを選択、「決定」ボタンをクリックすると被検者情報、条件設定画面が起動する。



スペクトルファイル、被検者 ID と測定時間を除いた全ての項目が変更可能である。必要に応じて再設定し、「実行」ボタンをクリックして再分析する。なお、前回の核種分析結果は今回の核種分析結果によって上書きされるので、必要ならコピー等によってバックアップする。通常の「被検者測定」と異なり結果出力は別ウィンドになるが機能は同じである。

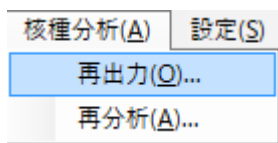


なお、改良により再分析結果は別ウィンドウのため、複数の結果を並べて表示することも可能である。

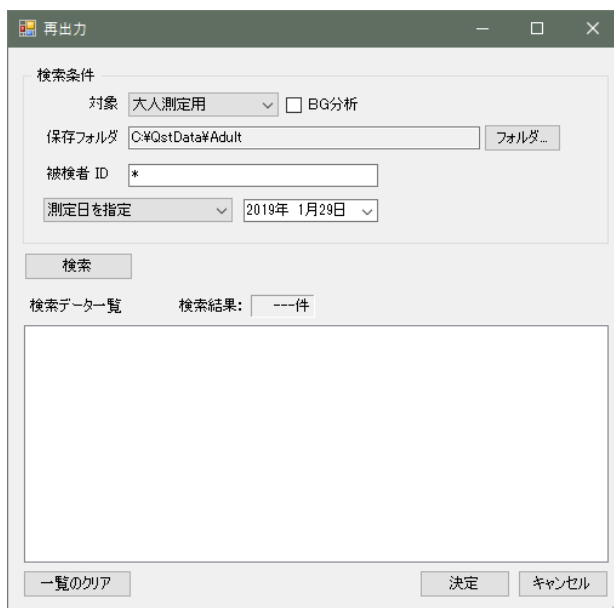


## 2.5. 再出力

測定済みの被検者測定結果を再出力する。  
メニュー「核種分析／再出力」を実行する。

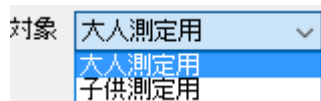


再出力対象を指定する画面が起動する。



保存フォルダ中のデータファイルから、測定対象、被検者 ID と測定日時でデータを検索する。

対象 : 大人測定と子供測定から選択する。



BG 分析 : チェック()すると、対象を BG 測定結果に変更する。

保存フォルダ : 既出の"対象"と連動し、大人測定用フォルダ、子供測定用フォルダが切り替わる。「フォルダ...」ボタンで変更可能である。

被検者 ID : 被検者識別の ID を入力する (起動時の初期表示は常に '\*' である)。

※ワイルドカード"\*", "?" が使用できる。

例) '\*' のみの入力 → 全ての被検者

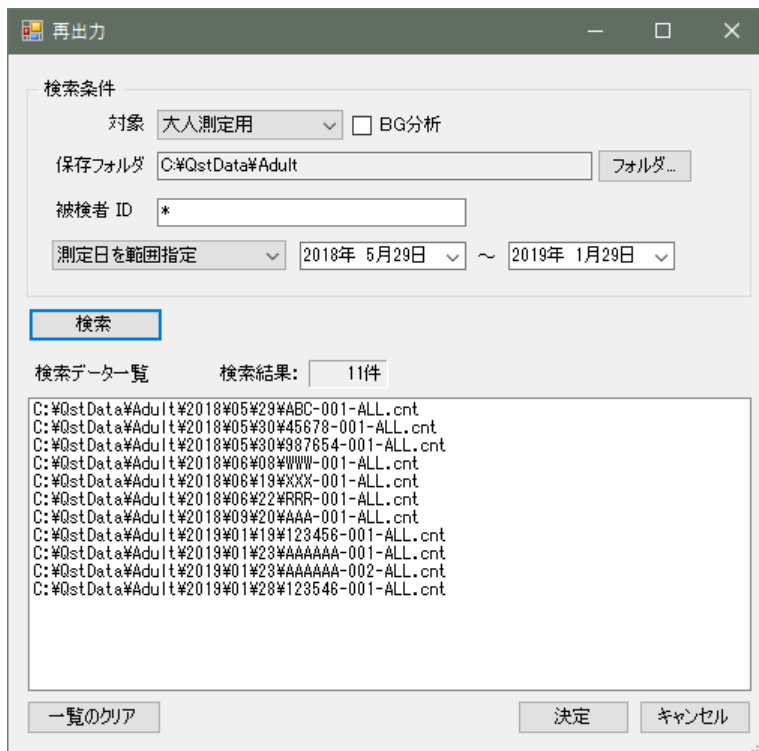
123?? → 最初の 3 文字が"123"の全ての被検者

測定日 : 測定日をカレンダー入力する。

※測定日は範囲入力が可能である

以上の検索条件を入力して「検索」ボタンで条件に合う被検者データを検索する。

検索条件に合致する測定データがある場合は一覧表示される。

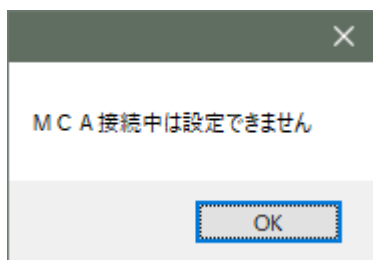


一覧から測定データを選択し、「決定」ボタンをクリックしてその内容を再出力する。これ以降の操作は「被検者測定」と同一である。なお、選択できる測定データは1件である。複数選択できない。再分析同様に別ウィンドが再出力される。再出力も結果を並べての比較表示が可能である。



## 2.6. 設定

本プログラムの設定を行う。設定は MCA と切断状態で行う。接続中に設定しようとするとき以下のメッセージが出力される。



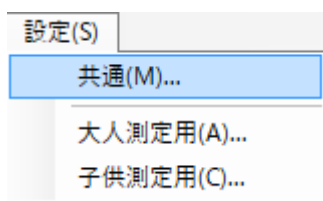
設定は

- ・ 大人測定, 子供測定の共通の設定
- ・ 大人測定専用の設定
- ・ 子供測定専用の設定

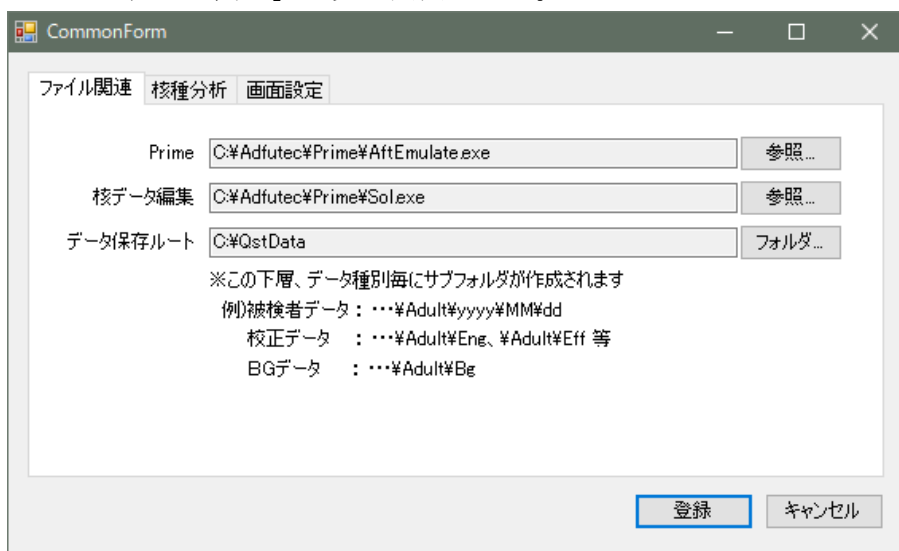
の3つに分けられる。

### (1) 共通設定

メニュー「設定／共通」を実行する。



共通「ファイル関連」は次の画面である。



- ・ Prime : Prime の AftEmulate.exe を指定する。
- ・ 核データ編集 : Prime 附属の核データ編集プログラム, Sol.exe で指定する。
- ・ データ保存ルート : 全てのデータのルートフォルダを指定する。



※全てのデータは以下のフォルダイメージに登録される。

- C : ¥##### ..... ユーザ指定のデータ保存"ルート"フォルダ  
C : ¥QstData 等
- Adult ..... 大人測定用
- yyyy ..... yyyy 年の被検者データフォルダ  
(この下層に MMY¥dd が作られる)
- Eng ..... エネルギー校正用スペクトルフォルダ
- Eff ..... 効率校正用スペクトルフォルダ
- BG ..... BG スペクトルフォルダ
- Gen ..... 検出器指定時の合算校正データ,  
合算バックグラウンドスペクトル
- Child ..... 子供測定データフォルダ
- yyyy ..... yyyy 年の被検者データフォルダ  
(この下層に MMY¥dd が作られる)
- Eng ..... エネルギー校正用スペクトルフォルダ
- Eff ..... 効率校正用スペクトルフォルダ
- BG ..... バックグラウンドスペクトルフォルダ
- Gen ..... 検出器指定時の合算校正データ,  
合算バックグラウンドスペクトル

共通「核種分析」は次の画面である。

- サーチ感度 : ピークサーチの検出感度。範囲 = 2.5~10.0
- 核種同定幅 : 核種同定時の許容範囲設定値。範囲 = 0.4~1.0
- 検出限界 : 検出限界指定を Currie と Cooper から選択
- $\gamma$  線相互作用レポート : チェックすると ()  $\gamma$  線と周辺物質との相互作用による  
"ピーク"があるかどうかをレポートする。  
例) 後方散乱ピークや消滅放射線

エネルギー再校正(一次式) :

チェックすると(☑)スペクトル中の $\gamma$ 線ピークを使用して再エネルギー校正を試みる。ただし再校正には2本以上の、「一核種で核種同定された、ネット面積が十分な(およそ相対的不確かさ<10%)ピークを使用するため、再エネルギー校正は必ずしも成功するとは限らない。

否サーチドピークの検出限界計算

- : 当該核種/ $\gamma$ 線の検出限界カウントの計算方法の指定
- ・ ネット計算に従って計算
- ・ ネット計算上のバックグラウンドで計算(初期値)
- ・ 全てをバックグラウンドとみなして計算
- ・ 指定したBGスペクトルで計算
- ・・・BGスペクトルが指定されていること

検出器

: 処理スペクトルとして、NaI(Tl)/SrI2/Ge から選択する。  
これはピークサーチにおける二次微分フィルタ生成のキーになる。しかし本プログラムは SrI2 固定とするため、変更不能

放射能調整係数 : 核種分析による放射能計算結果に乗じる、利用者定義係数。

本プログラムでは 1.0 固定とし、変更不能

ピーク面積計算の詳細な設定/変更は「システム値の変更」ボタンで行う。

システム値変更

常に全計数積算法のネット面積で放射能換算

全計数積算法

全計数積算法の不確かさを厳密に行う

全計数積算法のベース領域を最大で5chまで拡張

ピーク幅(低側) 1.35 x FWHM

ピーク幅(高側) 1.35 x FWHM

ピーク領域を固定して棄却限界、検出限界を計算

ピーク除去レベル < 85% 棄却限界

関数適合

外部不確かさを考慮

放射能不確かさ

系統的不確かさを加味

系統的不確かさ 10.0 (%)

※:放射能には影響しません

登録 キャンセル

## ◎詳細条件

常に全計数積算法のネット面積で放射能計算：

チェックすると()、全てのピークネット面積を全計数積算法で計算する。この設定は複数のピークが複合した場合にも適用されるためピークが複合しても関数適合は使用されず、形式的に2ピーク間の中点近傍でピーク領域を分ける"ピーク分割"が実行される。

### <全計数積算法>専用

全計数積算法の不確かさ計算を厳密に行う：

チェックすると()不確かさの伝搬則に厳密に従う。

チェックしないと、この計算をやや簡易に行う(\*)。これは、バックグラウンド領域を非常に狭く取らざるを得ない状況下では、計算上の不確かさがむやみに大きくなり過ぎてしまい、目視では十分なピークでも否検出と判定されることを避けることを目的とする設定である。

(\*)昭和47年度文部科学省指針「NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ機器分析法」

全計数積算法のベース領域を最大で5chまで拡張：

全計数積算法で使用するベース領域は初期値では3chとしている。これを最大で5chまで拡張して設定する。ただし拡張の可否は近隣ピークとの関係に依存するため、3ch以上に拡張できない場合もある。

ピーク幅(低側)、ピーク幅(高側)：

ピーク領域の開始、終了点決定のファクタを指定する(範囲=1.0~1.5)

ピーク領域を固定して棄却限界、検出限界を計算：

通常、ネット面積、棄却限界、検出限界計数の計算は上記のピーク幅で指定された値で設定される。ところが近隣にピークが存在する場合は、ピーク領域を少しだけ小さくする(ただし、>1.1)ことで複合扱いが不要になるケースがあり、本プログラムは棄却限界、検出限界計数もこれに連動している。チェックすると()、棄却限界、検出限界計数の計算に使用されるピーク領域は指定されたピーク幅で設定する(従って、ピーク領域と必ずしも一致しない)

ピーク除去レベル：

棄却限界を、95%棄却限界/90%棄却限界/85%棄却限界から選択する。

※それぞれ、第一種の危険率 = 5%, 10%, 15%

### <関数適合>専用

外部不確かさを考慮：

関数適合で求めたネット面積の不確かさは計数の不確かさだけで計算している(internal error)。チェックすると()、計数の不確かさ以外にも適合の"良し悪し"を加味する(external error)。

## <放射能不確かさ>専用

系統的不確かさ：

チェックすると()，%単位で指定された不確かさを加算する。

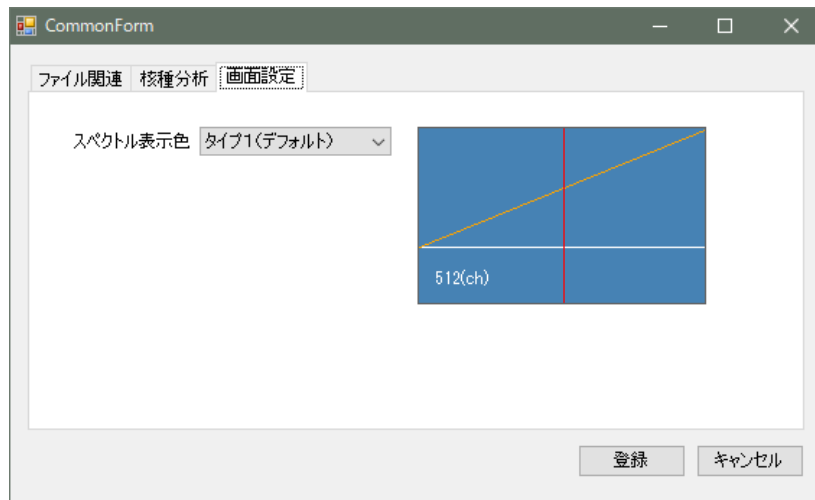
例) 放射能測定で得られた不確かさ = 15%

ユーザ指定された系統的不確かさ = 10%

全体の不確かさ = 15% + 10% = 25%

「登録」ボタンで、核種分析だけでなく各種校正でも使用されるシステム値として登録し、分析条件画面に戻る。

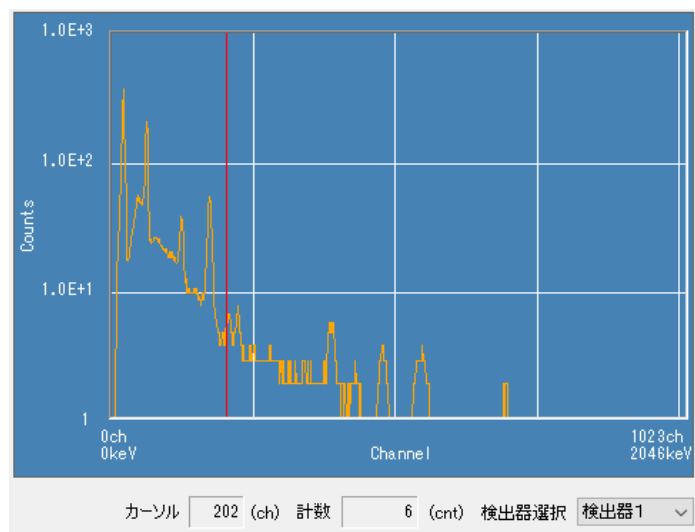
共通「画面設定」は次の画面である。



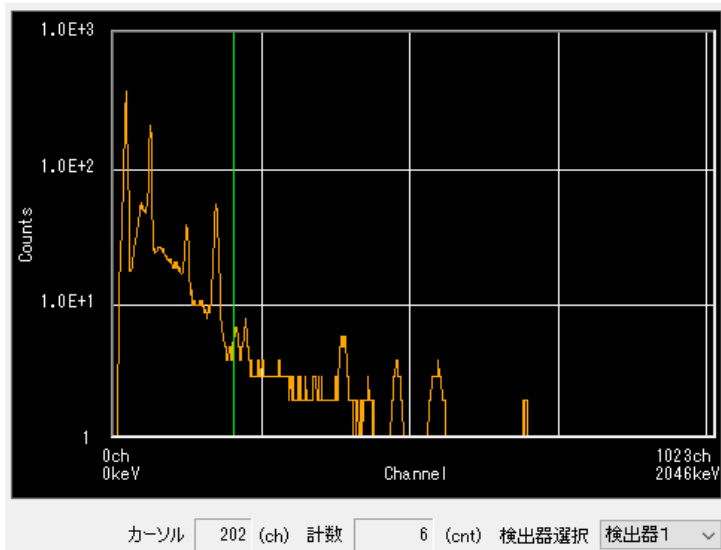
### ・スペクトル表示色

画面中のスペクトル表示色を選択する。

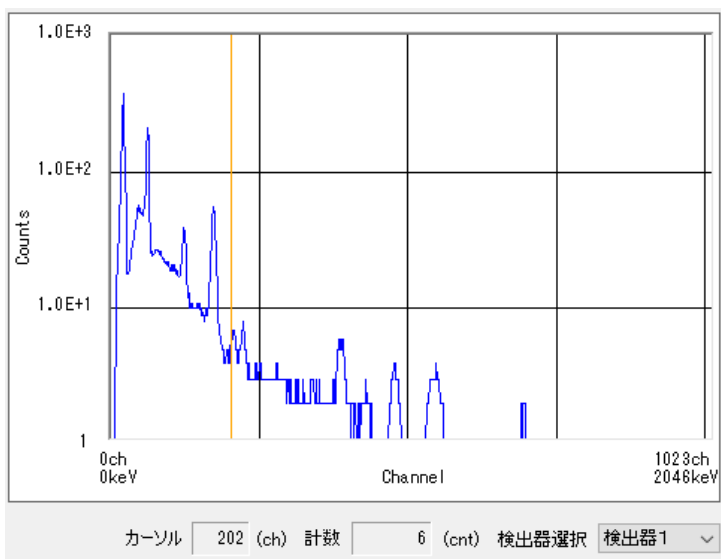
タイプ1：背景色=Primeと同じ青，スペクトル色=橙，軸スケール値の表示色=白，カーソル色=赤



タイプ2：背景色=黒，スペクトル色=橙，軸スケール値の表示色=白，カーソル色=緑



タイプ3：背景色=白，スペクトル色=青，軸スケール値の表示色=黒，カーソル色=茶

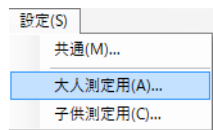


「登録」ボタンで，入力した設定値を保存して通常画面に戻る。

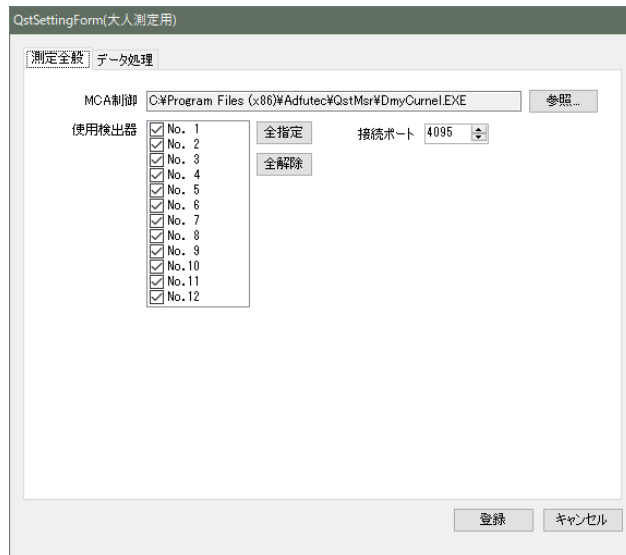
「キャンセル」ボタンで，入力した設定値を破棄して通常画面に戻る。

## (2) 大人測定

メニュー「設定／大人測定用」を実行する。



次の画面が起動する。この画面は「大人測定用／測定全般」である。



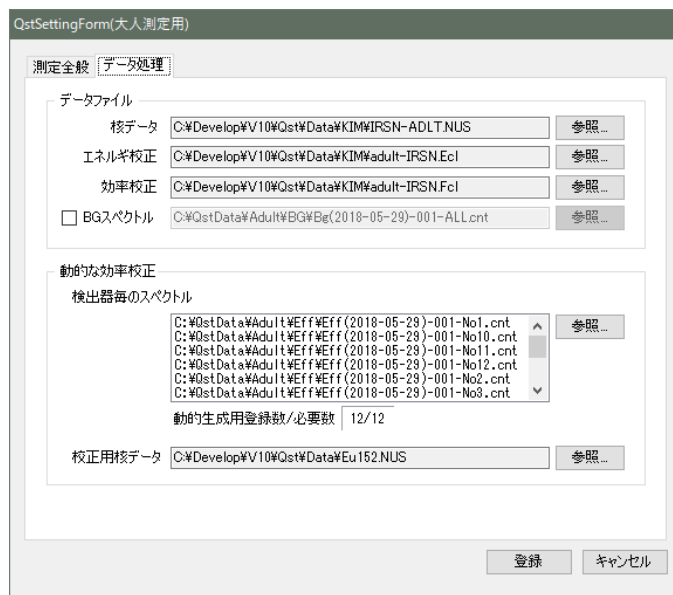
**MCA 制御** : 新モニタ用 MCA 制御用プログラムを指定する。

**接続ポート** :

本プログラムと検出器の制御プログラムが通信するためのポート番号を指定する。  
なお、この設定は本プログラム側だけ設定変更した場合は MCA 制御できなくなる。  
また、これら 2 つの設定は子供測定用と重複しないように設定する。

**使用検出器** : 測定に使用する検出器を指定する。「全指定」、「全解除」機能が有効である。

この画面は「大人測定用／データ処理」である。



大人測定系固有の情報を指定する。

- ・核データ : 核種分析に使用する核データファイル(.Nus)を指定する。
- ・エネルギー校正 : 測定系のエネルギー校正ファイル(.Ecl)を指定する。
- ・効率校正 : 測定系の効率校正ファイル(.Fcl)を指定する。
- ・BG スペクトル : バックグラウンドピーク補正用の BG スペクトルを指定する。  
※エネルギー校正, 効率校正, BG スペクトルは何れも通常の検出器数(=大人用 12)で作成されているものとする。

大人測定の通常の検出器数は 12 台であるが, 何らかの理由により特定検出器を使用しないで測定を行う場合, 使用する検出器数に応じた, 効率校正, BG スペクトルが必要になる。

動的な効率校正/検出器毎のスペクトル :

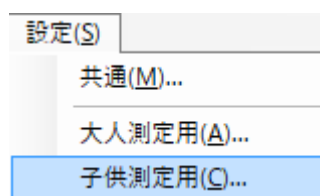
先に指定した効率校正は合算スペクトル(..¥#####(yyyy-MM-dd)-\$\$\$-ALL.cnt)で作成したものであるが, 合算前の検出器毎のスペクトルファイル(.cnt)を全て指定する(No.1~No.12)

動的な効率校正/校正用核データ :

先に指定した効率校正で使用した核データファイル(.Nus)を指定する。  
「登録」ボタンをクリックして保存して, 「キャンセル」ボタンで入力値を破棄して元の画面に戻る。

### (3) 子供測定

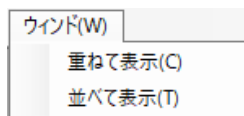
メニュー「設定/子供測定用」を実行する。



以降の操作は大人測定用の設定と同じである。

## 2.7. ウィンド

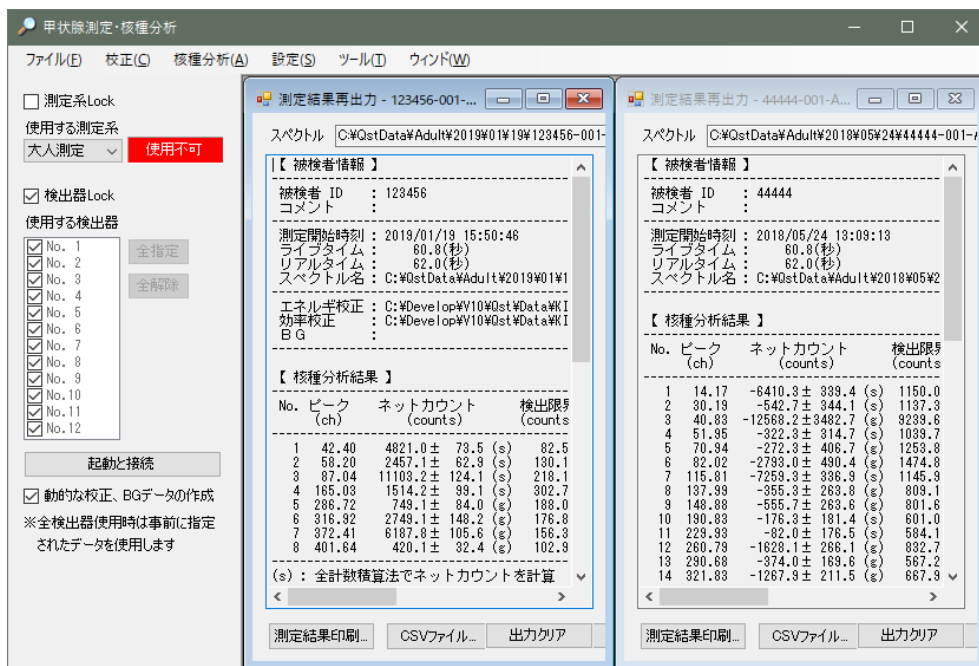
本プログラムは複数のウィンド表示が可能な MDI (Multi Document Interface) である。複数の Window を同時表示している場合は整列表示が有効である。



重ねて表示 : ウィンドを重ねて整列する。



並べて表示 : ウィンドを並べて整列する。





### 6-③ 情報収集支援システム

本システムは次の環境で動作する。

OS	: Windows(R) 10 pro (64bit) (日本語版)
CPU	: デュアル Intel(R)Xeon E5-2620v4 プロセッサ-(2.1GHz)
メモリ	: 32GB DDR4-SDRAM メモリ
ハードディスク	: SSD 256GB×2 + 1TB HDD (SATA 7200rpm)
その他	: Microsoft .Net framework 4.0 以上及び, 同 Language Pack 4.0 以上

ここでは情報収集支援システムの使用方法について説明する。

# 情報収集支援システムの使用説明書

本システムの画面構成、特徴等について以下に示す。

## 1. 画面構成

以下に本システムを構成する画面とその概要を以下に示す。図1は画面の遷移図を示す。

- **メイン画面**  
アプリケーションの起動時に最初に表示される画面。この画面から各画面に移動する。
- **受検者情報入力画面**  
記録カードに記入された受検者情報、測定結果、避難ルートなどの情報の管理（登録、修正、閲覧等）を行う画面。
- **受検者情報一覧画面**  
データベースに登録済みの受検者情報を一覧表形式で表示する画面。検索条件を入力し、受検者情報の検索を行うことができる。また、管理者権限をもったユーザーIDでログインした場合、受検者と関連付けられているデータの削除も行える。
- **管理機能画面**  
測定結果データの入力の際に使用する、入力候補リスト等サブテーブルの管理を行う画面。
- **避難経路の地図表示**  
入力した避難場所の名称から、該当するデータをデータベースから検索し、Webブラウザ上の地図に表示する。
- **CSVファイル**  
入力した情報をCSVファイルとして出力する。

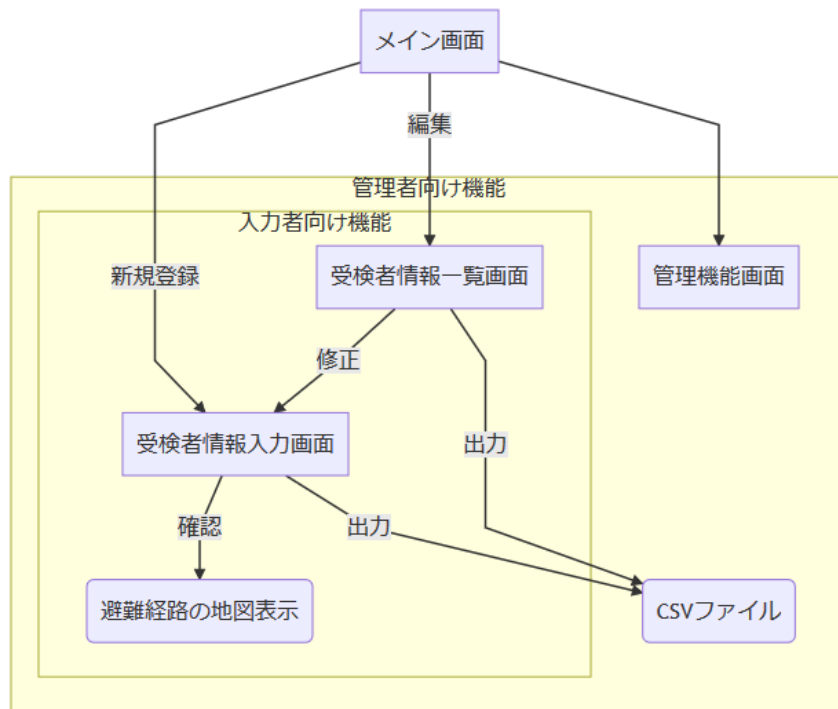


図1 画面の遷移図

## ①メイン画面

メイン画面の機能について以下に示す。

### (1) ログイン

本システムを起動すると、最初にユーザーID とパスワードを入力する画面（図 2）が表示される。ログインするユーザーにより、使用できる機能に違いがある（表 1）。

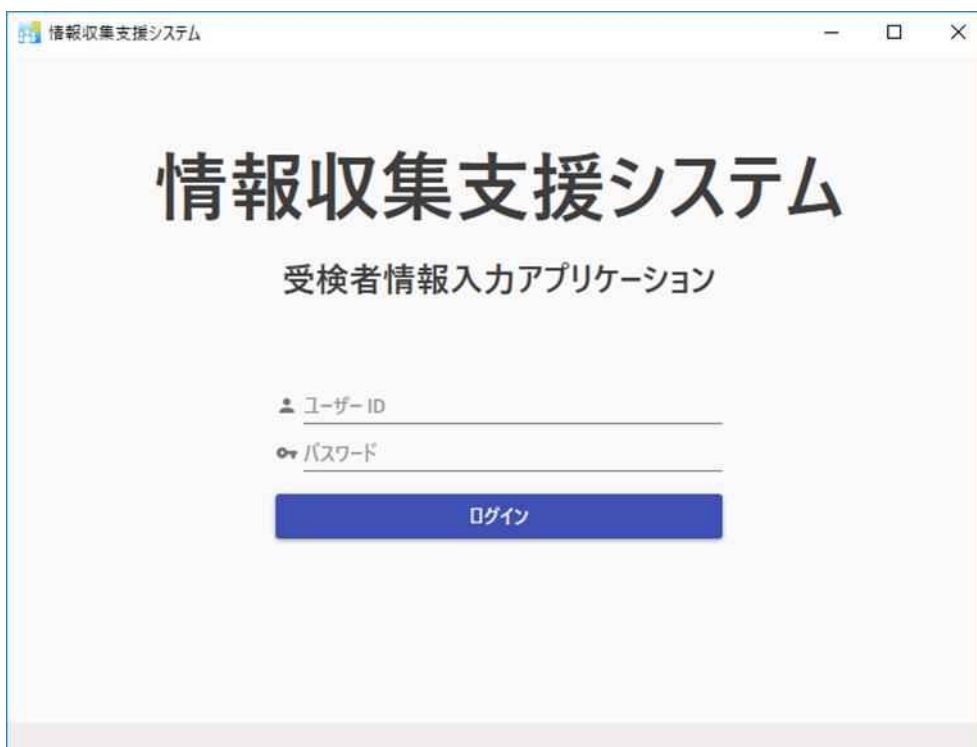


図 2 入力画面

表 1 ユーザーにより使用可能機能

機能	管理者	入力者
入力	○	○
閲覧	○	個人識別IDの検索のみ
編集	○	○
削除	○	
出力	○	
入力候補リストの更新	○	

### (2) メインメニュー

ログインするとメインメニューの表示に切り替わる。

管理者権限を持ったユーザーがログインしたときは、全てのボタンが有効になる(図 3(a))。管理者権限を持たないユーザー（入力者）がログインしたときは、管理機能は使用不可能になる(図 3(b))。



図 3 (a) メイン画面 (管理者)

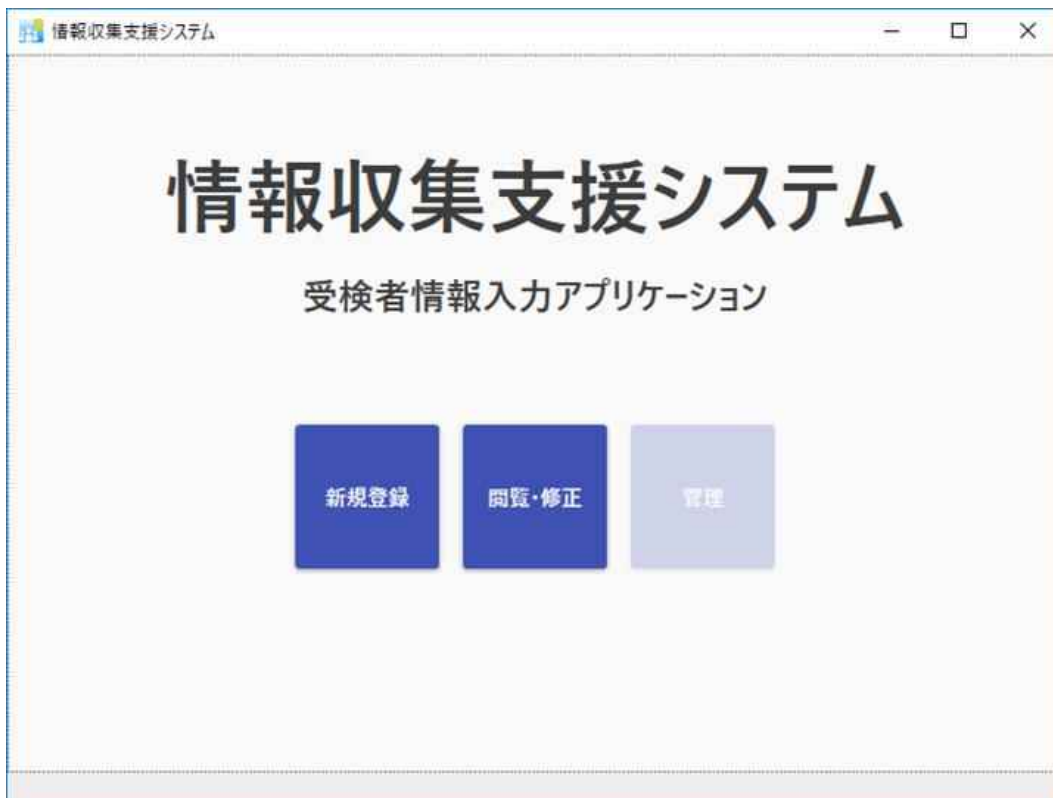


図 3 (b) メイン画面 (入力者)

## ② 受検者情報一覧画面

メイン画面において、「閲覧・修正」ボタンを押すと、受検者情報一覧画面に切り替わる。

この画面では、登録している受検者情報の検索が行うことができる。入力者権限のユーザーであれば、個人情報の一覧表示は行われず、検索結果が一致したユーザーの表示のみを行う。管理者権限を持ったユーザーであれば、登録中の全データが一覧表に表示され、検索条件を入力することで一覧表の表示内容が絞り込まれる。

メイン画面には、下記の「戻る」ボタンを押すと戻る



### (1) 受検者情報の新規登録

受検者情報の新規登録を行うときは、図3の画面で「新規登録」ボタンを押す。ボタンを押すと画面が「受検者情報入力画面」に切り替わる。



### (2) 受検者情報の編集

受検者情報の右端にある、下記の「編集」ボタンを押すと受検者情報の編集画面に遷移する。



### (3) 受検者情報の検索

図4の「検索ボックス」に単語を入力し、「検索」ボタンを押すと、入力した単語を含んだ受検者情報を検索し、該当する情報を一覧表に表示する。

管理者権限を持ったユーザーが検索を行った場合、「個人識別ID」、「氏名」、「ふりがな」、「住所」の4項目を対象に、入力した単語を全て含んだ情報の絞り込み検索を行う(図4)

入力者権限を持ったユーザーが検索を行った場合、「個人識別ID」のみが検索対象になり、完全一致したデータのみを表示する(図5)。



図4 管理者権限で情報の絞り込み検索結果(吉で検索した場合)

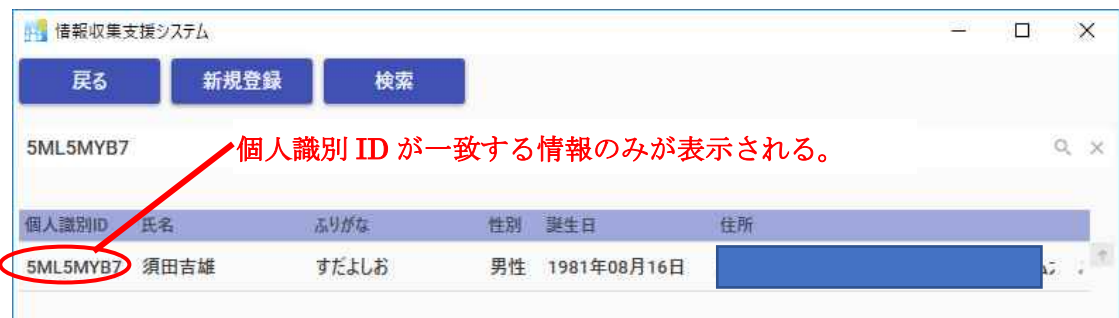


図5 入力者権限で情報の絞り込み検索結果(個人識別IDのみ)

### (4) 受検者情報の出力

「チェックボックス」をいずれか1つ以上のデータを選択した状態で「出力」ボタン(図6)を押すと、チェックした受検者情報の測定結果データや避難情報データを、MONDALの線量評価ツールの入力情報(CSVファイル)として一括出力する。この機能は管理者権限を持ったユーザーのみが使用できる。



図6 チェックボックスと出力ボタン

#### (5) 受検者情報の削除

「チェックボックス」をいずれか1つ以上のデータを選択した状態で「削除」ボタン(図7)を押すと、チェックした受検者情報と関連するデータを一括削除する。この機能は管理者権限を持ったユーザーのみが使用できる。



図7 チェックボックスと削除ボタン

#### ② 受検者情報入力画面

メイン画面の「新規登録」ボタン、受検者情報一覧画面の「新規登録」ボタン、「編集」ボタンを押すと、受検者情報入力画面に切り替わる。この画面では受検者情報の入力・確認を行う。

#### (1) 保存

受検者情報入力画面で、下記の「保存」ボタンを押すか、ショートカットキー（Ctrl+S キー）で、入力した情報をデータベースへ保存する。

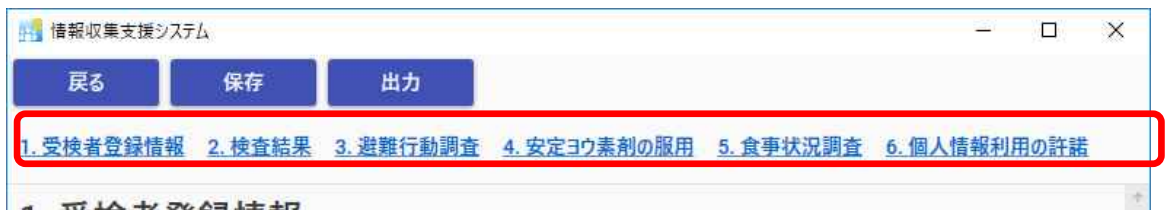


#### (2) 出力

受検者情報入力画面で、「出力」ボタンを押すと、表示中の情報を MONDAL の線量評価ツールの入力情報（CSV ファイル）として出力する。この機能は管理者権限を持ったユーザーのみが使用できる。

#### (3) ハイパーリンク

受検者情報入力画面で、各項目へのハイパーリンクをクリックすると、各項目が表示される位置まで自動スクロールする。



#### (4) 受検者登録情報

「受検者登録情報」の項目を入力する

日付・時間の入力、「作成日」、「生年月日」等の日付を入力する項目は西暦で表示される。和暦で入力した場合、西暦に変換され表示される。

A screenshot of the '1. 受検者登録情報' (1. Recipient Registration Information) form. The form contains several input fields. A red box highlights the '作成日' (Creation Date) field, which contains '2018/12/19'. Another red box highlights the '生年月日' (Date of Birth) field, which contains '1972/10/07'. Other visible fields include '検査場' (Exam Site), '個人識別ID' (Personal Identification ID) 'AGZ51HL2', '氏名' (Name) '山本金次', 'ふりがな' (Kana Name) 'やまもと きんじ', '測定時の年齢' (Age at Measurement) '46 歳 2 ヶ月', '性別' (Gender) with radio buttons for '男性' (Male), '女性' (Female), '未記入' (Not recorded), and '判読不可' (Unreadable), and '住所' (Address).

「性別」、「表面汚染の有無」等の複数の選択肢から選択する入力項目は、“未記入”および“判読不可”の選択肢が追加される。



### 1. 受検者登録情報

作成日: 2018/12/19      検査場:       個人識別ID: AGZ51HL2

氏名: 山本金次      生年月日: 1972/10/07

ふりがな: やまもと きんじ      測定時の年齢: 46 歳      2 ヶ月

性別:  男性     女性     未記入     判読不可

住所:

以下に入力時の注意事項と特徴を示す。

「氏名」、「ふりがな」: 苗字と名前の間には空白等の区切りを入れずに続けて入力する。

「測定時の年齢」: 「誕生日」と「作成日」から求められる。また、乳幼児の測定結果に対応するため“〇歳〇ヶ月”のように月まで表示される。

#### (5) 検査結果

以下に入力時の注意事項と特徴を示す。

「測定器名」、「測定員」、「記録員」: 入力候補に無い名前が入力されると、保存時に新規入力候補としてデータベースへ登録される。

人体図: 人体図のクリックした位置に番号が付き、測定値の一覧表に表面汚染の測定値(グロス値)を入力する。

測定値の一覧: 人体図と連動し、測定値(グロス値)を入力する。ネット値は、“グロス値 - バックグラウンド(BG) 値”の計算結果が表示される。

入力した部位を削除したいときは Delete キーを押す。

PDF ファイル: 添付ファイルとして、PDF ファイルをデータベースに保存することができる。

「測定に要した時間」、「ファイル名」: 測定機器がスペクトロメータのときに入力が可能になる。「ファイル名」はスペクトルファイルを選択し、データベースへ保存する。

図 8 は検査結果から入力された内容を示す。

## 2. 検査結果

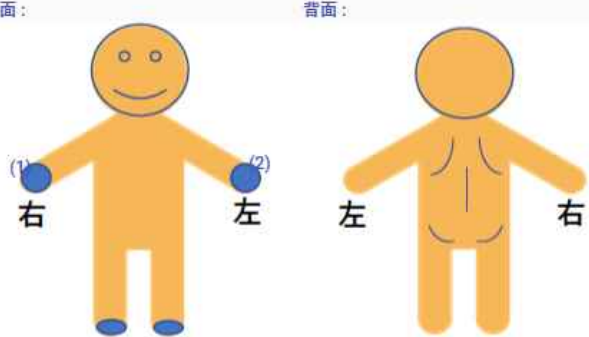
体表面汚染検査

測定器名: GMサーバイ 測定員: 矢島 記録員: 栗原

管理番号: \_\_\_\_\_

バックグラウンド (BG): 150 cpm 測定場所の空間線量率: 0.1  $\mu$ Sv/h

前面: 背面:



部位	グロス[cpm]	Net [cpm]
(1)	500	350
(2)	500	350

PDFファイル: PDF ファイルを選択してください。

表面汚染:  有  無  未記入  判読不可

除染実施:  済み  未実施  未記入  判読不可

甲状腺検査時汚染:  有  無  未記入  判読不可

## 甲状腺測定

測定機器:  NaIサーバイメータ( $\mu$ Sv/h)  スペクトロメータ(計数値)  未記入  判読不可

測定器名: NaIサーバイ 測定員: 三井 測定に要した時間: \_\_\_\_\_ 秒

管理番号: \_\_\_\_\_ 記録員: 土屋 ファイル名: スペクトルファイルを選択してください。

測定場所の空間線量率: 0.1  $\mu$ Sv/h

No.	大臈部 (被検者 BG)	甲状腺部	その他: ピークチャンネル及び領域(ch)等
1		0.09	0.17
2		0.09	0.17
3		0.08	0.18

備考

図 8 検査結果の入力された内容 (体表面汚染及び甲状腺測定結果)

## (6) 避難行動調査

「避難行動調査」の項目を入力する。以下に入力時の注意事項と特徴を示す。

「避難パターンのコピー」ボタンをクリックすると、登録済みの受検者情報から代表者氏名を検索し、見つかった代表者の避難パターンを避難経路の入力欄にコピーする。同姓同名の同行者が存在するときは、同行者選択ダイアログ（図9）が表示され、入力者が正しい同行者を判断し、選択する。図10は避難行動の入力結果を示している、ここの「避難経路の確認」ボタンをクリックすると避難場所の地図表示（図11）を行う。



図9 同姓同名の同行者が存在時の同行者選択ダイアログ

### 3. 避難行動調査

避難場所

避難準備指示: 自宅外 / 住所: \_\_\_\_\_ / 未記入

屋内退避指示: 自宅 / 住所: \_\_\_\_\_ / 屋内

避難指示: 自宅 / 住所: \_\_\_\_\_ / 屋外

避難開始

避難開始日時: \_\_\_\_\_

同行者

家族: 代表者の氏名 / 人数 1

その他: 代表者の氏名 / 人数 0

避難経路

No.	行動	移動手段	期間	場所 (移動元・先、滞在)
1	移動	車	2018/06/13 17:30~	[Redacted]
2	滞在		~	[Redacted]
3	移動	車	2018/06/14 09:00~2018/06/14 19:00	[Redacted]
4	滞在		~	[Redacted]
5	未記入		~	[Redacted]
6	未記入		~	[Redacted]

避難経路の確認...

図10 避難行動の入力結果

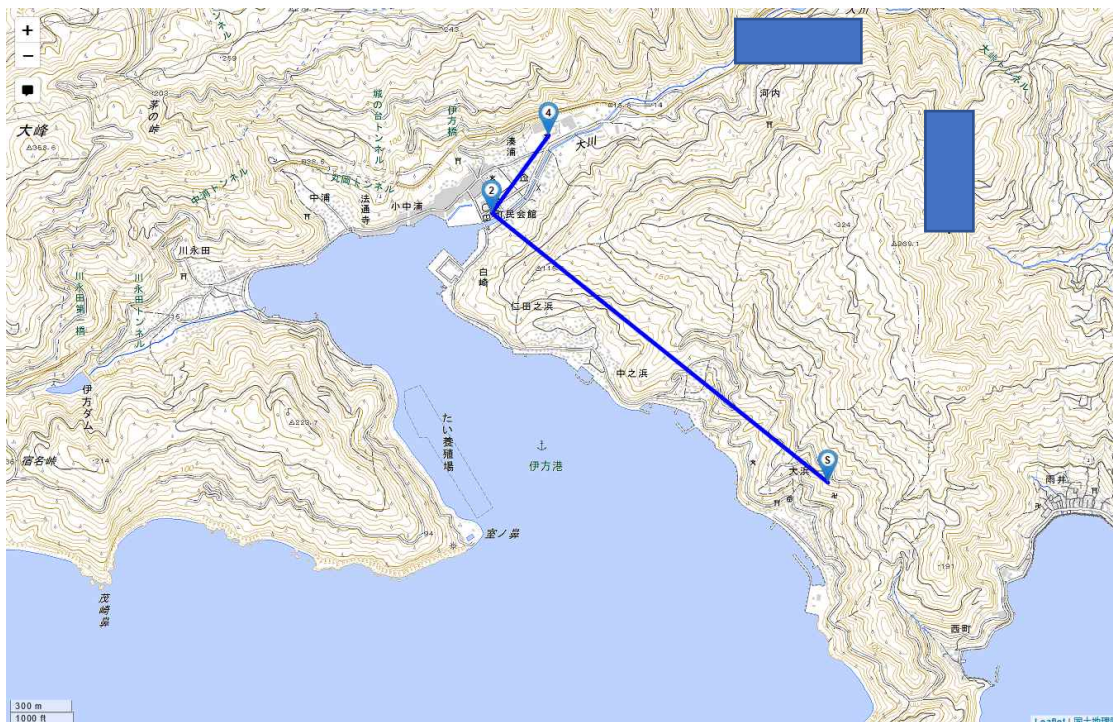


図 11 地図で示した避難行動

#### (7) 安定ヨウ素剤の服用

安定ヨウ素剤の服用に関する情報を「4.安定ヨウ素剤の服用」の項目を入力する。「安定ヨウ素剤の服用の項目」が“はい”の場合は、「服用回数」、「服用時期」、「服用日時」、「服用量」野に関する情報を入力できる。

### 4. 安定ヨウ素剤の服用

安定ヨウ素剤の服用:  はい  いいえ  未記入  判読不可

服用回数:

No.	服用時期	服用日時	服用量
1	避難後	2018/12/19 10:00	2 錠
2	避難後	2018/12/19 10:00	2 錠
3	未記入		0 錠

#### (8) 食事状況調査

食事等に関する詳細を「5.食事状況調査」の項目を入力する。摂取制限指示のあった食品等の摂取, 放射能汚染の可能性のある食品等の摂取, いずれかの項目が“はい”または“可能性あり”のとき, 入力可能になる。

## 5. 食事状況調査

摂取制限指示のあった食品等の摂取：  はい  可能性有り  いいえ  未記入  判読不可

放射能汚染の可能性のある食品等の摂取：  はい  可能性有り  いいえ  未記入  判読不可

状況の詳細

### (9) 個人情報利用の許諾

個人情報利用において、許諾が得られたかどうかに関する情報を「6.個人情報利用の許諾」の項目を入力する。同意を得られなかった記録カードであってもデータベースへの登録は行われる。

## 6. 個人情報利用の許諾

本記録カードの記載内容は、個人同定可能な情報を除いて、放射線による被ばく線量推計または推計手法の開発等にかかわる研究に用いることがあります。上記の情報利用に同意して下さる方は自筆（未成年者の場合は保護者）による署名をお願いします。

署名有り

### ③ 管理機能画面

管理機能画面では受検者情報の登録に必要なデータの管理を行う（図 12）。

編集したいテーブルを選択し、「ファイルへ保存」ボタンを押すとテーブル内に保存されているデータを CSV ファイルへ出力する。

出力した CSV ファイルを Microsoft Excel 等で編集した後、「データベースを更新」ボタンを押して、編集した CSV ファイルを読み込むとデータベースの内容が更新される。読み込むことができる CSV ファイルは、1 行目がヘッダ行で文字コードが Shift-JIS で保存されている必要がある。



図 12 管理機能画面

#### ④ 避難経路の地図表示

避難経路の地図表示画面の特徴と注意事項について以下に示す。



「避難経路の確認」ボタン(図 10)を押すと地図ファイル(HTTL 形式)が作成され、Microsoft Edge や Google Chrome 等の WEB ブラウザが起動し、避難経路の地図(図 11)が表示される。

地図データは国土地理院が提供するタイル地図サービスを使用している。タイル地図は必要な地図情報を国土地理院のサーバーからダウンロードする必要があるため、この機能はオンライン接続の必要がある。

また、タイル地図を表示するために JavaScript ライブラリである Leaflet(<https://leafletjs.com/>)と各種プラグインを使用している。

避難開始場所(避難指示を受け取った場所)は住所テーブル、避難所は避難所テーブルから座標情報を検索し、該当するデータが見つかったときは、避難順番が分かる番号付きで地図上に表示される。座標情報が見つからない住所・避難場所・施設は地図上に表示されない。検索結果は画面左上の「メッセージ」ボタンで確認することができる。





**平成29年度原子力規制庁  
放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究  
研究提案**

**原子力事故時における近隣住民の  
確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた  
包括的個人内部被ばくモニタリングの確立**

**第1回成果報告会  
平成30年2月26日**

**量子科学技術研究開発機構  
放射線医学総合研究所  
栗原 治(主任研究者)**

1

---

**研究概要**

2

平成29年度 放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究  
【重点テーマ】

⑤放射性ヨウ素等の迅速・高精度な内部被ばくモニタリング手法に関する研究  
研究の背景等(公募要領より)

- 事故などの緊急時には、事故後早い段階においてできるだけ沢山の人を対象に精度の高い計測により、内部被ばく線量評価を行う必要がある。
- 放射性ヨウ素の内部被ばく線量評価には、福島第一原子力発電所事故の経験から、摂取後早期の甲状腺被ばく線量測定にあたり、**甲状腺及び周囲組織の解剖学的な個人差や核種同定**等今後万が一の事故に対応する計測装置開発を含めた評価手法の確立が必要とされている。
- ついては、放射性ヨウ素の内部取込みに伴う甲状腺被ばく測定の精度向上のために、**高バックグラウンド環境に対応する小型、高感度、スペクトル分析**が可能な甲状腺モニタの開発が必要とされている。

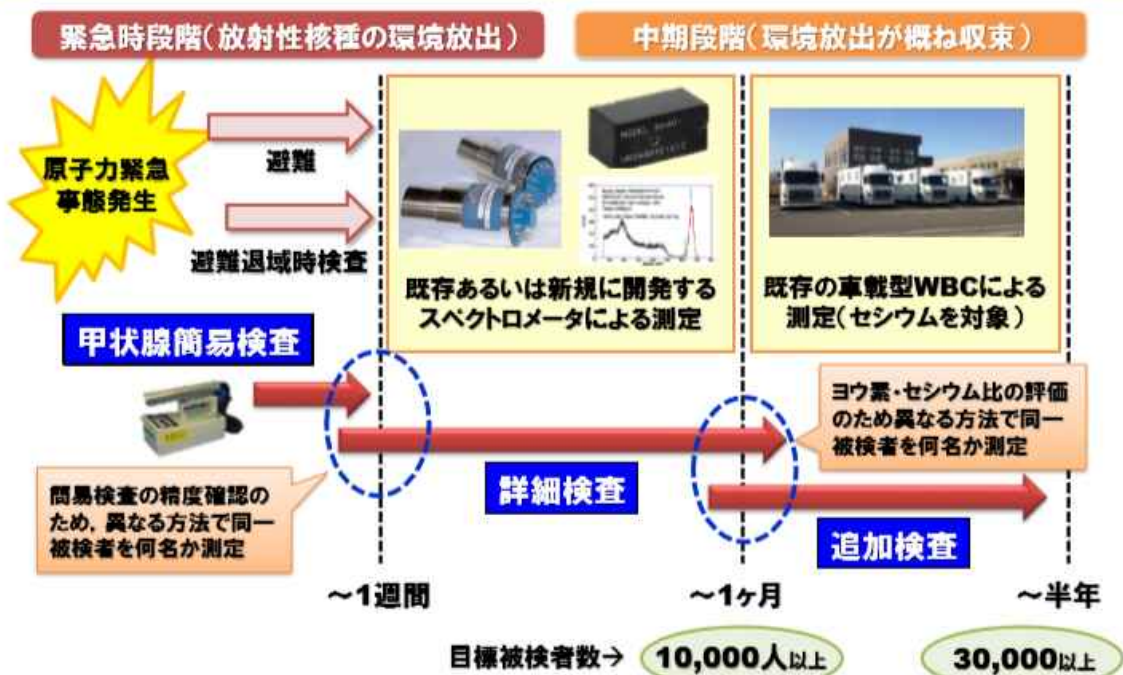
↓

福島原発事故で見出された技術的課題を克服し、後の線量再構築に資する信頼性の高い人の実測データを可能な限り多く取得する。  
(測定技術のみならず、実行的な公衆の内部被ばくモニタリング手法を構築を目指す。)



## 提案する原子力災害時における個人モニタリング

3



得られた人の全実測データを初期内部被ばく線量の評価に有効に活用

## ロードマップ

4

項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度
検出器応答評価 (スペクトル解析ソフト開発を含む)	資機材準備 応答試験 ソフトウェア試作	数値シミュレーション 応答試験 ソフトウェア改良	測定条件決定 ソフトウェア改良
新モニタの開発	試作器の製作	試作器の開発	実用機の開発
マニュアル作成 (情報収集システムの開発を含む)	簡易検査見直し システム概念設計 海外調査	換算係数の整備 システム試作 海外調査	マニュアル作成 システム改良
研修・ワークショップ	3月予定 実務者会合	実務者会合	研修会 WS

### 平成29年度のこれまでの主な進捗

1. 甲状腺簡易検査の測定精度の評価とともに、スクリーニングレベルを導出した。
2. 新甲状腺モニタ及びソフトウェアを試作した。
3. 情報収集システムの具体的な仕様を検討するとともに、その概念設計を行った。

## 甲状腺(被ばく)簡易検査

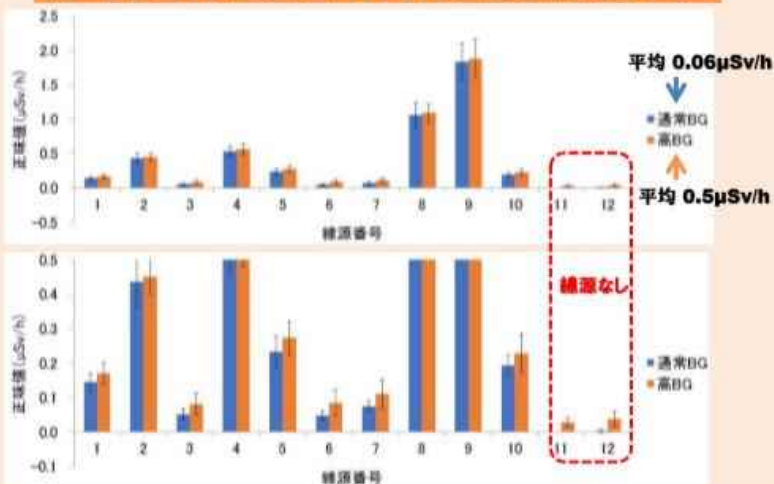
5

原子力災害時の初動対応の一つとして行われる簡易な放射線検出器(NaIサーベイメータ)を用いた甲状腺被ばく検査法の精度検証



実践的な研修プログラムを立案  
「甲状腺簡易測定研修(規制庁委託)」

専門人材育成研修に参加した受講生20名が2名1組となり、線源が収められたマネキン(全12体、内2体は線源無し)を測定



- 頸部の正味値が $0.5\mu\text{Sv/h}$ 程度以上であれば比較的信頼性のあるデータが取得できる。
- プローブ位置の標準化やサーベイメータ校正定数の個体間のばらつき等の課題抽出。

## 甲状腺(被ばく)簡易検査

6

目的に応じたスクリーニングレベル(SL)の設定(案)

- SL1: 被ばく医療機関において診断等を必要とするレベル: 甲状腺吸収線量 $2\text{Gy}$ から導出 (IAEA GC)
- SL2: 詳細な甲状腺検査を必要とするレベル: 甲状腺等価線量 $100\text{mSv}$ から導出



OIL8の根拠となる包括的  
判断基準は、甲状腺等価  
線量で $100\sim 200\text{mSv}$

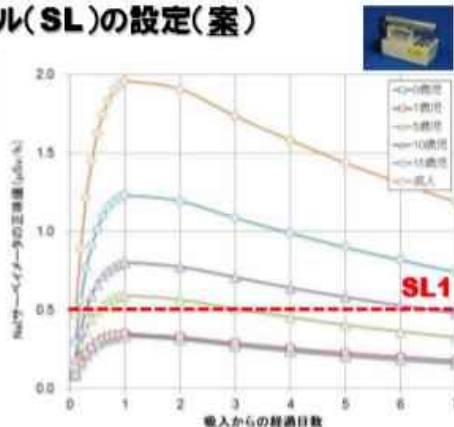
甲状腺からの線量率に対するOIL8の初期検査

このOIL8の初期検査は甲状腺からの線量率に依存するものであり、以下のように設定される必要がある。(a) 検査者の経験及び検査者の教育、(b) 甲状腺がんの発生率の地域差があること、(c) 甲状腺がんの発生率が $10\mu\text{Sv/h}$ 以下のグループを扱い、(d) 甲状腺がんの発生率に地域差を考慮し、(e) 甲状腺がんの発生率が $10\mu\text{Sv/h}$ 以上のグループを扱い、(f) パンチアラック検査機による測定による検査で実施。

OIL8*	測定された人々の線量
0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 子供 < 7歳	甲状腺 < 2歳
5 $\mu\text{Sv/h}$ 子供 > 7歳	甲状腺 > 2歳

目的  
検査者であれば、CTD検査機を操作し、甲状腺に15分間の測定を行うことにより、測定したサーベイメータを交換し、甲状腺検査を実施する。さらにOIL8も検査を実施し、必要に応じて甲状腺がん検査機による検査を実施。

留意点  
甲状腺がんによって、甲状腺がんの発生率が高くなる地域では、甲状腺がんの発生率が高くなる地域では、OIL8を実施する必要がある。甲状腺がんの発生率が高くなる地域では、OIL8を実施する必要がある。甲状腺がんの発生率が高くなる地域では、OIL8を実施する必要がある。



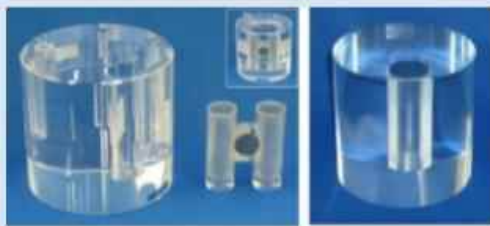
甲状腺等価線量 $100\text{mSv}$ に相当する  
NaI(Tl)サーベイメータの指示値  
(急性摂取、 $^{131}\text{I}$ のみ)

- 提案するSL  
SL1:  $5\mu\text{Sv/h}$ , SL2:  $0.5\mu\text{Sv/h}$
- SL2は乳児、1歳児には適用できないが、同伴者(親、兄弟)の結果から判断(新モニタで解決)

引用: JAERI-Review 2016-013

# 甲状腺中放射性ヨウ素放射能換算係数(TCS-172)

7



**ORINSファントム**  
Ref. ORINS-15 Thyroid radioiodine uptake measurement (1959)

**ANSIファントム**  
Ref. ANSI N44.3-1973  
Ref. ANSIHP3 N13.44-2014

## 換算係数の実験評価

(校正済みの6台のサーベイメータを用いて実験)

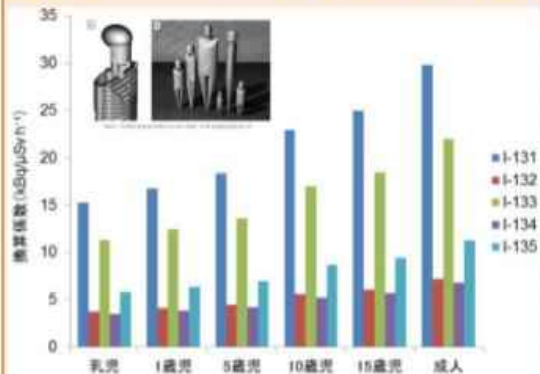
### ANSIファントムに対する換算係数(kBq/μSv<sup>h</sup><sup>-1</sup>)

距離(cm)	0cm	1cm	5cm	10cm
I-131	22±2	34±2	113±6	264±9
Ba-133	20±2	33±2	109±4	257±13
Cs-137	17±2	28±2	92±4	228±11

### ORINSファントムに対する換算係数(kBq/μSv<sup>h</sup><sup>-1</sup>)

距離(cm)	0cm	1cm	5cm	10cm
I-131	33±2	46±3	125±5	286±26
Ba-133	31±2	44±2	122±3	273±12
Cs-137	27±2	38±2	104±6	238±14

## 数値シミュレーションによる換算係数の評価



年齢別数学ファントム(Ulanovsky)に対する換算係数(kBq/μSv<sup>h</sup><sup>-1</sup>) ※検出器-頭部表面距離:5mm



IRSNで開発された年齢別ファントムは製作発注(納品され次第、試験を実施)

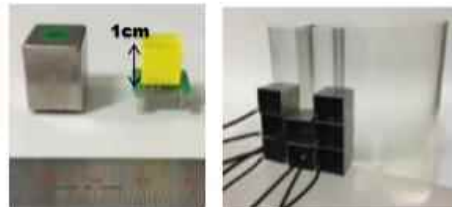
# 甲状腺詳細検査のための新モニタ開発

8

## ● 複数のGAGG検出素子を用いた新モニタの提案

### 福島原発事故において見出された課題

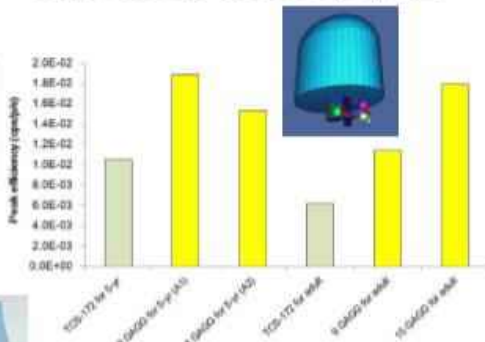
- 周辺環境中の着目核種の影響
- 小児を含む幅広い年齢群を対象とした検査



写真左: GAGG結晶(+SiPM)とケーシング  
写真右: GAGG検出素子をファントムに配置

### 解決策

- 複数のGAGG検出素子を用いた最適配置
- 装置自体の小型化による速へい体の軽量化

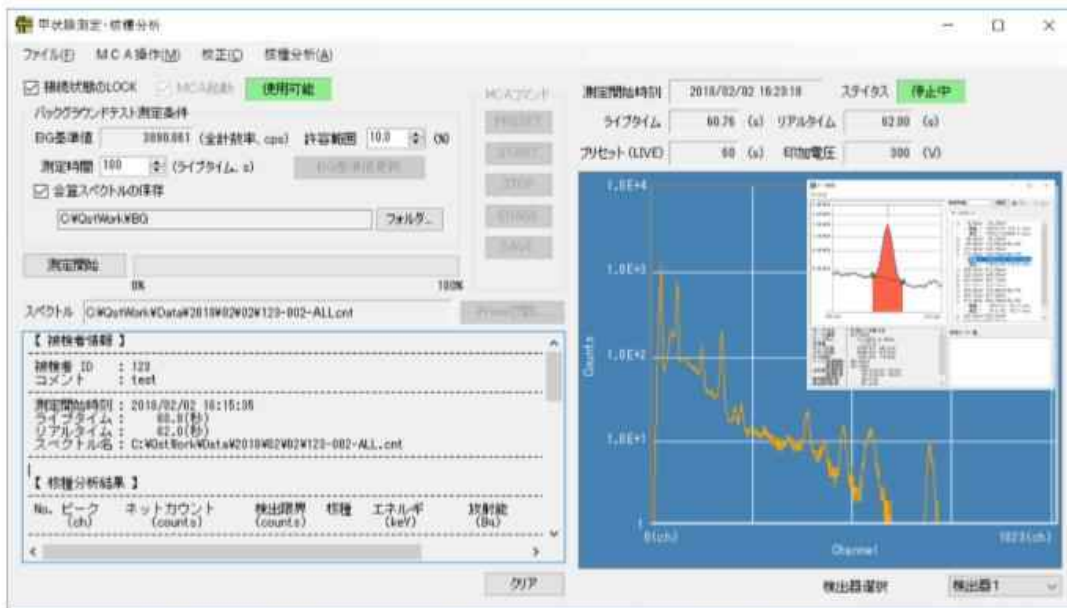


新モニタとNaI(Tl)サーベイメータの感度比較 (数値シミュレーション)

# 甲状腺詳細検査のための新モニタ開発

9

## ● 新モニタ用ソフトウェアの試作

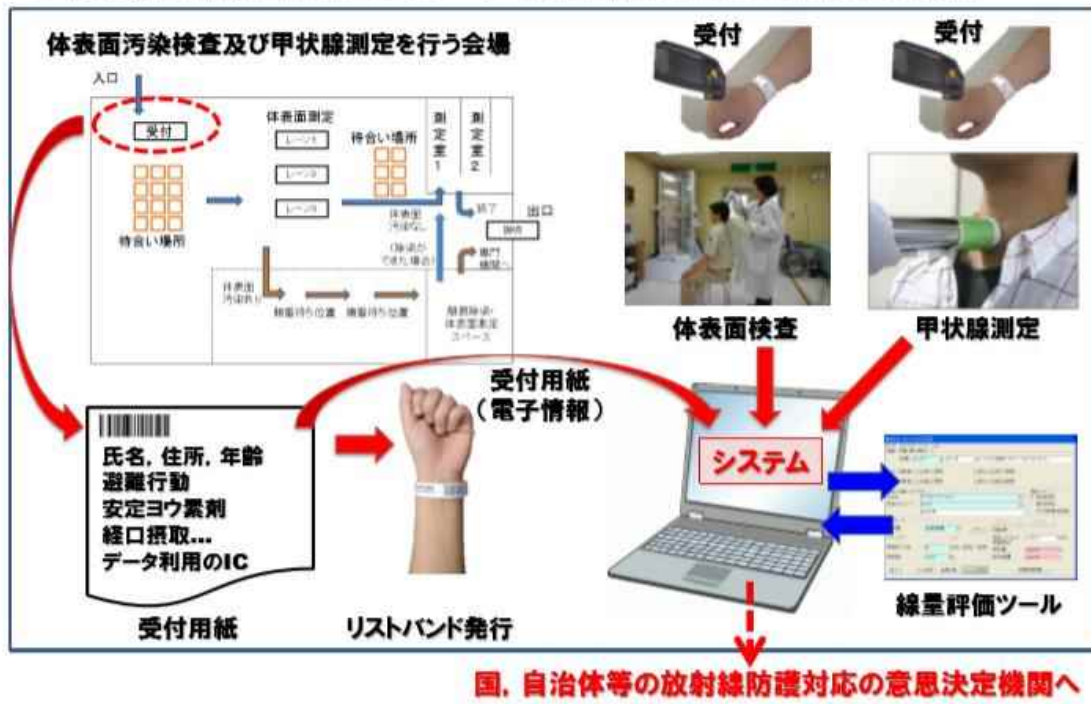


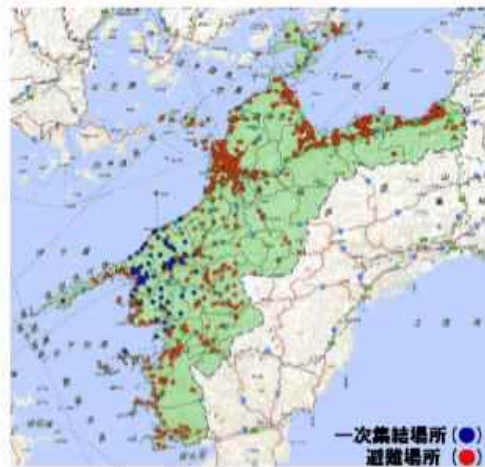
新甲状腺モニタ(GAGG)の制御及び波高スペクトルの解析処理

# 情報収集支援システム

10

## ● 後の線量評価に必要となるデータ・情報を散逸することなく確実に収集





伊方サイトにおける区分毎の避難人口内訳

区分	人口						小計
	新生児	1ヶ月以上 3歳未満	3歳以上 7歳未満	7歳以上 13歳未満	13歳以上 40歳未満	40歳以上	
PAZ	3	110	146	235	1323	3970	5787
UPZ	60	2,387	3,510	5,761	29,534	81,576	122,838
Total	63	2,497	3,654	5,996	30,857	85,546	128,623

PAZ: 伊方町, UPZ: 伊方町, 八幡浜市, 大洲市, 西予市, 宇和島市, 伊予市, 内子町



女川サイトにおける区分毎の避難人口内訳

市町名	PAZ	PAZに 準ずる区域			計
		UPZ	UPZ外	UPZ外	
北川町	721	0	6,308	0	7,029
石巻市	611	2523	146,322		149,456
登米市	0	0	10,215		10,215
栗原市	0	0	36,836	3,289	40,125
涌谷町	0	0	631		631
美里町	0	0	116	5,094	5,210
南三陸町	0	0	1,618		1,618
計	1,382	2523	202,246	8,383	214,534

## 避難住民の甲状腺被ばく検査を実施する候補施設の検討材料に活用

# 自己評価

### 1. 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	2. 概ね計画どおり	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 仏IRSNが開発した年齢別ファントムは3月上旬に納品予定。到着後、速やかに実験を行う。</li> <li>● 海外調査は3月に予定(訪問先: Health Canada)</li> </ul>
今年度の進捗や達成度を踏まえて、次年度の研究計画に変更が必要か	1. 必要ない	概ね計画どおり研究を遂行できると見込まれるため。

### 2. 分担研究者による自己評価: 該当せず

#### 評価時までの研究成果

- 本資料で示したとおり。
- 本研究提案に関連する論文が受理

Kurihara et al. Experiences of population monitoring using whole-body counters in response to the Fukushima nuclear accident. Health Phys. (accepted Jan. 28, 2018).

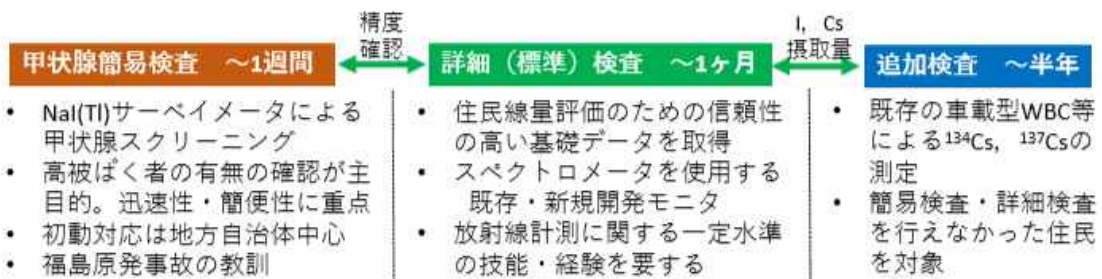
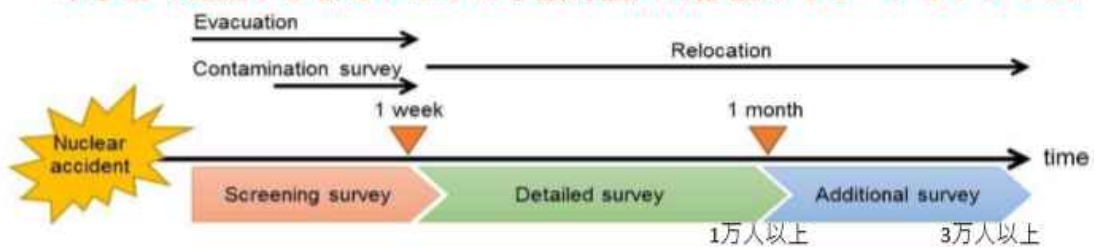
放射線安全規制研究推進事業  
原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立

## 甲状腺簡易検査実習において取得したデータの検討

（国研）量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所  
計測・線量評価部 矢島千秋，金ウンジュ，谷幸太郎，栗原治  
被ばく医療センター 立崎英夫

### はじめに

本事業で提案する新しい原子力事故時個人内部被ばくモニタリング手法



Nalサーベイメータによる甲状腺スクリーニングの技術面・運用面での課題

‘甲状腺簡易検査実習’で得られたデータから同手法の精度検証

# 甲状腺簡易検査実習

**甲状腺簡易検査実習**：「甲状腺簡易測定研修」（原子力施設等防災対策等委託費事業（原子力規制庁委託事業）の一環）において実施（平成29年10月11日）  
 対象：原子力災害時に甲状腺の測定を担当する、または担当する可能性のある方  
 目的：NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易測定方法を習得すること

実習前に甲状腺簡易検査の目的・手順の講義



## 甲状腺簡易検査実習



# 甲状腺簡易検査実習

## 実習概要

参加者：20名，2人1組 計10組

測定器：NaI (Tl) サーベイメータ (TCS-171/172，日立製作所) 10台

校正定数 0.86-1.32 (<sup>137</sup>Cs)

模擬被検者：発泡スチロール製マネキン 12体

うち、10体の内部に校正用ポイント線源を設置

高BG環境：<sup>137</sup>Cs密封線源を用いて人為的にBGを上昇させた環境

SL設定：暫定のスクリーニングレベルを正味値 0.5 μSv/h に設定



マネキンと内部に設置した線源

# 甲状腺簡易検査実習

## 甲状腺簡易測定方法



1. 係属汚染が無いことを確認した後、被検者の喉嚨下部(写真)にプローブを密着させた状態で保持し、測定数10秒で検出値が安定したときの数値【測定値(A)】を読み取る。  
 (測定説明)  
 ● プローブの先端は甲状腺の位置を指し、汚染を確認した場合には測りかたを正しくして直し、可能であれば、プローブを正確に密着させる前に被検者の喉嚨下部をフェルトパッド等で軽く拭く。  
 ● 一度でつかえない場合は、検出値が安定するまでは何度か測定を行うこと。
  2. 着衣の汚染が無いことを確認した後、大腿部中央付近にプローブを密着させた状態で保持し、測定数10秒で検出値が安定したときの数値【測定値(B)】を読み取る。
- 正味値 = 測定値(A) - 測定値(B)
- ↓
- スクリーニングレベルと比較
- ※測定室内の空間線量率も定期的に測定する。

## 模擬被検者の測定

甲状腺測定 喉嚨下部に密着

大腿部測定 被検者BG

今回、被検者BGは数の中程の値で測定する

検出値の目安  
 (大腿部など甲状腺から離れた部位) 汚染に付着する汚染量または、検出値による甲状腺汚染への影響を確認し、標準BGについても、汚染による感への影響を考慮したものとす。

プローブを喉嚨下部(喉仏と鎖骨の間あたり)に密着、軽く触れる程度で強く押し付けないこと。

$$\text{正味値 } \mu\text{Sv/h} = \text{頸部前面での空間線量率 (甲状腺測定)} - \text{台下の空間線量率 BG (大腿部測定)}$$

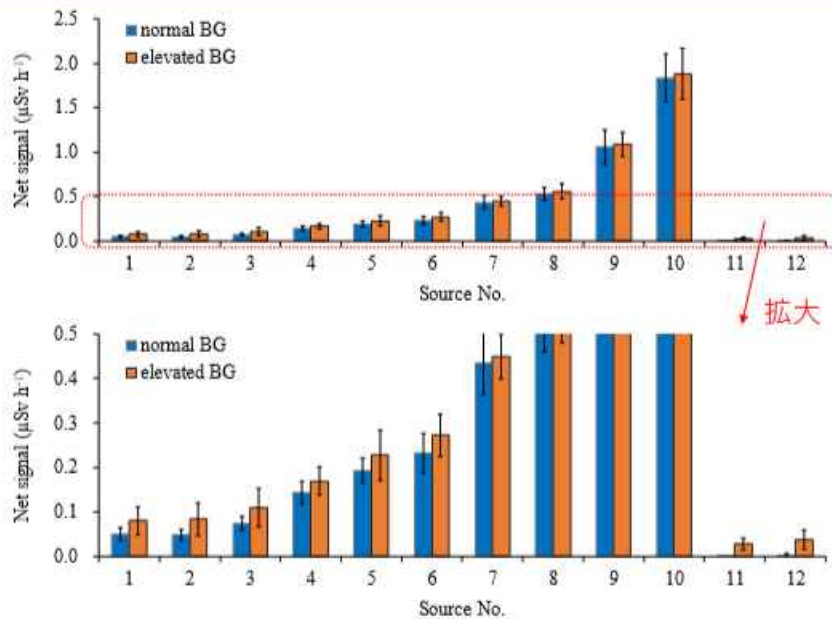
# 甲状腺簡易検査実習



甲状腺簡易検査実習の様子

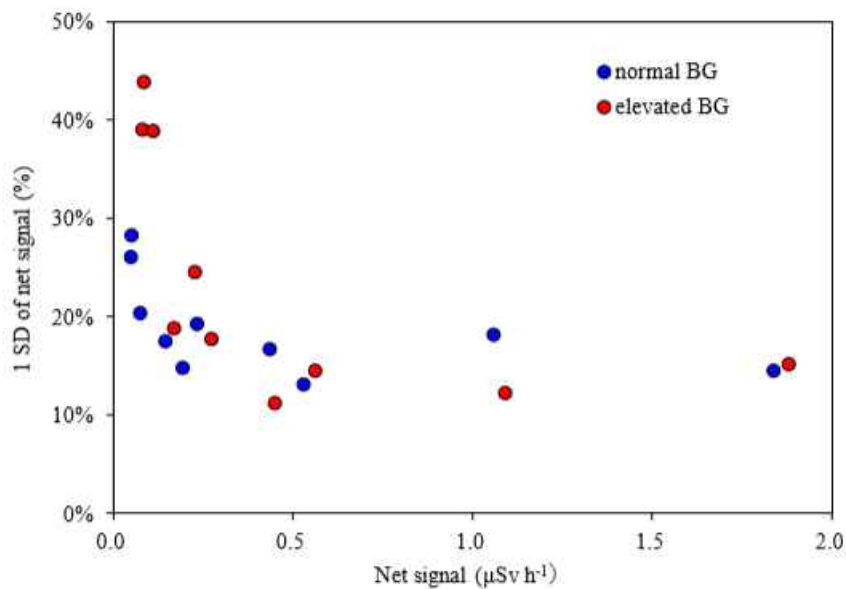


## 結果と考察



結果1 通常BG・高BG環境下での各線源に対する正味値の平均  
エラーバーは実習生間の指示値のパラツキを1標準偏差で示す  
線源番号11と12はブランク（線源なし）

## 結果と考察



結果2 正味値と相対標準偏差の関係  
線源番号11と12を除く

## 結果と考察

- 高BG下の正味値 > 通常BG下の正味値の傾向、ただし差は小さい。SL (0.5 $\mu$ Sv/h) と同程度の高BG下でSLを十分に弁別でき、比較的信頼性のある測定が可能であることが確認された
- 高BG下の正味値が過大になった原因としてマネキン台の金属支柱による遮へい効果が考えられる
- 正味値 < 0.2 $\mu$ Sv/hの範囲では相対標準偏差の分散は大きく、正味値 > 0.2 $\mu$ Sv/hの範囲ではほぼ10–20%の間であった。 < 0.2 $\mu$ Sv/hでは計数の統計的なばらつき、 > 0.2 $\mu$ Sv/hでは実習生間の測定ジオメトリの違いによると考えられる
- NaI (TI) サーベイメータによる甲状腺簡易検査は、スクリーニング目的において、SL (0.5 $\mu$ Sv/h) に対して、十分に信頼性のある測定が可能である

## 実習生の意見

- 解剖学的な甲状腺位置に基づくプローブの最適位置の印付けはできないか (甲状腺の位置)
- 現場に対応できるような簡易的な値付け、相互校正ができないか
- 医師 (又は専門知識のある) 人以外も対応できるように測定の標準化が必要
- 甲状腺簡易検査の体制 (方針) を詳しく知りたい
- 実習開始前にもう少し詳しい説明がほしい  
記録用紙の記載事項・記入する値の解釈  
正しい (模範) 測定例

## 甲状腺簡易検査・今後の課題

- 近隣住民（万人規模）を対象とした検査体制の検討  
測定時間：甲状腺簡易検査に必要な時間の算定  
実習では12体マネキンに対し10組が約25分  
（1回目）、約20分（2回目）  
要員・機器数：目標数、場所、検査手順
- 甲状腺簡易検査実習の改善  
プローブ位置の印付け ← 最適（標準）位置の検討  
印付け（有無）による測定値への影響の見積もり
- 現地校正・簡易校正についての検討

平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費事業  
(原子力事故時における近隣住民の確実な内部被ばく線量の把握に向けた  
包括的個人被ばくモニタリングの確立)  
平成 30 年度事業計画書

本研究において提案する個人被ばくモニタリング手法は、住民の短半減期の放射性ヨウ素による甲状腺被ばくの把握が十分に行えなかった福島原発事故の教訓を踏まえ、新しく開発を行う甲状腺モニタを含めた幾つかの測定手法を有機的に組み合わせ、高被ばく者の迅速なトリアージと多数の住民を対象とした初期内部被ばく線量の正確な推計を確実に行うことを目指した手法である。本研究は平成 29 年度から平成 31 年度の 3 カ年で実施する予定であり、2 年目となる平成 30 年度の研究計画は下記のとおりである。

1. 既存検出器を用いた測定法の改善

- ① NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査  
甲状腺簡易測定研修（原子力規制庁委託）において見出された課題（測定ジオメトリの標準化や機器間の校正定数のばらつきなど）について改善策を検討する。
- ② 年齢別の換算係数の評価  
平成 29 年度に引き続き、頸部物理ファントム及び数値ファントムを用いて、甲状腺測定に用いる検出器の年齢別応答-甲状腺線量換算係数を評価する。
- ③ 遮へい体仕様の検討  
容易に設置可能な検出器遮へい体について検討を行う。
- ④ 甲状腺簡易検査用マニュアル作成  
平成 29 年度で得られた検討内容及び①②③の検討内容を反映したマニュアルを作成する。
- ⑤ ホールボディカウンタ（FASTSCAN）の甲状腺ヨウ素の応答特性評価  
トランスファーファントム及び数値ファントムを用いた甲状腺ヨウ素の応答特性を評価する。

2. 新モニタの試作及び試験

- ① 新モニタ（成人用）の試作及び固定治具  
新モニタ（成人用）の試作及び GAGG 検出素子の固定治具（遮へい等を考慮）の検討を行う。
- ② 応答特性試験  
乳幼児、小児、成人を対象とした甲状腺測定に最適な GAGG 検出素子の配置を決定し、頸部物理ファントムを用いた実験により検証する。
- ③ 新モニタ用ソフトウェアの改良

新モニタの制御及び波高スペクトル解析を行うソフトウェアを改良する。

④ 新モニタによるモニタリングの標準化

新モニタによるモニタリングの標準化を目指すため、福島事故での教訓を取り入れるよう、地方自治体からの意見聴取やアンケート等を行う。

3. 情報収集システムの構築

① 情報収集支援システムの構築

平成 29 年度に実施した情報収集システムの概念設計に基づき、システムを構築する。

② 情報収集システム用データベースの追加

平成 29 年度に引き続き、5 地域程度の原子力災害時の広域避難計画の調査を行い、情報収集システムに組み込む避難場所及び避難ルート等のデータベースを構築する。

4. 海外調査及び実務者会合

① 海外調査

欧州の代表的な公的機関を訪問し（2 機関程度）、公衆の初期内部被ばくモニタリングのための対応状況について調査する。

② 実務者会合

原子力機構や被ばく医療機関等の関係者との実務者会合を行い、実行的な公衆の初期内部被ばくモニタリングの構築に向けた課題抽出等を行う。

(資料1-1)

原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた  
包括的個人内部被ばくモニタリングの確立 (平成30年度 研究計画)

①既存検出器を用いた測定法の改善

- NaI (TI) サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査:
- 年齢別の換算係数の評価
- 遮へい体仕様の検討
- 甲状腺簡易検査用マニュアル作成
- ホールボディカウンタ(FASTSCAN)の甲状腺ヨウ素の応答特性評価

②新モニタの試作及び試験

- 新モニタ(成人用)の試作及び固定治具
- 応答特性試験
- 新モニタ用ソフトウェアの改良
- 新モニタによるモニタリングの標準化

③情報収集システムの構築

- 情報収集支援システムの構築
- 情報収集システム用データベースの追加

④海外調査及び実務者会合

- 海外調査
- 実務者会合(1回目:QST-NIRS)

甲状腺中放射性ヨウ素放射能換算係数(TCS-172) <sup>2</sup>



**ORINSファントム**  
Ref. ORINS-19 Thyroid radioiodine uptake measurement (1999)



**ANSIファントム**  
Ref. ANSI N44.3-1973  
Ref. ANSIHP2 N13.44-2014

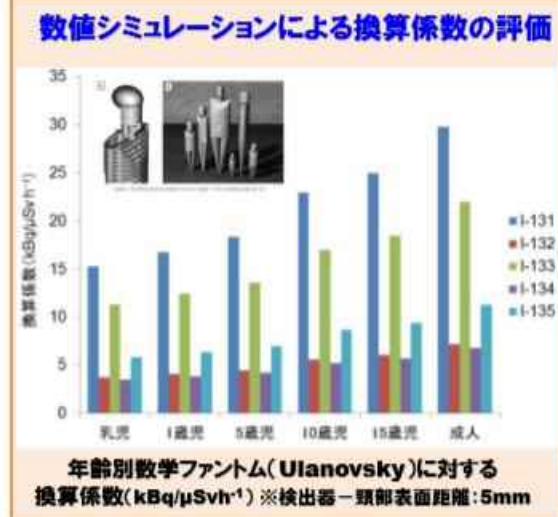
**換算係数の実験評価**  
(校正済みの6台のサーベイメータを用いて実験)

**ANSIファントムに対する換算係数(kBq/μSv<sup>h</sup><sup>-1</sup>)**

距離(cm)	0cm	1cm	5cm	10cm
I-131	22±2	34±2	113±6	264±9
Ba-133	20±2	33±2	109±4	257±13
Ca-137	17±2	28±2	92±4	228±11

**ORINSファントムに対する換算係数(kBq/μSv<sup>h</sup><sup>-1</sup>)**

距離(cm)	0cm	1cm	5cm	10cm
I-131	33±2	46±3	125±5	286±26
Ba-133	31±2	44±2	122±3	273±12
Ca-137	27±2	38±2	104±6	238±14



## 既存検出器を用いた測定法の改善 年齢別ファントムによる放射性ヨウ素放射能換算係数(試験中)

### IRSNで開発された年齢別ファントム



Ba-133: 5kBq	
5歳	3.2g
10歳	7.5g
15歳	11.4g
成人	19g

### 年齢別ファントムに対する換算係数(kBq/μSvh<sup>-1</sup>) (TCS-172)

距離 (cm)	0cm	0.5cm	1cm	3cm	5cm
5歳	12.3	16.6	21.9	51.6	89.9
10歳	14.9	20	25.6	59.1	95.0
15歳	15.8	20.4	24.5	51.1	87.0
成人	20.3	25.6	31.9	58.6	91.1

年齢別ファントムを用いてNaI(Tl)スペクトルメータ(1inch, 1.5inch, 2inchi, 3inchi), CeBrスペクトルメータ(1.5inch)等の特性試験中

## 新モニタ(GAGG検出素子)の試作及び試験

- 複数のGAGG検出素子を用いた最適配置
- 装置自体の小型化による速へい体の軽量化

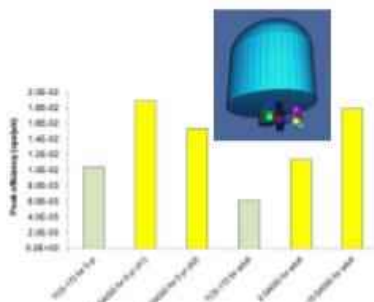


写真左: GAGG結晶(+SIPM)とケーシング  
写真右: GAGG検出素子をファントムに配置

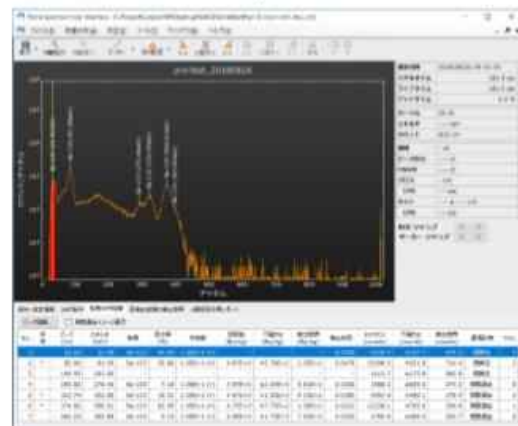
最適配置検討



↓ 波高スペクトル例



新モニタとNaI(Tl)サーベイメータの感度比較  
(数値シミュレーション)



**GAGG 検出器(8台)  
波高スペクトル例**

検出器とファントムまでの距離:0cm



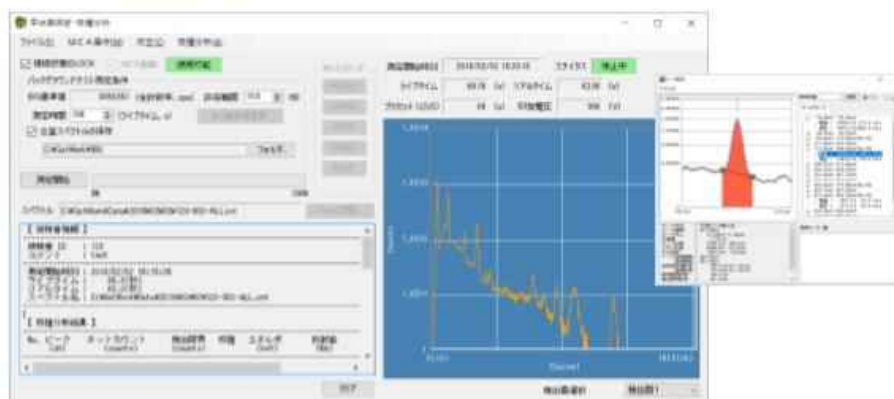
No.	ピーク 位置 (cps)	エネルギー (keV)	物質	放射率 (%)	半減期	放射能 (Bq/kg)	不確かさ (Bq/kg)	検出器種 (Bq/kg)	検出効率	計数率 (counts)	不確かさ (counts)	検出器種 (counts)	標準計算	Prto
1	32.43	31.00	Se-133	54.00	1.05E+1 (Y)	5.64E+3	6.63E+2	2.04E+2	0.0236	4930.3	4161.8	459.3	検出器種	0
2	85.95	81.00	Se-133	35.93	1.05E+1 (Y)	5.64E+3	6.63E+2	2.04E+2	0.0476	17550.3	4131.5	424.9	検出器種	2
3	169.92	161.00	-	-	-	-	-	-	-	1925.2	4213.4	899.9	検出器種	-
4	290.82	279.40	Se-133	7.19	1.05E+1 (Y)	4.74E+3	4.747E+2	1.23E+3	0.0205	1865.1	4107.0	402.0	検出器種	3
5	331.34	300.80	Se-133	16.91	1.05E+1 (Y)	5.60E+3	6.73E+2	3.35E+2	0.0280	3757.7	4132.7	572.3	検出器種	3
6	374.82	356.01	Se-133	42.05	1.05E+1 (Y)	4.97E+3	4.572E+2	2.07E+2	0.0231	12791.7	4194.7	532.3	検出器種	1
7	404.04	383.83	Se-133	9.12	1.05E+1 (Y)	3.11E+3	4.502E+2	9.74E+2	0.0233	111	473.0	374.1	検出器種	4

- 5歳ファントム ⇒ 12791cnts/3min (71cps) (検出限界: 213Bq/3cps)  
⇒ 70 Bq/cps (30kBq: 430cps)
- 大人ファントム ⇒ 8709cnts/3min (48cps) (検出限界: 329Bq/3cps)  
⇒ 104 Bq/cps

**甲状腺モニタ(成人用)の試作及び新モニタ用ソフトウェアの改良**

- 大人用甲状腺モニタの試作中 : 12チャンネルGAGG検出器
- 新モニタ用ソフトウェアの改良中

- GAGG検出器を用いた甲状腺検出器の2測定系(大人用及び子供用)に対応
- 核種/γ線多重同定時、妨害成分を考慮した核種同定機能を追加





## 情報収集システムの構築

### ➤ 避難場所データベースの追加(広域避難計画の調査・整理)

対象サイト:浜岡、大飯、高浜、玄海、川内の原子力施設を中心として概ね半径30km以内の広域避難計画対象地域

### ➤ 情報収集支援システムの開発

- 被検者情報データベース管理機能
- 測定結果データベース管理機能
- 避難情報データベース管理機能

避難者検査記録カード(例)

項目	測定結果	備考
甲状腺線量率		
甲状腺機能		
甲状腺抗体		
甲状腺がん		
甲状腺腫瘍		
甲状腺嚢腫		
甲状腺炎		
甲状腺機能亢進症		
甲状腺機能低下症		
甲状腺がん		
甲状腺腫瘍		
甲状腺嚢腫		
甲状腺炎		
甲状腺機能亢進症		
甲状腺機能低下症		

## その他

### ➤ 海外調査及び実務者会合

- 海外調査(フランスIRSN等)

- 実務者会合

1回目:2018年6月11日@QST-NIRS

2回目: 10月2日@JAEA-FRS

3回目:2018年1月頃

### ➤ 甲状腺簡易検査セミナー(10月26日 @QST-NIRS)

原子力事故時における近隣住民の確実な内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人被ばくモニタリングの確立  
第2回 実務者会合

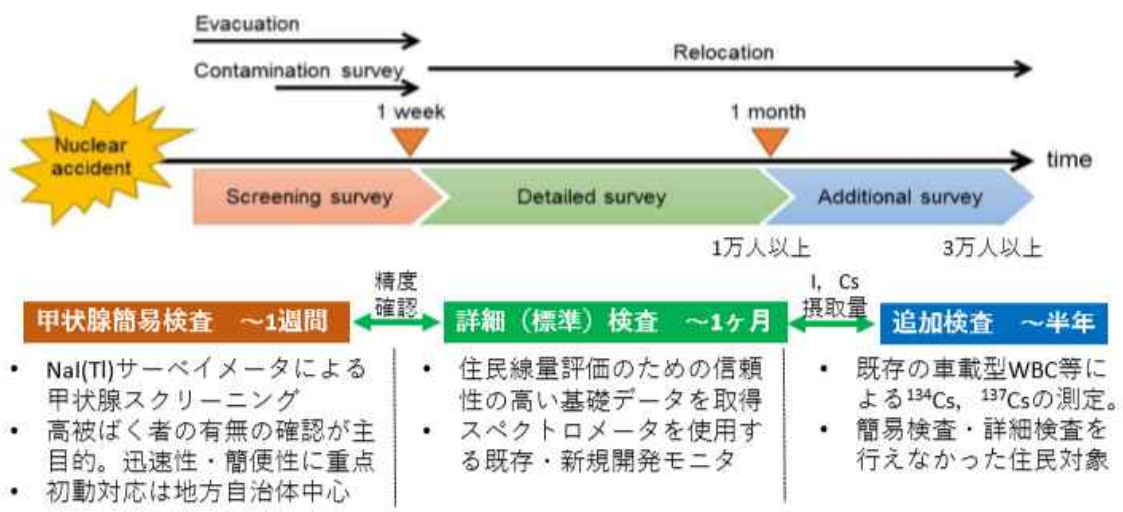
## 既存検出器の甲状腺中放射性ヨウ素放射能換算係数の評価

(国研) 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所  
計測・線量評価部 矢島千秋, 金ウンジュ, 谷幸太郎, 栗原治

### はじめに

#### 本事業で提案する新しい原子力事故時個人内部被ばくモニタリング手法

福島原発事故の教訓（短半減期の放射性ヨウ素による被ばくの把握が不十分）を踏まえて、新しく開発を行う甲状腺モニタ及び既存の甲状腺検査手法を有機的に組み合わせ、高被ばく者の迅速なトリージと多数の住民を対象とした初期内部被ばく線量の正確な推計を確実に行うことを目指す



## 既存検出器を用いた測定法の改善

平成30年度研究計画

1. 既存検出器を用いた測定法の改善

① NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査

② 年齢別の換算係数の評価

頸部物理ファントム及び数値ファントムを用いた甲状腺検出器の年齢別甲状腺中ヨウ素放射能換算係数の評価

③ 遮へい体仕様の検討

④ 甲状腺簡易検査用マニュアル作成

⑤ WBC (FASTSCAN) の甲状腺ヨウ素の応答特性評価

2. 新モニタの試作及び試験

GAGG検出素子を用いた新モニタの試作・応答特性試験

## 既存検出器を用いた測定法の改善

### IRSN年齢別甲状腺・頸部ファントム

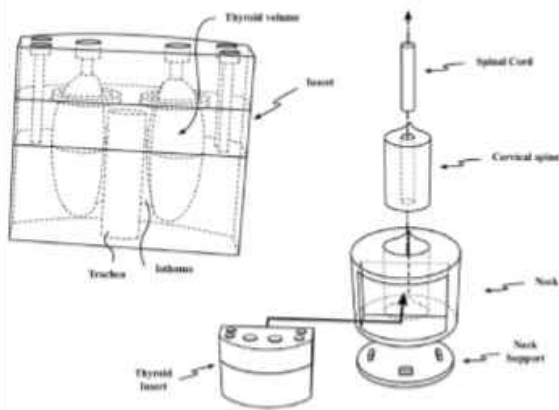


Figure 2. Technical drawing of the thyroid insert showing the filling holes, gaskets and fixing screws (left) and of the thyroid-neck phantom showing the spine elements (right).



Adult 15 yr 10 yr 5 yr



	Thyroid容器 Volume [cm <sup>3</sup> ]	Thyroid容器中 Be-133溶液[g]	Thyroid容器中 Be-133放射能[Bq]
Adult	19.05	18.92	4.96E+03
15yr	11.4	11.29	4.75E+03
10yr	7.5	7.41	5.01E+03
5yr	3.2	3.01	4.90E+03

放射能：2018年7月25日時点

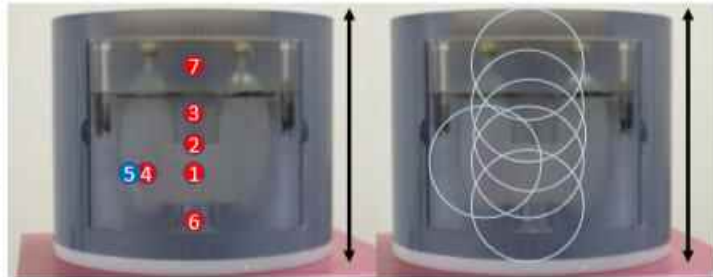
Beaumont T, Ideias P C, Rimlinger M, Broglio D and Franck D 2017 Development and test of sets of 3D printed age-specific thyroid phantoms for <sup>131</sup>I measurements Phys. Med. Biol. 62 4673–93

# 既存検出器を用いた測定法の改善

## 測定



NaIサーベイメータ 換算係数測定



ファントム測定位置ジオメトリー g1 ~ g7



既存検出器（甲状腺モニタ用）特性試験



g7 - 10yr



g5 - 10yr

# 年齢別甲状腺中ヨウ素放射能換算係数の評価

## NaIサーベイメータ換算係数測定結果 (preliminary)

NaIサーベイ線量率—甲状腺中Ba-133放射能  
換算係数 IRSNファントム-Adult

距離 cm	kBq/( $\mu$ Sv/h)		
	g-1	g-2	g-3
0	20	20	23
0.5	26	26	29
1	32	30	32
3	59	60	61
5	91	102	91

赤字 = 今回の測定に用いた NaIサーベイメータの値



**ORINSファントム**  
Ref. ORINS-19 Thyroid radiiodine uptake measurement (1989)

**ANSIファントム**  
Ref. ANSI M44.3-1973  
Ref. ANSI/NPS N13.44-2014

### 換算係数の実験評価 (校正済みの6台のサーベイメータを用いて実験)

#### ANSIファントムに対する換算係数(kBq/ $\mu$ Svh<sup>-1</sup>)

距離(cm)	0cm	1cm	5cm	10cm
I-131	22 $\pm$ 2	34 $\pm$ 2	113 $\pm$ 6	264 $\pm$ 9
Ba-133	20 $\pm$ 2	33 $\pm$ 2	109 $\pm$ 4	257 $\pm$ 13
Cs-137	17 $\pm$ 2	28 $\pm$ 2	92 $\pm$ 4	228 $\pm$ 11

#### ORINSファントムに対する換算係数(kBq/ $\mu$ Svh<sup>-1</sup>)

距離(cm)	0cm	1cm	5cm	10cm
I-131	33 $\pm$ 2	46 $\pm$ 3	125 $\pm$ 5	286 $\pm$ 26
Ba-133	31 $\pm$ 2	44 $\pm$ 2	122 $\pm$ 3	273 $\pm$ 12
Cs-137	27 $\pm$ 2	38 $\pm$ 2	104 $\pm$ 6	238 $\pm$ 14

# 年齢別甲状腺中ヨウ素放射能換算係数の評価

## Nalサーベイメータ線量率—Ba133放射能換算係数測定結果 (preliminary)

Nalサーベイ線量率—甲状腺中Ba-133放射能 換算係数 IRSN adult

cm	kBq/( $\mu$ Sv/h)						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	20	20	23	21	22	26	31
0.5	26	26	29	26	27	30	35
1	32	30	32	32	32	35	40
2	46	44	50	44	46	50	53
3	59	60	61	59	66	72	66
4	79	75	82	79	77	82	91
5	91	102	91	98	107	102	91

Nalサーベイ線量率—甲状腺中Ba-133放射能 換算係数 IRSN 10yr

cm	kBq/( $\mu$ Sv/h)						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	15	15	16	17	16	18	25
0.5	20	20	21	22	21	23	29
1	26	26	26	28	28	29	34
2	40	38	42	42	42	41	49
3	59	58	55	64	54	58	62
4	75	71	75	75	80	71	89
5	95	99	92	99	103	103	99

Nalサーベイ線量率—甲状腺中Ba-133放射能 換算係数 IRSN 15yr

cm	kBq/( $\mu$ Sv/h)						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	16	16	17	18	18	22	23
0.5	20	21	22	22	22	26	27
1	24	25	28	28	29	31	33
2	37	37	39	39	41	44	44
3	51	53	52	53	55	60	64
4	69	65	78	67	73	76	73
5	87	81	78	94	90	81	98

Nalサーベイ線量率—甲状腺中Ba-133放射能 換算係数 IRSN 5yr

cm	kBq/( $\mu$ Sv/h)						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	12	12	13	13	14	14	20
0.5	17	16	18	18	19	18	25
1	22	23	24	25	25	23	30
2	34	35	38	37	36	36	41
3	52	49	53	51	54	56	61
4	67	66	66	64	76	74	69
5	90	93	90	87	87	87	101

## 既存スペクトロメータ検出器特性試験

### 検出器、ファントム（年齢）、位置の換算係数 (Bq/cps) データの蓄積

#### 既存スペクトロメータ検出器

- ・ NaI (TI) シンチレーション検出器  
1インチ  
1.5インチ  
2インチ  
(3インチ)
- ・ CeBr<sub>3</sub>シンチレーション検出器  
1.5インチ

#### ファントム

- ・ IRSN年齢別頸部・甲状腺ファントム  
adult  
15 yr  
10 yr  
5 yr
- ・ ANSI
- ・ ORINS

×

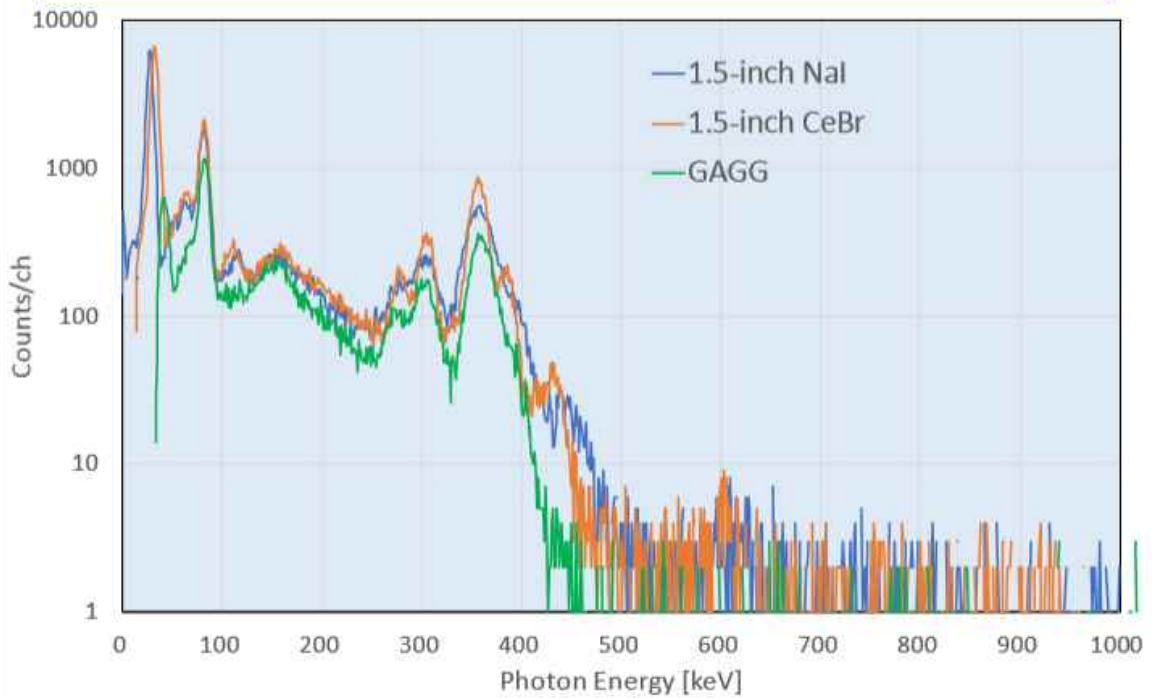
×

#### ジオメトリ

- ・ 位置  
g1, g2, g3, g4, g5
- ・ 距離  
0 cm, 0.5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm

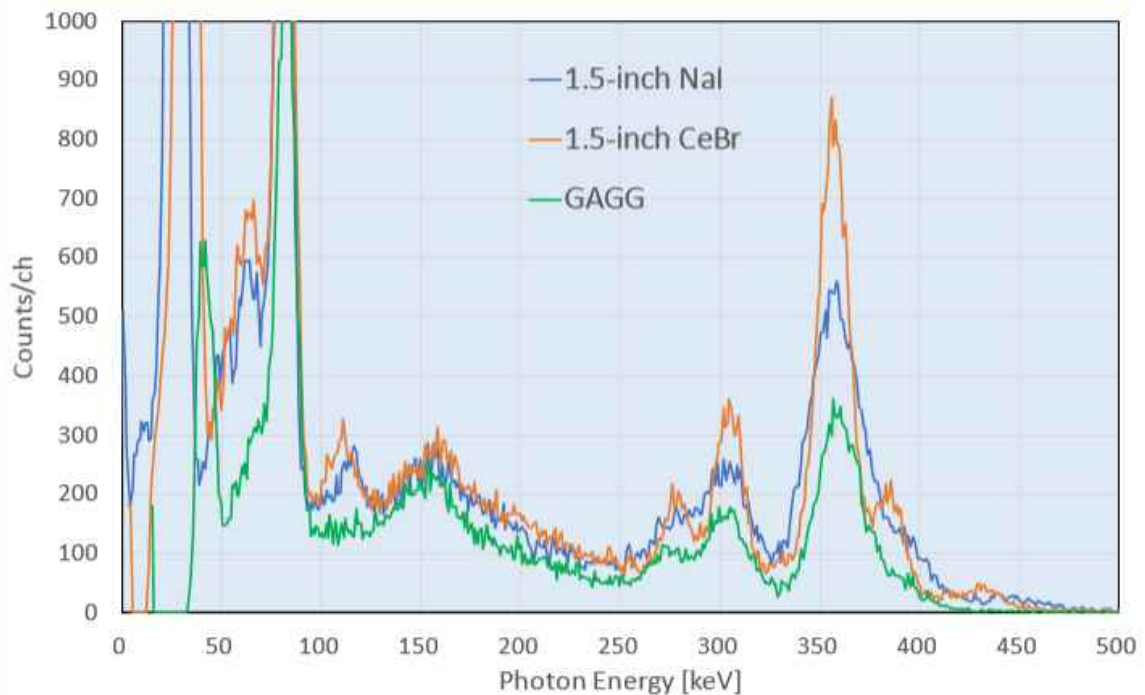
## 既存スペクトロメータ検出器特性試験

各検出器からのスペクトル： IRSN-adult (Ba-133) LT 180 s



## 既存スペクトロメータ検出器特性試験

各検出器からのスペクトル： IRSN-adult (Ba-133) LT 180 s



## 既存スペクトロメータ検出器特性試験

検出器	ファントム	ジオメトリ	366 keVピーク正味計数率 1 cpsあたりのBa-133放射能 [Bq/cps]							
			0 cm	0.5 cm	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	
1-inch NaI	IRSN	5yr	g1	91	118	170	252	400	578	700
		10yr	g1	114	160	193	298	408	586	745
		15yr	g1	126	156	204	347	447	586	810
		adult	g1	176	205	247	392	525	786	837
	NewANSI	center	139	181	233	349	534	696	875	
	ORINS	center	242	290	342	460	634	823	1013	
1.5-inch NaI	IRSN	5yr	g1	41	53	68	102	129	191	245
			g1	64	80	96	132	185	245	298
		adult	g2	62	81	92	132	175	232	306
			g3	78	88	101	147	187	233	296
			g4	73	86	100	139	187	243	317
			g5	72	86	104	151	209	267	333
	NewANSI	center	57	72	90	134	176	236	290	
	ORINS	center	86	107	125	170	232	301	343	
1.5-inch CeBr	IRSN	5yr	g1	36	47	56	87	117	158	210
		adult	g1	56	68	83	117	160	200	260
	NewANSI	center	51	65	79	114	159	205	267	
	ORINS	center	78	92	108	149	192	244	303	
2-inch NaI	IRSN	5yr	g1	25	31	37	53	76	97	127
		adult	g1	36	43	51	69	92	126	151
	NewANSI	center	34	41	49	70	92	121	152	
	ORINS	center	48	56	65	86	110	140	173	

## まとめ

・年齢別NaIサーベイメータ線量率-甲状腺中放射能 (Ba-133) 換算係数データをIRSN年齢別甲状腺・頸部ファントムを用いた実測により蓄積中。実際的には上下左右の位置のずれよりもプローブと体表面の間隔のずれの影響が大きいと思われる。

・既存のスペクトロメータ検出器 (NaI、CeBr) の甲状腺モニタとしての特性試験を同じくIRSNファントムを用いて実施中

今後の予定 ⇒

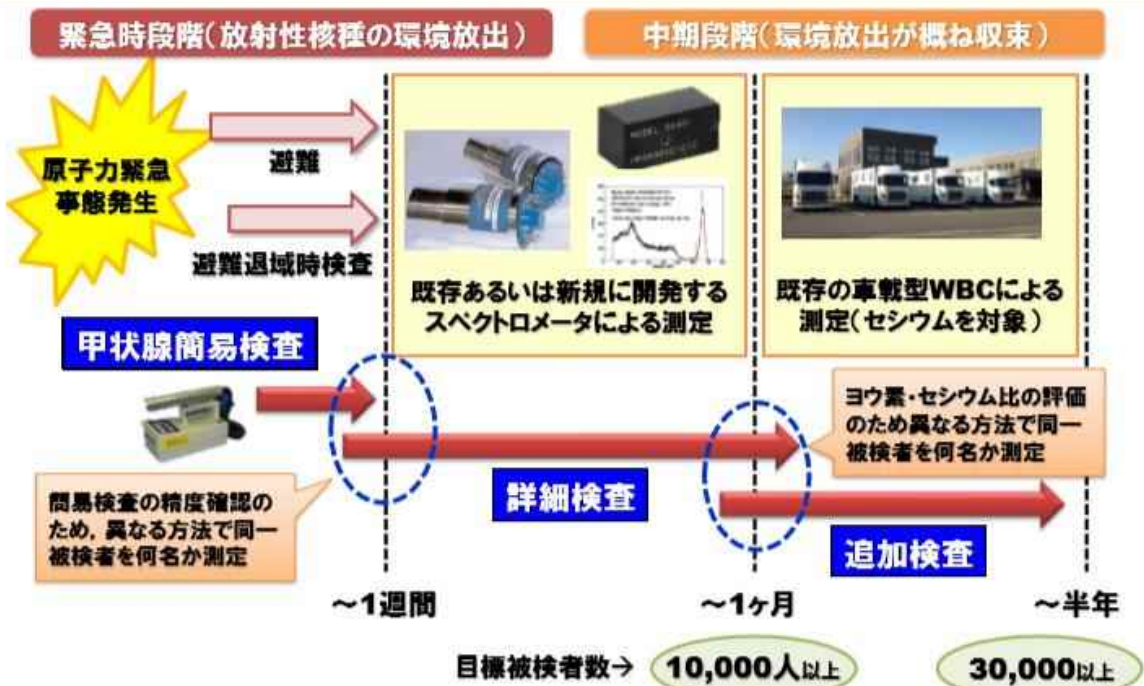
- ・I-131線源によるデータセット取得
- ・サーベイメータの機種・校正定数等の影響
- ・スペクトロメータの運用について検討 (遮へい、校正、場所、操作)
- ・新モニタ (GAGG) 試作・特性評価
- ・甲状腺簡易検査実習 (10/26)  
ヨウ素線源の作成、サーベイメータ校正定数測定位置の説明・指示

(資料1-4)

# 甲状腺簡易検査

量子科学技術研究開発機構  
放射線医学総合研究所

## 提案する原子力災害時における個人モニタリング



得られた人の全実測データを初期内部被ばく線量の評価に有効に活用



# 甲状腺簡易検査

## 【甲状腺簡易検査とは...】

原子力災害が発生し、放射性ヨウ素等の放射性物質が環境中に放出された場合、周辺住民の内部被ばくの状態を速やかに確認し、防護措置を講じる必要がある。その一環として、甲状腺に集積した放射性ヨウ素を簡易的な方法で測定することにより、被ばく線量の程度を迅速に把握するための検査。

## 【対象者】

UPZ内において放射性核種による顕著な汚染が認められた地域からの避難住民の内、**退域時避難検査で有意な汚染が認められた者が想定される。**  
 ※乳幼児は検査が困難(同じ家族の者を代わりに検査)

## 【いつ、どのように行うのか...】

事故発生から**概ね1週間以内**に、空間線量率測定用NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを用いて行う。  
 ※放射性ヨウ素が甲状腺に集積するまでに約1日かかることも考慮

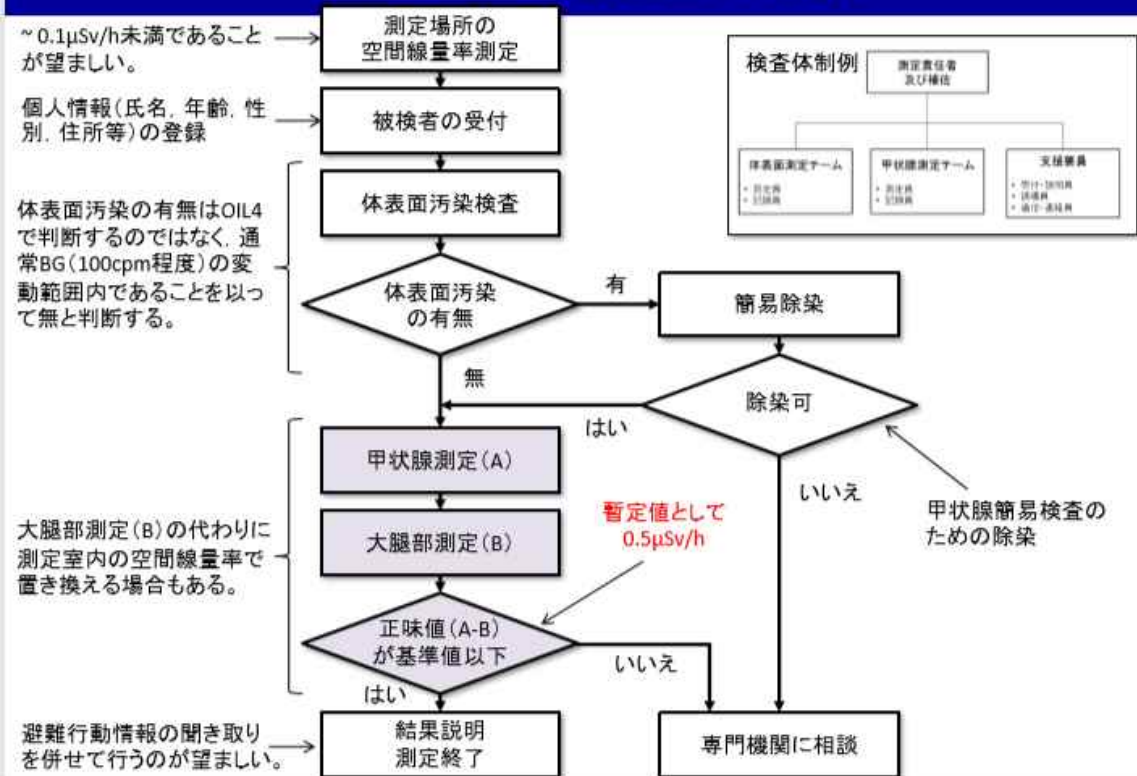
## 【どこで行うのか...】

避難所または事前に指定した他の公共施設等。

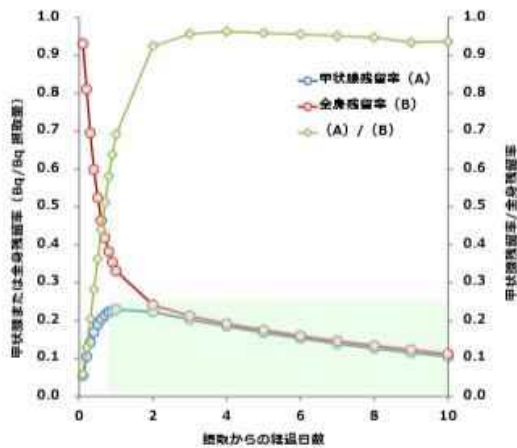
※必要に応じてスペクトロメータ等を用いた詳細検査も追加で実施

3

# 甲状腺簡易検査の流れ



# 甲状腺中ヨウ素の測定原理



**<sup>131</sup>Iの甲状腺への蓄積**  
(成人による蒸気状ヨウ素の吸入の場合)  
※MONDALによる計算



被検者BG測定(例えば、大腿部)

被検者BG(甲状腺から離れた部位での測定)  
→ 全身に分布するヨウ素または他核種による  
甲状腺測定への影響を補正(環境BGについ  
ても、身体による遮へい効果を考慮したもの  
となる)



TMT Handbookから引用(左:甲状腺測定, 右:被検者BG測定)

# 甲状腺中ヨウ素の測定に用いる機器

## ○甲状腺簡易検査用



TCS-172B(日立製)



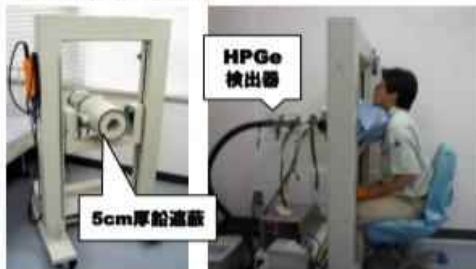
PMT シンチレータ

### 機器の仕様

- 測定放射線:  $\gamma$ 線
- シンチレータ: 25.4 $\Phi$ ×25.4 mm NaI(Tl)
- 時定数: 3, 10, 30秒
- 測定エネルギーレンジ: 50 keV-3 MeV
- 測定範囲(線量当量率): BG-30  $\mu$ Sv/h
- 測定範囲(計数率): 0-30 ks<sup>-1</sup>
- エネルギー特性: <sup>137</sup>Csに対して $\pm 15\%$ 以下

※内部で波高スペクトルにG関数を演算して  
線量率を計算

## ○詳細検査用



HPGe  
検出器

5cm厚鉛遮蔽

### 機器の仕様

- 検出器: N-type HPGe ×1式  
(Type: LOAX-70450/30P, ORTEC社製)
- 電気冷却装置(X-Cooler II, ORTEC社製)
- 鉛シールド(5 cm厚)
- 主な測定部位: 甲状腺
- 検出限界値: 約40 Bq(<sup>131</sup>I, 3分測定)



## 第3回実務者会合

### 資料 1-1-1：既存検出器を用いた測定法の改善と新モニタの試作及び試験

#### 資料 1-1

2019年1月28日(月)  
量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所

原子力事故時における近隣住民の確実な内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人被ばくモニタリングの確立  
第3回 実務者会合

## 既存検出器を用いた測定法の改善と 新モニタの試作及び試験 (進捗)

(国研) 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所  
計測・線量評価部 矢島千秋, 金ウンジュ, 谷幸太郎, 栗原治

## 既存検出器を用いた測定法の改善

### 甲状腺簡易検査実習において取得したデータの検討

#### 実習概要

実習① 原子力施設等防災対策等委託費事業 (原子力規制庁委託事業)

実施日：平成30年10月26日

参加者：20名, 2人1組 計10組 (原子力災害時に担当する可能性)

測定器：NaI (TI) サーベイメータ (TCS-172B, 日立製作所) 10台

校正定数 0.99-1.05 (0.93-1.01 : 所内線源照射) ( $^{137}\text{Cs}$ )

模擬被検者：発泡スチロール製マネキン 12体 (10体の内部に $^{131}\text{I}$ 紙線源を設置)

高BG環境： $^{137}\text{Cs}$ 密封線源を用いて人為的にBGを上昇させた環境

SL設定：暫定のスクリーニングレベルを正味値 0.5  $\mu\text{Sv/h}$  に設定

実習② IAEA Supporting Regional Nuclear Emergency Preparedness and Response in the Member States of ASEAN Region

実施日：平成30年12月18日

参加者：8名, 2人1組 計4組

測定器：NaI (TI) サーベイメータ (TCS-172B, 日立製作所) 4台

校正定数 1.01-1.04 (0.93-0.95 : 所内線源照射) ( $^{137}\text{Cs}$ )

模擬被検者：発泡スチロール製マネキン 12体 (10体の内部に校正用点線源を設置)

# 既存検出器を用いた測定法の改善

## 甲状腺簡易測定方法



1. 体表面汚染がないことを確認した後、被検者の咽喉下部(写真)にプローブを密着させた状態で保持し、測定数10秒で検出値が安定したときの数値【測定値(A)】を読み取る。

(補正説明)

- プローブの先端はフェイスシールド等を装着して、汚染を確認した場合には適中かに表示するようにしておく。
- 呼吸であれば、プローブを顔前に密着させる際に、検体の顔面汚染をフェイスシールド等で防ぐ。
- 一度リセットまたは電源、検出値が安定するのは30秒後以降(測定数10秒の場合)。

2. 着衣の汚染がないことを確認した後、大腿部中央付近にプローブを密着させた状態で保持し、測定数10秒で検出値が安定したときの数値【測定値(B)】を読み取る。

$$\text{正味値} = \text{測定値(A)} - \text{測定値(B)}$$

↓  
スクリーニングレベルと比較

※測定室内の空間線量率も定期的に測定する。

## 模擬被検者の測定



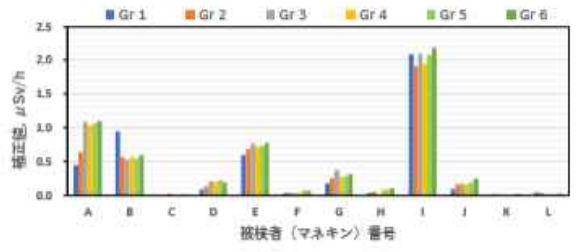
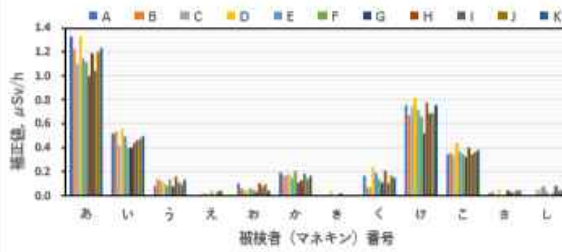
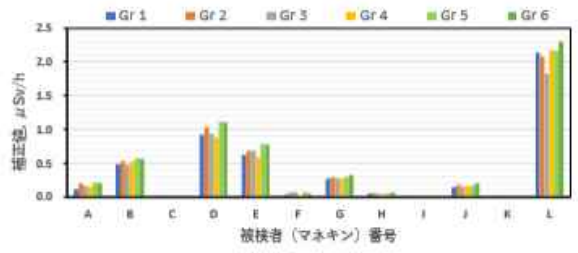
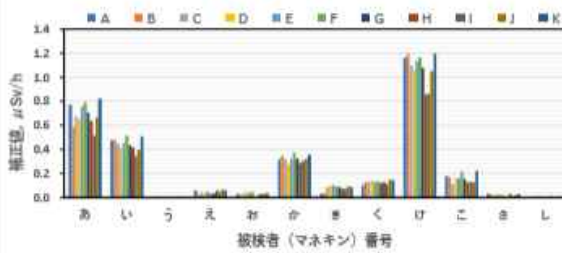
$$\text{正味値 } \mu\text{Sv/h} = \text{頸部前面での空間線量率 (甲状腺測定)} - \text{台支柱中程の空間線量率 BG (大腿部測定)}$$

補正值  
= 正味値 × Natサーベイ  
校正定数



マネキンと内部に設置した線源

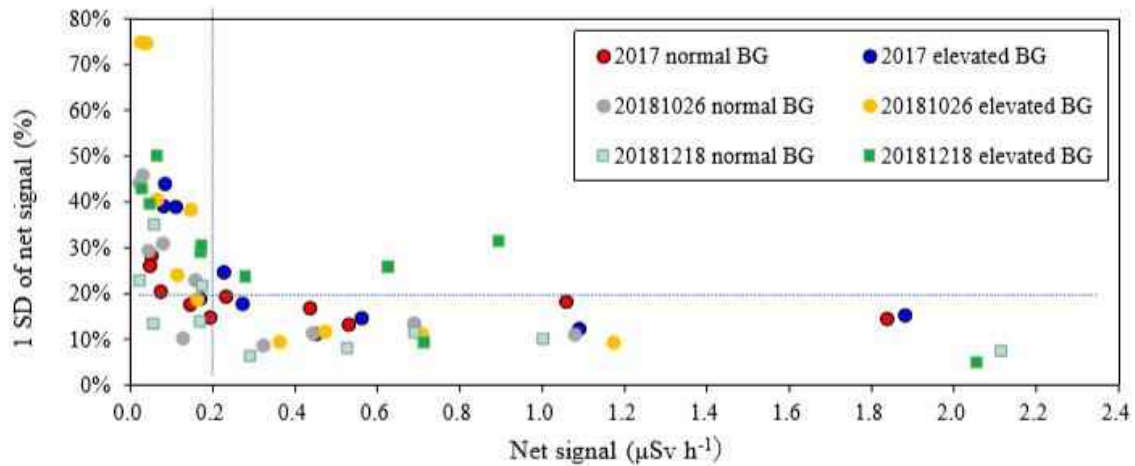
# 既存検出器を用いた測定法の改善



実習① 各班の測定結果比較  
上段：ノーマルBG測定  
下段：高レベルBG測定

実習② 各班の測定結果比較  
上段：ノーマルBG測定  
下段：高レベルBG測定

## 既存検出器を用いた測定法の改善



平成29年度実習データ  
 ・およそ0.2  $\mu\text{Sv/h}$  から上で10–20%  
 ・statics < 0.2  $\mu\text{Sv/h}$  < 測定のエラー  
 ・ $\sim 0.1 \mu\text{Sv/h}$  の測定でも factor 2 以内の精度が期待される

平成30年度実習データ  
 ・平成29年度考察結果を概ね踏襲  
 ・測定位置説明強化による改善の兆候

## 既存検出器を用いた測定法の改善

### 年齢別甲状腺中ヨウ素放射能換算係数の評価

IRSN年齢別甲状腺・頸部ファントム



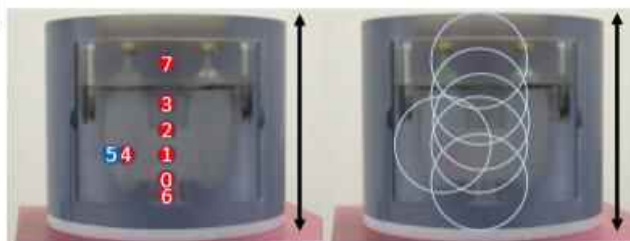
Adult 15 yr 10 yr 5 yr



NaIサーベイメータ 換算係数測定

Thyroid容器注入 Ba-133、I-131 線源調製

Thyroid容器 Volume [cm <sup>3</sup> ]	Thyroid容器中 Ba-133放射能[Bq] (2018/7/25 時点)	Thyroid容器中 I-131放射能[Bq] (2018/10/19 時点)
Adult 19.05	4.96E+03	4.16E+04
15yr 11.4	4.75E+03	4.09E+04
10yr 7.5	5.01E+03	4.19E+04
5yr 3.2	4.90E+03	4.12E+04



ファントム測定位置ジオメトリー g0 ~ g7

# 既存検出器を用いた測定法の改善

IRSN adult Ba-133 TCS-172B-1

D cm	kBq(μSv/h)						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	20	20	23	21	22	26	31
0.6	26	26	29	26	27	30	36
1	32	30	32	32	32	36	40
3	69	60	61	69	66	72	66
6	91	102	91	96	107	102	91

IRSN 15y Ba-133 TCS-172B-1

D cm	kBq(μSv/h)						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	16	16	17	18	18	22	23
0.6	20	21	22	22	22	26	27
1	24	26	28	28	29	31	33
3	61	53	52	63	66	60	64
6	87	81	78	94	90	81	96

IRSN 10y Ba-133 TCS-172B-1

D cm	kBq(μSv/h)						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	16	16	16	17	16	18	26
0.6	20	20	21	22	21	23	29
1	26	26	26	28	28	29	34
3	69	58	56	64	64	68	62
6	96	99	92	99	103	103	99

IRSN 5y Ba-133 TCS-172B-1

D cm	kBq(μSv/h)						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	12	12	13	15	14	14	20
0.6	17	16	18	18	19	18	26
1	22	23	24	26	26	23	30
3	62	49	63	61	64	66	61
6	90	93	90	87	87	87	101

① IRSN I-131 g1 TCS-172B-1

D cm	kBq(μSv/h)			
	adult	15y	10y	5y
0	23	20	18	16
0.6	29	26	26	20
1	36	32	30	26
3	71	60	64	57
6	121	99	107	96

② IRSN I-131 g1 TCS-172B-2

D cm	kBq(μSv/h)			
	adult	15y	10y	5y
0	24	22	20	17
0.6	31	28	26	22
1	38	36	31	29
3	74	70	64	68
6	116	110	113	102

③ IRSN I-131 g1 TCS-1172-1

D cm	kBq(μSv/h)			
	adult	15y	10y	5y
0	26	21	19	16
0.6	31	27	26	22
1	36	32	32	29
3	73	70	63	61
6	126	116	107	103

IRSN adult I-131 TCS-172B-2

D cm	kBq(μSv/h)						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	27	26	28	31	30	34	36
0.6	30	32	36	33	34	40	44
1	38	39	40	44	43	43	47
3	74	66	74	80	74	96	83
6	111	106	111	111	133	126	126

IRSN I-131 Ba-133 g1 まとめ

線源核種	表面距離	kBq(μSv/h)			
		Adult	15y	10y	5y
I-131	0 cm	24	21	19	16
	0.5 cm	30	27	25	21
Ba-133	0 cm	20	16	15	12
	0.5 cm	26	20	20	17

I-131については①・②の平均

Nalサーベイメータ線量率—甲状腺中ヨウ素131放射能換算係数 kBq/ (μSv/h)

# 既存検出器を用いた測定法の改善

① IRSN I-131 g1 TCS-172B-1

D cm	Bq/cps			
	adult	15y	10y	5y
0	44	37	35	30
0.5	53	46	46	41
1	64	59	57	51
3	129	115	119	110
6	200	189	189	189

② IRSN I-131 g1 TCS-172B-2

D cm	Bq/cps			
	adult	15y	10y	5y
0	47	40	38	33
0.5	58	51	49	44
1	70	63	60	57
3	133	124	121	120
6	215	202	202	196

③ IRSN I-131 g1 TCS-1172-1

D cm	Bq/cps			
	adult	15y	10y	5y
0	46	38	37	32
0.5	56	49	48	43
1	68	61	61	56
3	130	121	120	123
6	206	194	202	203

IRSN adult I-131 TCS-172B-2

D cm	Bq/cps						
	g-1	g-2	g-3	g-4	g-5	g-6	g-7
0	46	48	52	52	53	61	68
0.5	61	59	64	69	64	74	80
1	74	72	75	78	81	88	92
3	135	131	139	143	147	147	152
6	215	201	215	213	238	238	235

IRSN I-131 g1 (①・②の平均)

線源核種	表面距離	Bq/cps			
		Adult	15y	10y	5y
I-131	0 cm	46	38	36	32
	0.5 cm	56	49	48	42

計数率—甲状腺中ヨウ素131放射能換算係数 (Bq/cps)

# 既存検出器を用いた測定法の改善

## 既存スペクトロメータ検出器特性試験

検出器	ファントム	ジオメトリ	356 keVピーク正味計数率 1 cpsあたりのBa-133放射能 [Bq/cps]							
			0 cm	0.5 cm	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	
1-inch NaI	IRSN	5yr g1	91	118	170	252	400	578	700	
		10yr g1	114	160	193	298	408	588	745	
		15yr g1	126	156	204	347	447	586	810	
		adult g1	176	205	247	392	525	786	837	
	NewANSI	center	139	181	233	349	534	696	875	
	ORINS	center	242	290	342	460	634	823	1013	
1.5-inch NaI	IRSN	5yr	g1	41	53	68	102	129	191	245
			g2	64	80	96	132	185	245	298
		adult	g1	62	81	92	132	175	232	306
			g3	78	88	101	147	187	233	296
			g4	73	86	100	139	187	243	317
			g5	72	86	104	151	209	267	333
	NewANSI	center	57	72	90	134	176	236	290	
ORINS	center	86	107	125	170	232	301	343		
1.5-inch CeBr	IRSN	5yr g1	36	47	56	87	117	158	210	
		adult g1	56	68	83	117	160	200	260	
	NewANSI	center	51	65	79	114	159	205	267	
	ORINS	center	78	92	108	149	192	244	303	
2-inch NaI	IRSN	5yr g1	25	31	37	53	76	97	127	
		adult g1	36	43	51	69	92	126	161	
	NewANSI	center	34	41	49	70	92	121	152	
	ORINS	center	48	56	65	86	110	140	173	

Ba-133線源について前回会合で提示した結果の再掲載

# 新モニタの試作及び試験

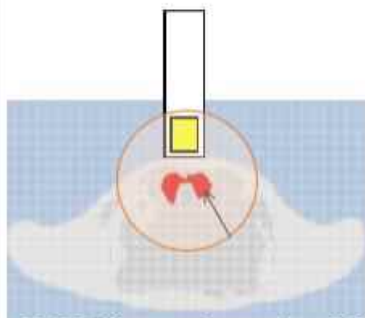
## GAGGモジュール検出器を用いた新モニタの特性試験



GAGG:  $(Gd, Lu, Y)_3(Al, Ga, Sc)_5O_{12}$

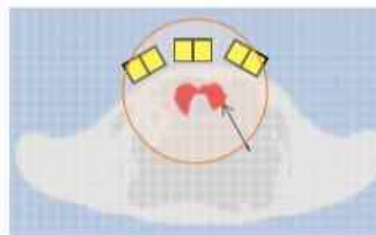


GAGG monitor (assembled 8 GAGG modules)



NaI(Tl) sprctrometer など

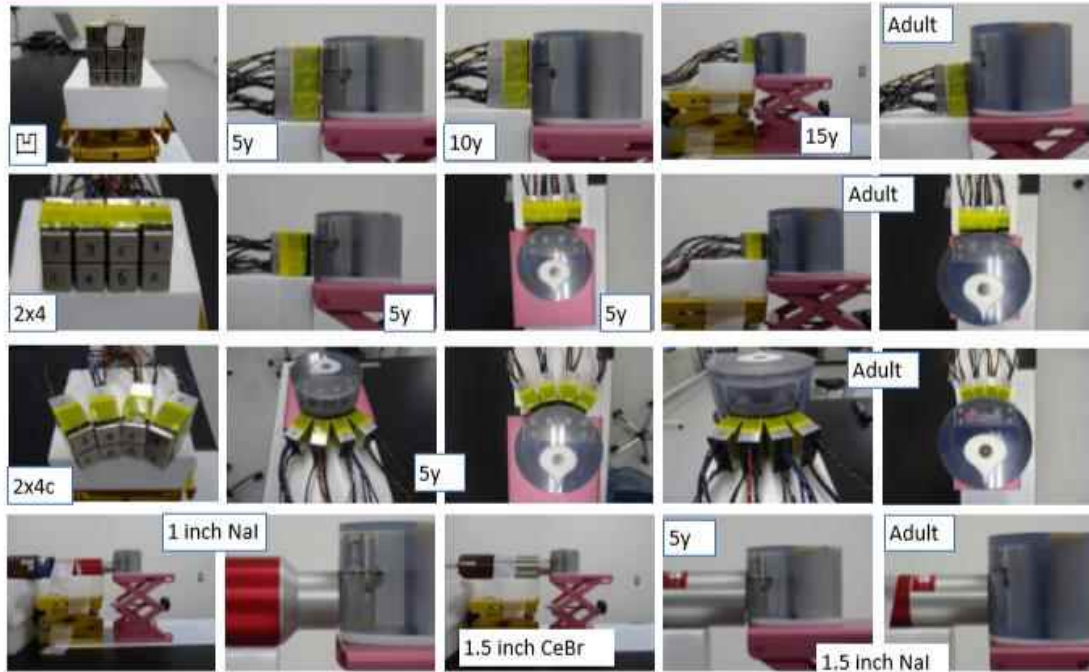
GAGGセンサーモジュールの配置最適化(成人・小児の測定)





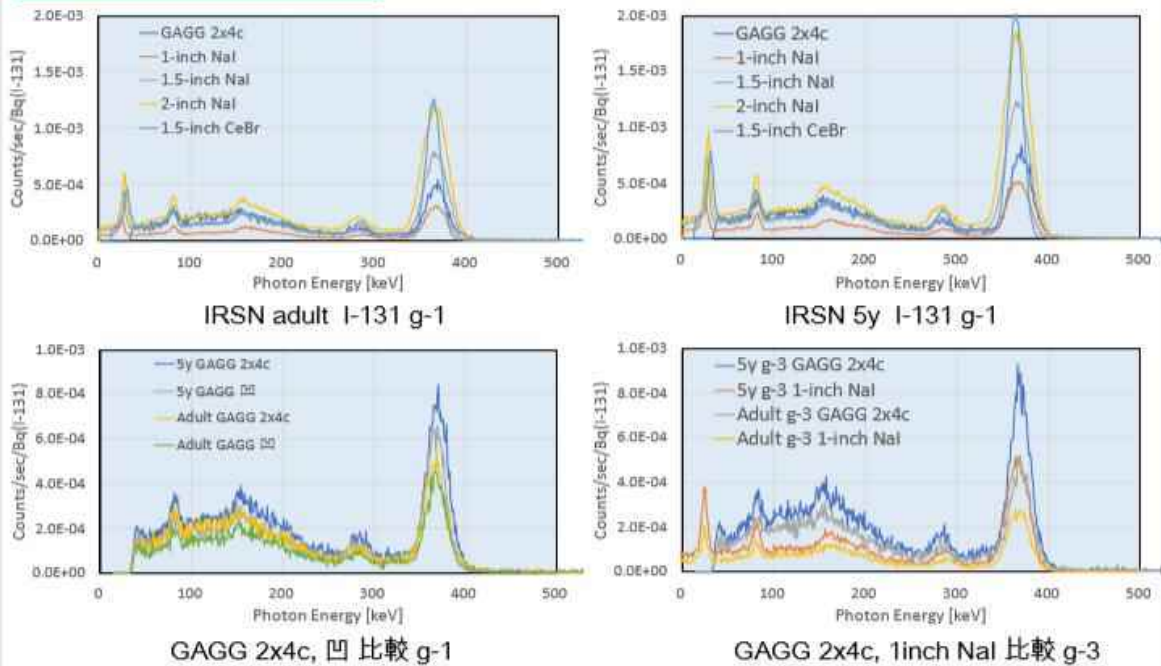
# 新モニタの試作及び試験

## GAGGモジュール配置・測定位置



# 新モニタの試作及び試験

## 測定スペクトル



# 新モニタの試作及び試験

## GAGG検出器測定結果

GAGG 配列	IRSN phantom	ジオメ トリ	正味計数率 1 cpsあたりのI-131放射能 [Bq/cps]				
			0 cm	0.5 cm	1 cm	3 cm	5 cm
凹	adult	g1	102	144	174	324	614
	15y	g1	99	156	180	276	512
	10y	g1	80	101	129	276	608
GAGG 配列	IRSN phantom	距離	正味計数率 1 cpsあたりのI-131放射能 [Bq/cps]				
			g0	g0-1	g1	g1-2	g2
凹	adult	0 cm	169	112	102	99	91
			g2-3	g3	g4	g5	
			99	99	113	115	
GAGG 配列	IRSN phantom	距離	正味計数率 1 cpsあたりのI-131放射能 [Bq/cps]				
			g0	g1	g1-2	g2	g3
凹	15y	0 cm	98	99	79	80	81
	10y		93	80	79	71	71
	5y			67	67	63	70
2x4	adult	0 cm	131	100	93	92	121
	15y		99	82	78	78	83
	10y		102	79	99	72	70
	5y		78	94	67	77	62
	5y		104	80	63	76	80
2x4c	adult	0 cm	141	87	78	115	91
	15y		83	71	68	92	73
	10y		82	65	71	75	70
	5y		80	54	52	53	52

検出器	IRSN Phantom	位置	Bq/cps (365keV)	MDA (Bq)
GAGG 凹	Adult	g-1	102	89
		g-3	99	94
	5 y	g-1	67	50
		g-3	70	67
GAGG 2x4c	Adult	g-1	87	49
		g-3	91	54
	5 y	g-1	54	33
		g-3	52	34
1"NaI	Adult	g-1	132	127
		g-3	150	135
	5 y	g-1	80	88
		g-3	82	92

## まとめ

### ○既存検出器を用いた測定法の改善

#### ・甲状腺簡易検査実習において取得したデータの検討

本年度2例の実習から実習生測定データを収集し解析を行った。結果は概ね前年度解析結果に従うものであり、引き続きNaIサーベイメータを用いた甲状腺簡易検査が一定の確かさで実施可能であることを支持する結果となった。

#### ・年齢別甲状腺中ヨウ素放射能換算係数の評価

I-131線源溶液を用いて調整したIRSN年齢別甲状腺ファントムを用いてNaIサーベイメータ線量率-甲状腺中ヨウ素放射能換算係数( $\text{kBq}/\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )及び計数率-甲状腺中ヨウ素放射能換算係数(Bq/cps)を測定により求めた。ANSIファントムを用いた実測結果や数値シミュレーション文献値に近い傾向を示した。

### ○新モニタの試作及び試験

#### ・GAGGモジュール検出器を用いた新モニタの特性試験

IRSN年齢別ファントム (I-131) を用いて、3パターン of 8モジュール構成のGAGGモニタと既存スペクトロメータ検出器 (NaI 1、1.5、2インチ及びCeBr 1.5インチ) との比較測定を行った。同程度の結晶容量である1インチNaI検出器と比較して計数効率などにおいて優位な性能を示した。特に小児の測定を想定した場合、GAGG新モニタのコンパクトさは有効である。

### ○今後の予定

- ・大人用 (12モジュール) GAGG新モニタ、専用ソフトウェア改良版の納品
- ・GAGGモジュール配置の最適化、遮へい体の検討、運用方法検証
- ・緊急時モニタ時の簡易校正、現地運用 (測定・準備・記録) 方法の検討

資料1-1-2



平成30年度原子力規制庁  
放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究

## 原子力事故時における近隣住民の 確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた 包括的個人内部被ばくモニタリングの確立

サブテーマ: TCS-171/172を用いた甲状腺測定におけるOIL8の導出

第3回実務者会合  
平成30年1月28日

量子科学技術研究開発機構  
放射線医学総合研究所

### 提案する原子力災害時の個人モニタリング

緊急時段階(放射性核種の環境放出)

中期段階(環境放出が概ね収束)



得られた人の全実測データを初期内部被ばく線量の評価に有効に活用

# 甲状腺被ばくに対するOIL8



OIL8の導出基準となるGCは、甲状腺等価線量で100 mSv

表 10 甲状腺からの線量率に対する OIL8 の初期設定値

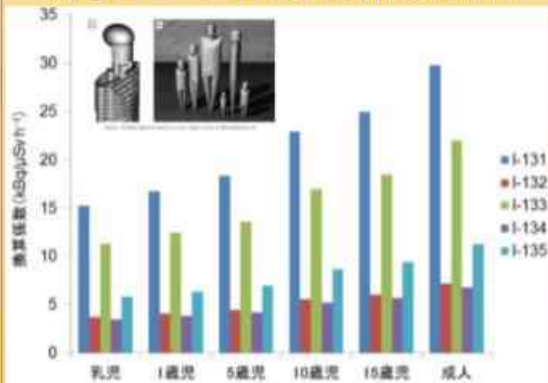
この OIL の初期設定値は甲状腺からの線量率に対するものであり、以下のように測定される必要がある。(a) 対象者の除染及び汚染着衣の脱衣後に、(b) 放射性ヨウ素の摂取の可能性があった時から1-6日後に、(c) 有効面積が15 cm<sup>2</sup>以下のプローブを用い、(d) 甲状腺の前面の皮膚に接触させ、測定用のプローブを設置し、(e) バックグラウンド線量率が0.2 μSv/h未満の場所を実施。

OIL8 <sup>a</sup>	測定された人々への措置
被ばく後、1から6日後に 甲状腺の前面の皮膚に接触させ バックグラウンド線量率に対する 超過値 0.5 μSv/h <sup>c</sup> 年齢 ≤ 7歳 2 μSv/h <sup>c</sup> 年齢 > 7歳	即時： - 未服用であれば、ITB 剤服用を指示； - 不注意による経口摂取を抑制するよう指示； - 測定されたすべての人々を登録し、甲状腺線量率を記録する；さらに - OIL8 を超えた場合、2.3 節と一貫性のある医療スクリーニングを実施。 数日以内： - 参考文献[30]に従って、医学検査や診察及び追跡調査が正当とされるかどうか決定するため OIL8 を超えた甲状腺線量率の人々の線量を推定。

- a. ガンマ線量率測定器の検出部の位置は甲状腺上で皮膚の近傍。
- b. 手を洗淨するまで飲食、喫煙をしないことや手を口から離れた場所に置いておくことを助言。これは、OIL 値を超過したかどうかにかかわらず、汚染のおそれがあるならば実施される必要がある。
- c. バックグラウンド線量率に対する超過値。

# TCS-171/172の換算係数導出

## 数値シミュレーションによる換算係数の評価

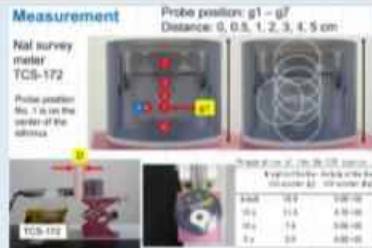
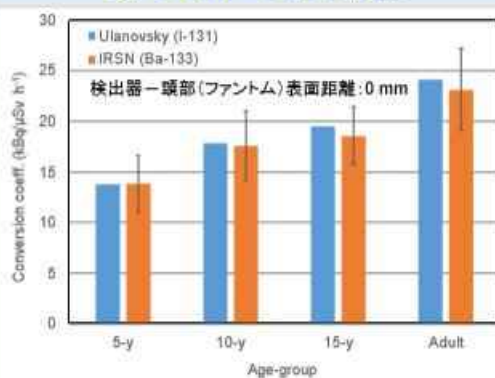


年齢別数学ファントム (Ulanovsky) に対する換算係数 (kBq/μSv h<sup>-1</sup>) ※検出器-頸部表面距離: 5mm



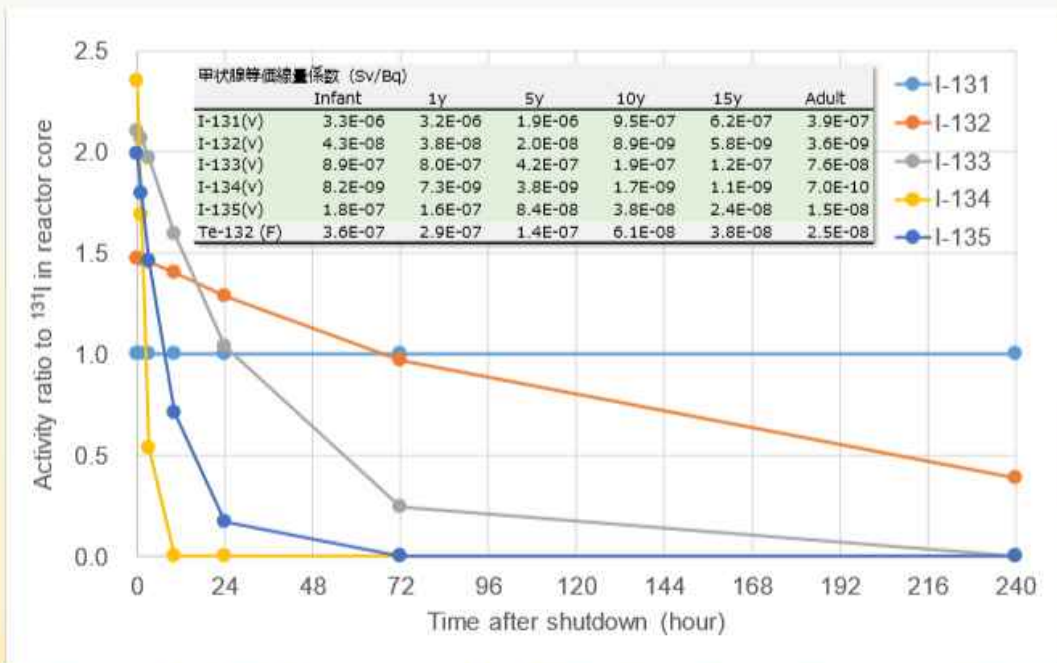
IRSNで開発された年齢別ファントムを製作発注 (昨年度末に納品、今年度試験)

## 数値シミュレーションの検証



From Yajima et al. HEIR2018 presentation

## 短半減期核種の寄与

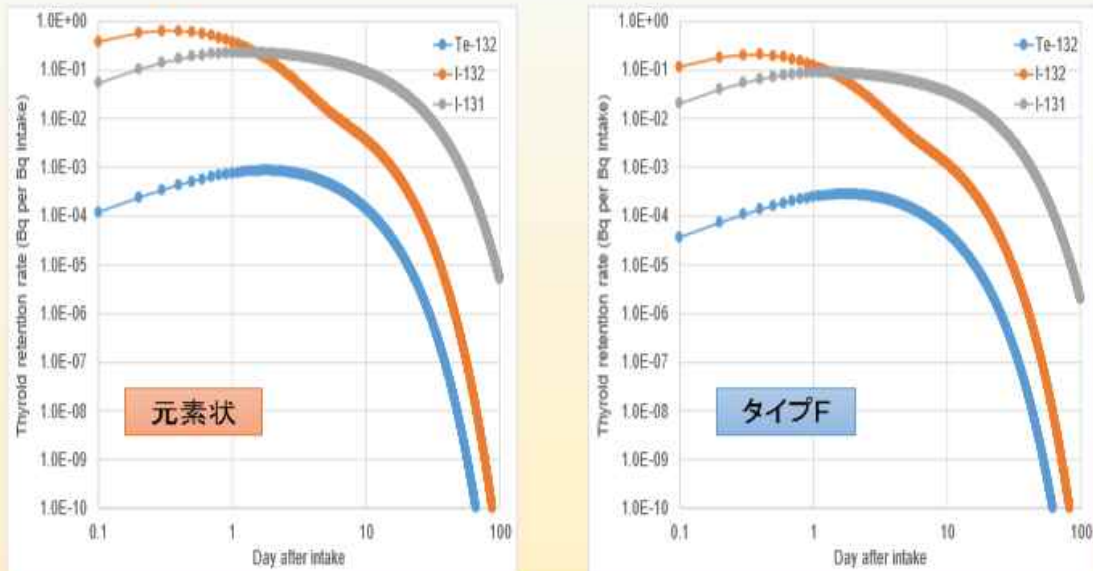


東電福島第一原発1号炉の炉内インベントリ (JAEA-Data-Code-2012-018)  
 (132Iは132Teと速やかに放射平衡になる)

5

## 132Teの子孫核種としての132Iの甲状腺残留率

現行の公衆体内動態モデルに基づく予測値 (5歳児)



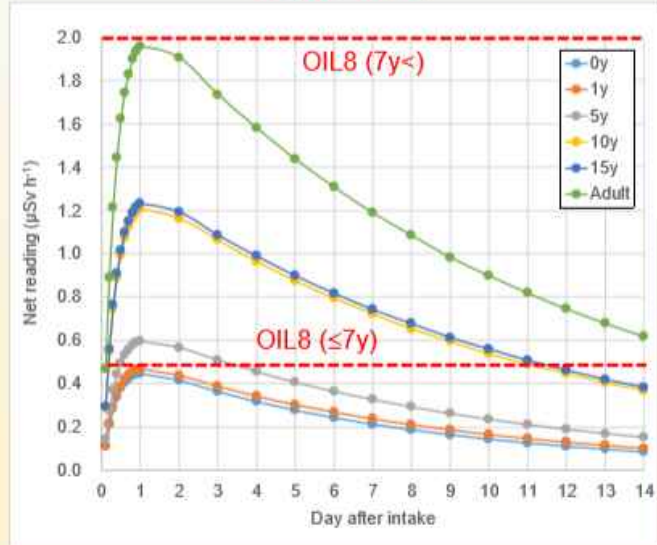
6

# TCS-171/172の応答(1)

甲状腺等価線量100 mSvに相当する応答  
(元素状<sup>131</sup>Iのみ)

<sup>131</sup>Iに対する換算係数 (kBq/μSv<sup>-1</sup>)

Net正検出	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
0.1	1.10E-01	1.44E-01	1.44E-01	2.57E-01	2.84E-01	4.57E-01
0.2	2.10E-01	2.74E-01	2.74E-01	5.47E-01	5.99E-01	8.89E-01
0.3	2.88E-01	2.94E-01	2.71E-01	7.47E-01	7.62E-01	1.21E+00
0.4	3.37E-01	2.80E-01	4.42E-01	8.59E-01	9.09E-01	1.44E+00
0.5	3.78E-01	2.90E-01	4.92E-01	9.92E-01	1.02E+00	1.62E+00
0.6	4.04E-01	4.19E-01	3.32E-01	1.07E+00	1.10E+00	1.74E+00
0.7	4.22E-01	4.40E-01	3.59E-01	1.13E+00	1.19E+00	1.83E+00
0.8	4.36E-01	4.32E-01	3.79E-01	1.18E+00	1.19E+00	1.90E+00
0.9	4.42E-01	4.60E-01	3.82E-01	1.19E+00	1.22E+00	1.92E+00
1	4.48E-01	4.97E-01	3.92E-01	1.21E+00	1.22E+00	1.96E+00
2	4.16E-01	4.38E-01	3.60E-01	1.16E+00	1.19E+00	1.91E+00
3	3.84E-01	3.88E-01	3.08E-01	1.06E+00	1.09E+00	1.74E+00
4	3.17E-01	3.42E-01	4.58E-01	9.63E-01	9.99E-01	1.58E+00
5	2.77E-01	3.03E-01	4.02E-01	8.74E-01	9.96E-01	1.44E+00
6	2.62E-01	3.69E-01	3.82E-01	7.95E-01	8.17E-01	1.31E+00
7	2.12E-01	3.35E-01	3.28E-01	7.21E-01	7.42E-01	1.19E+00
8	1.87E-01	2.10E-01	2.92E-01	6.82E-01	6.77E-01	1.06E+00
9	1.63E-01	1.87E-01	2.62E-01	5.95E-01	6.13E-01	9.53E-01
10	1.43E-01	1.65E-01	2.38E-01	5.37E-01	5.99E-01	8.97E-01
11	1.28E-01	1.47E-01	2.11E-01	4.90E-01	5.58E-01	8.18E-01
12	1.10E-01	1.30E-01	1.89E-01	4.45E-01	4.82E-01	7.44E-01
13	9.88E-02	1.15E-01	1.69E-01	4.04E-01	4.20E-01	6.75E-01
14	8.48E-02	1.02E-01	1.54E-01	3.67E-01	3.82E-01	6.17E-01
15	7.41E-02	9.00E-02	1.38E-01	3.34E-01	3.48E-01	5.62E-01
16	6.61E-02	8.04E-02	1.23E-01	3.04E-01	3.18E-01	5.12E-01
17	5.70E-02	7.13E-02	1.10E-01	2.76E-01	2.88E-01	4.68E-01
18	4.99E-02	6.31E-02	9.84E-02	2.51E-01	2.62E-01	4.29E-01
19	4.35E-02	5.60E-02	8.82E-02	2.28E-01	2.38E-01	3.95E-01
20	3.84E-02	4.98E-02	7.92E-02	2.07E-01	2.17E-01	3.62E-01



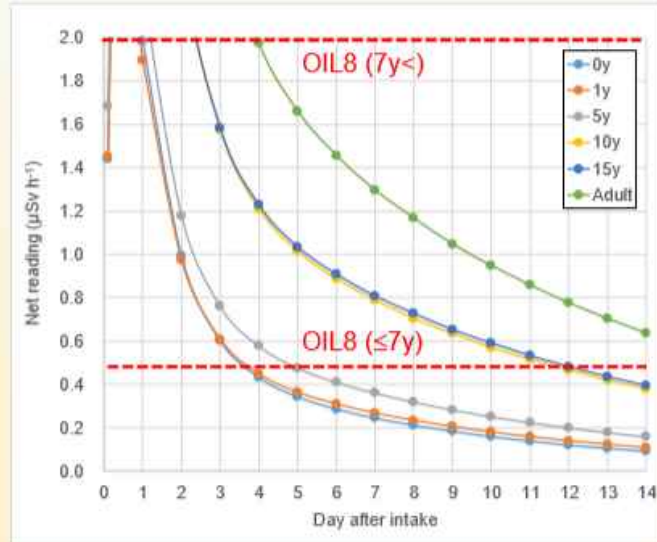
7

# TCS-171/172の応答(2)

甲状腺等価線量100 mSvに相当する<sup>131</sup>I(元素状)  
と等量の<sup>132</sup>Teの摂取があった場合

<sup>132</sup>Iに対する換算係数 (kBq/μSv<sup>-1</sup>)

Net正検出	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
0.1	1.32E+00	1.34E+00	1.94E+00	3.11E+00	3.07E+00	3.02E+00
0.2	2.15E+00	2.08E+00	2.38E+00	4.78E+00	4.69E+00	7.72E+00
0.3	2.48E+00	2.33E+00	2.68E+00	5.40E+00	5.27E+00	8.67E+00
0.4	2.52E+00	2.34E+00	2.69E+00	5.44E+00	5.29E+00	8.72E+00
0.5	2.41E+00	2.28E+00	2.58E+00	5.20E+00	5.08E+00	8.32E+00
0.6	2.25E+00	2.09E+00	2.32E+00	4.83E+00	4.69E+00	7.75E+00
0.7	2.06E+00	1.91E+00	2.19E+00	4.42E+00	4.30E+00	7.26E+00
0.8	1.87E+00	1.74E+00	1.99E+00	4.04E+00	3.92E+00	6.84E+00
0.9	1.70E+00	1.58E+00	1.80E+00	3.68E+00	3.56E+00	6.39E+00
1	1.54E+00	1.42E+00	1.63E+00	3.31E+00	3.21E+00	5.98E+00
2	1.38E+01	1.33E+01	1.12E+01	1.24E+00	1.20E+00	1.92E+00
3	2.37E+01	2.31E+01	2.82E+01	5.12E+01	4.97E+01	5.18E+01
4	1.14E+01	1.06E+01	1.31E+01	2.48E+01	2.38E+01	3.93E+01
5	6.50E+02	6.08E+02	6.92E+02	1.40E+01	1.35E+01	2.39E+01
6	4.30E+02	4.01E+02	4.58E+02	8.30E+02	8.04E+02	1.44E+01
7	3.12E+02	2.91E+02	3.33E+02	6.75E+02	6.58E+02	1.05E+01
8	2.35E+02	2.22E+02	2.54E+02	5.14E+02	5.00E+02	8.23E+02
9	1.85E+02	1.73E+02	1.98E+02	4.01E+02	3.90E+02	6.42E+02
10	1.48E+02	1.38E+02	1.58E+02	3.18E+02	3.07E+02	5.05E+02
11	1.18E+02	1.08E+02	1.23E+02	2.50E+02	2.42E+02	4.00E+02
12	9.18E+02	8.94E+02	9.76E+02	1.95E+02	1.92E+02	3.17E+02
13	7.27E+02	6.98E+02	7.76E+02	1.57E+02	1.53E+02	2.52E+02
14	5.77E+02	5.53E+02	6.16E+02	1.25E+02	1.21E+02	2.00E+02
15	4.59E+02	4.38E+02	4.89E+02	9.92E+02	9.64E+02	1.59E+02
16	3.65E+02	3.48E+02	3.89E+02	7.59E+02	7.47E+02	1.28E+02
17	2.90E+02	2.76E+02	3.09E+02	6.27E+02	6.10E+02	1.00E+02
18	2.31E+02	2.19E+02	2.46E+02	4.99E+02	4.85E+02	7.99E+02
19	1.84E+02	1.71E+02	1.96E+02	3.97E+02	3.86E+02	6.35E+02
20	1.48E+02	1.38E+02	1.58E+02	3.18E+02	3.07E+02	5.05E+02



事故発生1週間以内にTCS-171/172を用いて簡易甲状腺測定を行う場合には、<sup>132</sup>Teと<sup>131</sup>Iの大気中濃度の実測値が必要(できれば、化学形の情報も必要)

8

(参考) 茨城県内モニタリングポストの波高スペクトルから推定された各核種の空气中濃度

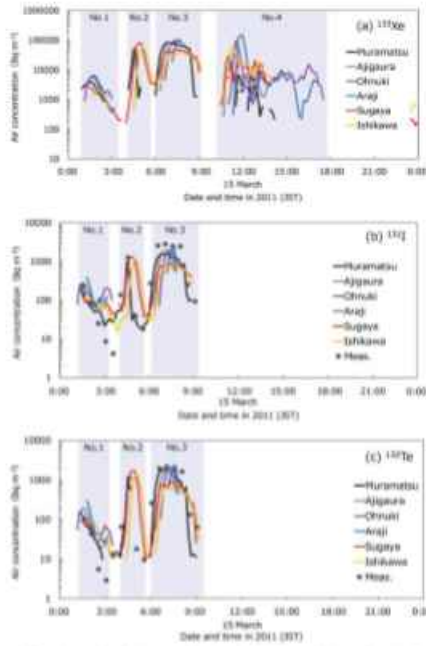


Figure 4. Temporal change in the estimated air concentration on 15 March 2011. Measured values at the point JNIA-1 are also plotted for  $^{131}\text{I}$  and  $^{132}\text{I}$ .

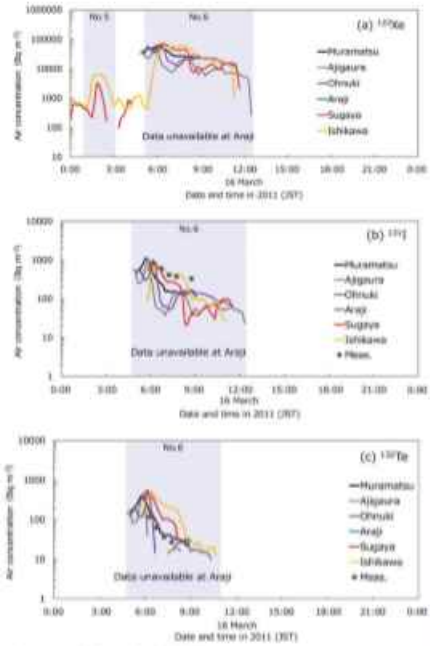


Figure 5. Same as Figure 4 except for the period on 16 March 2011.

Terasaka et al. JNST, 53, 1919-1932, 2016.

大気中濃度は $^{133}\text{Xe}$ は $^{131}\text{I}$ の数10倍から100倍程度の範囲で変動

9

Analysis of NaI(Tl) pulse height spectra obtained from the 2011 Fukushima NPP accident



10

資料1-2



平成30年度原子力規制庁  
放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究

## 原子力事故時における近隣住民の 確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた 包括的個人内部被ばくモニタリングの確立

サブテーマ:WBC(FASTSCAN)を用いた公衆の個人モニタリング

第3回実務者会合  
平成30年1月28日

量子科学技術研究開発機構  
放射線医学総合研究所

### 提案する原子力災害時の個人モニタリング

緊急時段階(放射性核種の環境放出)

中期段階(環境放出が概ね収束)



得られた人の全実測データを初期内部被ばく線量の評価に有効に活用



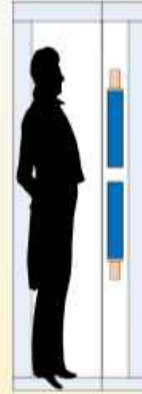
# WBC (FASTSCAN)

## FASTSCAN™

- 米国Cannberra (現MIRION Technology) 製
- シャドールシールド (鉄材~10cm厚)
- NaI(Tl)検出器 (12.7×7.6×40.6 cm<sup>3</sup>) 2式
- 総重量 4.8トン
- 外寸: 1.24×0.9 m<sup>2</sup> (設置面積) × 2.1m (高さ)
- 検出限界値: 150 Bq (<sup>60</sup>Co, 1分間測定)

※2式の検出器からの応答を加算することで、被検者の体格差による検出感度の変化が小さい。

引用) <https://www.mirion.com/products/2250-fastscan-high-throughput-whole-body-counter>



- ✓ 東電福島原発事故以降、福島県を中心に50機以上のWBCが新規に導入
- ✓ 半数以上がFASTSCANであり、内約10機が車載型WBC



<sup>131</sup>Iを対象とした甲状腺測定は短期間しか行えないので、ヨウ素とセシウムの摂取量の比を評価した上で、WBCを用いた体内セシウムの測定を補完的に行う。



車載型WBC 於) 福島市保健福祉センター

3

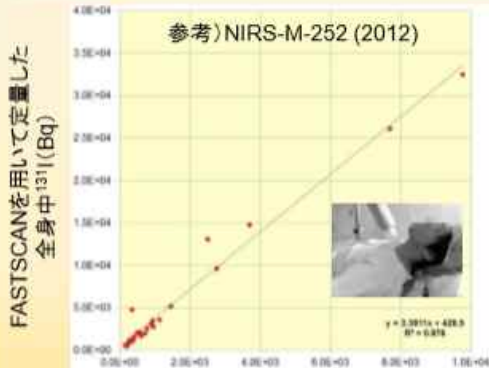
## WBC (FASTSCAN) による甲状腺中<sup>131</sup>I測定

福島第一原発事故対応の支援として、原子力機構は事故直後に小名浜に車載型WBCを設置し、緊急作業員の内部被ばく測定を開始。

- ✓ 完全な除染が困難であったため、汚染が残存した状況で測定。
- ✓ 全身ジオメトリの計数効率を用いたため<sup>131</sup>Iを過大に評価。
- ✓ <sup>131</sup>I, <sup>132</sup>Te-<sup>132</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Csが混在し、NaI(Tl)ではスペクトル解析が困難。



比較的高い内部被ばく線量を受けた可能性のある者及び女性従事者に対し、原子力機構核サ研において追加の内部被ばく測定を実施。

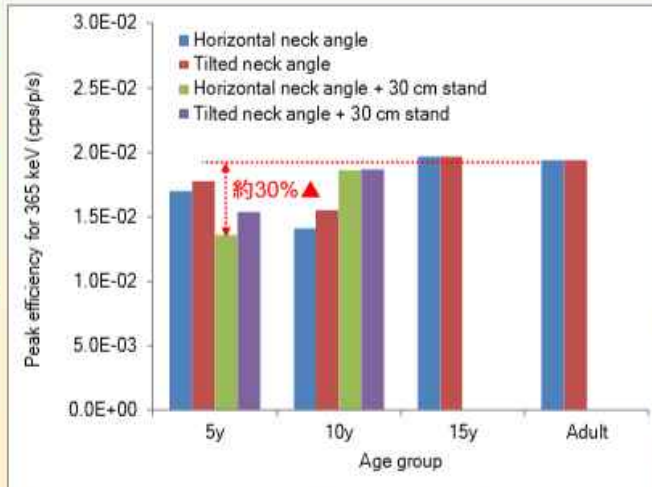
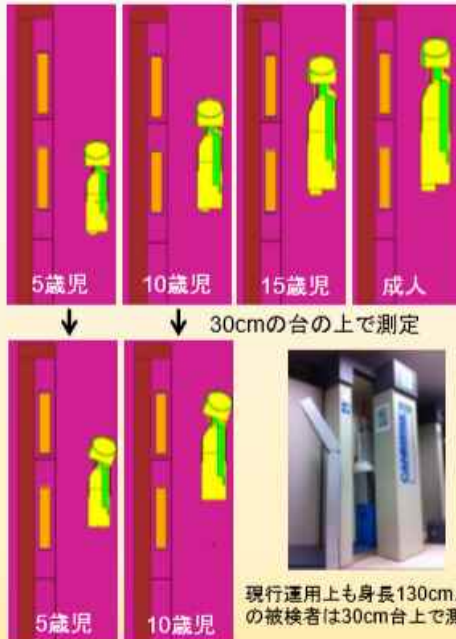


- ✓ 両測定には良好な比例関係あり→成人被検者に対しては体格差の影響は小
- ✓ 上側検出器と下側検出器の計数の違いにより、身体汚染の残存を判断→下側検出器の方が計数が大きい場合は、身体汚染の可能性が高い。
- ✓ FASTSCAN付属のTransferファントムを使えば甲状腺ジオメトリの効率を得られる。→<sup>131</sup>Iでは、甲状腺ジオメトリの効率は全身ジオメトリの約3倍高。

4

# WBC (FASTSCAN) の甲状腺中<sup>131</sup>Iに対する応答評価

年齢別MIRDファントム (Ulanovsky) を用いたシミュレーションにより評価

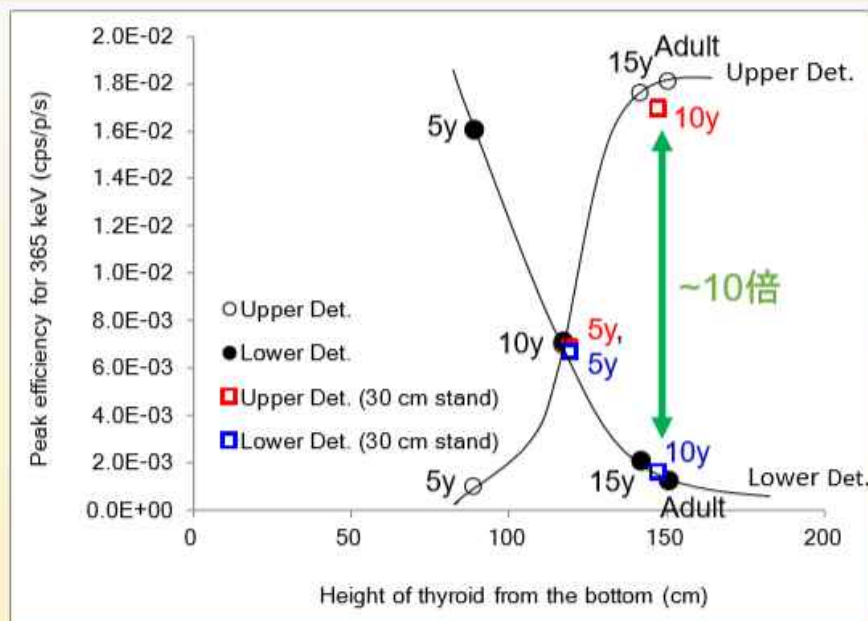


甲状腺中<sup>131</sup>Iに対するFASTSCANの計数効率(両検出器の合算)

幅広い年齢の被検者に対し甲状腺中<sup>131</sup>Iの定量が可能であるが、就学前小児については若干感度が低下する可能性がある。

5

# WBC (FASTSCAN) の甲状腺中<sup>131</sup>Iに対する応答評価



甲状腺中<sup>131</sup>Iに対するFASTSCANの計数効率(各検出器)

10歳児以上であれば着衣の汚染による影響は上下検出器の計数比から判断可能。  
(後の詳細解析のために被検者の身長を取得するのが良い)

6

# 参考 WBC測定における体表面汚染の判断

## 表面汚染

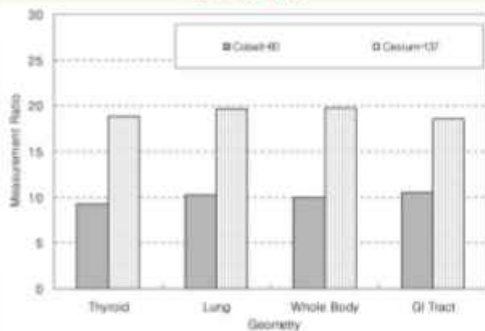


Figure 4. Measurement ratios of counts from the front and back for external contamination.

## 体内汚染

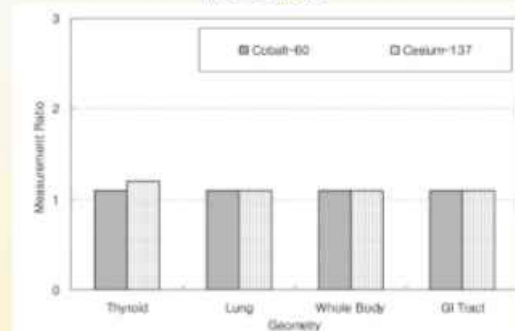


Figure 5. Measurement ratios of counts from the front and back for internal contamination.



Figure 3. Experiments of deconvolution between external and internal contamination using NordFAST II and Horizontal Phantom.

体表面汚染が疑われる場合には、背中側からの測定も追加で行い、計数の変化を確認する。→**数倍以上であれば体表面汚染の可能性が高い。**

参考)

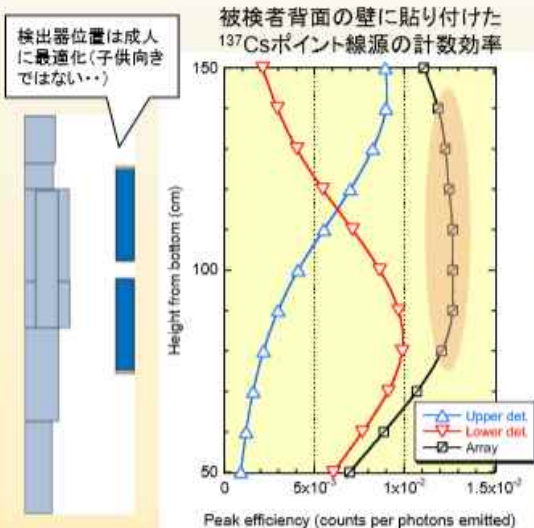
Ko et al. Radiat. Prot. Dosim. 162, 657-662 (2014).  
Kong and Kim. Radiat. Prot. Dosim. 133, 89-96 (2009).

7

# 参考 FASTSCANによる子どもの測定

## 定量値の体格補正

➔ **原則しない**



参考) 日本保健物理学会, 体外計測に関する標準計測法の策定に関する専門研究会報告書(2016年3月)

ファントム	身長, 重量
4y	114 cm, 17.7 kg
10y	147 cm, 33.8 kg
Adult Male	175 cm, 66.0 kg

(原研データ)



成人ファントムに対する計数効率比

Nuclide	Energy (keV)	4y 台無	4y 台30cm	4y 台45cm	10y 台無
Ba-133	356	1.01	1.31	1.40	1.11
	356+384	0.89	1.15	1.22	0.97
Cs-137	662	<b>0.91</b>	<b>1.21</b>	<b>1.28</b>	<b>1.02</b>
Co-60	1173	0.87	1.14	1.22	0.98
	1333	0.83	1.12	1.18	0.97

(Fastscan1号機のデータ)

● 身長130cm以下の子供は台(高さ30cm)に乗せて計測

- ✓ 4歳児ファントム(台無)...約1割感度(成人比)
- ✓ 4歳平均身長(日本人)...100 cm
- ✓ 4歳児ファントムと10歳児ファントムの結果から, 130cmの相対感度0.97
- ✓ 30cmの台を使うことで保守的評価

8

資料1-3



平成30年度原子力規制庁  
放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究

原子力事故時における近隣住民の  
確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた  
包括的個人内部被ばくモニタリングの確立

第3回実務者会合 2019年1月28日@放医研

- ②新モニタの試作及び試験  
成人用甲状腺モニタの試作及び新モニタ用ソフトウェアの改良
- ③情報収集支援システムの構築  
情報収集支援システム構築及びデータベース追加  
広域避難計画の調査・整備&避難場所データベース整備
- ④海外調査及び実務者会合

成人用甲状腺モニタの試作及び新モニタ用ソフトウェアの改良

大人用甲状腺モニタ



現在、検出器の制作中  
今後の予定: 基礎試験  
固定軸検討

モニタ制御及び解析用ソフト

測定系の選択: 子供用又は大人用

検出器の選択機能  
及び再校正機能

MCA制御機能:  
 ✓ マニュアル操作  
 ✓ 被検者測定  
 ✓ バックグラウンド測定  
 ✓ 校正用測定

GAGG12台の効率曲線  
GAGG8台の効率曲線

## 新モニタ用ソフトウェアの主な改良内容

### ➤ 2測定系対応

1台のPCで大人測定系、子供測定系の2測定系を運用可能  
ソフトウェア2測定系の切り換え可能

### ➤ 大人測定系の最大接続検出器数の拡張

大人測定系の最大接続検出器数:12台  
※子供測定系の最大接続検出器数は8

### ➤ 測定系毎の使用検出器の指定及び構成自動作成

各測定系毎に、MCA接続時に使用する検出器の指定可能  
使用検出器(位置、数)に応じて合算効率、合算バックグラウンドスペクトルを動的に作成可能

### ➤ 簡易操作によるゲイン調整機能(ドリフト対策)

### ➤ 核種/γ線多重同定時、妨害成分を考慮した核種同定機能を追加

3

## 情報収集支援システム構築及びデータベース追加

原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人被ばくモニタリングの確立

<p>1. 受検者登録情報</p> <p>氏名 性別 年齢 住所 電話番号</p>		<p>2. 測定結果情報</p> <p>測定日時 測定場所 測定結果 検出器位置</p>
<p>3. 避難行動情報</p> <p>避難開始日時 避難場所 避難経路</p>		<p>4. 安定ヨウ素剤</p> <p>服用日時 服用量 服用回数</p>
<p>5. 食事状況情報</p> <p>食事内容 摂取量 摂取回数</p>		<p>6. 個人情報利用について</p> <p>同意書 プライバシーポリシー</p>

## 情報収集支援システムへの入力例

### ①メイン画面(ログイン)

#### 情報収集支援システム

受検者情報入力アプリケーション

ユーザー情報:

- ✓ 管理者: 入力、閲覧、編集、削除、出力、入力候補リスト更新
- ✓ 入力者: 入力、閲覧、編集

### ②入力画面(1)

1. 受検者登録情報

2. 検索結果

### ③入力画面(2)

3. 避難行動調査

避難経路を地図上で確認することができる。

避難経路の確認

## 広域避難計画の調査・整備と避難場所データベース整備

- 玄海、川内、大飯、浜岡及び高浜サイトにおける緊急時対応及び係るデータ整理 (人口、避難経路、避難施設等)
- 避難施設については、位置情報、建屋構造、収容可能人数等を調査・電子データ整備



平成29年度:伊方原発、女川原発における  
広域避難計画調査・整備

避難行動情報把握のための基本データとして情報収集支援システムへの格納

基本データ(例)

唐津市 避難経路

ケース	経路	内容
1	陸路 1	自宅等→避難施設
2	陸路 2	自宅等→集合場所→避難施設
3	海路(船着)	自宅等→集合場所→船→避難先
4	空路(離島)	自宅等→集合場所→ヘリコプター→避難先

唐津市 UPZ内避難人口内訳および避難先市町名

区域	地域名	町名	人口(人)	世帯数(世帯)	避難先自治体
UPZ	唐津地区	全域	76,403	32,336	佐賀市・多久市・神埼市・吉野ヶ里町・上峰町・みやき町・小城市・鳥栖市
		浜五地区	11,456	4,146	鳥栖市・基山町
	鹿木地区	4,062	1,757	佐賀市	
	福和地区	7,496	2,591	佐賀市	
	北津多地区	4,344	1,736	小城市	
	肥前地区	PAZ 圏内を除く全域	6,702	2,464	白石町・大町町
	磯西地区	PAZ 圏内を除く全域	2,916	1,626	江北町・白石町
	呼子地区	PAZ 圏内を除く全域	3,290	1,441	白石町・小城市
	七山地区	全域	2,043	651	神埼市

人口・世帯数は平成30年11月1日現在

東海、柏崎、泊、島根の原子力施設を中心に概ね半径30km以内の広域避難計画追加予定

## 広域避難計画の調査・整備と避難場所データベース: 玄海サイト

「佐賀県地域防災計画」及び「地域防災計画」等を基に、玄海サイトにおける緊急時対応の概要、避難経路、避難場所(屋内退避施設、一次集結場所及び広域避難所)及び受入人数の調査・整備

玄海サイトのPAZ・UPZ



玄海原子力発電所および避難所等



長崎県の地域防災計画による避難経路



## 広域避難計画の調査・整備と避難場所データベース: 浜岡サイト

中部電力(株)浜岡原子力発電所(御前崎市)における原子力災害が発生もしくは発生の恐れがある場合、県及び各市町村の枠組みを超えた住民避難などの応急対策が実施できるように、「浜岡地域原子力災害広域避難計画」を策定

浜岡サイトにおけるPAZ及びUPZ



浜岡原子力発電所及び避難所等



PAZ圏内の避難フロー(基本例)



UPZ圏内の避難フロー(基本例)



- 避難計画対象者全員について、予め避難先の市町村を定めておく。
- 避難先1: 原子力災害が単独で発生時等、静岡県内市町、加えて隣接県や東海地方の件に避難先を確保。
- 避難先2: 大規模地震との複合災害時等、避難先1に避難できない場合に備え、関東甲信地方や北陸地方の都県にも避難先を確保。

## 海外調査及び実務者会合

### ● 海外調査

フランス IRSN: 2018年10月  
ドイツ Bfs: 2019年2月(予定)

### ● 実務者会合

1回目: 2018/6/11@QST-NIRS  
2回目: 2018/10/2@JAEA-FRS  
3回目: 2019/1/28@QST-NIRS

フランスでの事故状況及び概要

事象	状況の概要		
0: 不確かな状況	事故の特長(規模や性質)、環境中への放射性物質の放出の有無などが不詳である。	フランス国内の原子力施設における事故	
1: 即時かつ短期間の放射性物質の放出を伴う状況	放射性物質の放出が事故発生から1時間以内に開始され、数時間以内で終了する。数 km 以内の範囲において中程度の影響が及ぶ可能性がある。		
2: 中長期の放射性物質の放出を伴う状況	放射性物質の放出が事故発生から6時間以内に開始され、数日から数週間におよび継続する。PPIの対象範囲を超える規模で大きな影響が及ぶ可能性がある。		
3: 放射性物質の放出が遅れ、長期にわたる状況	放射性物質の放出までに事故発生から6時間以上が経過し、数日から数週間におよび継続する。PPIの対象範囲を超える規模で大きな影響が及ぶ可能性がある。		
4: 輸送中の放射性物質が放出されるおそれのある状況	フランス国内の産廃又は水陸における放射性物質(固体、液体又は気体)の輸送中の事故。		フランス国内外における放射性物質の輸送中の事故
5: 国外で発生した事故がフランスに大きな影響を及ぼす可能性のある状況	原子力施設や放射性物質の輸送中におけるフランス国外での事故がフランスに大きな影響を及ぼす可能性がある。事故が発生した国に在るフランス国民に関連する問題にも取り組むこと。		
6: 国外で発生した事故がフランスに僅かな影響を及ぼす状況	フランス国外での事故がフランスに僅かな影響を及ぼす。事故が発生した国に在るフランス国民に関連する問題にも取り組むこと。		
7: 沿岸での事故によって放射性物質の放出する可能性のある状況	船舶による放射性物質の輸送中における事故、フランスの沿岸に在る海洋や陸上への放射性物質の放出を伴う事故。		

## 今後の予定

### ① 既存検出器を用いた測定法の改善

- NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査:
- 年齢別の換算係数の評価
- 遮へい体仕様の検討
- 甲状腺簡易検査用マニュアル作成
- ホールボディカウンタ(FASTSCAN)の甲状腺ヨウ素の応答特性評価

### ② 新モニタの試作及び試験

- 新モニタ(成人用)の試作及び固定治具
- 応答特性試験
- 新モニタ用ソフトウェアの改良
- 新モニタによるモニタリングの標準化

### ③ 情報収集システムの構築

- 情報収集支援システムの構築
- 情報収集システム用データベースの追加

### ④ 海外調査及び実務者会合

- 海外調査: ドイツ Bfs (2019年2月20日～22日)





平成30年度原子力規制庁  
放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究

## 原子力事故時における近隣住民の 確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた 包括的個人内部被ばくモニタリングの確立

成果報告会  
平成31年2月15日

量子科学技術研究開発機構  
放射線医学総合研究所  
栗原 治(主任研究者)

### 研究概要

平成29年度 放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究

【重点テーマ】

⑤放射性ヨウ素等の迅速・高精度な内部被ばくモニタリング手法に関する研究

研究の背景等(公募要領より)

- 事故などの緊急時には、事故後早い段階においてできるだけ沢山の人を対象に精度の高い計測により、内部被ばく線量評価を行う必要がある。
- 放射性ヨウ素の内部被ばく線量評価には、福島第一原子力発電所事故の経験から、摂取後早期の甲状腺被ばく線量測定にあたり、甲状腺及び周囲組織の解剖学的な個人差や核種同定等今後万が一の事故に対応する計測装置開発を含めた評価手法の確立が必要とされている。
- ついては、放射性ヨウ素の内部取込みに伴う甲状腺被ばく測定の精度向上のために、高バックグラウンド環境に対応する小型、高感度、スペクトル分析が可能な甲状腺モニタの開発が必要とされている。

### 本研究の目標

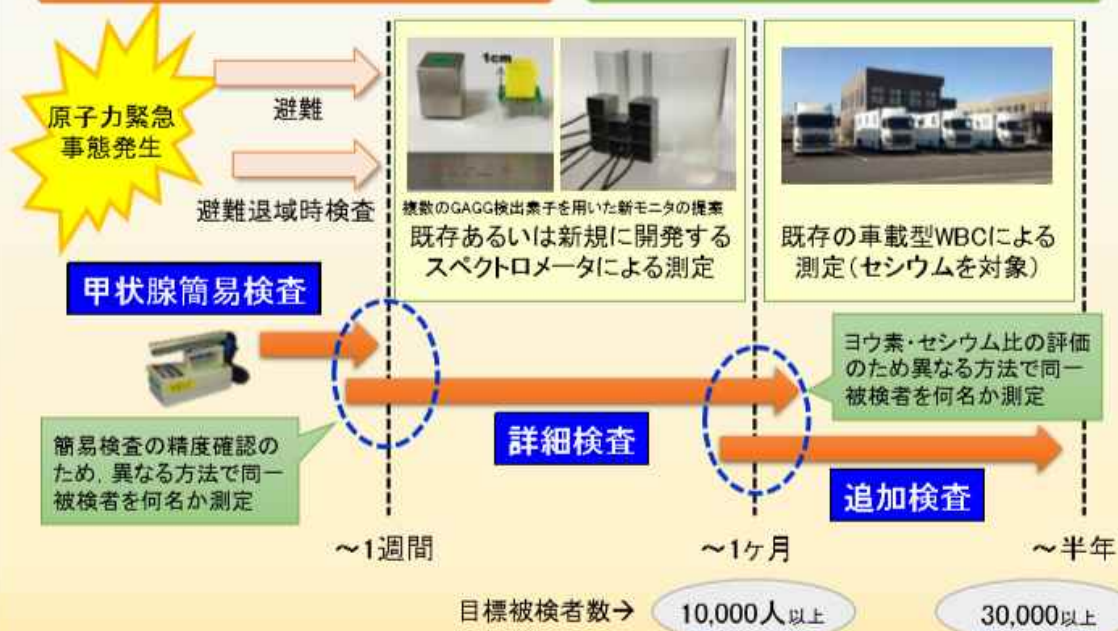
福島原発事故で見出された技術的課題を克服し、後の線量再構築に資する信頼性の高い人の実測データを可能な限り多く取得する。  
(測定技術のみならず、実行的な公衆の内部被ばくモニタリング手法を構築を目指す)

2

# 提案する原子力災害時の個人モニタリング

緊急時段階(放射性核種の環境放出)

中期段階(環境放出が概ね収束)



得られた人の全実測データを初期内部被ばく線量の評価に有効に活用

3

## ロードマップ及び平成30年度の達成状況

項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度
1. 検出器応答評価 (スペクトル解析ソフト開発を含む)	資機材準備 応答試験 ソフトウェア試作	数値シミュレーション 応答試験 <small>年度末までに終了予定</small> ソフトウェア改良	測定条件決定 ソフトウェア改良
2. 新モニタの開発	試作器の製作	試作器の開発 <small>年度末までに終了予定</small>	実用機の開発
3. マニュアル作成 (情報収集システムの開発を含む)	簡易検査見直し システム概念設計 海外調査	換算係数の整備 システム試作 海外調査 <small>2月予定(BFS)</small>	マニュアル作成 システム改良
4. 研修・ワークショップ	実務者会合	実務者会合	研修会 WS

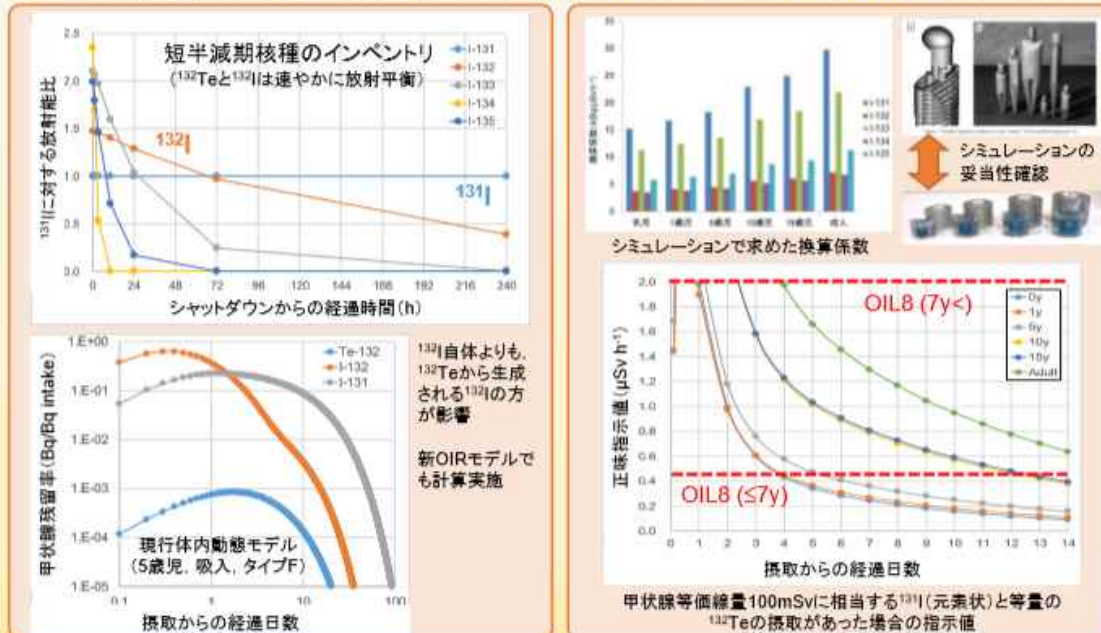
【平成30年度の達成状況】概ね計画通りに進捗

1. 新モニタ試作機の開発を進めるとともに、支援システムの改良を行った。
2. 既存検出器を用いた甲状腺中ヨウ素の測定法に対する評価・検証を行った。

4

## 進捗② 甲状腺簡易検査の運用検討(項目1)

甲状腺簡易検査に用いられるNaI(Tl)サーベイメータ(TCS-171/172)の甲状腺中ヨウ素に対する年齢別換算係数と<sup>131</sup>I以外の短半減期核種の影響を考慮した介入レベルの導出



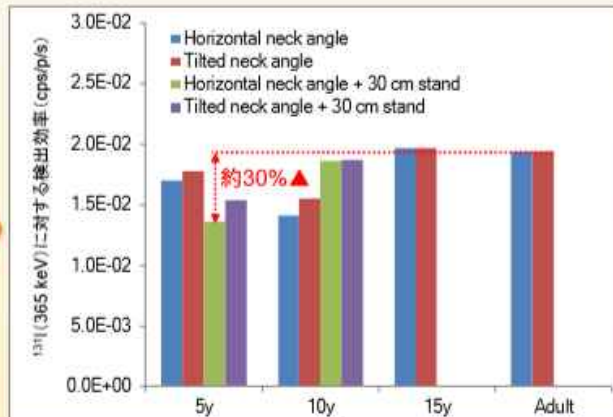
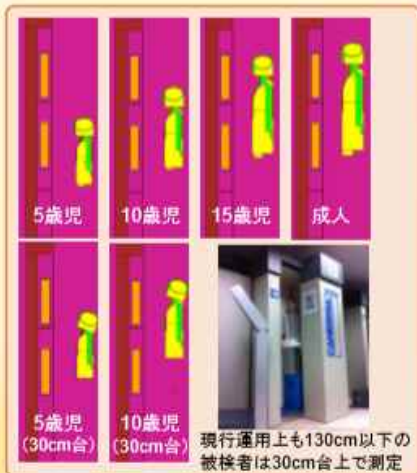
- IAEAが提案する甲状腺被ばくの介入レベル(OIL8)は本邦の甲状腺簡易検査に概ね適用可

## 進捗③ WBCによる甲状腺中<sup>131</sup>I測定(項目1)

F1事故以降、福島県を中心に広く導入・運用されているWBC(FASTSCAN)を活用して、住民の甲状腺中<sup>131</sup>Iの追加測定を行う。



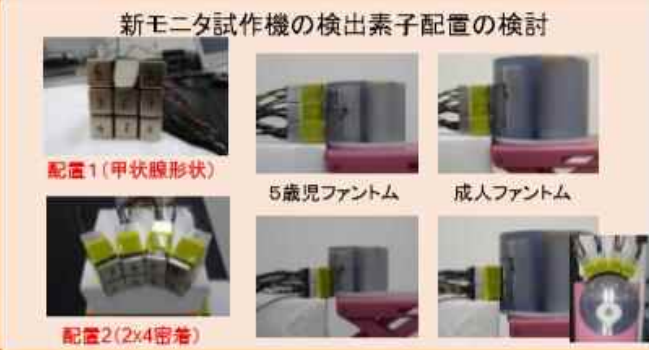
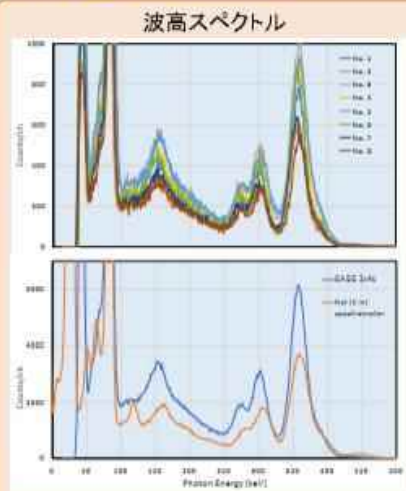
年齢別数学ファントムを用いたシミュレーションにより検出効率を評価



- 体格差によらず比較的安定した甲状腺中<sup>131</sup>Iの定量ができる。また、上下の検出器の計数の違いにより、体表面汚染の弁別が可能。

## 進捗④ 新モニタ試作機の性能試験(項目2)

昨年度試作した新モニタの性能を年齢別頸部ファントムを用いて評価



- 新モニタ試作機のエネルギー分解能及び検出下限値を評価(既存NaI検出器よりも良好)

8

## 進捗⑤ 新モニタ改良機の制作(項目2)

信号処理ユニット  
80 mm  
130 mm  
80 mm

GAGG検出素子  
結晶サイズ: 10 x 10 x 10 mm<sup>3</sup>, ケーシング外寸: 20 x 20 x 40 mm<sup>3</sup>

改良点

- ✓ 信号ケーブルの強度向上(集約処理)
- ✓ ケーシングの光漏洩対策
- ✓ 検出素子の増結(8素子→12素子)

改良点

- ✓ 選択した検出素子アレンジメントに対応した校正ファイル選定機能追加
- ✓ 測定条件に応じたデータ入力, MCA制御
- ✓ 自動ゲイン調整機能追加
- ✓ 核種同定機能の強化

12素子の効率  
8素子の効率

- 国内放射線計測メーカーの技術力を結集し, 新モニタ改良機の製作を実施(年度末に性能試験)

9

## 進捗⑥ 情報収集支援システムの製作(項目3)

原子力災害後の公衆の線量再構築に用いる情報を効率的に散逸することなく収集する。

情報収集システムの入力データとなる避難者検査記録カード

甲状腺測定を行う会場の受付にて被検者に配布し、測定後にコピーを収集。

10

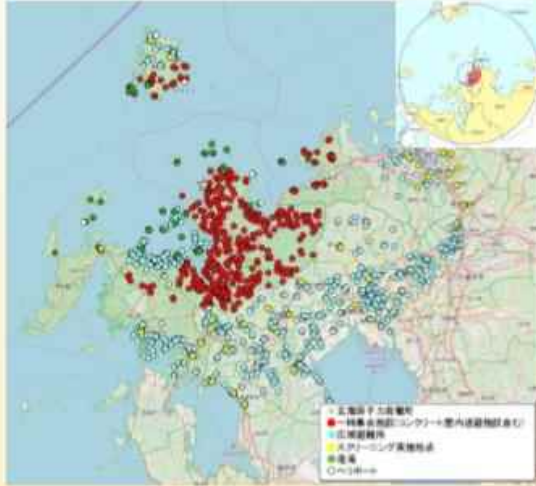
## 進捗⑦ 情報収集支援システムの製作(項目3)

避難者の検査データの一元管理と放射線防護対策の立案に有用

11

## 進捗⑧ 広域避難計画の調査(項目3)

各サイトの原子力災害広域避難計画を参考に、各自治体の近隣住民の人口や避難経路等に関する情報をデータベース化し、情報収集支援システムに格納する。



**玄海サイト**  
(PAZ圏内: 8,126名, UPZ圏内: 254,700名)  
※平成28年3月または4月時点



**浜岡サイト**  
(PAZ圏内: 46,272名, UPZ圏内: 889,223名)  
※平成30年4月時点

甲状腺被ばく検査の会場や運用に関する検討のための基礎情報とする。  
(女川、伊方、玄海、浜岡、川内、大飯、高浜の各サイトについてデータベース化完了)

12

## 進捗⑨ 海外調査(項目3)

### 原子力大国フランスの原子力防災体制及び対応支援機関(IRSIN)を調査



F1事故の経験を踏まえ2016年に緊急計画区域(EPZ)が10kmから20kmに拡大。

EPZ内の緊急時防護措置は、各地域の県知事によってオフサイト緊急時計画(PPI)として策定

→ 公衆に対する防護措置を講じる基準

防護措置	防護措置を講じる目安
屋内退避	実効線量10 mSvを超える可能性がある場合
避難	実効線量が50 mSvを超える可能性がある場合
安定ヨウ素剤の服用	甲状腺等価線量が50 mSvを超える可能性がある場合

国家対応計画(NPP)において定義される事態基準

事態	状況の概要
0: 不確かな状況	事故の特徴(規模や性質)、環境中へのRIの放出の有無などが不明である。
1: 即時かつ短期間のRIの放出を伴う状況	RIの放出が事故発生から1時間以内に開始され、数時間以内で終了する。数km以内の範囲において中程度の影響が及ぶ可能性がある。
2: 中長期のRIの放出を伴う状況	RIの放出が事故発生から6時間以内に開始され、数日から数週間にもわたり継続する。PPIの対象範囲を超える規模で大きな影響が及ぶ可能性がある。
3: RIの放出が長期間継続する状況	RIの放出までに事故発生から6時間以上が経過し、数日から数週間にもわたり継続する。PPIの対象範囲を超える規模で大きな影響が及び可能性がある。
4: 輸送中のRIが放出されるおそれのある状況	フランス国内の陸路又は水路におけるRI(固体、液体又は気体)の輸送中の事故
5: 国外で発生した事故がフランスに大きな影響を及ぼす可能性のある状況	原子力施設やRIの輸送中におけるフランス国外での事故がフランスに大きな影響を与える可能性がある。事故が発生した国にいるフランス国民に関する問題にも取り組むこと。
6: 国外で発生した事故がフランスに僅かな影響を及ぼす状況	フランス国外での事故がフランスに僅かな影響を及ぼす。事故が発生した国にいるフランス国民に関する問題にも取り組むこと。
7: 沿岸での事故によって放射性物質の放出する可能性のある状況	船舶による放射性物質の輸送中における事故、フランスの沿岸に近い海洋や陸上への放射性物質の放出を伴う事故。

公衆のモニタリング(IRSIN)



4車両 4システム/1車両  
4コンテナ 10システム/コンテナ  
2車両 精密体外計測

1日2500名のモニタリングが可能



軍用大型輸送機により他国に移送可能

13

# 成果公表

## 学会発表

- K. Yajima, K. Kim, K. Tani, H. Tatsuzaki, O. Kurihara. A reliable and robust method for monitoring large populations to assess thyroid internal exposure in a nuclear accident. HEIR2018, Oct. 8-11<sup>th</sup>, Fontenay-aux-Rose, Paris, France. → 本研究で提案する包括的甲状腺モニタリング手法(3ステップ法)の提案に関する国際学会発表。

## 論文発表

- K. Yajima, K. Kim, K. Tani, H. Tatsuzaki, C. Li, O. Kurihara. A screening survey exercise for thyroid internal exposure from radioiodine after a nuclear accident. Radiat. Prot. Dosim. (2018). → 甲状腺簡易検査の研修プログラムの開発と結果についてまとめた論文。
- O. Kurihara, C. Li, M.A. Lopez, E. Kim, K. Tani, T. Nakano, C. Takeda, T. Momose, M. Akashi. Experiences of population monitoring using whole-body counters in response to the Fukushima nuclear accident. Health Phys. 115, 259-274 (2018). → 本委託研究の関連論文。F1事故後に公衆の内部被ばくモニタリングに用いられたホールボディカウンタ(WBC)測定の実験と将来の同様な原発事故でのWBCの活用について検討した論文。WHO REMPANのプロジェクト及び保健物理学会専門研究会の成果としてまとめたもの。
- C. Li, M. Tremblay, K. Capello, O. Kurihara, M. Youngman, G. Etherington, A. Ansari, M. Lopez, D. Frank, S. Dewji. Monitoring and dose assessment for children following a radiation emergency part II: calibration factors for thyroid monitoring. Health Phys. (accepted). → 本委託研究の関連論文。WHO REMPANプロジェクトの成果としてまとめられた。各国において甲状腺測定に用いられる機種について、介入レベルに相当する応答を早見表として整備した。共著者からはTCS-171/172のシミュレーションモデルの提供を行った。
- K. Tani, N. Kunishima, Y. Igarashi, E. Kim, T. Imoto, O. Kurihara. MCNP simulations with a personalized voxel phantom to verify <sup>131</sup>I content in thyroid estimated based on measurements with an NaI(Tl) spectrometer. Radiat. Prot. Dosim. (accepted). → 本研究の関連論文。様々な甲状腺中ヨウ素定量のための物理ファントムや個人の数値ファントムなどの検出特性をシミュレーション計算により比較した論文。



# 自己評価

## 1. 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	2. 概ね計画どおり	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新モニタ試作機の開発及び性能評価は今年度末までに完了する予定である。</li> <li>● 海外調査(ドイツ・BfS)は2月に行う予定である。</li> </ul>
今年度の進捗や達成度を踏まえて、次年度の研究計画に変更が必要か	1. 必要ない	概ね計画どおり研究を遂行できると見込まれるため。

## 2. 分担研究者による自己評価: 該当せず

### 評価時までの研究成果

- 本資料で示したとおり。
- 学会発表: 1件
- 論文発表(本委託研究に関連するものも含む): 4報

## 次年度計画

項目	平成31年度	実施内容
検出器応答評価 (スペクトル解析ソフト 開発を含む)	<div style="text-align: center;">測定条件決定</div> <div style="text-align: center;">ソフトウェア改良</div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 今年度に引き続き、ファントムを用いた実験やシミュレーションにより様々な年齢の被検者に対する既存検出器を応答を評価し、甲状腺計測に最適な測定条件を決定する。</li> <li>● 実スペクトルを用いた解析・ベンチマークにより、ソフトウェアの課題を抽出し、改良を行う。</li> </ul>
新モニタの開発	<div style="text-align: center;">実用機の開発</div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 検出素子の最適化配置を決定するとともに、支持機構や簡易遮へい体を含めた実用機を完成させる。</li> </ul>
マニュアル作成 (情報収集システムの 開発を含む)	<div style="text-align: center;">マニュアル作成</div> <div style="text-align: center;">システム改良</div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 提案した包括的甲状腺モニタリング手法に関するマニュアルを完成させる。</li> <li>● 情報収集支援システムのデータ拡充と改良を行い、本システムを完成させる。</li> </ul>
研修・ワークショップ	<div style="text-align: center;">研修会</div> <div style="text-align: center;">WS</div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 本研究で開発した包括的甲状腺モニタリング手法に関する内容や関連する事項を含む研修会やワークショップを開催し、今後の向けての課題等について議論を行う。</li> </ul>

ご清聴ありがとうございました



**平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進  
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)事業  
成果報告書**

平成 31 年 3 月 29 日

**国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
安全研究センター**

本報告書は、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構が実施した「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（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）事業」の成果を取りまとめたものです。

# 目 次

1. 事業の背景と目的	1
2. 事業の実施体制	2
3. 事業の概要	4
3. 1 全体計画	4
3. 2 平成 29 年度の研究計画と進捗	5
3. 3 平成 30 年度の研究計画	8
4. 事業の成果	10
4. 1 甲状腺モニタの測定器の開発	10
4. 1. 1 概要	10
4. 1. 2 甲状腺モニタ測定器の試作	10
4. 1. 2. 1 公衆用及び作業員用検出器	10
4. 1. 2. 2 シンチレーション検出器用信号処理装置	11
4. 1. 2. 3 検出器用遮蔽体	11
4. 1. 2. 4 検出器制御用ソフトウェア	12
4. 1. 3 甲状腺モニタ測定器（試作機）の特性試験	13
4. 2 高精度放射性ヨウ素定量法の開発	22
4. 2. 1 概要	22
4. 2. 2 甲状腺モニタ校正方法の開発	22
4. 2. 3 計数効率の不確かさの評価	25
4. 2. 4 バックグラウンド放射線の影響補正法の開発	28
4. 3 甲状腺モニタシステムの開発	47
4. 3. 1 概要	47
4. 3. 2 検出器固定用治具の概念設計	47
4. 4 まとめ	50
5. 平成 30 年度事業の実績	51
5. 1 事業の進捗報告	51
5. 2 本事業で得られた成果の発表	52
参考文献	53

付録 1 : 5th Asian and Oceanic IRPA Congress on Radiation Protection (AOCR-5)  
発表資料

付録 2 : 5th European IRPA Congress 発表資料

付録 3 : 4th Asian Radiation Dosimetry Group annual meeting (ARADOS-4) 発表資料

付録 4 : 原子力規制委員会平成 30 年度研究成果報告会発表資料

付録 5 : 日本原子力学会 2019 年春の年会発表資料

# 1. 事業の背景と目的

事故などの緊急時には、事故後早い段階においてできるだけ沢山の人を対象に、精度の高い計測により、内部被ばく線量評価を行う必要がある。特に、半減期が短い放射性ヨウ素の内部被ばく線量評価には、摂取後早期の甲状腺被ばく線量の計測が必要となる。東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の経験から、甲状腺及び周囲組織の解剖学的な個人差や核種同定等、今後の万が一の事故に対応するための計測装置開発を含めた評価手法の確立が必要とされている。そこで、原子力規制委員会は、放射性ヨウ素の内部取込みに伴う甲状腺被ばく線量測定の精度向上のために、高バックグラウンド環境に対応する小型、高感度、スペクトル分析が可能な甲状腺モニタの開発を重点テーマとして設定し、放射線安全規制研究戦略的推進事業の公募を平成 29 年 4 月から開始した。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）は、同テーマに対する研究計画（平成 29 年度から 3 か年計画）を提案した。そして、原子力規制庁が設置する研究推進委員会による審査を経て原子力機構が提案した研究計画が採択された。これを受けて、原子力機構が受託した平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（事故等緊急時における内部被ばく迅速評価法の開発に関する研究）事業（以下「本事業」という。）では、原子力事故時に多数の公衆及び作業者について、放射性ヨウ素による内部被ばく線量の迅速かつ高感度な評価を可能とするために、各避難所、指揮所等に設置できる可搬型の $\gamma$ 線スペクトル分析型甲状腺モニタ（以下「甲状腺モニタ」という。）を開発した。

本報告書は、平成 30 年度における本事業の成果等を取りまとめたものである。

## 2. 事業の実施体制

平成 30 年度の本事業の実施体制図を図 2-1 に示す。原子力機構 安全研究・防災支援部門 安全研究センター リスク評価研究ディビジョン 放射線安全・防災研究グループに所属する主任研究者 1 名及び研究参加者 2 名に加えて、原子力緊急時支援・研修センター (NEAT) 緊急時対応研究課に所属する研究参加者 1 名の合計 4 名で事業を実施した。平成 30 年度は「①甲状腺モニタ測定器の開発」、「②高精度放射性ヨウ素定量法の開発」及び「③甲状腺モニタシステムの開発」の三つのテーマを図 2-2 に示す研究分担で実施した。

線源を用いた甲状腺モニタ測定器の試作機に係る試験は、主任研究者及び研究参加者の本務先である原子力科学研究部門 原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課の放射線標準施設棟において実施した。また、定量法の開発に必要な数値ファントム及び簡易頸部ファントムを用いたシミュレーション計算についても、放射線計測技術課が保有する計算機等の設備を利用した。

本事業と同一の重点テーマで国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所が受託した平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立）事業とともに開催した実務者会合（平成 30 年 6 月 11 日、平成 30 年 10 月 2 日及び平成 31 年 1 月 28 日の 3 回開催）において、本事業の進捗状況を報告した。当該会合においては、原子力規制庁が任命するプログラム・オフィサー (PO) 及び PO 補佐に参加いただき、研究内容について議論を行うなかで得られたコメントを適宜反映しつつ事業を進めた。それ以外の事業の進捗状況については、主任研究者から月 1 回を目安に、電子メールにて PO 及び PO 補佐に報告することとした。さらに、平成 31 年 2 月 14 日から 15 日に開催された原子力規制庁が主催する平成 30 年度研究成果報告会（放射線安全規制研究戦略的推進事業）において、平成 30 年度の研究成果（進捗）を報告した（付録 4 参照）。

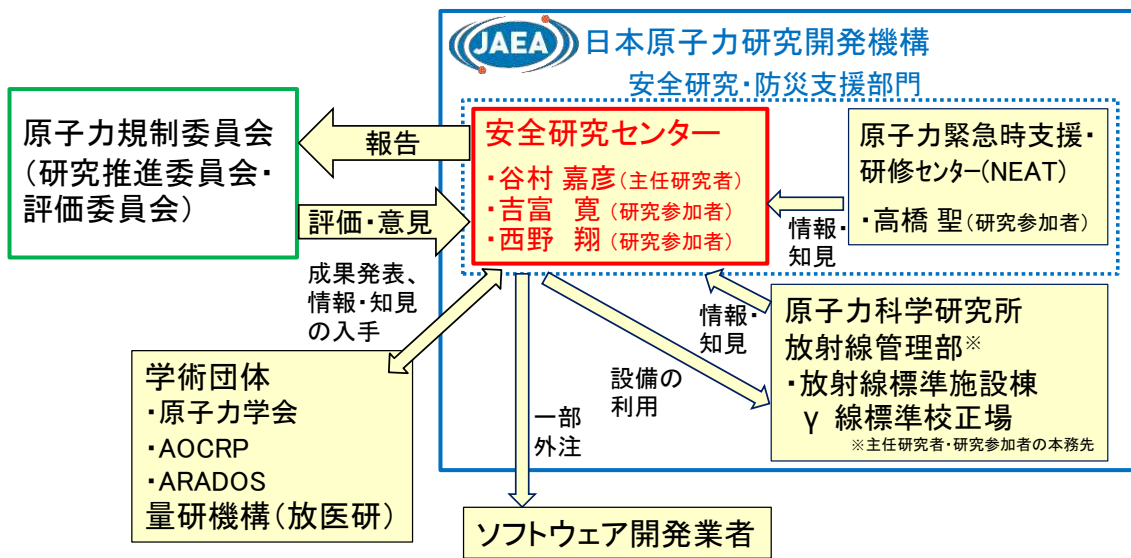


図 2 - 1 本事業の実施体制図 (平成 30 年度)

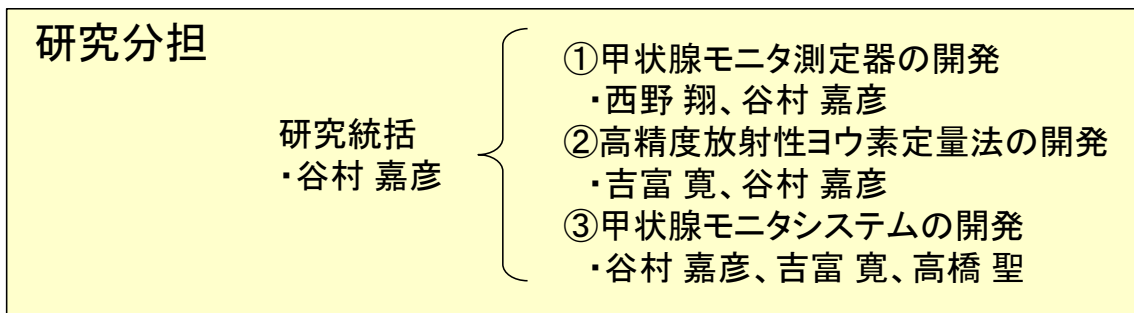


図 2 - 2 研究テーマごとの研究者の分担

### 3. 事業の概要

#### 3. 1 全体計画

本事業では、原子力事故等緊急時に、各避難所、指揮所等に設置できる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し、多数の公衆及び作業者が摂取した放射性ヨウ素の放射能を迅速かつ高精度に測定・評価可能とする。このために、「①甲状腺モニタ測定器の開発」、「②高精度放射性ヨウ素定量法の開発」及び「③甲状腺モニタシステムの開発」の3つのテーマに分けて研究を実施する。

具体的な研究のロードマップを図3-1に示す。「①甲状腺モニタ測定器の開発」では、γ線スペクトルの測定に適した検出器を選定し、高バックグラウンドでも使用可能とするための遮蔽体を含めた測定系を開発する。また、「②高精度放射性ヨウ素定量法の開発」では、甲状腺に蓄積した放射性ヨウ素の定量に必要な校正方法を開発する。さらに、「③甲状腺モニタシステムの開発」では、検出器固定用治具を設計・制作するとともに試作したシステムの使用マニュアルを整備する。

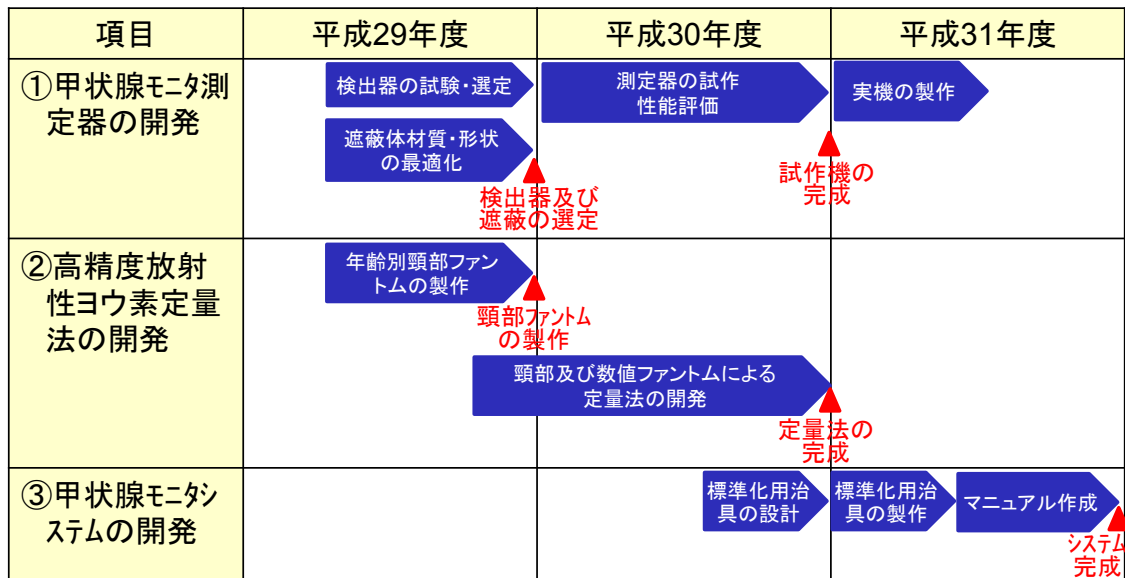


図3-1 本事業の研究ロードマップ



### 3. 2 平成 29 年度の研究計画と進捗

平成 29 年度は、甲状腺モニタの開発に必要な「甲状腺モニタ測定器の開発」「高精度放射性ヨウ素定量法の開発」の二つのテーマについて以下の計画で研究を実施した。

#### ① 甲状腺モニタ測定器の開発

以下の方法により、最適な検出器を選定するとともに、高線量率下での測定に必要な周辺遮蔽体を試作した。

先行研究で候補に挙げた  $\text{CdZnTe}$  半導体検出器、 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレータ及び  $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ シンチレータについて、シンチレータ用の光電子増倍管及び信号処理回路と組み合わせて、エネルギー分解能及び $\gamma$ 線感度に着目した試験を実施し、甲状腺モニタに最適な検出器を選定した。

高線量率下での測定を可能とするために、検出器周辺に設置する遮蔽体の材質及び厚さを検討し、試作した遮蔽体を用いて $\gamma$ 線標準校正場を利用した実測により遮蔽性能を評価した。

#### ② 高精度放射性ヨウ素定量法の開発

以下の方法により、甲状腺モニタの測定結果から甲状腺の放射性ヨウ素量を定量するために必要な検出器の校正に用いる年齢別頸部ファントムを製作した。

甲状腺及び周囲組織の解剖学的形状を考慮した 3 種類（乳児、幼児及び成人に対応）の年齢別頸部ファントムを製作した。

性別・年齢別による体格の個人差をさらに詳細に反映し、校正結果を補正するために必要な、性別・年齢別数値人体モデル（ボクセルファントム）を用いた検出器の応答計算を実施した。

これらの研究を実施した結果、以下の成果等を得た。

各避難所、指揮所等に設置できる、 $\gamma$ 線エネルギー分析方式の可搬型甲状腺モニタの概念設計を行い、設計目標を設定するとともに新たな測定方法を開発した（表 3-2-1、図 3-2-1 及び図 3-2-2）。これらの成果については、特許として出願した（出願日：平成 30 年 2 月 6 日、特願 2018-019507：「甲状腺モニタ用可搬型放射線測定器及び放射線測定方法」）。

甲状腺モニタで使用する放射線検出器については、エネルギー分解能などの観点から選定した結果、混在核種が多く、高バックグラウンド線量率下での使用が想定される作業用のシステムについては、 $\text{CdZnTe}$  半導体検出器が適していることがわかった。また、迅速かつ高感度での測定が求められる乳幼児を含む公衆用システムについては、大型化による感度向上が可能な  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーション検出器が適していることが分かった。

$^{137}\text{Cs}$   $\gamma$ 線標準校正場において  $20 \mu\text{Sv/h}$  の高バックグラウンド線量率環境下を想定して試験を実施した結果、目標とする  $10\text{mSv}$  の甲状腺等価線量の測定下限値を達成するために

は鉛の場合は 3 cm、タングステン合金の場合は 2.5 cm の厚さが必要であることがわかった。人体の上下方向については、サイズの制限が厳しく遮蔽体の寸法をできるだけ小さくする必要があることから、検出器有感部の側面方向のみに高価なタングステン合金を採用することにより、遮蔽体全体の価格及び重量の増加を抑制した最適な設計が可能であることがわかった。

年齢別数値ファントム（ボクセルファントム）を用いた計算結果から、甲状腺モニタに使用する放射線検出器の最適な配置（頸部表面からの距離及び 2 個の検出器間の距離）を決定した。また、甲状腺内に均一分布する  $^{131}\text{I}$  放射能と等価な計数効率を与える簡易物理ファントム内の代表点を計算により求めた。そして、その位置に点線源を配置することによって、管理上の難しさを抱える溶液線源を使用することなく、点線源と簡易頸部ファントムのみで簡便かつ正確に校正が可能な手法を開発した。

これらの成果については、平成 30 年 3 月 26 日に日本原子力学会 2018 年春の年会において報告した。

表 3-2-1 甲状腺モニタの目標性能・仕様

項目	目標	備考
測定方式	エネルギー分析型	
バックグラウンド線量率 (使用上限値)	数十 $\mu\text{Sv/h}$	
測定時間	5 分/人 以内	
測定可能人数	150 人/日 以上	1 システム当たり
定量下限値	1kBq 以下	摂取後 3~5 日後に測定の場合、成人で甲状腺等価線量 10mSv に相当
電源	ノート PC 等のバッテリー で数時間以上動作可能	

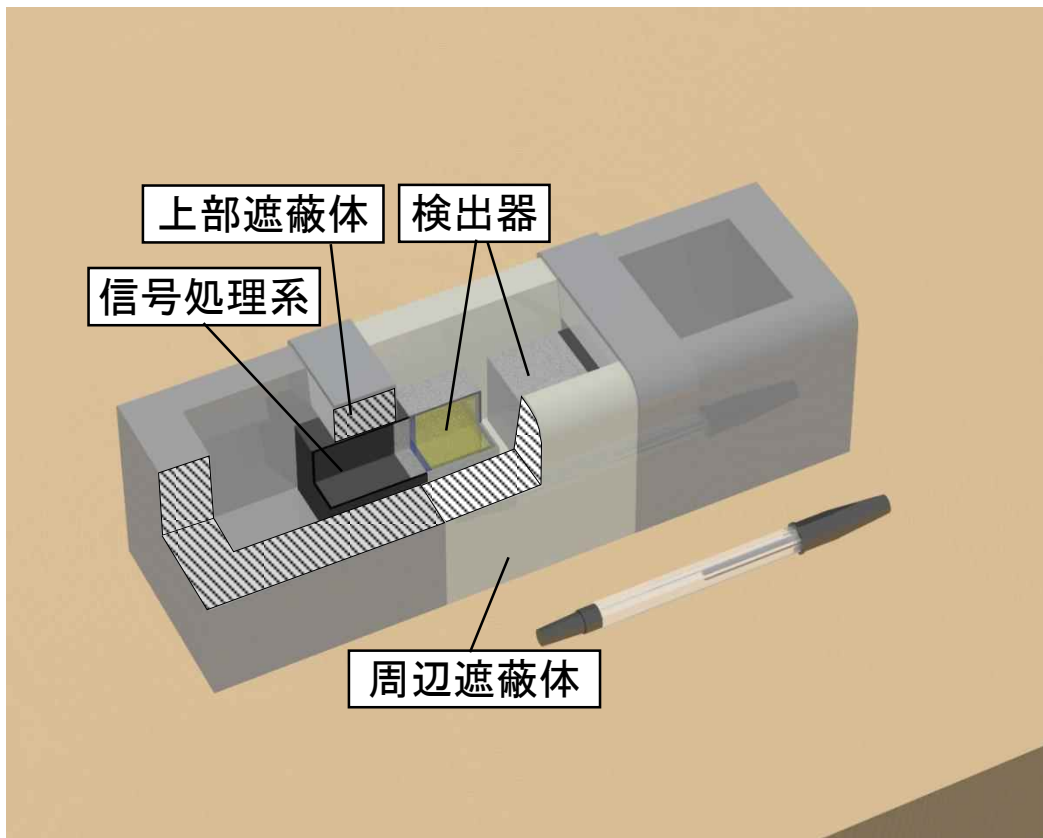
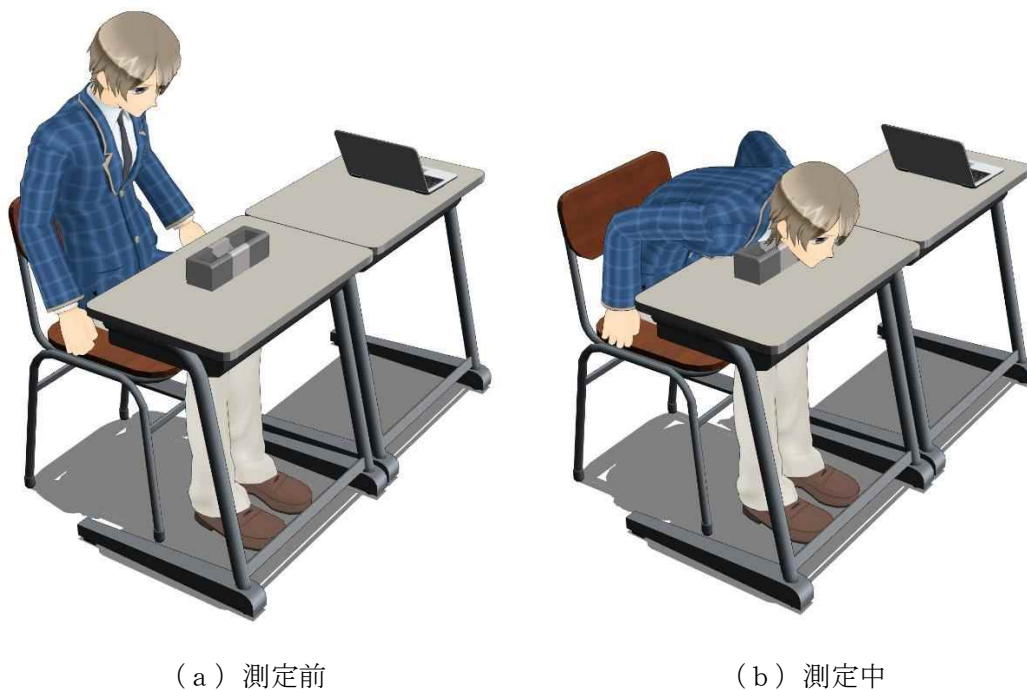


図 3-2-1 甲状腺モニタの概念図



(a) 測定前

(b) 測定中

図 3-2-2 甲状腺モニタによる測定のイメージ

### 3. 3 平成 30 年度の研究計画

当該甲状腺モニタの開発に必要な「①甲状腺モニタ測定器の開発」、「②高精度放射性ヨウ素定量法の開発」及び「③甲状腺モニタシステムの開発」の三つのテーマについて、平成 30 年度は以下の研究を実施した。

#### ① 甲状腺モニタ測定器の開発

以下の方法により、甲状腺モニタ測定器を試作するとともに、 $\gamma$ 線標準校正場を用いた高線量率下における測定性能評価を実施する。

平成 29 年度に選定した検出器 2 個（作業用については CdZnTe 検出器、公衆用についてはシンチレーション検出器をそれぞれ使用）及び最適化した材質・厚さの検出器遮蔽体を製作し、これらを組み合わせることにより作業用及び公衆用の甲状腺モニタ測定器を試作する。さらに、検出器の制御及び測定結果の解析に必要なソフトウェアを開発する。なお、検出器 2 個の内 1 個は、平成 29 年度に試験用に購入したものを流用する。また、検出器遮蔽体は作業用及び公衆用に共用できる設計とする。

$\gamma$ 線標準校正場において、甲状腺モニタ測定器の高線量率下における測定性能の試験を実施する。試験においては、側面等の一方向からの照射に加えて、電動回転テーブルを用いて $\gamma$ 線の入射方向を特定しない回転させた条件（ROT）での照射を実施する。

#### ② 高精度放射性ヨウ素定量法の開発

以下の方法により、性別、年齢、体格等による解剖学的な相違を考慮した頸部ファントムによる最適な定量法を開発する。

性別・年齢別ボクセルファントムで計算した結果を用いた体格補正方法を開発し、平成 29 年度に製作した 3 種類の年齢別頸部ファントムと  $^{133}\text{Ba}$  点線源を用いて①のテーマで試作した甲状腺モニタ測定器の計数効率を評価する。

さらに、甲状腺の大きさ、周辺組織の厚さ等の個人差が計数効率に与える影響を評価する。

#### 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を設計する。

#### 成果の公表及び情報収集

上述の研究により得られた成果については、原子力規制庁が開催する成果報告会（東京）、5th Asian and Oceanic IRPA Congress on Radiation Protection : AOCR-5（2018 年 5 月、オーストラリア）、5th European IRPA Congress（2018 年 6 月、オランダ）及び日本原子力学会 2019 年春の年会（2019 年 3 月、水戸）において報告するとともに、

国内、アジア太平洋地域及び欧州における放射性ヨウ素の測定に係る最新の知見を入手する。

## 4. 事業の成果

### 4. 1 甲状腺モニタの測定器の開発

#### 4. 1. 1 概要

一つ目の研究テーマである「①甲状腺モニタ測定器の開発」においては、平成 29 年度に最適化した材質及び厚さに基づいて設計した検出器用遮蔽体を試作し、同じく平成 29 年度に選定した検出器各 2 個と組み合わせることにより、甲状腺モニタ測定器を試作した。また、検出器を制御するとともに、測定された波高分布を解析して放射性ヨウ素を定量するためのソフトウェアを開発した。なお、検出器として、公衆用には高感度で、低い甲状腺等価線量の測定が可能な  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  シンチレーション検出器を、作業用にはエネルギー分解能が高く、周辺の線量が高い中でも測定が可能な  $\text{CdZnTe}$  半導体検出器を選定した。

次に、製作した甲状腺モニタ測定器の試作機について、 $\gamma$  線標準校正場を用いた高線量率下における測定性能の試験を実施した。当該試験にあたっては、高バックグラウンド環境を模擬するために、電動回転テーブルを利用して遮蔽体を含めた試作機全体を連続的に回転させ、周辺から均一に照射した条件での照射を実施した。

#### 4. 1. 2 甲状腺モニタ測定器の試作

平成 30 年度に整備した、公衆用及び作業用検出器、シンチレーション検出器用信号処理用装置（平成 29 年度に整備した検出器 1ch 用の信号処理回路を検出器 2ch 用に改造）、検出器用遮蔽体及び検出器制御用ソフトウェアを組み合わせることにより、図 4-1-1 に示す甲状腺モニタ測定器を試作した。整備したそれぞれのコンポーネントの詳細を以下に示す。

##### 4. 1. 2. 1 公衆用及び作業用検出器

本事業において、平成 30 年度に追加で整備した公衆用及び作業用の甲状腺モニタ測定器に用いる放射線検出器（2 種類）の写真を図 4-1-2 に、寸法などの緒元を表 4-1-1 にまとめる。なお、平成 29 年度に整備した検出器各 1 個を流用し、同一型式のものを追加で購入することにより、試作に必要な各 2 個の検出器を整備した。

作業用として使用する  $\text{CdZnTe}$  半導体検出器には、同タイプの検出器では大型である  $1.5\text{cm}^3$  の有感体積を持つ RITECH 社製  $\mu\text{spec}1500$  を選択した。図 4-1-2 (a) の銀白色の筐体内に  $\text{CdZnTe}$  結晶が配置されており、高圧回路、プリアンプ、アンプ、多重波

高分析器等の信号処理回路は黒色の筐体内に収められている。そして、パーソナルコンピュータから USB ケーブルを介して給電及び制御が可能である。

公衆用として使用する  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーション検出器には、図 4-1-2 (b)に示す寸法 1 インチ立方の光学結晶が、外寸 30 mm×30 mm×30 mm のアルミニウム製筐体に収められている応用光研製の検出器を整備した。光学窓には、天然由来の放射性物質の混入が少ない合成石英が使用されている。 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーション検出器と組み合わせて用いる光電子増倍管には、立方体形状のシンチレーション検出器との接合を考慮して浜松ホトニクス製 H11934-300 を採用した。当該光電子増倍管は、光学結晶に近い 23mm×23mm の受光面を有しており、後述する検出器用遮蔽体に設置するうえで適した形状をしている。

#### 4. 1. 2. 2 シンチレーション検出器用信号処理装置

公衆用の甲状腺モニタ測定器で用いる  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーション検出器については、光電子増倍管に必要な動作電圧を供給するとともに、出力される信号を増幅・整形し、波高分布を取得するための信号処理装置が必要となる。平成 29 年度には、 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーション検出器 1 系統に高電圧を印加し、光電子増倍管のアノードから出力される信号を処理して波高分布を得られるシンチレーション検出器用信号処理装置（クリアパルス製 80403 型）を整備している。甲状腺モニタ測定器の試作機においては、2 個の検出器からの信号を同時に測定する必要があるため、平成 30 年度には、当該信号処理装置をクリアパルス製 80404 型に改造することにより、2 系統の  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーション検出器の制御・測定器に対応できるようにした。当該装置の写真を図 4-1-3 に、主な仕様を表 4-1-2 に示す。

#### 4. 1. 2. 3 検出器用遮蔽体

平成 29 年度に最適化した材質及び厚さに基づいて、図 4-1-4 及び図 4-1-5 に示す検出器用遮蔽体を試作した。十分な遮蔽効果が要求される一方、寸法の制限が厳しい頸部の上下方向の検出器有感部周辺及び検出器上部の遮蔽体については、遮蔽効果が高いことが確認されているタングステン合金<sup>1)</sup>を使用した。その他の部分については、鉛を使用することにより、全体の重量を軽減した。当初、検出器側面の遮蔽体については、底板とねじで固定する設計としていた。検出器の有感部から離れている鉛遮蔽体部分については、ねじを設置することによる遮蔽への影響は無視できるが、有感領域直近のタングステン合金製遮蔽体部分に遮蔽効果が低いステンレス製ねじを配置した場合、 $\gamma$ 線の入射角度によっては遮蔽効果が低い箇所が生じてしまうことが判明した。そこで、図 4-1-5 の断面図に示すように、側面の遮蔽をステンレス製の板で両側を挟み込み、鉛遮蔽体部分において

ボルトとナットでこのステンレス製の板をしっかりと固定することにより、タングステン合金部分にねじを配することなく、側面遮蔽を固定する方法を考案した。

#### 4. 1. 2. 4 検出器制御用ソフトウェア

甲状腺モニタ測定器の試作機では、2個の検出器を同時に制御し、波高分布を測定するとともに、当該波高分布を解析することにより甲状腺に蓄積された放射性ヨウ素を定量する必要がある。このために、Windows PC上で動作する検出器制御用ソフトウェアを製作した。当該ソフトウェアでは、作業用用の2台のCdZnTe検出器(RITECH社製 $\mu$ spec1500)、又は、シンチレーション用信号処理回路(クリアパルス製80404型)に接続された公衆用の2個のLaBr<sub>3</sub>(Ce)シンチレーション検出器を同時に制御し、それぞれの検出器からの波高分布を測定できる。CdZnTe検出器2台を同時に制御して、波高分布を測定したときのソフトウェア画面の例を図4-1-6に示す。測定されたそれぞれの波高分布が上下に表示され、図4-1-7に示すように任意のチャンネルに設定した関心領域(ROI)のピーク計数及び統計誤差や検出下限値などの情報が右側に表示される。公衆用のLaBr<sub>3</sub>(Ce)シンチレーション検出器と作業用用のCdZnTe検出器は、図4-1-8に示すコンボボックスでグラフィカル・ユーザー・インターフェイス(GUI)上から容易に選択することができる。関心領域(ROI)については、図4-1-9に示すように最大3つまでの領域を波高分布上のピークを参照しながらGUI上で容易に設定することができる。ピーク計数については、コベル法<sup>2)</sup>によりベースラインの計数を差し引いて自動的に解析され、メイン画面の右側に表示される。それぞれの領域について、ピーク計数から甲状腺の放射能への換算係数と放射能から甲状腺等価線量への換算係数を設定することにより、甲状腺に蓄積された放射能と等価線量がリアルタイムで表示される。波高分布を含む測定結果は、測定開始時刻、測定時間(ライブタイム/リアルタイム)、被検者ID等の測定に係る基本情報とともにファイルに出力して保存することができる。また、後日、測定結果を読み込み、評価条件を変更して再解析・再出力することが可能である。



#### 4. 1. 3 甲状腺モニタ測定器（試作機）の特性試験

事故等緊急時においては、放射性物質により周辺が汚染された高バックグラウンド線量率の環境の下で甲状腺モニタ測定器が使用されることが想定される。そこで、試作した甲状腺モニタ測定器について、高線量率環境下における測定性能を評価するために、 $\gamma$ 線標準校正場において特性試験を実施した。高バックグラウンド線量率の環境下では、全方位から測定器にバックグラウンド放射線が入射することが想定されるため、図4-1-10に示すように電動回転テーブルに試作した甲状腺モニタ測定器を設置して、一定速度（1回転/分）で回転させることにより、全方位からの均一な照射を模擬した。 $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{60}\text{Co}$ 線源を使用して、周辺線量当量率が $20\mu\text{Sv/h}$ となる距離に甲状腺モニタ測定器の試作機を設置して照射を行った。測定時間は300秒（5分間）とした。

図4-1-11及び図4-1-12に、開口部から照射した場合（遮蔽なし）と、回転させることにより全方位から均一に照射した場合の波高分布を示す。図中の310~340チャンネル付近が $^{131}\text{I}$ からの364keV $\gamma$ 線の光電ピーク領域に該当する。この364keV $\gamma$ 線よりも高いエネルギーのバックグラウンド放射線が遮蔽体を透過して放射線検出器に入射した場合、図4-1-11（ $^{137}\text{Cs}$ 線源）及び図4-1-12（ $^{60}\text{Co}$ 線源）に示す波高分布の例のように、364 keV ピーク付近にバックグラウンド信号として計数されることがある。目的とする $\gamma$ 線ピークの計数に対してこのバックグラウンド計数が大きくなった場合、ピークの定量に影響を与えることがある。そこで、このバックグラウンド計数から次式を用いて測定下限値を計算した<sup>3)</sup>。

$$DL = \frac{K}{\varepsilon} \left\{ \frac{K}{t_s} + 2\sqrt{\left(\frac{K}{t_s}\right)^2 + 4n_b \left(\frac{1}{t_s} + \frac{1}{t_b}\right)} \right\} \frac{CF_{thy}}{F} \dots \dots (1)$$

$DL$ ：甲状腺等価線量の定量下限値（mSv）

$K$ ：3

$t_s$ （ $= t_b$ ）：測定時間（sec）

$n_b$ ：バックグラウンド計数率（cps）

$\varepsilon$ ：甲状腺 $^{131}\text{I}$ 放射能当たりの検出効率

$CF_{thy}$ ：摂取放射能から甲状腺等価線量への換算係数\*（mSv/Bq）

$F$ ：摂取5日後の放射性ヨウ素の残留率\*

\* $1\mu\text{m}$ 粒子（作業者については $5\mu\text{m}$ 粒子）の1回吸入摂取条件での値  
高バックグラウンド線量率下（ $^{137}\text{Cs}$ 線源： $20\mu\text{Sv/h}$ 又は $^{60}\text{Co}$ 線源： $20\mu\text{Sv/h}$ ）における、甲状腺等価線量測定下限値を表4-1-3に示す。300秒（5分）の測定時間を確保できれば、高バックグラウンド線量率環境下においても甲状腺等価線量の評価下限値として10mSv以下が担保できることが分かった。また、線量係数が大きく最も評価が厳しい乳児を除けば150秒の測定時間で10mSvの評価下限値が担保できることが分かった。

表 4-1-1 本事業で購入した放射線検出器の仕様と  $^{133}\text{Ba}$  線源からの 356keV  $\gamma$  線に対する試験結果

検出器	CdZnTe	LaBr <sub>3</sub> (Ce)
原子番号	48/30/53	57/35
結晶寸法	1.5 cm×1.5 cm×0.75 cm	2.54 cm×2.54 cm×2.54 cm
有感体積[cm <sup>3</sup> ]	1.5	16
エネルギー分解能	2.8%	5.5%
$\gamma$ 線感度	0.39 cm <sup>2</sup>	1.9 cm <sup>2</sup>

表 4-1-2 シンチレーション検出器用信号処理装置の主な仕様

項目	仕様
コネクタ	信号入力及びテストパルス信号入力：BNC コネクタ 各 2 個 PMT 用 高圧出力（負極性）：SHV コネクタ 2 個 給電及び通信制御：USB Mini-B（ch1/ch2 共通）
波高分析器（PHA）	デジタルサンプリング方式：40Msps 10bit 変換ゲイン：256/512/1024 チャンネル データ幅：30 ビット/チャンネル システムゲイン：×0.5～×48 コースゲイン：×1～×32 ファインゲイン：×0.5～×1.5 入力極性：POS./NEG. 波形整形：台形波フィルタ Rise Time：0.5~60.0 $\mu$ s Flat Time：0.2~10.0 $\mu$ s
高圧電源	Ch1/ch2 共通 出力電圧：負極性 0 (OFF) / -100V~-1000V 出力電流：最大 0.5mA
通信	Ch1/ch2 共通 通信方式：調歩同期式 通信速度：119200bps USB 接続（仮想 COM ポート）

表 4-1-3 高バックグラウンド線量率 (20  $\mu$  Sv/h) 環境下における甲状腺等価線量の  
評価下限値 (mSv)

線源	測定時間	乳児	小児	成人	作業者
$^{137}\text{Cs}$	300 秒	8.62	4.82	1.42	2.36
	150 秒	12.20	6.83	2.02	3.35
$^{60}\text{Co}$	300 秒	6.21	3.48	1.03	1.68
	150 秒	8.80	4.93	1.45	2.39

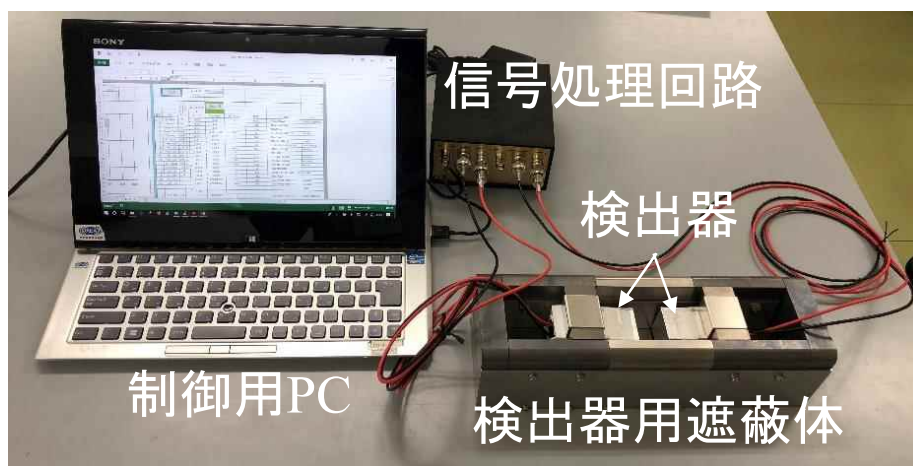
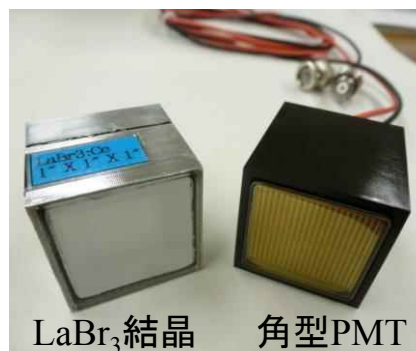


図4-1-1 甲状腺モニタ測定器の試作機



RITEC社製 μspec1500



LaBr<sub>3</sub>結晶 角型PMT

(a) CdZnTe 半導体検出器

(b) LaBr<sub>3</sub>(Ce)シンチレーション検出器

図4-1-2 本事業で購入した放射線検出器

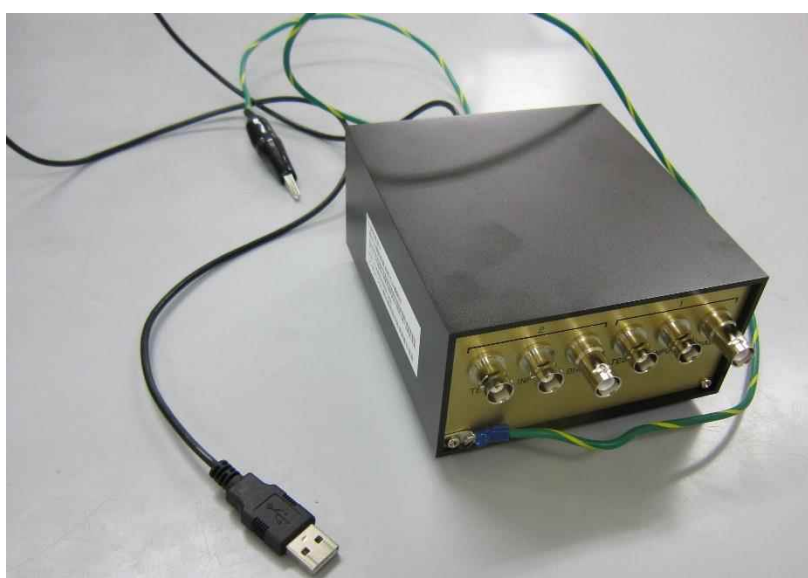


図4-1-3 シンチレーション検出器用信号処理装置 (クリアパルス製 80404 型)

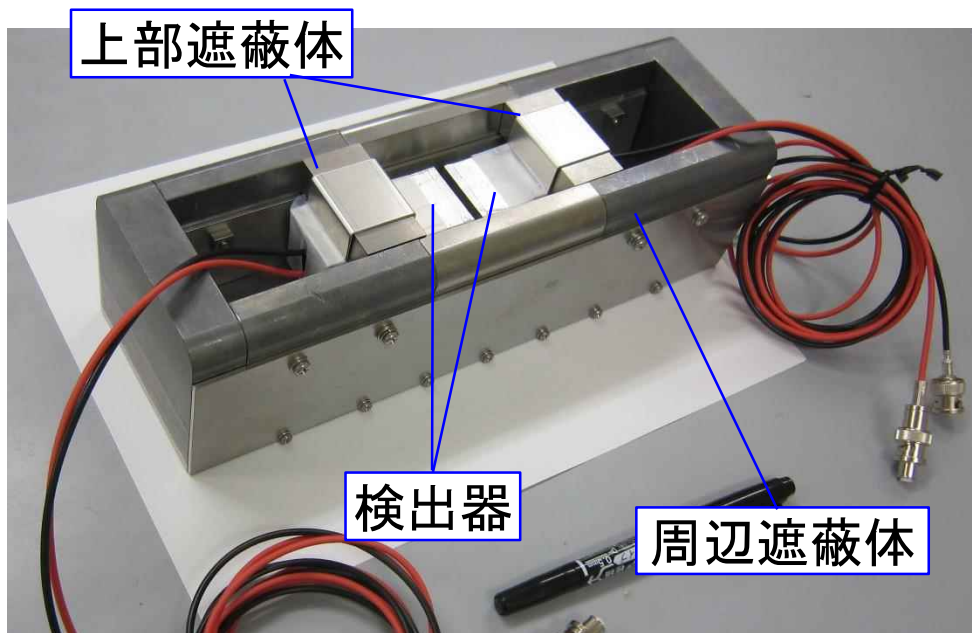


図 4 - 1 - 4 試作した検出器用遮蔽体

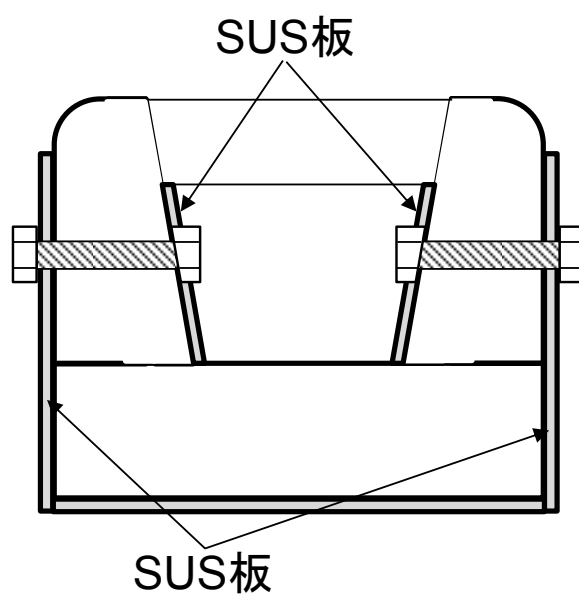


図 4 - 1 - 5 試作した検出器用遮蔽体の断面図

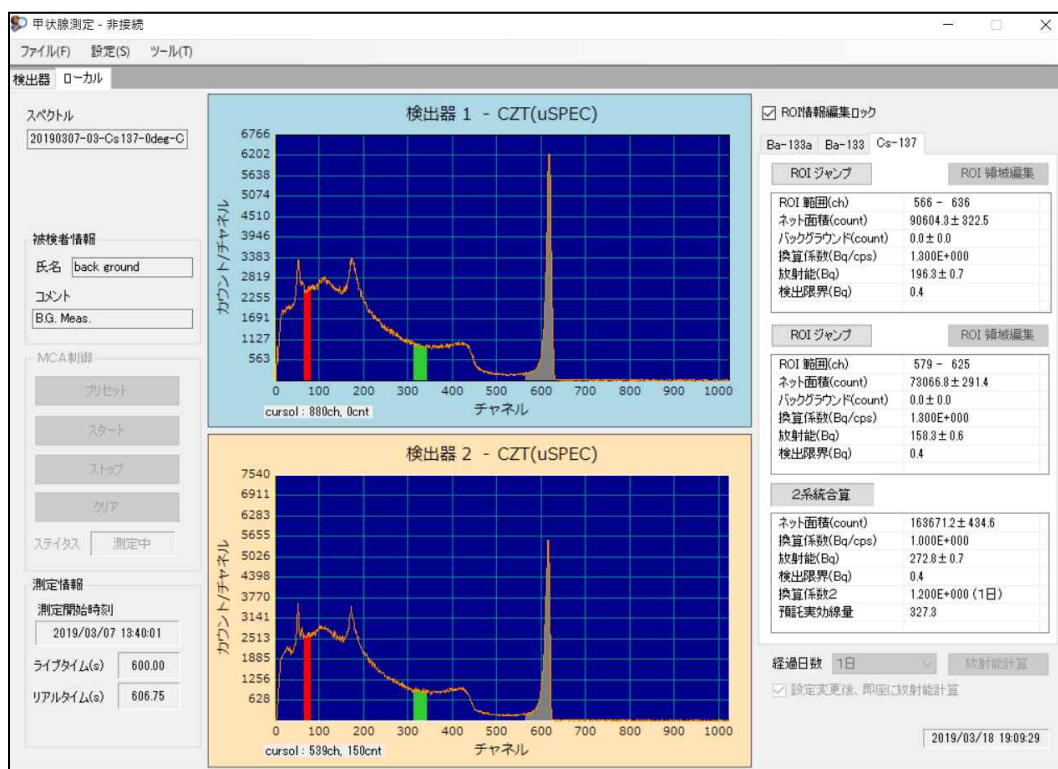


図 4-1-6 検出器制御用ソフトウェアのメイン画面



図 4-1-7 公衆用又は作業用検出器の選択画面

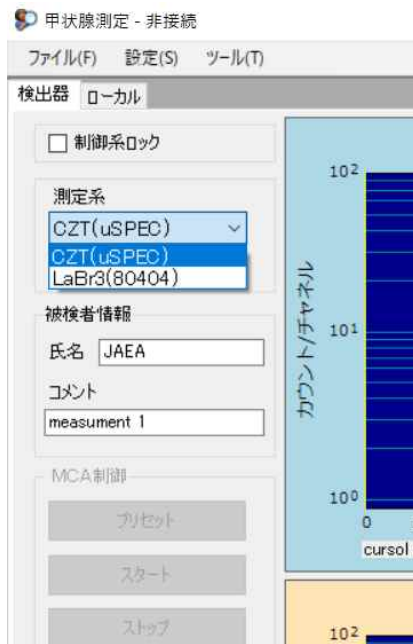


図 4 - 1 - 8 公衆用又は作業者用の検出器の選択画面

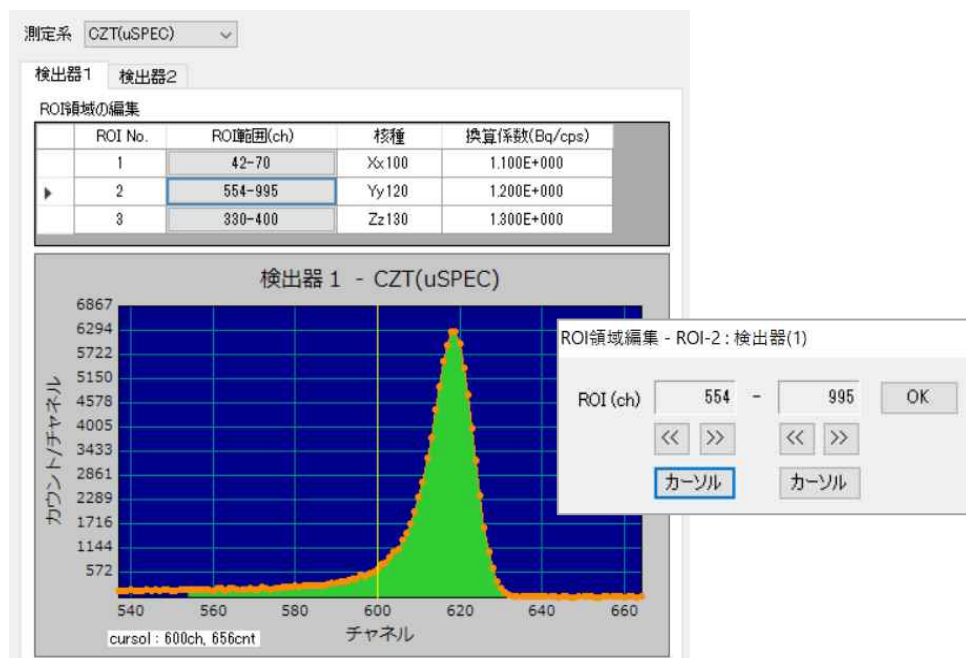


図 4 - 1 - 9 関心領域 (ROI) の設定画面

# 甲状腺モニタ測定器の試作機

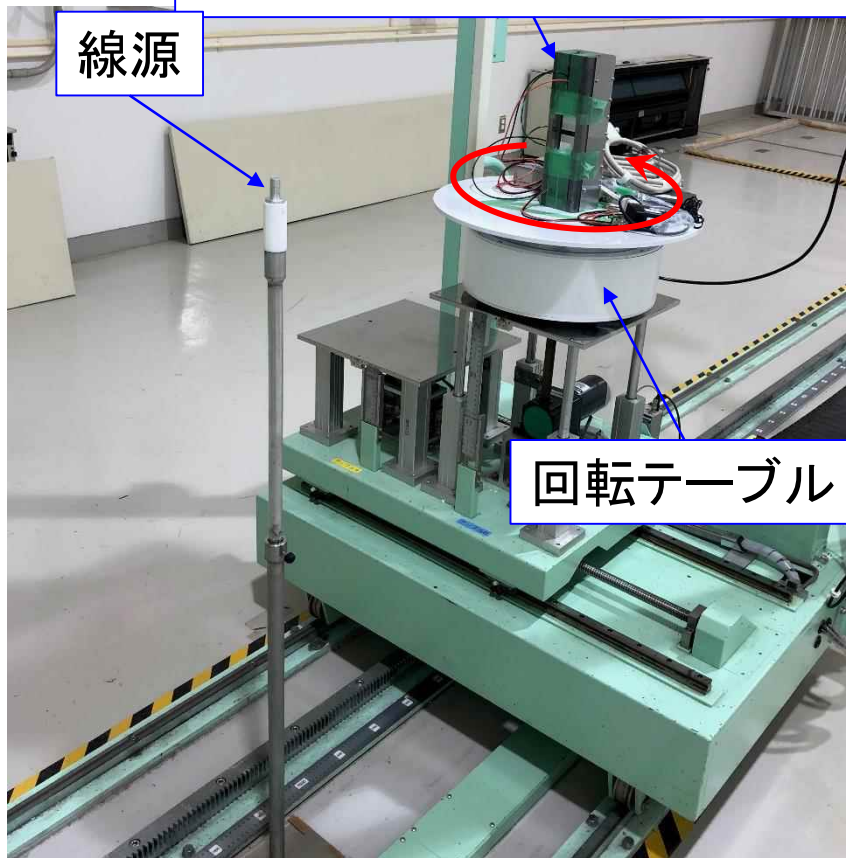


図 4 - 1 - 1 0  $\gamma$  線標準校正場における甲状腺モニタ試作機の実験



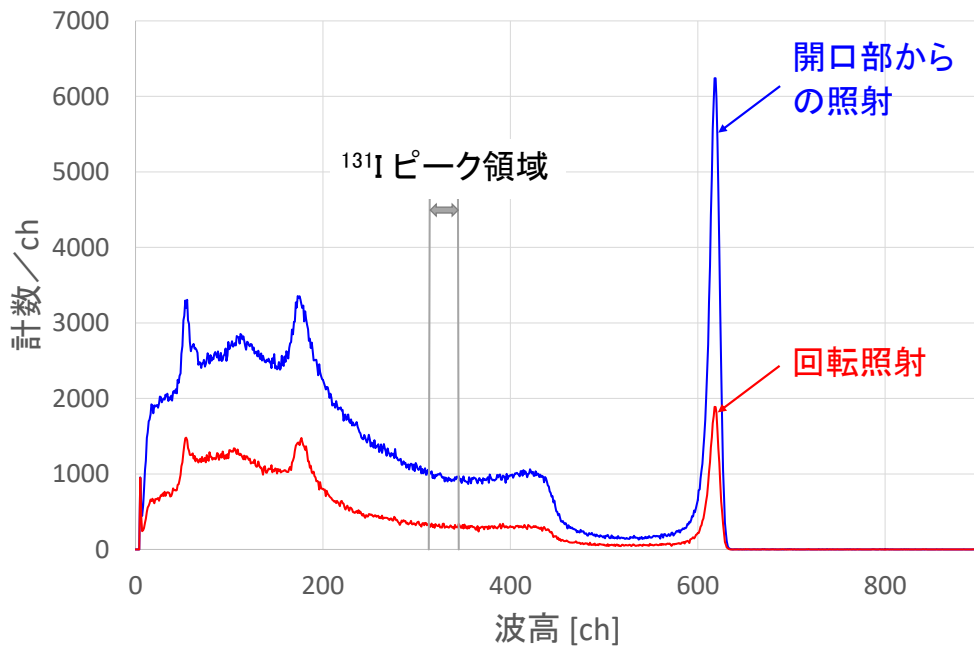


図 4-1-1-1  $^{137}\text{Cs}$  線源  $\gamma$  線標準場において測定した波高分布の例 (CdZnTe 検出器)。周辺線量当量率： $20 \mu\text{Sv/h}$

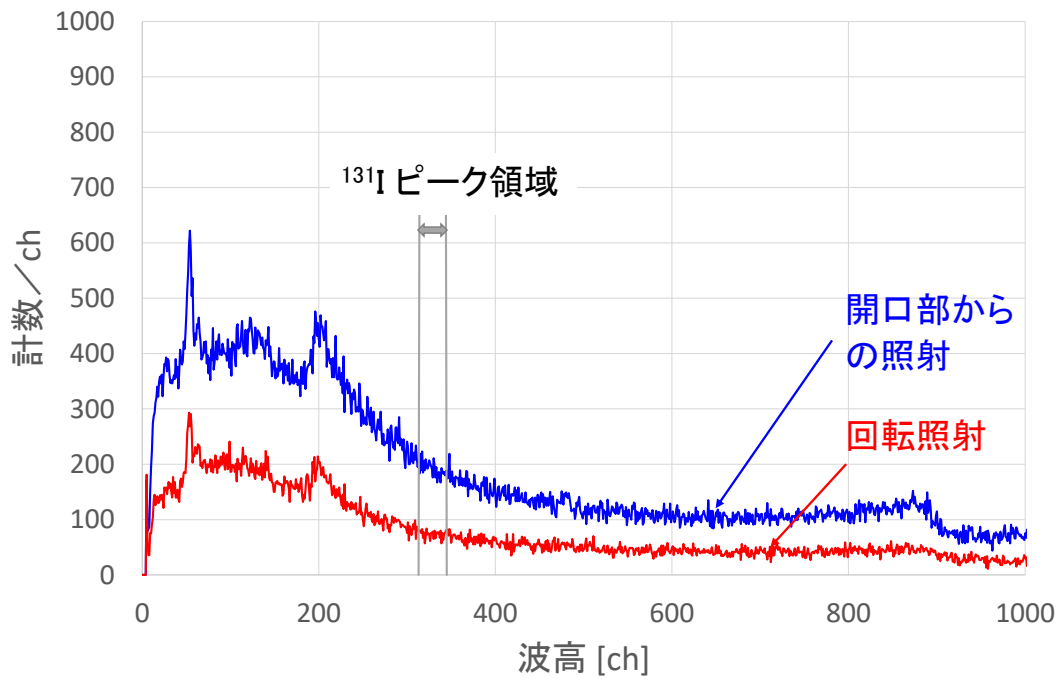


図 4-1-1-2  $^{60}\text{Co}$  線源  $\gamma$  線標準場において測定した波高分布の例 (CdZnTe 検出器)。周辺線量当量率： $20 \mu\text{Sv/h}$

## 4. 2 高精度放射性ヨウ素定量法の開発

### 4. 2. 1 概要

性別・年齢別ボクセルファントムで計算した結果を用いた体格補正方法を開発し、平成 29 年度に製作した 3 種類の年齢別頸部ファントムと  $^{133}\text{Ba}$  点線源を用いて、試作した甲状腺モニタ測定器の計数効率を評価した。また、甲状腺の大きさ、周辺組織の厚さ等の個人差について、様々な数値ファントムとこれを修正することによりシミュレーション計算上で模擬し、これが計数効率に与える影響を評価した。さらに、事故直後の周辺環境中に  $^{131}\text{I}$  が存在し、甲状腺モニタ測定器を用いた甲状腺モニタリングに影響する場合のバックグラウンド放射線の影響補正法を開発した。

これにより、性別、年齢、体格等による解剖学的な相違を考慮した頸部ファントムによる最適な定量法を完成させた。

### 4. 2. 2 甲状腺モニタ校正方法の開発

甲状腺モニタの校正は、従来、ORINS ファントム等を用いて行われてきた<sup>4)</sup>。しかし、これらのファントムは、 $^{131}\text{I}$  や  $^{133}\text{Ba}$  標準溶液線源を必要とすることに加えて、年齢群ごとに異なるサイズの溶液線源を多数用意する必要がある。開発する甲状腺モニタは、前述したとおり、原子力事故等の緊急時に指揮所や避難所に多数配備することを想定している。こうした甲状腺モニタを、緊急時に備えて維持管理していく上で、校正のための煩雑な線源管理が課題となっていた。また、校正に使用したファントムと公衆の様々な年齢層の実際の頸部や甲状腺の大きさや形状との違いによって、負荷量を過小評価することが指摘されてきた<sup>5)</sup>。

平成 29 年度の事業では、甲状腺モニタの校正のため、甲状腺を模擬した体積線源ではなく、より取り扱いが簡便な点線源と頸部ファントムを用いて校正する方法を開発した<sup>6)</sup>。この方法は、甲状腺やその周辺組織の解剖学的な知見を反映した年齢別の 3 体の標準ボクセルファントム (ICRP 成人男性標準ファントム<sup>7)</sup> (以下、「ICRP-AM」と表記する)、GSF 小児ボクセルファントム<sup>8)</sup> (以下、「CHILD」と表記する)、及び GSF 乳児ボクセルファントム<sup>8)</sup> (以下、「BABY」と表記する)。図 4-2-1 参照) を基にして、計数効率を実験的に評価するものである。平成 29 年度報告書<sup>6)</sup>では、1 つの  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  検出器に対して、ボクセルファントムの甲状腺内に均一分布する  $^{131}\text{I}$  線源からの 364 keV 放出光子あたりの計数効率と、等価な放出光子あたりの計数効率を与えるような簡易頸部ファントム中の  $^{133}\text{Ba}$  線源の位置 (代表点) を示した。本甲状腺モニタは、前述したとおり、遮蔽体に囲まれた 2 つの検出器により甲状腺内の  $^{131}\text{I}$  放射能を定量するものである。従って、本甲状腺モニタの校正も検出器ごとに行うよりも、2 つの検出器セットに対して行う方が望ましい。さらに、

平成 29 年度報告では、代表点を算出するのに、計算不確かさを考慮しておらず、また、作業用検出器として採用した CdZnTe 検出器に対する代表点も評価していなかった。そこで、本年度は、2 つの LaBr<sub>3</sub>(Ce) 検出器を内包する公衆用（成人、小児、乳児）及び 2 つの CdZnTe 検出器を内包する作業用の甲状腺モニタについて、平成 29 年度事業で決定した測定配置に対して代表点を求め、実際に製作した簡易頸部ファントム（図 4-2-2）と試作した甲状腺モニタを用いて計数効率を決定した。さらに、決定した計数効率と得られたスペクトルから、検出下限放射能を試算した。

(1) 代表点法

体積線源の代わりに、代表点に配置した点線源による校正は、放射線管理試料等に対する放射能測定器の効率校正法として用いられてきた<sup>9)</sup>。本手法は、これを応用して次のようにして、代表点を求めた。

- ① 各ボクセルファントム（ICRP AM、CHILD、BABY）の甲状腺内に均一分布する <sup>131</sup>I 線源から等方放出される 364 keV の光子に対して、ファントム前方の空間メッシュ（5 mm 刻み）の各点  $(i, j, k)$  における 364 keV 光子のフルエンス  $\Phi_{i,j,k}^{\text{voxel}}$  をモンテカルロ計算により算出（図 4-2-3 (a)）
- ② ①のそれぞれのボクセルファントムに対応する簡易頸部ファントム（成人、小児、乳児）をモデル化し、ファントム内の位置  $(x, y, z)$  に配置した <sup>133</sup>Ba 点線源から等方放出される 356 keV 光子に対して、ファントム前方の空間メッシュ（5 mm 刻み）の各点  $(i, j, k)$  における 356 keV 光子のフルエンス  $\Phi_{i,j,k}^{\text{point}}$  をモンテカルロ計算により算出（図 4-2-3 (b)）
- ③ ②において、<sup>133</sup>Ba 点線源を簡易頸部ファントム内で動かし、それぞれの位置  $(x, y, z)$  に対して、以下で定義される  $d$  を算出。ここで、 $(i, j, k)$  の和は、配置する甲状腺モニタの検出器領域  $V$  にわたって行った。 $d$  は、モンテカルロ計算における統計誤差を加味して、検出器領域にわたってボクセルモデルと簡易頸部モデルでの計数効率の一致度を表したものであり、小さいほど、一致度は高い。

$$d = \sqrt{\sum_{i,j,k \in V}^n \left[ \left( \frac{\Phi_{i,j,k}^{\text{point}} - \Phi_{i,j,k}^{\text{voxel}}}{\Phi_{i,j,k}^{\text{voxel}}} \right) / u_{i,j,k} \right]^2 / \sum_{i,j,k \in V}^n \frac{1}{u_{i,j,k}^2}} \dots \dots (2)$$

$n$  : 検出器領域  $V$  内のメッシュ数

$u_{i,j,k}$  : モンテカルロ計算における統計誤差から求めた  $(\Phi_{i,j,k}^{\text{point}} - \Phi_{i,j,k}^{\text{voxel}}) / \Phi_{i,j,k}^{\text{voxel}}$  の不確かさ

- ④ ③で評価した  $d$  が最小となるときの簡易頸部ファントム内の <sup>133</sup>Ba 点線源の位置  $(x_r, y_r, z_r)$  が、代表点である。

モンテカルロ計算には、PHITS 2.8.8 (EGS モード) コード<sup>10)</sup>を使用した。まず、本手法の妥当性を検証するために、甲状腺を模擬した体積線源を持つ ORINS ファントムに対して本手法を適用した。ORINS ファントムをモデル化し、1 インチ立方の LaBr<sub>3</sub>(Ce) 検出器 1 個に対して、成人用簡易頸部ファントム内の代表点を求めた。決定した代表点に <sup>133</sup>Ba 点線源を挿入し 356 keV 光子に対する計数効率を実験的に評価した。一方で、ORINS ファントムに対して、同様の条件で計数効率を直接評価し、両者を比較した。実験の様子を図 4-2-4 に、得られた計数効率を表 4-2-1 に示す。両者の差異は 8% であり、不確かさの範囲内で一致したことから、本手法の妥当性を検証することができた。

### (2) 計数効率の決定 (校正)

各ボクセルファントムと甲状腺モニタの組み合わせに対して、代表点位置を計算により求めた。基にしたボクセルファントムを用いて直接計算した計数効率と、代表点位置の点線源から計算した計数効率を比較したところ、その差は 5% 以内であり、適切に代表点を選定されていることが確認できた (表 4-2-2 及び表 4-2-3)。次に、簡易頸部ファントム内の決定した代表点位置に <sup>133</sup>Ba 点線源を挿入して、試作した甲状腺モニタの応答を測定し、そこから代表点法を用いて <sup>131</sup>I の 364 keV 光子に対する計数効率を評価した (図 4-2-5)。代表点位置とともに、実測により得られた計数効率を表 4-2-2 及び表 4-2-3 に示す。

### (3) 検出下限放射能の試算

得られた計数効率と、茨城県東海村にある日本原子力研究開発機構原子力科学研究所構内の屋内で得られたバックグラウンドスペクトルを用いて、バックグラウンド放射線がない状況での <sup>131</sup>I の検出下限放射能を試算した (表 4-2-4)。検出下限放射能は (1) 式を用い、測定時間は 150 秒として算出した。さらに、算出した検出下限放射能から、検出下限甲状腺等価線量を評価した。等価線量評価において仮定した条件とともに、結果を表 4-2-5 に示す。また、364 keV の光電ピークの計数について、150 秒の測定でその統計精度が 10% 以下となる放射能及び甲状腺等価線量を評価した結果を表 4-2-4 及び表 4-2-5 に示す。この結果より、10mSv 以下の甲状腺等価線量の評価が可能であることが分かった。なお、10% という統計精度は、甲状腺周辺組織の個人差や被検者の位置ずれによる不確かさと比べて十分小さい。

これにより、点線源と簡易的なアクリル製ファントムを使用した、簡便かつ正確な甲状腺モニタの校正が可能になった。

#### 4. 2. 3 計数効率の不確かさの評価

前項で示した校正手法を用いることで、詳細な解剖学的特徴を反映した標準的な数値ファントムに基づいた甲状腺モニタの簡便な校正が可能になった。しかしながら、計数効率に影響を及ぼすと考えられる甲状腺体積や甲状腺前組織厚は年齢や性別、また個人により差異があることが指摘されている<sup>11),12)</sup>。また、被検者の甲状腺位置と甲状腺モニタの位置ずれによっても計数効率が変化する。欧州 CATHyMARA プロジェクト<sup>13)</sup>においても、甲状腺内に蓄積した放射性ヨウ素の測定における不確かさや偏差は、緊急時の測定であっても明らかにしておくべき、と勧告している。そこで、これらの影響を詳細に評価し、不確かさを評価（必要であれば、補正方法の検討も含めて）しておくことは重要である。

##### (1) 体格による不確かさ評価

甲状腺形状やその位置による計数効率の不確かさを評価するため、異なるボクセルファントムに対する甲状腺モニタの計数効率を計算評価した。評価に用いたファントムは、校正に用いた ICRP-AM とは性別や甲状腺形状などが異なる種類の成人ボクセルファントムを選んだ（表 4-2-6 参照）。表 4-2-6 には、甲状腺寸法の日本人男性平均値も同時に示したが、これらのファントム群で、概ね日本人平均はカバーしていると考えられる。検出器の応答計算は、モンテカルロコード PHITS 2.8.8 (EGS モード) を用い、各ボクセルファントムの甲状腺内に均一分布した  $^{131}\text{I}$  からの 364 keV 光子に対して行った。計算体系の中で、頸部表面と検出器表面の距離は 2.5 cm に固定した（図 4-2-6 及び図 4-2-7）。公衆用甲状腺モニタ（2つの  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  検出器を内包）に対して、ICRP-AM の計数効率で規格化した、各ボクセルファントムの計数効率を図 4-2-8 に示した。校正は代表点法を用いて ICRP-AM ファントムに基づいて行われるので、首径が大きく甲状腺前組織厚が厚い Otoko ファントムのような被検者を測定した場合は、甲状腺内の残留  $^{131}\text{I}$  放射能を 17% 過小評価する。一方で、JF-103 のように首径が小さく甲状腺前組織厚が薄い被検者を測定した場合は、24% 残留放射能を過大評価するものの、過小（過大）評価の程度は 25% 程度に留まることが明らかになった。また、これらの結果は、甲状腺の形状よりも甲状腺前組織厚が計数効率に大きく影響している傾向が見られた。

そこで、甲状腺前組織厚及び甲状腺体積が計数効率に及ぼす影響を系統的に調べるために、ICRP-AM との差異が最大であった JF-103 ファントムを基に、甲状腺前組織厚及び甲状腺体積を改変したボクセルファントム群を作成した（図 4-2-9）。甲状腺前組織厚については、22 から 52 歳までの日本人成人に対して、非伸展位で  $5.5 \pm 1.1$  mm、伸展位で  $3.9 \pm 0.8$  mm という報告がある<sup>12)</sup>。従って、甲状腺前組織厚を 1.8 mm（元の JF-103 ファントムの甲状腺前組織厚）から 11.8 mm まで変化させれば十分であると考えられる。甲状腺体積は、日本人で 14.3~19.2 g との報告があるが<sup>18)</sup>、福島県民健康調査において超音波検査から推定した甲状腺体積の下限は、18、19 歳の年齢群で数  $\text{cm}^3$  であったため<sup>11)</sup>、6.4

cm<sup>3</sup>から 19.7 cm<sup>3</sup>まで変化させた（元の JF-103 ファントムは 16.0 cm<sup>3</sup>）。

また、甲状腺体積は年齢とともに大きく変化するため、小児用甲状腺モニタの校正の基となる CHILD ファントム（7 歳児、4.7 cm<sup>3</sup>）の甲状腺体積を 1.1 cm<sup>3</sup>から 13.0 cm<sup>3</sup>まで変化させた（福島県民健康調査に基づく文献<sup>11)</sup>においては、3 歳～17 歳までの年齢群に対し、甲状腺体積は約 1 cm<sup>3</sup>から 15 cm<sup>3</sup>までの幅がある）。また、甲状腺前組織厚についても、1.5 mm（元の CHILD ファントムの甲状腺前組織厚）から 5.5 mm まで変化させた。乳児については、BABY ファントム（0 歳児（生後 8 週）、1.1 cm<sup>3</sup>）の甲状腺体積を 0.7 cm<sup>3</sup>から 3.0 cm<sup>3</sup>まで変化させた。これは、概ね文献<sup>11)</sup>で示された 0 歳～2 歳の年齢群の甲状腺体積の幅である。

これらのファントムに対する公衆用甲状腺モニタの<sup>131</sup>I からの 364 keV 光子の計数効率を計算評価した（図 4-2-10 から図 4-2-14）。被検者の甲状腺が頸部表面からどの深さに位置しているかについては通常は不明であるため、本甲状腺モニタを用いた測定は、頸部中心の頸部表面から検出器表面までの距離（2.5 cm）を一定にして行うこととしている。そのため、甲状腺組織厚の増加に伴い、甲状腺-検出器間の距離が大きくなり、計数効率は減少する。ただし、今回考慮した範囲内での計数効率の変化は、成人公衆用で 24 %、小児用で 23 %に留まっていた。また、甲状腺体積による変化は小さく、変化割合は成人公衆用で 5 %以内、小児用で 3 %以内であった。

以上のことから、甲状腺形状や甲状腺前組織厚の個人差による不確かさは、概ね 25 %程度である。欧州の CATHyMARA プロジェクト<sup>13)</sup>によると、頸部-検出器間距離が近い(< 5 cm)場合、校正用ファントムに起因する不確かさは 20-30 %になるとしており、本甲状腺モニタで評価した不確かさの大きさは許容できるとみなせる。

## （2）位置ずれによる不確かさ評価

平成 29 年度事業により、位置ずれの影響を受けづらくするように検出器配置を決定した。また、測定時の被検者の頸部を支持固定する治具によって、位置精度の向上を見込んでいる。しかしながら、被検者の甲状腺位置が正確には不明なこと、測定時の体動等によって校正時に想定したジオメトリと異なってしまう可能性が考えられる。そこで、本年度事業では、検出器周りの遮蔽体も含めて決定した甲状腺モニタ配置に対し、位置ずれによる計数効率の変化をモンテカルロ計算により評価した。

図 4-2-15 に示すように、ICRP-AM、CHILD、BABY のそれぞれに対して、鉛直方向、左右方向、前後方向に甲状腺モニタを移動させ、それによる計数効率の変化を評価した。結果を図 4-2-16 から図 4-2-18 に示す。鉛直方向に関しては、計数効率の変化は 13 %以内で、左右方向については、さらに小さく 4 %以内であった。前後方向に関しては、±5 mm の変化範囲内では、±20 %以内に収まっている。

欧州の CATHyMARA プロジェクトでは<sup>13)</sup>、頸部-検出器間距離が 10 cm の甲状腺モニタでは、5 mm のずれが±10 %の不確かさの原因になると報告されている。本モニタは、

頸部－検出器間距離を 2.5 cm で測定することを想定しており、また、頸部固定治具により前後方向の位置ずれの程度は小さいと考えられることを勘案すると、許容できる不確かさの範囲内であるといえる。

#### 4. 2. 4 バックグラウンド放射線の影響補正法の開発

事故直後の高バックグラウンド線量率の環境下において、開発した甲状腺モニタ測定器を使用する場合、被検者の甲状腺が配置される上方には遮蔽がないため、 $^{131}\text{I}$  から放出される  $364\text{ keV}$   $\gamma$  線について、被検者の甲状腺からの寄与と周辺環境からの寄与を弁別して測定することは原理的に不可能である。このため、周辺環境からの寄与のみを別途測定して、バックグラウンドとして差し引いて補正する必要がある。しかし、実際の測定時には、甲状腺モニタ測定器の上部に被検者が覆いかぶさるため、周辺環境からの  $\gamma$  線に対して被検者の頸部が一定の遮蔽効果を持つことになる。甲状腺モニタ測定器の上方に何も設置しない状態でバックグラウンド補正のための測定を実施すると、被検者による遮蔽効果が考慮されなくなるため、バックグラウンドの影響を過大補正することとなり、結果として甲状腺等価線量を過小評価することになる。正確な甲状腺等価線量の測定・評価のためには、被検者の頸部による遮蔽効果を考慮したバックグラウンド放射線の影響補正法の開発が必須となる。

そこで、数値ファントムを用いたモンテカルロシミュレーション計算により、被検者の頸部による遮蔽効果を考慮して適切にバックグラウンド放射線の影響を差し引くことができる補正法を開発した。

まず、被検者の遮蔽効果を評価するために数値ファントム（乳児、小児又は成人男性）と甲状腺モニタ測定器の試作機を組み合わせた計算体系を作成し、全方位から等方に  $^{131}\text{I}$  からの  $\gamma$  線が照射された場合の検出器の応答（ $364\text{ keV}$   $\gamma$  線の光電ピーク計数）を評価し、被検者及び検出器用遮蔽体がない場合の応答との比を評価した。使用した計算体系を図 4-2-19 及び図 4-2-20 に示す。計算には PHITS3.02 コードを EGS モードで使用した。 $^{131}\text{I}$  線源は、甲状腺モニタ測定器の検出器を中心とした半径  $40\text{cm}$  の球殻表面に設置した。なお、計算効率を向上させるために球殻の内側方向にのみ  $\gamma$  線が放出される条件で計算を行った。

被検者及び検出器用遮蔽体の両方がない場合の応答に対する比について評価した結果を図 4-2-21 に示す。検出器用遮蔽体のみの場合の比は約  $0.19$  であるのに対して、被検者の代わりに数値ファントムを上部に配した場合（図 4-2-20）の比は、乳児、小児及び成人男性に対してそれぞれ約  $0.10$ 、約  $0.082$ 、約  $0.049$  であった。この結果から、被検者の頸部による遮蔽効果で、 $^{131}\text{I}$  からの  $364\text{keV}$   $\gamma$  線の光電ピーク計数は、 $1/2$  から  $1/4$  に減少することが分かった。

甲状腺モニタシステムでは、測定器を校正するために円筒型 PMMA 製の簡易頸部ファントムを利用する。そこで、この簡易頸部ファントムを活用することにより、被検者自身による周辺環境からの  $\gamma$  線の遮蔽効果を、実測において模擬できる手法を考案した。まず、円筒型 PMMA 製簡易頸部ファントムを図 4-2-22 に示すような配置で甲状腺モニタ測定器の上部に配置した計算体系を作成した。そして、PHITS3.02 を用いて数値ファントム



の計算と同様に、 $^{131}\text{I}$  線源を甲状腺モニタ測定器の検出器を中心とした半径 40cm の球殻表面に設置して計算を行った。計算結果から導出した比を図 4-2-2 1 中に簡易ファントムとして示す。乳児については、成人用の簡易頸部ファントム（直径 13cm、高さ 12cm）の円筒側面が検出器に向く方向で設置した場合（図 4-2-2 2 (a)参照）に、遮蔽なしに対する比が約 0.10 となり、被検者頸部の遮蔽効果を模擬できることが分かった。小児については、成人用の簡易頸部ファントム（直径 13cm、高さ 12cm）の底面が検出器に向く方向で設置するとともに、2 個の検出器間距離を 4cm に近づけた場合（図 4-2-2 2 (b)参照）に、遮蔽なしに対する比が約 0.084 となり、被検者頸部の遮蔽効果を模擬できることが分かった。成人については、校正用とは別に円筒型 PMMA 製ファントム（直径 20cm、高さ 17cm）を作成して、その円筒側面が検出器に向く方向で設置した場合（図 4-2-2 2 (c)参照）に、遮蔽なしに対する比が約 0.051 となり、被検者頸部の遮蔽効果を模擬できることが分かった。

測定場所の周辺環境中に  $^{131}\text{I}$  が存在して、バックグラウンド計数として寄与する場合においても、上述の円筒型 PMMA 製簡易頸部ファントムを活用した測定を合わせて行い、被検者の測定結果から差し引くことにより、バックグラウンド放射線の影響を補正できる。

表 4-2-1 ORINS ファントムに対する LaBr<sub>3</sub>(Ce) 検出器の計数効率の比較

	(a) 代表点法	(b) 直接測定
計数効率 [cpm/photons · s <sup>-1</sup> ]	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.04

(k = 1)

表 4-2-2 公衆用の甲状腺モニタ (LaBr<sub>3</sub>(Ce) 検出器 2 個) に対して決定した代表点位置と測定により得られた <sup>131</sup>I の 364 keV 光子に対する計数効率

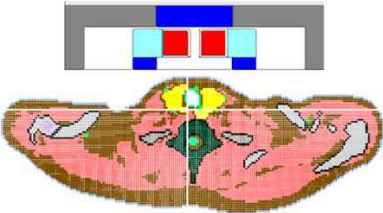
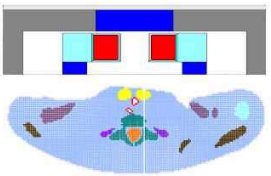
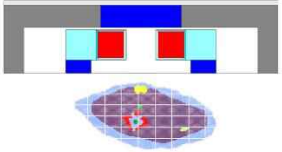
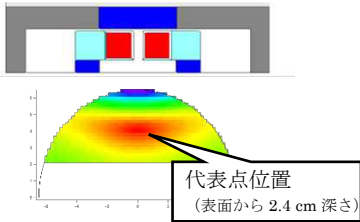
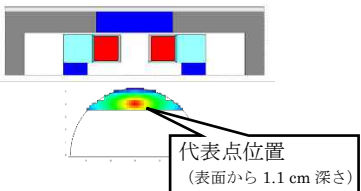
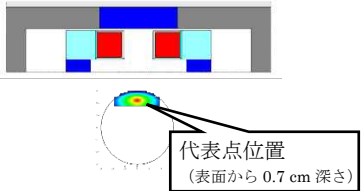
	成人	小児	乳児
ボクセルモデル (A)			
代表点位置 (B)			
直接計算による計数効率 比 (B) / (A)	1.6 %	0.2 %	4.0 %
計数効率 (cps/Bq)	$3.9 \times 10^{-3}$	$5.7 \times 10^{-3}$	$6.0 \times 10^{-3}$

表 4-2-3 作業用の甲状腺モニタ (CdZnTe 検出器 2 個) に対して決定した代表点位置と測定により得られた  $^{131}\text{I}$  の 364 keV 光子に対する計数効率

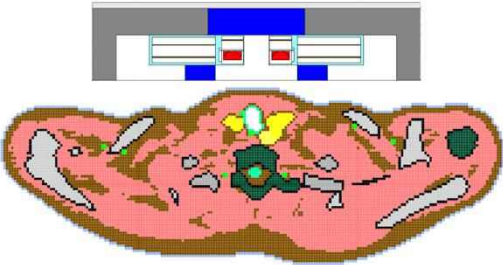
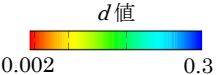
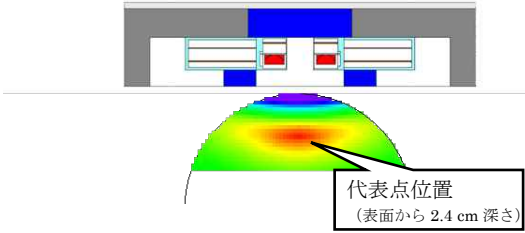
作業者	
ボクセルモデル (A)	
代表点位置 (B) 	
直接計算による計数効率	4.3%
差 (B) / (A)	
計数効率 (cps/Bq)	$9.3 \times 10^{-4}$

表 4-2-4 バックグラウンド放射線がない状況下での <sup>131</sup>I 検出下限放射能

	成人	小児	乳児	作業員
測定時間 (s)	150	150	150	150
検出下限放射能 (Bq)	102	70	66	206
測定精度が 10%以下となる放射能 (Bq)	171	117	111	714

表 4-2-5 バックグラウンド放射線がない状況下での検出下限甲状腺等価線量

	成人	小児	乳児	作業員
摂取形態	吸入	吸入	吸入	吸入
物理・化学形	粒子状	粒子状	粒子状	粒子状
評価対象	成人公衆	5歳児	3ヶ月児	作業従事者
5日後の甲状腺残留率*	$6.30 \times 10^{-2}$	$6.00 \times 10^{-2}$	$5.90 \times 10^{-2}$	$9.00 \times 10^{-2}$
甲状腺等価線量換算係数* (mSv/Bq)	$1.50 \times 10^{-4}$	$7.20 \times 10^{-4}$	$1.50 \times 10^{-3}$	$2.10 \times 10^{-4}$
検出下限甲状腺等価線量 (mSv)	0.24	0.84	1.7	0.48
測定精度が 10%以下となる等価線量 (mSv)	0.41	1.4	2.8	1.7

\*)IDEC<sup>19)</sup>により 1 μm 粒子 (作業員については 5 μm 粒子) の 1 回吸入摂取条件で計算した。

表 4-2-6 計数効率の比較に用いたボクセルファントム

	ICRP-AM	ICRP-AF <sup>7)</sup>	Otoko <sup>14)</sup>	Onago <sup>15)</sup>	JM-103 <sup>16)</sup>	JF-103 <sup>17)</sup>	(参考)日本人男性平均 <sup>12)</sup>
性別	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性
首 径 (cm)	14.3	13.0	14.5	12.0	14.5	11.7	11.8
甲状腺前組織厚 (cm)	0.85	1.06	1.59	0.80	1.20	0.18	0.55 <sup>*1)</sup>
甲状腺長 (cm)	5.00	4.84	4.00	3.00	4.80	3.50	4.8
甲状腺幅 (cm)	6.62	5.29	5.87	4.12	5.83	4.86	6.6
甲状腺厚 (cm)	2.99	2.48	1.98	1.96	2.54	2.87	1.3
甲状腺体積 (cm <sup>3</sup> )	19.2	16.3	9.5	5.5	19.1	16.0	17.1 <sup>*2)</sup>
備考	ICRP 成人男性 標準ボクセル ファントム	ICRP 成人女性 標準ボクセル ファントム	平均的日本人成 人男性ボクセル ファントム	平均的日本人成 人女性ボクセル ファントム	平均的日本人成 人男性精密ボク セルファントム	平均的日本人成 人女性精密ボク セルファントム	<sup>*1)</sup> 非伸展位 <sup>*2)</sup> 甲状腺の平均密度を 1.04 g/cm <sup>3</sup> として換算

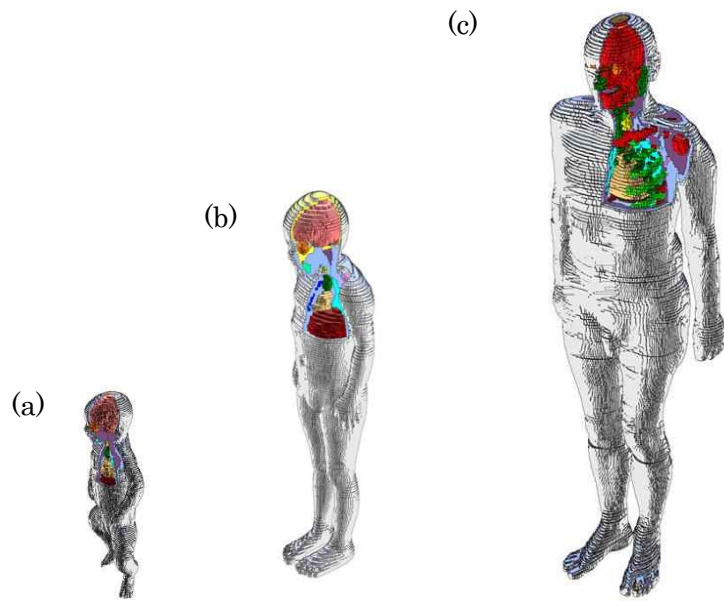


図 4-2-1 甲状腺モニタ校正に使用したボクセルファントム  
(a) BABY、(b) CHILD、(c) ICRP AM



図 4-2-2 甲状腺モニタ校正に使用した簡易物理ファントム (上)  
とファントムへの  $^{133}\text{Ba}$  点線源挿入の様子 (下)

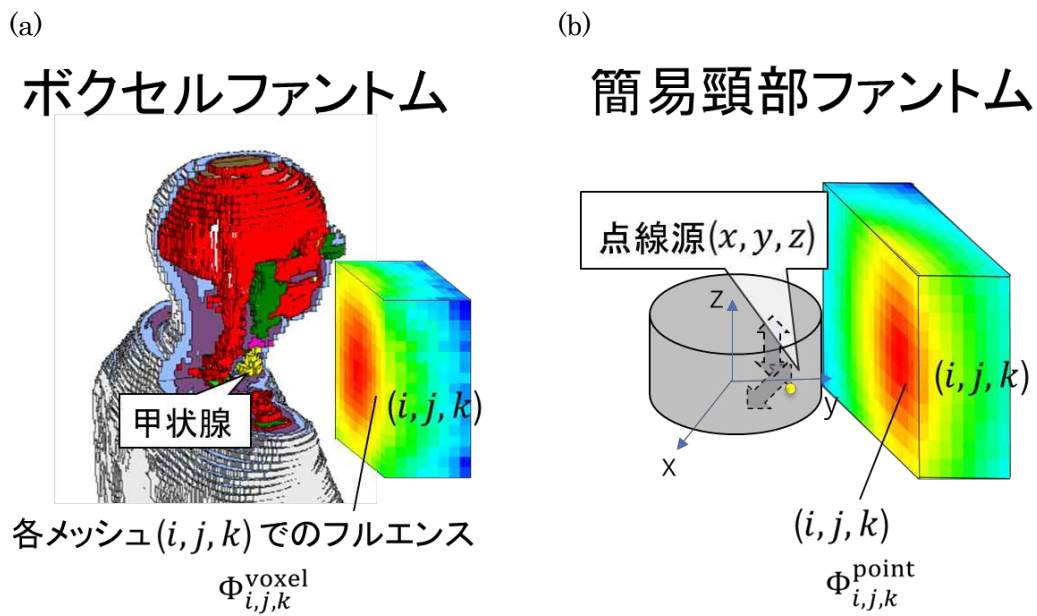


図 4-2-3 代表点を評価するための計算体系の例

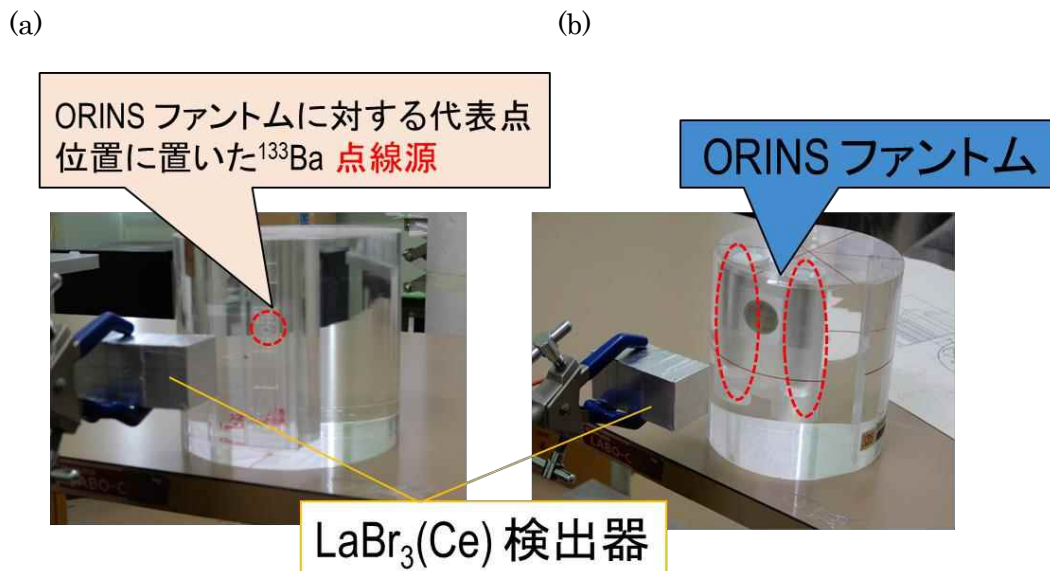


図 4-2-4 ORINS ファントムを用いた代表点法の妥当性検証実験の様子  
(a) <sup>133</sup>Ba 点線源 (代表点法)、(b) ORINS ファントム (直接測定)

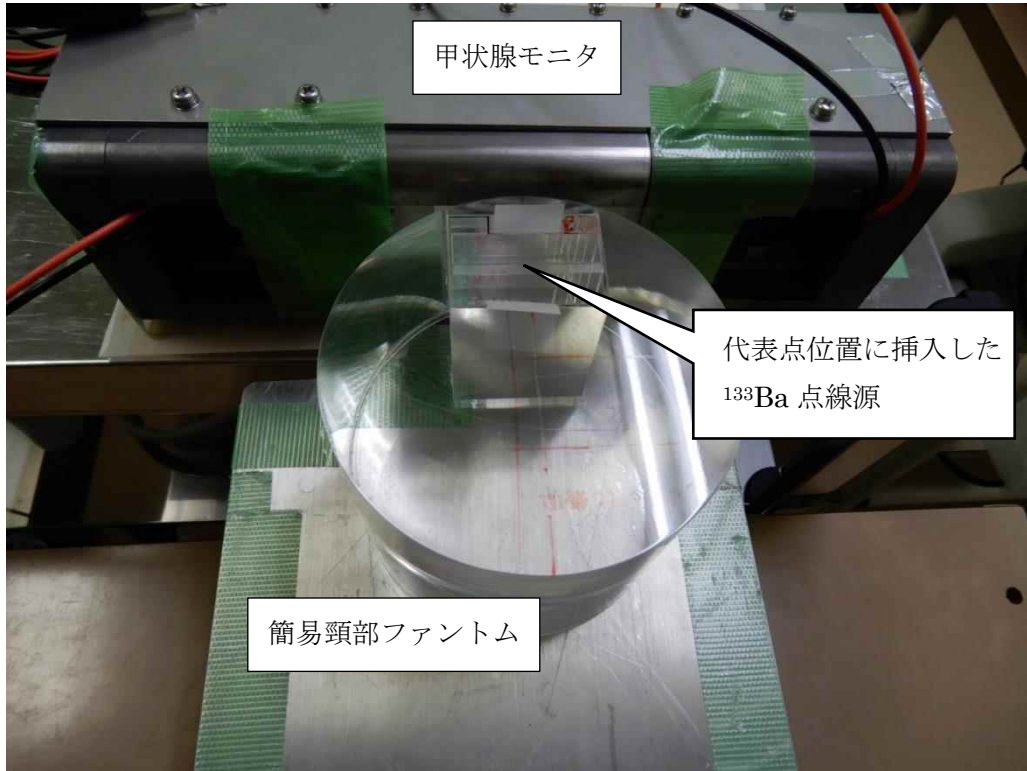


図 4 - 2 - 5 代表点法による甲状腺モニタの校正の様子  
(小児公衆用の甲状腺モニタ校正の例)



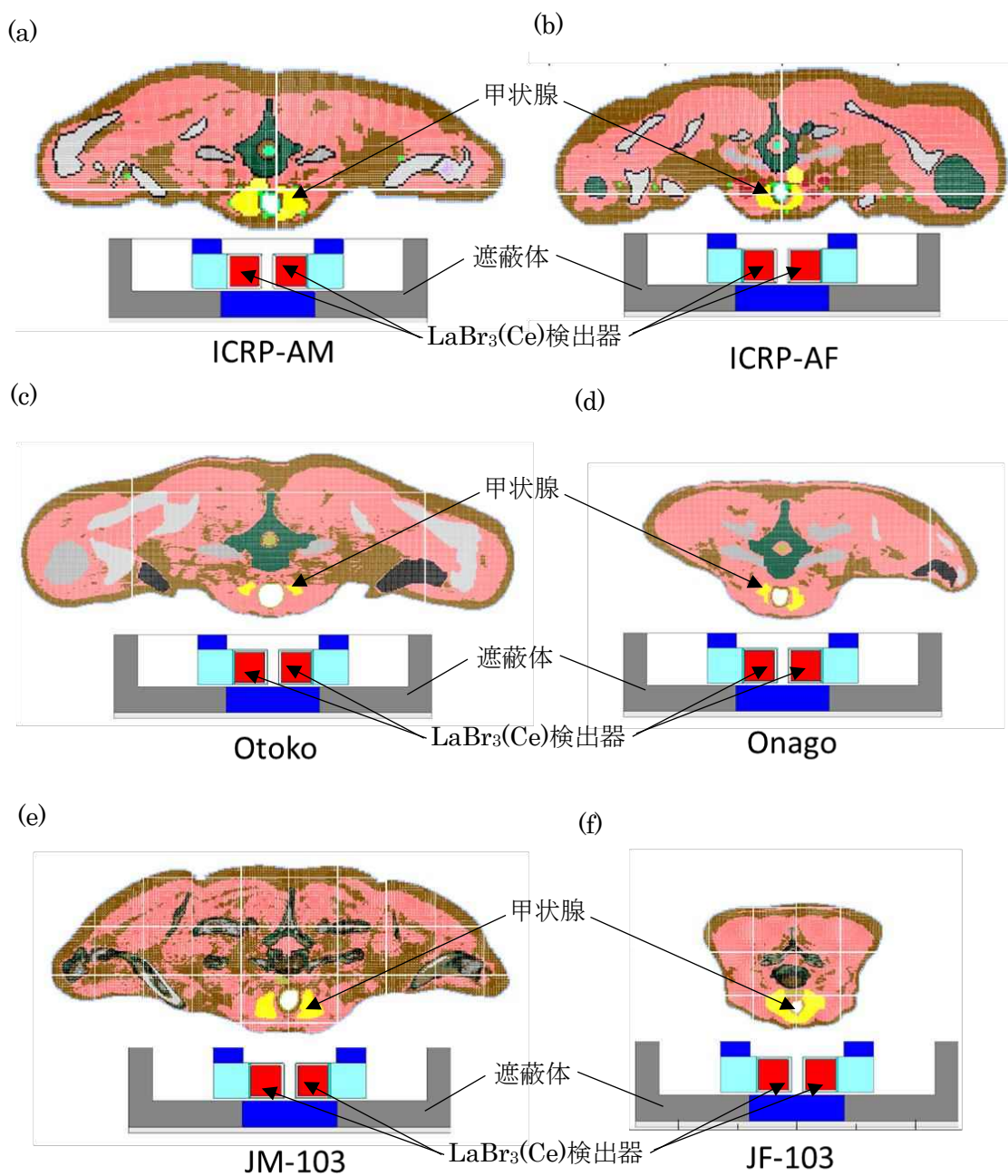


図4-2-6 異なるボクセルファントム間での計数効率評価に用いた計算体系

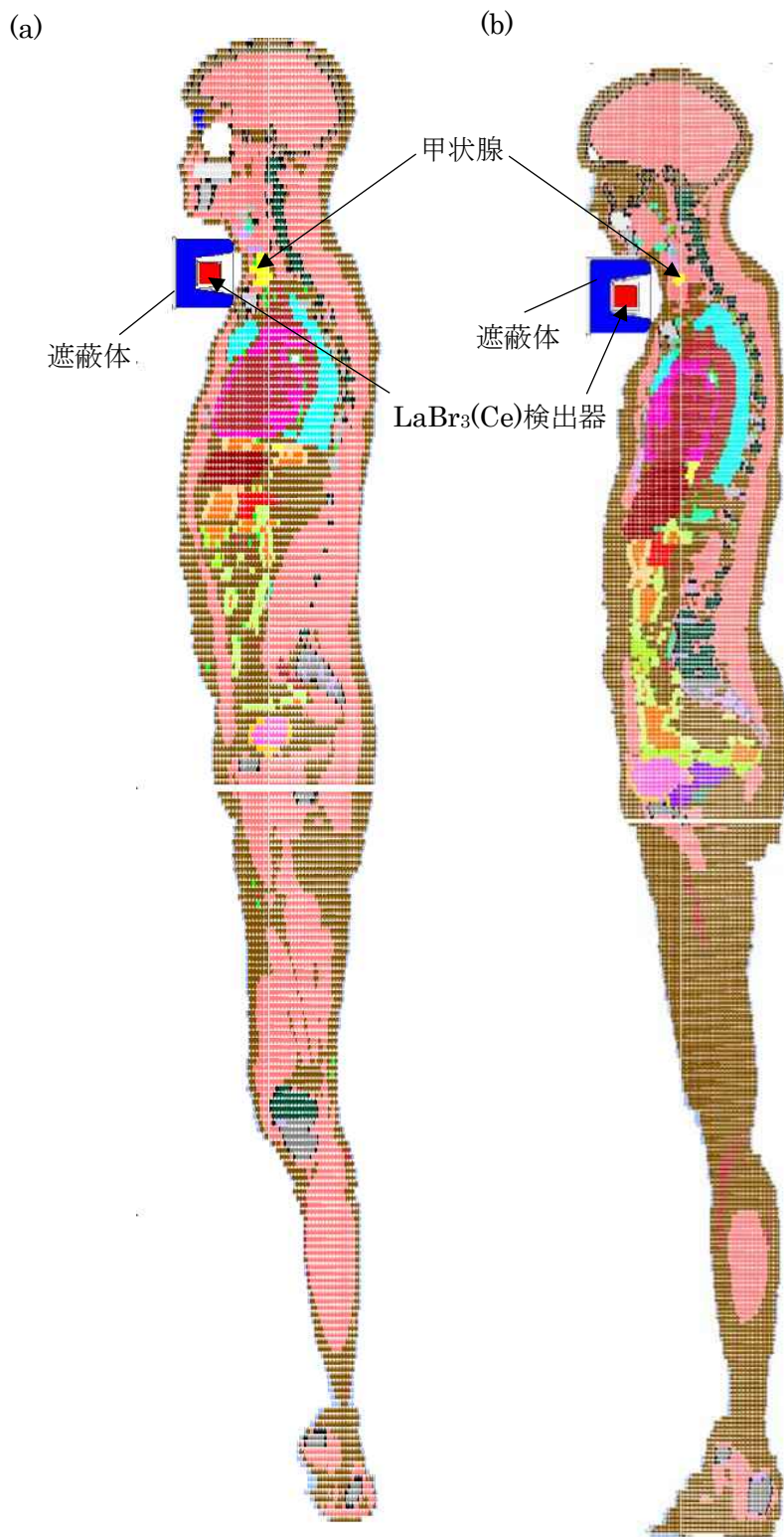


図4-2-7 計数効率評価に用いた計算体系（鉛直方向）  
 (a) ICRP-AM と(b) ICRP-AF の例

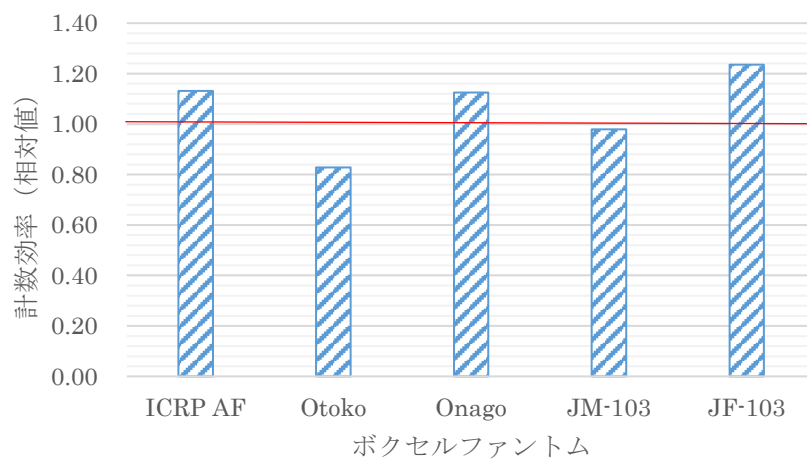


図 4-2-8 公衆用甲状腺モニタについて、異なるボクセルファントムでの計数効率 (ICRP AM の計数効率で規格化)

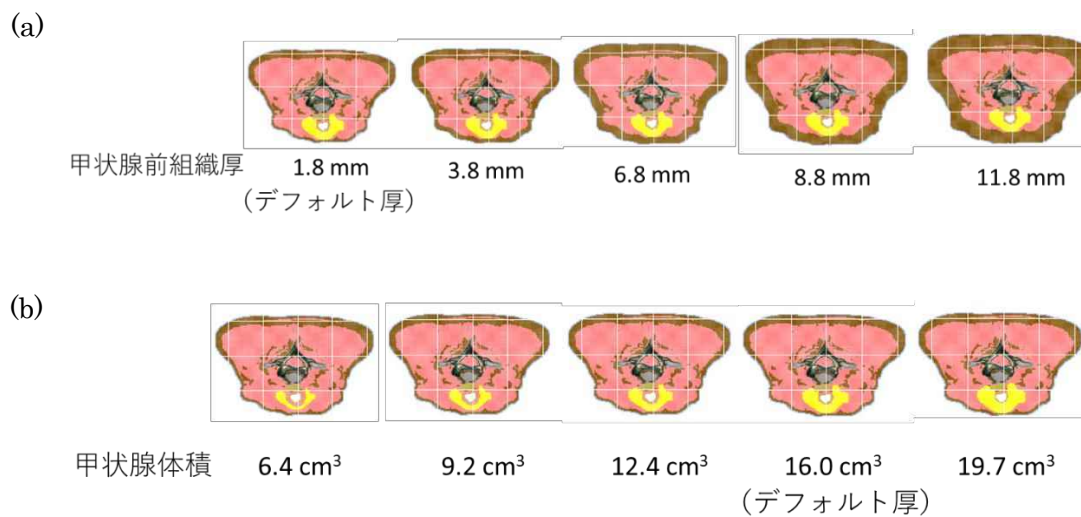


図 4-2-9 甲状腺前組織厚及び甲状腺体積を変化させた JF-103 ファントム

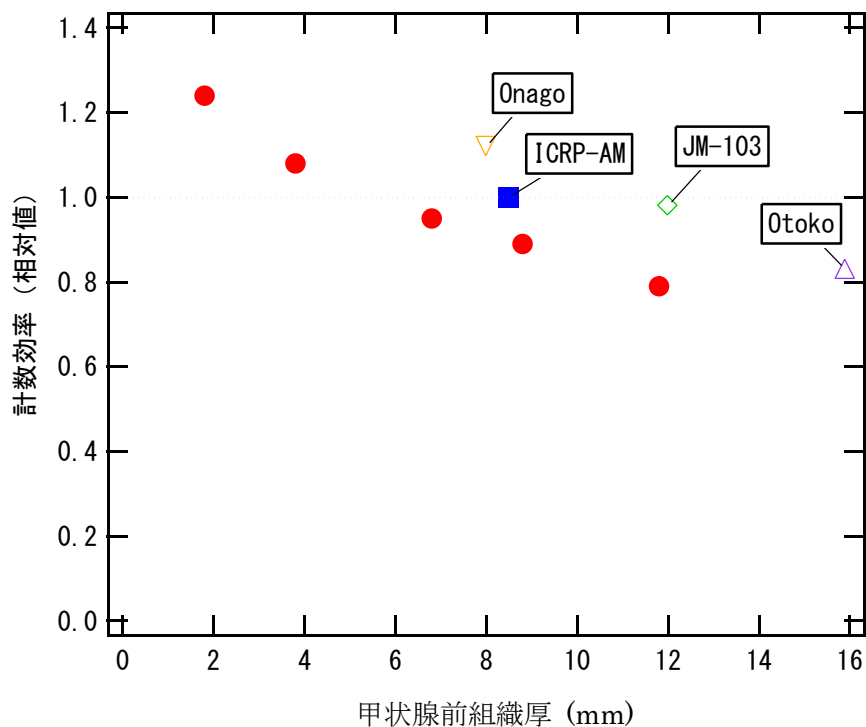


図4-2-10 JF-103ファントムの甲状腺前組織厚を変化させたときの計数効率の変化 (ICRP AM の計数効率で規格化。比較のため、他のボクセルファントムに対する計数効率 (図4-2-8) も同時に示した。)

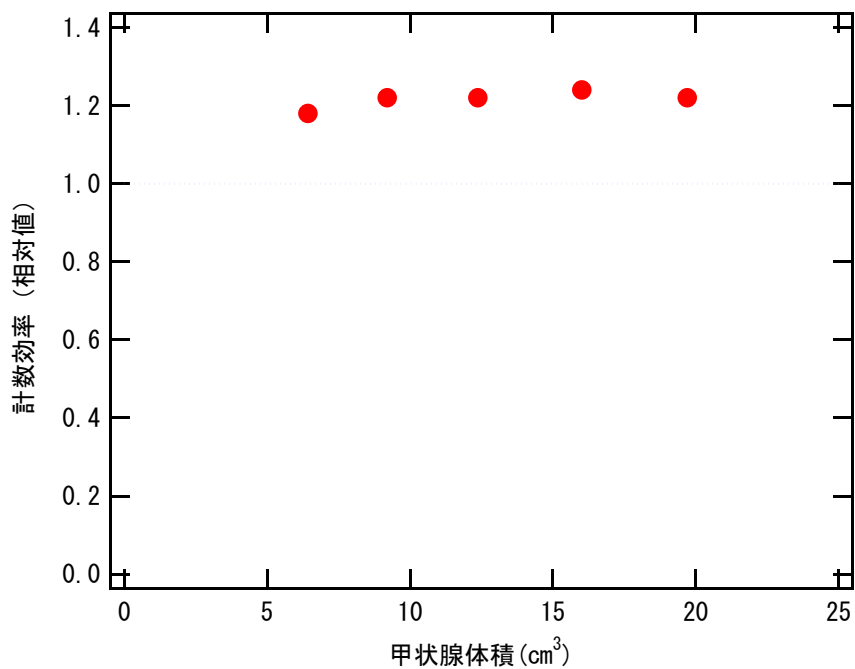


図4-2-11 JF-103ファントムの甲状腺体積を変化させたときの計数効率の変化 (ICRP AM の計数効率で規格化)

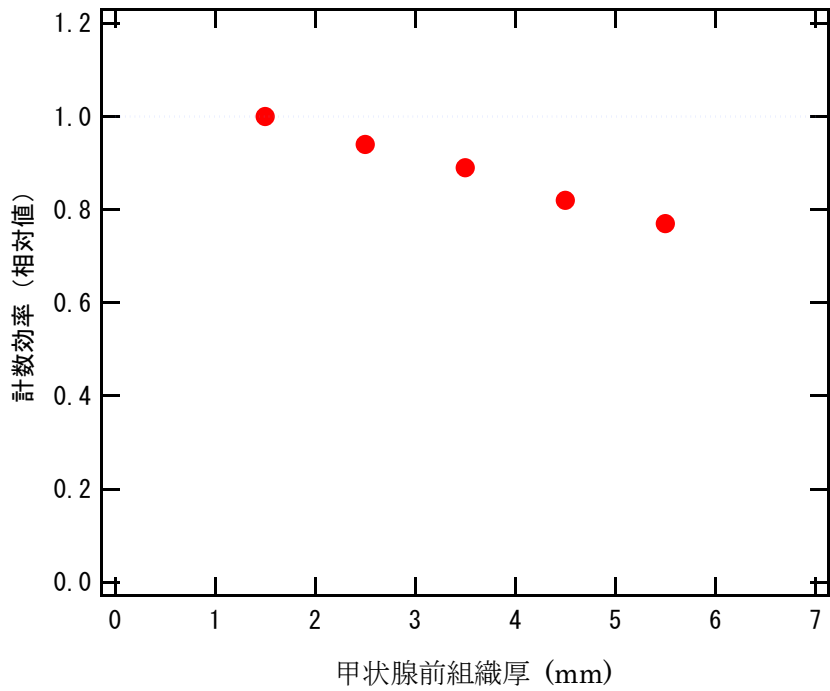


図4-2-12 CHILD ファントムの甲状腺前組織厚を変化させたときの計数効率の変化 (元の CHILD ファントムの計数効率で規格化)

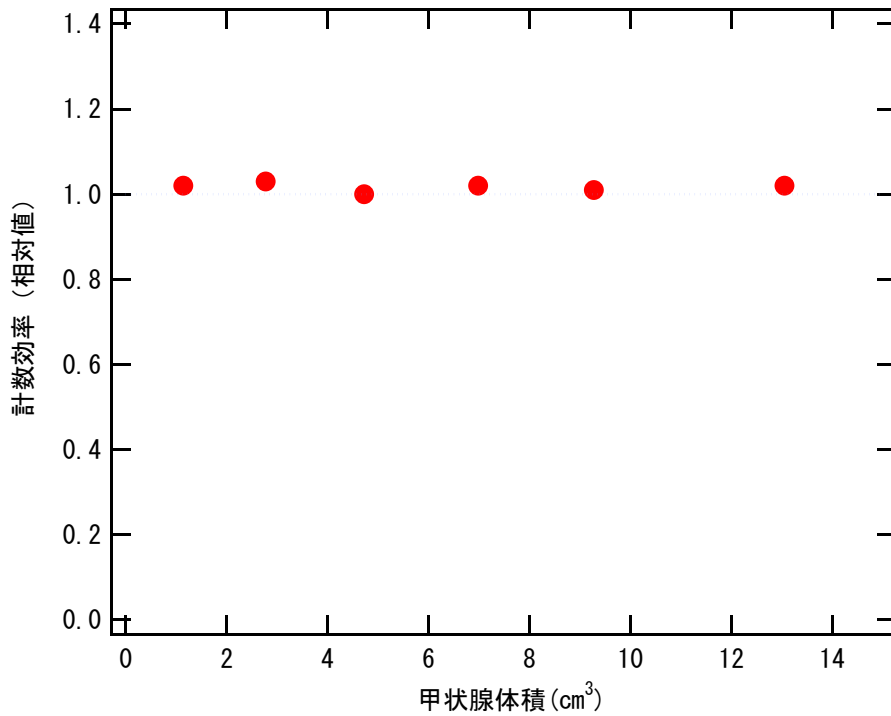


図4-2-13 CHILD ファントムの甲状腺体積を変化させたときの計数効率の変化 (元の CHILD ファントムの計数効率で規格化)

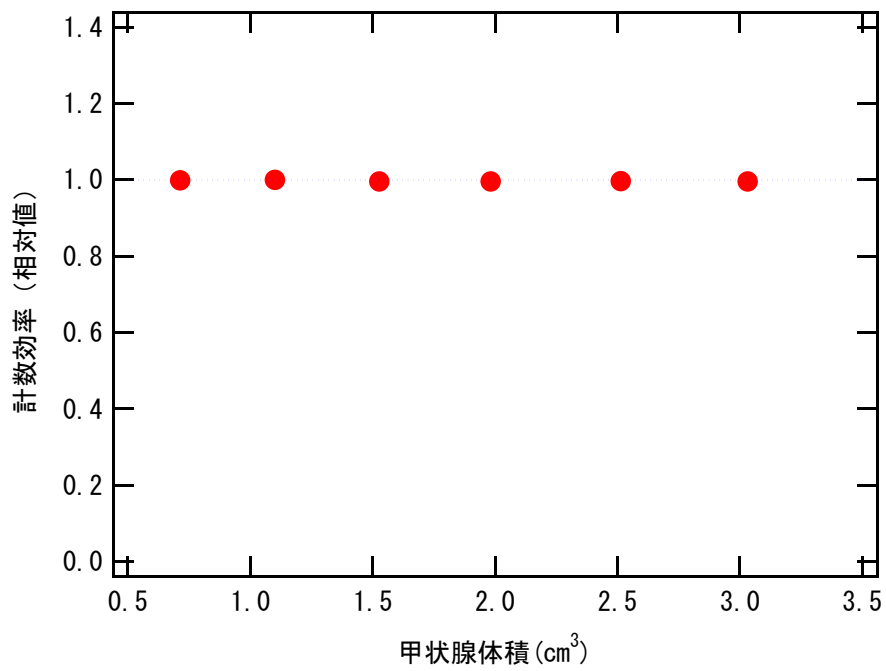


図 4-2-14 BABY ファントムの甲状腺体積を変化させたときの計数効率の変化 (元の BABY ファントムの計数効率で規格化)

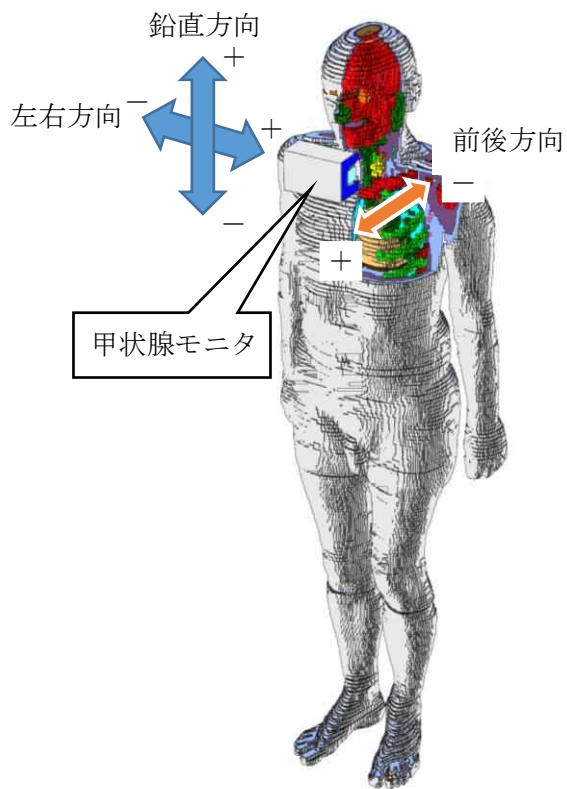


図 4-2-15 位置ずれの影響を調べるための計数効率評価の計算体系

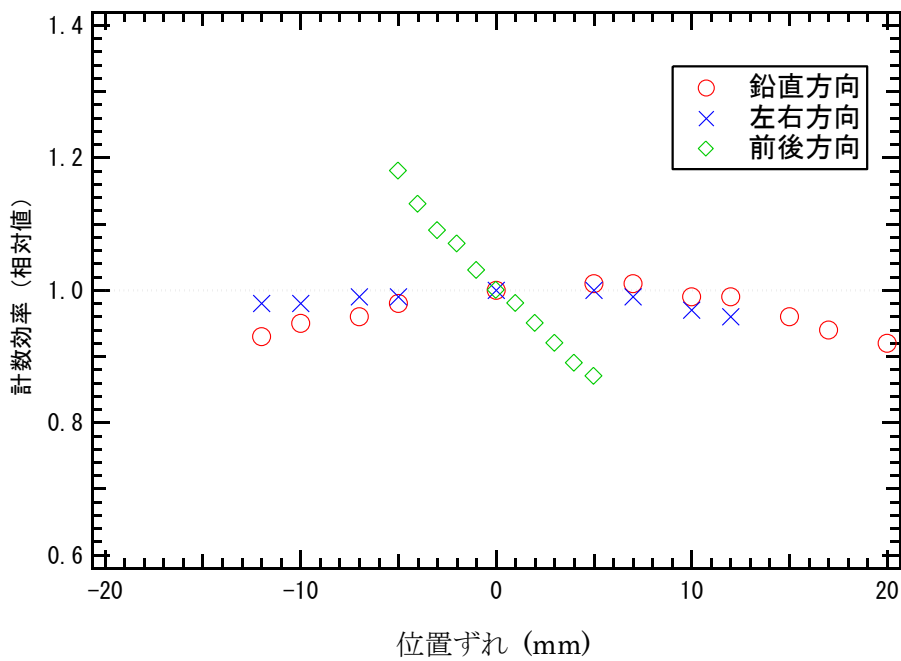


図 4-2-16 ICRP-AM に対する位置ずれによる計数効率の変化

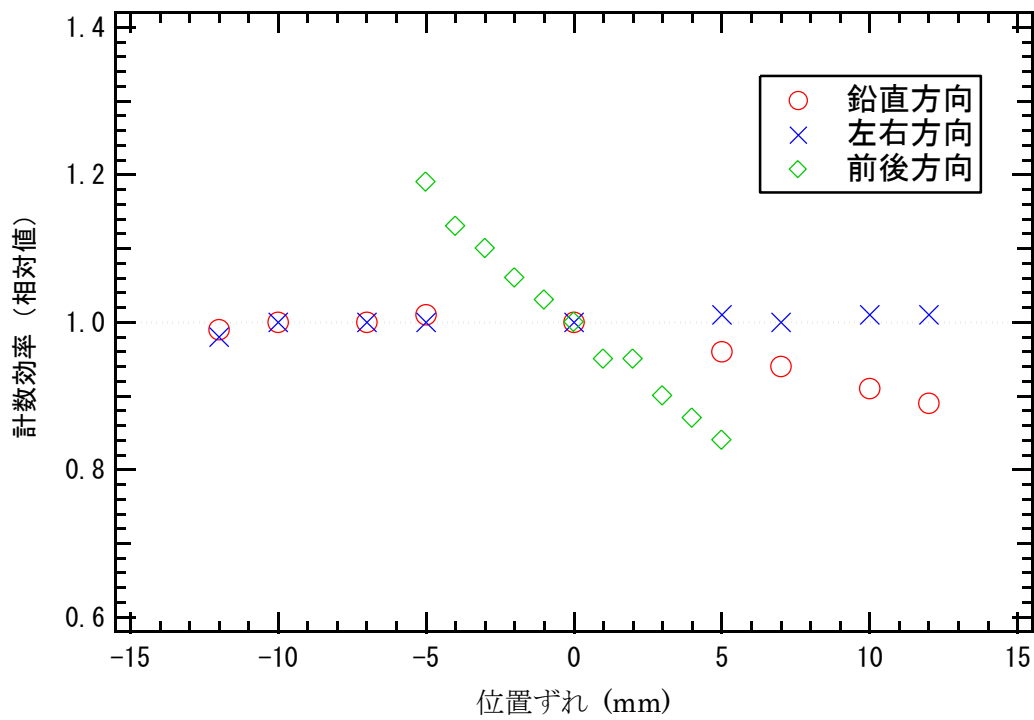


図4-2-17 CHILDに対する位置ずれによる計数効率の変化

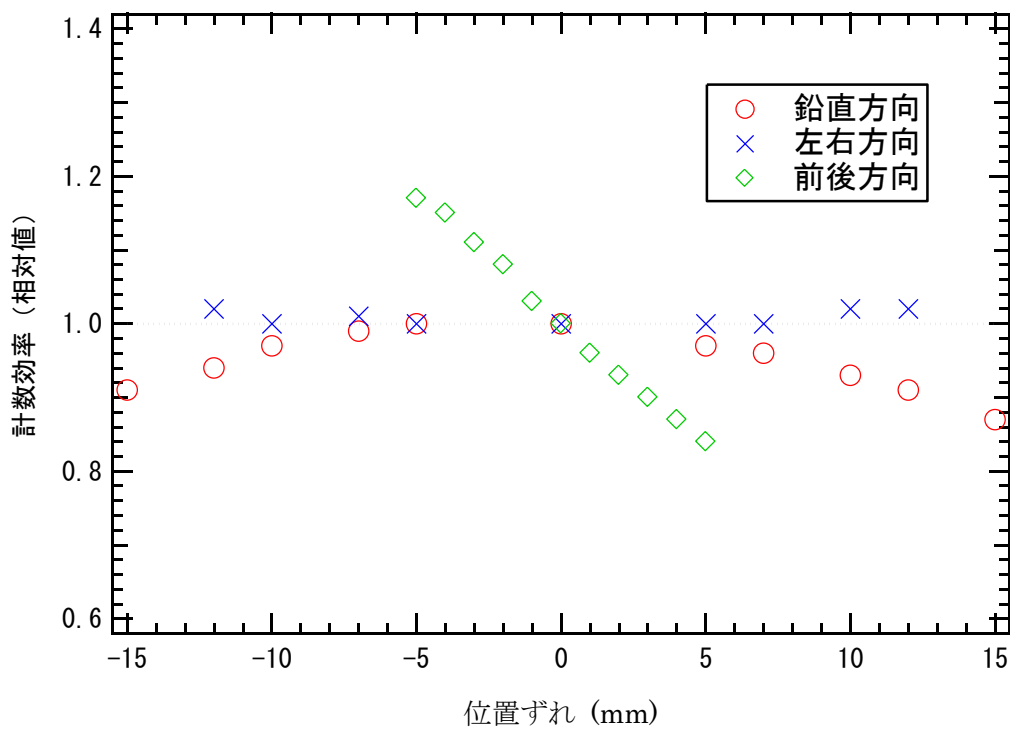


図4-2-18 BABYに対する位置ずれによる計数効率の変化



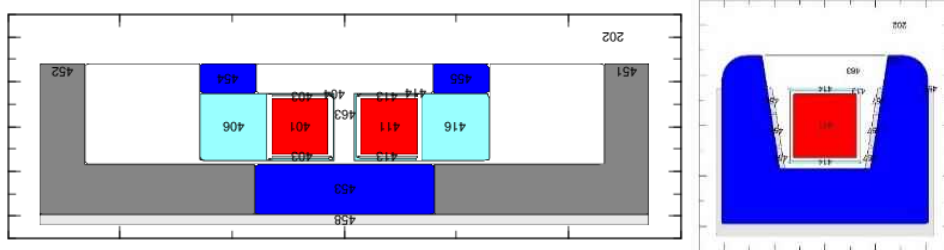
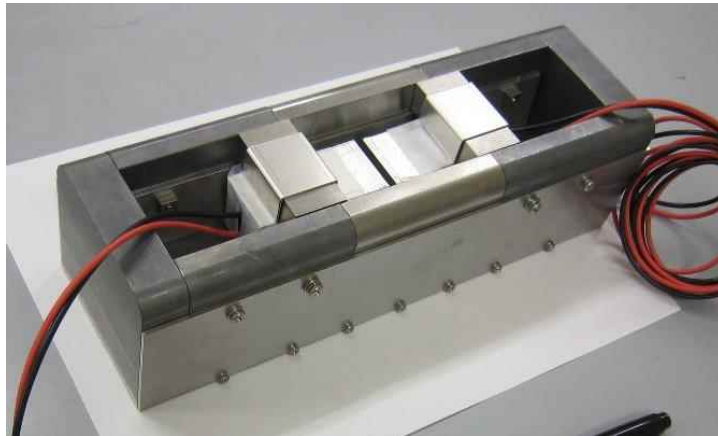


図 4-2-19 甲状腺モニタ測定器試作機の写真と計算体系

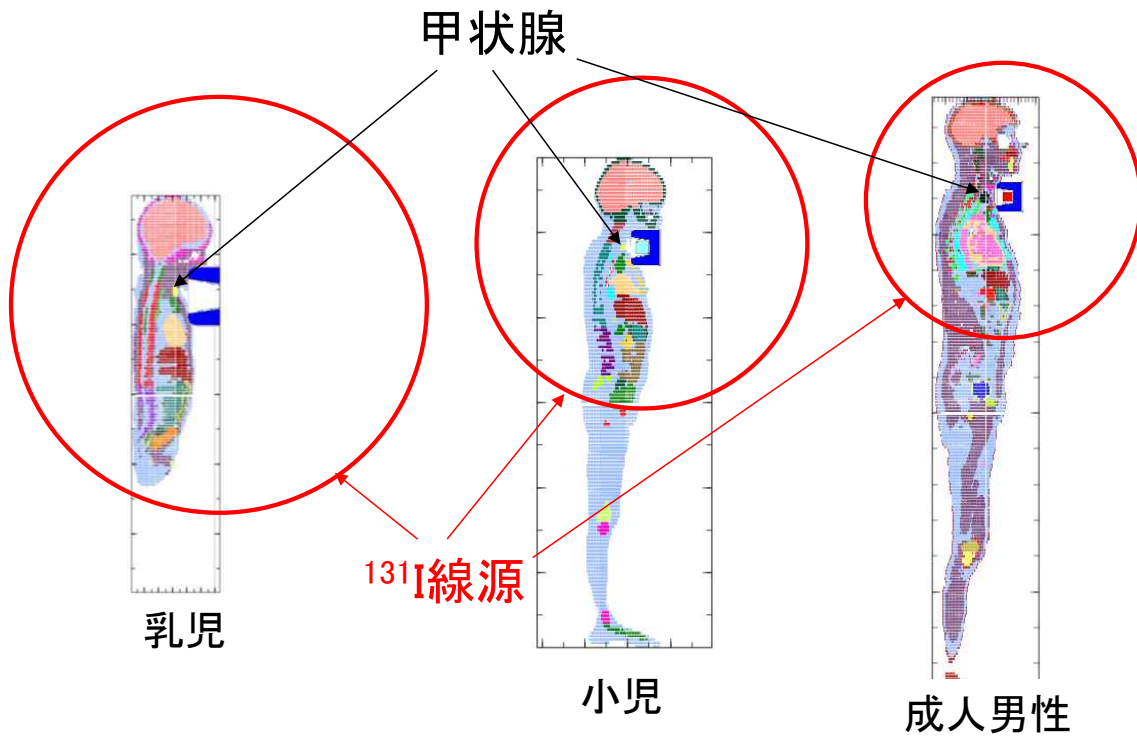


図 4-2-20 数値ファントムを用いた被検者頸部の遮蔽効果評価用計算体系

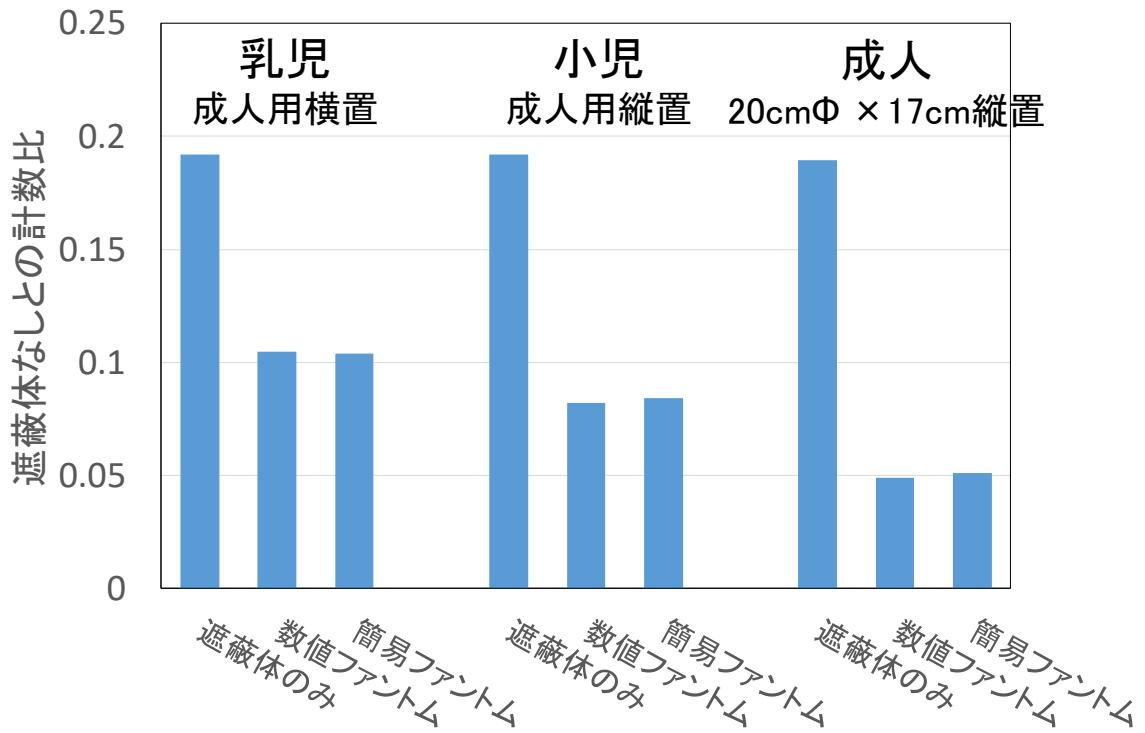


図4-2-2-1 遮蔽体がない場合に対する<sup>131</sup>Iの364keV光電ピーク計数の比

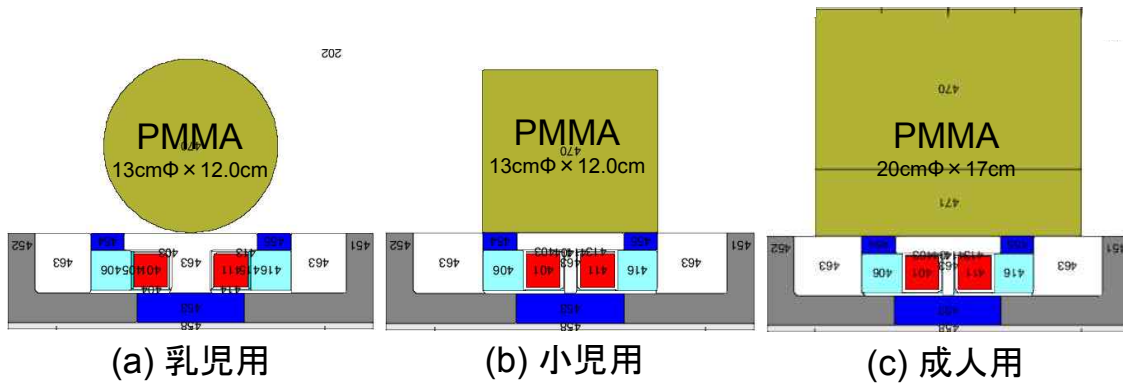


図4-2-2-2 円筒型PMMA製簡易頸部ファントムを用いたバックグラウンド放射線補正用データの測定方法

#### 4. 3 甲状腺モニタシステムの開発

##### 4. 3. 1 概要

甲状腺モニタシステムを用いて甲状腺等価線量を精度よく測定するためには、被検者の甲状腺と検出器用遮蔽体内部に配置された検出器の位置関係を正確に決定することが重要である。また、円筒型 PMMA 製簡易頸部ファントムを用いたバックグラウンド放射線の影響補正に係る測定時にも、ファントムと検出器の位置関係を正確に決定できるようにしておく必要がある。そこで平成 30 年度には、甲状腺モニタシステムの開発として、検出器と被検者又は簡易頸部ファントムとの位置関係を固定するための固定用治具の概念設計を行った。

##### 4. 3. 2 検出器固定用治具の概念設計

被検者と甲状腺モニタ測定器内の検出器との位置関係を正確に決めるための検出器固定用治具について、乳児、小児及び成人の年齢群別に概念設計を行った結果を図 4-3-1 から図 4-3-3 に示す。検出器固定用治具は図中の赤色で示しており、検出器用遮蔽体の上部に取り付けられる構造とした。平成 29 年度に最適化した検出器の配置では、2 個の検出器実効中心間の距離について、乳児及び小児に対しては 6cm に、成人に対しては 4cm と決定した<sup>6)</sup>。甲状腺モニタシステムを用いた測定時に、この検出器間距離を間違えて設定することがないように、各図の左側に示すように、検出器固定用治具の一部が検出器上部遮蔽体の両側を挟み込む設計とした。これにより、検出器と被検者の左右方向の位置関係が確実に固定されるのみならず、年齢群に応じた検出器固定用治具を選択することにより、適切な検出器間距離が設定されることになる。甲状腺は首の付け根にあるため、検出器固定用治具の上部側半分のみに、年齢群ごとの平均的な首の直径を考慮した円弧型のサポートを取り付けることにより、検出器に対する被検者の中心軸と上下方向の位置が決定できるようにした。検出器固定用治具は、被検者と直接接触するため、除染が容易であることに加えて、有害性がなく不快に感じにくい材質として樹脂の使用を検討している。

バックグラウンド放射線測定時に使用する、円筒型 PMMA 製簡易頸部ファントムと検出器の位置関係を固定する治具の概念設計の結果を図 4-3-4 に示す。当該治具についても、被検者用の治具と同様に、2 個の検出器間距離を適切に設定できるように、上部遮蔽体を両側から挟み込む構造とした。

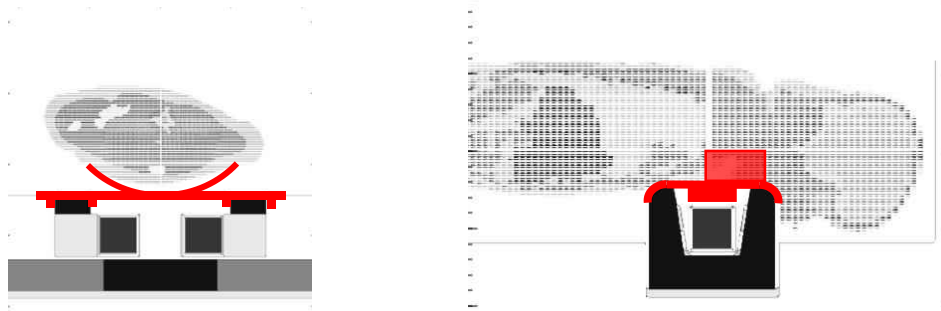


図 4 - 3 - 1 乳児用検出器固定用治具の概念設計結果

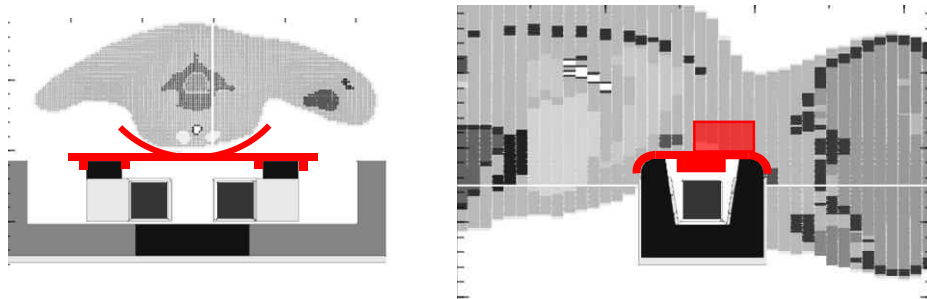


図 4 - 3 - 2 小児用検出器固定用治具の概念設計結果

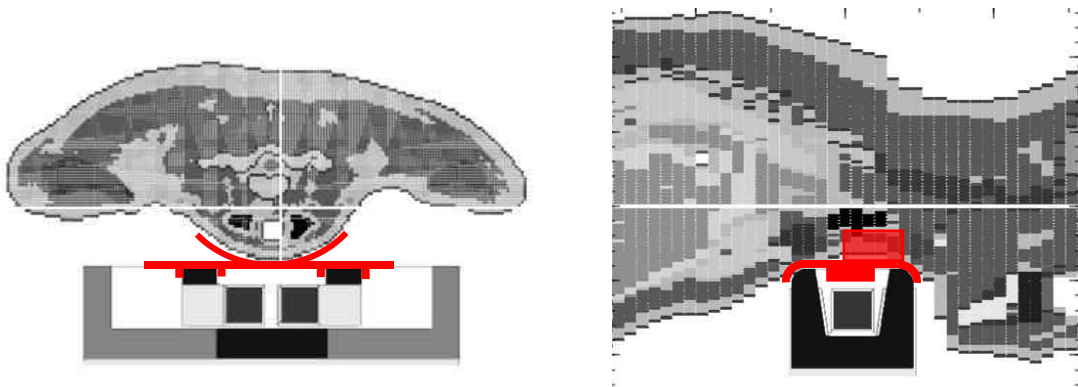


図 4 - 3 - 3 成人用検出器固定用治具の概念設計結果

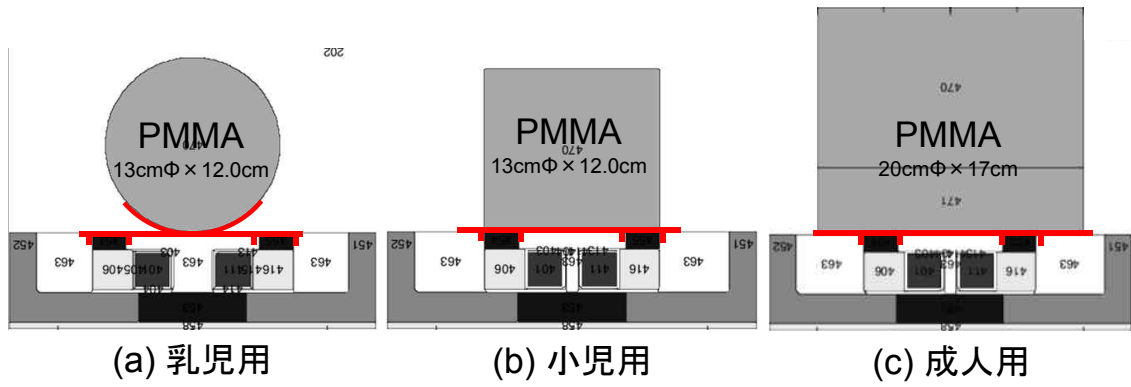


図 4-3-4 バックグラウンド測定用検出器固定用治具の概念設計結果

#### 4. 4 まとめ

各避難所、指揮所等に設置できる、 $\gamma$ 線エネルギー分析方式の可搬型甲状腺モニタ測定器を試作し、その特性を $\gamma$ 線標準校正場において試験した。また、開発した甲状腺モニタ測定器使用時の放射性ヨウ素の放射能を精度よく定量する方法を開発した。さらに、被検者又はバックグラウンド放射線測定用ファントムと検出器の位置関係を正確に決定するための検出器固定用治具の概念設計を実施した。

甲状腺モニタ測定器については、平成 29 年度に最適化した材質及び厚さに基づいて設計した検出器用遮蔽体を試作し、同じく平成 29 年度に選定した検出器各 2 個と組み合わせることにより、甲状腺モニタ測定器を試作した。また、検出器を制御するとともに、測定された波高分布を解析して放射性ヨウ素を定量するためのソフトウェアを開発した。そして、製作した甲状腺モニタ測定器の試作機について、 $\gamma$ 線標準校正場を用いた高線量率下における測定性能の試験を実施した。当該試験にあたっては、高バックグラウンド環境を模擬するために、電動回転テーブルを利用して遮蔽体を含めた試作機全体を連続的に回転させ、周辺から均一に照射した条件での照射を実施した。その結果、 $20 \mu\text{Sv/h}$  の高線量率下においても 150～300 秒の測定時間で  $10\text{mSv}$  の甲状腺等価線量が評価可能であることが分かった。

平成 29 年度に製作した 3 種類の年齢別頸部ファントム内の  $^{133}\text{Ba}$  点線源を設置すべき代表点を、数値ファントムと試作した測定器の計算体系を用いて決定した。そして、試作した甲状腺モニタ測定器の計数効率を評価した結果、十分な検出効率を有することを確認した。また、甲状腺の大きさ、周辺組織の厚さ等の個人差について、様々な数値ファントムを修正することによりシミュレーション計算上で模擬し、これらの個人差が計数効率に与える影響を評価した。さらに、事故直後の周辺環境中に  $^{131}\text{I}$  が存在し、甲状腺モニタ測定器を用いた甲状腺モニタリングに影響する場合のバックグラウンド放射線の影響補正法を開発した。

甲状腺等価線量の評価結果に影響を与える被検者と甲状腺モニタ測定器の検出器との位置関係を固定するための検出器固定用治具の概念設計を実施した。

これらの成果については、平成 30 年 5 月 20 日～23 日に 5th Asian and Oceanic IRPA Congress on Radiation Protection (AOCRP-5)において、平成 30 年 6 月 4 日～8 日に 5th European IRPA Congress において、平成 30 年 10 月 17 日～19 日に 4th Asian Radiation Dosimetry Group annual meeting (ARADOS-4) において、平成 31 年 3 月 21 日に日本原子力学会 2019 年春の年会において報告した（付録 1～付録 3 及び付録 5 参照）。

## 5. 平成 30 年度事業の実績

### 5. 1 事業の進捗報告

○放射線安全規制研究戦略的推進事業 第 1 回実務者会合

日時：平成 30 年 6 月 11 日 13:30～15:30

場所：国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所

議題：本事業の進捗状況、意見交換等

○放射線安全規制研究戦略的推進事業 第 2 回実務者会合

日時：平成 30 年 10 月 2 日 13:00～15:30

場所：国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所

議題：本事業の進捗状況、意見交換等

○放射線安全規制研究戦略的推進事業 第 3 回実務者会合

日時：平成 30 年 1 月 28 日 10:00～12:00

場所：国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所

議題：平成 30 年度研究成果報告会資料の確認、意見交換等

○毎月の進捗報告

報告日： 7 月 5 日、8 月 6 日、9 月 7 日、11 月 12 日、12 月 6 日、1 月 11 日 及び  
3 月 13 日

方法：電子メールにて PO 及び PO 補佐に送付

○原子力規制委員会平成 30 年度研究成果報告会（放射線安全規制研究戦略的推進事業）

日時：平成 31 年 2 月 15 日 10:30～11:00

場所：原子力規制委員会

概要：本事業の概要、研究計画、平成 30 年度成果等について、研究評価委員に報告

備考：発表用資料：付録 4

5. 2 本事業で得られた成果の発表

○5th Asian and Oceanic IRPA Congress on Radiation Protection (AOCR-5)

日時：平成 30 年 5 月 20 日～23 日

場所：オーストラリア メルボルン

タイトル：“Characteristics of spectrometer and shield for portable thyroid dose monitoring system in high dose rate environment”

“A new method to evaluate radioiodine activity in thyroid by the spectroscopy measurements using a simplified phantom incorporated with simulation”

備考：予稿及びポスター発表資料：付録 1

○5th European IRPA Congress

日時：平成 30 年 6 月 4 日～8 日

場所：オランダ デン・ハーグ

タイトル：“Conceptual design of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers”

備考：予稿及びポスター発表資料：付録 2

○4th Asian Radiation Dosimetry Group annual meeting (ARADOS-4)

日時：平成 30 年 10 月 17 日～19 日

場所：韓国 ソウル

タイトル：“Conceptual design of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers”

備考：口頭発表資料：付録 3

○日本原子力学会 2019 年春の年会

日時：平成 31 年 3 月 21 日 16:55～17:10

場所：茨城大学 水戸キャンパス

タイトル：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

備考：予稿及び発表資料：付録 5



## 参考文献

- 1) 日本タングステン株式会社：高密度タングステン合金「ヘビーアロイ」  
<https://www.nittan.co.jp/tech/gihou/vol35-1.html>.
- 2) 野口正安、富永洋：放射線応用計測 基礎から応用まで，日刊工業新聞社 (2004).
- 3) 原子力安全技術センター（編）：被ばく線量の測定・評価マニュアル，原子力安全技術センター(2000).
- 4) Palmer, H.E. *et. al.* *Standard field methods for determining  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{131}\text{I}$  in-vivo*, Health Phys., **30**, 113-118 (1976).
- 5) Ishikawa, T. and Uchiyama, M. 異なるサイズのファントムを用いた  $^{131}\text{I}$  甲状腺負荷量測定装置の校正，保健物理, **32(1)**, 67-79 (1997).
- 6) 日本原子力研究開発機構 平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（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）事業成果報告書
- 7) International Commission on Radiological Protection, *Adult Reference Computational Phantoms*, ICRP Publication 110, Ann. ICRP 39(2), (2009).
- 8) Henss N.P., Zanke M., Fill U. and Regulla D. *The GSF family of voxel phantoms*, Phys. Med. Biol, 47, 89-106 (2002).
- 9) Saegusa, J., Oishi, T., Kawasaki, K., Yoshizawa, M., Yoshida, M., Sawahata, T. and Honda, T. *Determination of gamma-ray efficiency curves for volume samples by the combination of Monte Carlo simulations and point source calibration*, J. Nucl. Sci. Technol., **37 (12)**, 1075- 1081 (2000)
- 10) Sato, T., Niita, K., Matsuda, N., Hashimoto, S., Iwamoto, Y., Noda, S., Ogawa, T., Iwase, H., Nakashima, H., Fukahori, T., Okumura, K., Kai, T., Chiba, S., Furuta, T. and Sihver, L. *Particle and Heavy Ion Transport Code System PHITS, Version 2.52*, J. Nucl. Sci. Technol. **50:9**, 913-923 (2013)
- 11) Suzuki, S., Midorikawa, S., Fukushima, T., Shimura, H., Ohira, T., Ohtsuru, A., Abe, M., Shibata, Y., Yamashita, S. and Suzuki, S. *Systematic determination of thyroid volume by ultrasound examination from infancy to adolescence in Japan: The Fukushima Health Management Survey*. Endocrine J. **62(3)**, 261-268 (2015)
- 12) 西澤邦秀. 放射性ヨウ素の安全管理に関する技術指針（その2）. 日本放射線安全管理学会誌 8(2) 149-186 (2009)
- 13) CaThyMARA report Technical guidelines for radioiodine in thyroid monitoring. (2017)
- 14) Saito, K., Wittmann, A., Koga, A., Ida, Y., Kamei, T., Funabiki, J. and Zankl, M. *Construction of a computed tomographic phantom for a Japanese male adult and dose calculation system*. Radiat. Environ. Biophys., **40**, 69-76 (2001)
- 15) Saito, K., Koga, S., Ida, Y., Kamei, T. and Funabiki, J. *Construction of a voxel phantom based*

- on CT data for a Japanese female adult and its use for calculation of organ doses from external electrons.* Jpn. J. Health Phys., **43(2)**, 122-130 (2008)
- 16) Sato, K., Takahashi, F., Satoh, D. and Endo, A. *Development of adult Japanese voxel phantoms and their application to evaluation of radiation exposure doses.* JAEA-DATA/Code 2010-009
- 17) Sato, K., Takahashi, F., Satoh, D. and Endo, A. *Construction of average adult Japanese voxel phantoms for dose assessment.* JAEA-DATA/Code 2011-013
- 18) Yoshizawa, Y. and Kusama, T. 日本人の甲状腺に関する正常値について. 保健物理 **11** 123-128 (1976)
- 19) 日本原子力研究開発機構 簡易内部被ばく線量評価コード IDEC Ver.1.0 (2000)

## **Characteristics of Spectrometer and Shield for Portable Thyroid Dose Monitoring System in High Dose Rate Environment**

**Yoshihiko Tanimura**<sup>1</sup>, Sho Nishino<sup>1</sup>, Hiroshi Yoshitomi<sup>1</sup>, Masa Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency, 2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195, Japan

A portable thyroid dose monitoring system consisting of spectrometers and a shield has been developed in order to assess the equivalent dose to the thyroid for workers and members of the public in a high dose rate environment at an early stage after a nuclear accident. The LaBr<sub>3</sub>(Ce), SrI<sub>2</sub>(Eu) scintillation and CdZnTe semiconductor detectors were selected as the spectrometers of the system in the view point of the energy resolution, sensitive volume, which affects the detection efficiency of the detector, and ease of handling such as non-cooling requirements. The material and thickness of the shield were optimized by the calculation and experiment. As the size of the shield is limited on upper and lower sides of the throat especially for small children, tungsten heavy alloy, whose large stopping power can achieve a downsize of the shield, was selected as a shielding material of these two sides. Lead was employed as the material for the other part. Their characteristics in a high dose rate environment were studied in the photon calibration fields at the Facility of Radiation Standards of the Japan Atomic Energy Agency. We confirmed that the spectrometers with the shield have enough high energy resolutions and efficiencies to assess the thyroid equivalent dose in a high dose rate environment. In this presentation, the performance test of the spectrometers and the shielding materials will be introduced.

# Characteristics of Spectrometer and Shield for Portable Thyroid Dose Monitoring System in High Dose Rate Environment



**Yoshihiko TANIMURA, Sho NISHINO, Hiroshi YOSHITOMI and Masa TAKAHASHI**  
 Nuclear Safety Research Centre, Japan Atomic Energy Agency, 2-4, Shirakata, Tokai, Naka, IBARAKI 319-1195, Japan

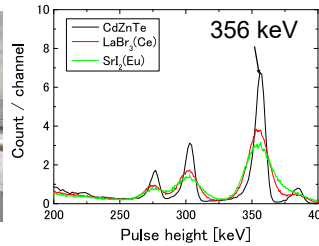
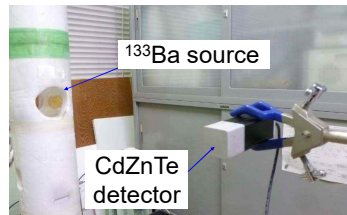
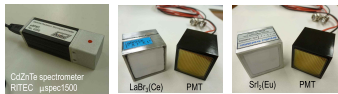
## Abstract

A portable thyroid dose monitoring system consisting of a couple of spectrometers and a shield has been developed in order to assess the equivalent dose to the thyroid for workers and members of the public at an early stage after a nuclear accident. Characteristics of the spectrometer and shielding materials were evaluated using 356 keV photons from a  $^{133}\text{Ba}$  source to mimic 364 keV photons from  $^{131}\text{I}$ .

- Enough high energy resolution and detection efficiency are required. → The  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  and  $\text{SrI}_2(\text{Eu})$  scintillation and  $\text{CdZnTe}$  detectors were selected
- A shield is necessary in a high dose rate environment. → A shield consisting of tungsten heavy alloy and lead was designed.

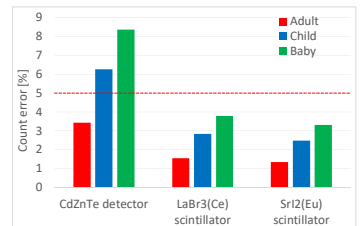
## Characteristics of spectrometers

Energy resolution and responses of the spectrometers were evaluated using 356 keV photons from a  $^{133}\text{Ba}$  source.



### Requirement for the monitor

Measurement time: 150 s  
 Assessable thyroid eq. dose: 10mSv  
 Count error : <5 %



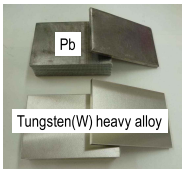
Count error ( $1\sigma$ ) when a couple of the spectrometers detect photons from the  $^{131}\text{I}$  correspond to 10 mSv thyroid equivalent dose. The measurement time is 150 s and distance from neck surface to center of the spectrometer is 2.5 cm.

Detector	CdZnTe	$\text{LaBr}_3(\text{Ce})$	$\text{SrI}_2(\text{Eu})$
Dimensions	$1.5 \times 1.5 \times 0.75 \text{ cm}^3$	$2.54 \times 2.54 \times 2.54 \text{ cm}^3$	$2.54 \times 2.54 \times 2.54 \text{ cm}^3$
Effective volume	$1.5 \text{ cm}^3$	$16 \text{ cm}^3$	$16 \text{ cm}^3$
Energy resolution @ 356 keV	2.8%	5.3%	5.5%
Response @356 keV	$0.39 \text{ cm}^2$	$1.9 \text{ cm}^2$	$2.5 \text{ cm}^2$

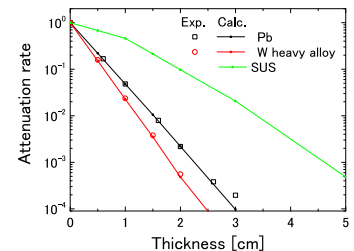
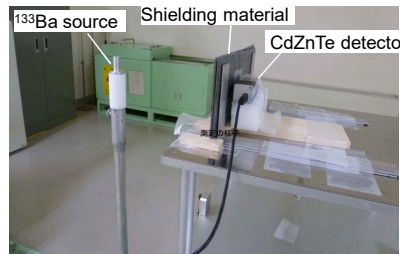
- **CdZnTe** Energy resolution: **quite high**, Detection efficiency: enough high to assess the dose **only for adult**
- **$\text{LaBr}_3(\text{Ce})$**  Energy resolution: **relatively high**, Detection efficiency: enough high to assess the dose for **all public members**

## Characteristics of shielding materials

Attenuation rates of 356 keV photons was evaluated for a few shielding materials by the calculations using PHITS code and the experiments using a  $^{133}\text{Ba}$  source.

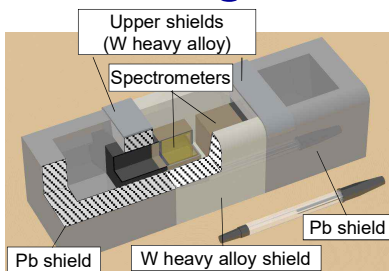


	Pb	W heavy alloy
Atomic number	82	~74
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	11.34	17.74

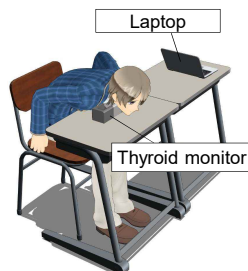


- Tungsten (W) heavy alloy can effectively shield photons
- Attenuation rate of  $10^{-4}$  can be achieved by using **2.5-cm tungsten heavy alloy and 3 cm lead**.

## Shield design



Schematic drawing of the designed monitor



Measurement setup of the thyroid monitor

- Using a couple of spectrometers
  - increase the detection efficiency and decrease the effect of misalignment
- Aperture size was determined to be 5 cm height
  - considering the typical thyroid height
- Shield size ( $27 \text{ cm(L)} \times 8 \text{ cm(W)} \times 7 \text{ cm(H)}$ ) and total weight (about 16 kg) has been decreased by the combination of W heavy alloy and Pb shields.
  - easily set up on common desks

## Summary

- Energy resolution and detection efficiency of the  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ ,  $\text{SrI}_2(\text{Eu})$  and  $\text{CdZnTe}$  spectrometer were characterized by using a  $^{133}\text{Ba}$  source.
- Though the  $\text{CdZnTe}$  is applicable to assess the dose only for adult, the  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  is applicable to assess the dose for all public members.
- Performance test of W heavy alloy and Pb shields were examined by experiments using a  $^{133}\text{Ba}$  source and Monte Carlo calculations.
  - Optimum thickness: 2.5 cm for W heavy alloy and 3 cm for Pb
- Portable thyroid dose monitor consisting with a couple of spectrometers and a shield was designed.

## Acknowledgements

This study was supported by Grant from the Nuclear Regulation Authority, Japan

# **A new method to evaluate radioiodine activity in thyroid by the gamma spectroscopy measurements using a simplified physical phantom incorporated with numerical simulations**

**Hiroshi YOSHITOMI<sup>1</sup>, Sho NISHINO<sup>1</sup>, Masa TAKAHASHI<sup>1</sup>, Yoshihiko TANIMURA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency

A new portable thyroid monitoring system equipped with gamma spectrometers has been developed in our project. To evaluate radioiodine activity in thyroid, it should be properly calibrated. The calibration of a thyroid monitor has been widely performed using a neck phantom with a thyroid shaped volume source. However, they cannot reflect the anatomical feature of the thyroid and its surroundings in detail, because their shape, dimension and location can be varied depending on the age and sex of the monitored subject. For the precise assessment of radioiodine activity in thyroid, the difference of the counting efficiency between the calibration and the measurements of the wide variety of the subjects should be corrected. However, it is not practical to manufacture various volume sources reflecting anatomical feature precisely.

To solve this problem, we have developed a novel method to evaluate radioiodine activity in thyroid precisely by the measurements using a simplified physical phantom in conjunction with numerical simulations. The primary photon fluences around the neck were firstly evaluated by Monte Carlo calculations using mathematical phantoms reflecting anatomical feature around the thyroid. Secondly, the combinations of an acrylic phantom with <sup>133</sup>Ba point sources were selected by calculations so as to provide the equivalent photon fluence varying the phantom size and the source location. By applying the corresponding physical phantom for the test of the thyroid monitor, the same counting efficiency as measured in the realistic situation was obtained.

# A New method to evaluate radioiodine activity in thyroid by the spectroscopy measurements using a simplified phantom incorporated with simulation

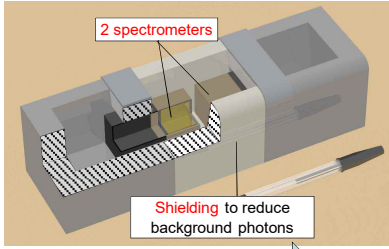


**Hiroshi YOSHITOMI, Sho NISHINO, Masa TAKAHASHI and Yoshihiko TANIMURA**

Department of Radiation Protection, Nuclear Science Research Institute, Japan Atomic Energy Agency, 2-4, Shirakata, Tokai, Naka, IBARAKI 319-1195, Japan  
 E-mail: yoshitomi.hiroshi@jaea.go.jp

## Motivation

### Proposed thyroid monitoring system

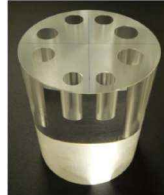


See Poster PP. 27

- Large sets of systems would be deployed for nuclear emergency.
- All systems must be properly calibrated in order to evaluate radioiodine activity in thyroid.

### Conventional method for calibration

Neck phantom

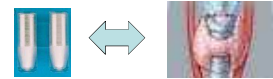


volume sources



### Problems

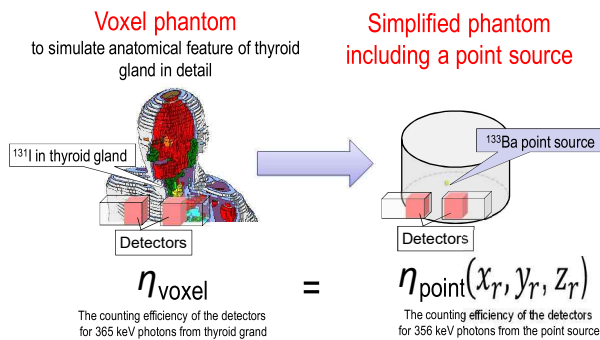
- Different size of volume sources corresponding to the age group would be required.
- Radioactive standard solutions are required for the preparation of volume sources in some cases.
- Geometrical differences between calibration and measurements of the monitored subjects



Simple and reliable calibration method is required

## New method for calibration

### Simplified phantom including a point source at a "representative position"

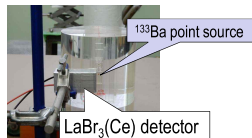


- Monte Carlo calculations were performed to find a "representative position"  $(x_r, y_r, z_r)$  of the point source so as to have the same fluence over the detector volume

Monte Carlo Code: PHITS 2.8.8 (EGS mode)  
 Voxel phantom: GSF voxel phantom (BABYNEW, CHILD)  
 ICRP reference phantom (Adult male, Adult female)

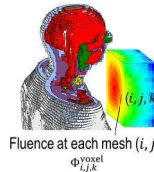
- Measurement using a simplified physical phantom including a point source at the "representative position"

Detector: 1 in<sup>3</sup> LaBr<sub>3</sub>(Ce)

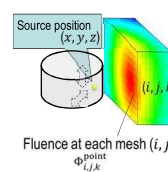


### ① Method to find a representative position

Voxel phantom



Simplified phantom



For all the positions of the point source  $(x, y, z)$ , following  $d$  were calculated over the detector volume  $V$

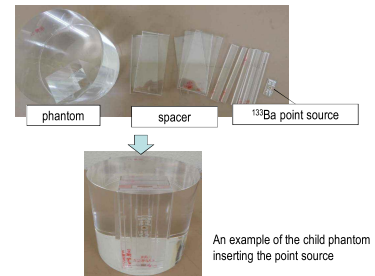
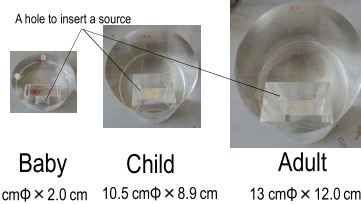
$$d = \sqrt{\sum_{i,j,k \in V} \left( \frac{\Phi_{i,j,k}^{\text{point}} - \Phi_{i,j,k}^{\text{voxel}}}{\Phi_{i,j,k}^{\text{voxel}}} \right)^2 \sum_{i,j,k \in V} \frac{1}{U_{i,j,k}^2}}$$

$n$ : number of the mesh points inside the detector volume  $V$   
 $U_{i,j,k}$ : uncertainty of the difference of the fluence at each point

$d$  represents the difference between voxel model and simple phantom model.  
 The representative position  $(x_r, y_r, z_r)$  is a point at which  $d$  is minimized.

### ② Simplified phantom

3 acrylic cylinder phantoms corresponding to the age group

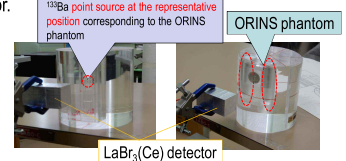


### ③ Validation

This method was applied to the calibration using the ORINS phantom including a volume source which has been widely used for the calibration of a thyroid monitor.

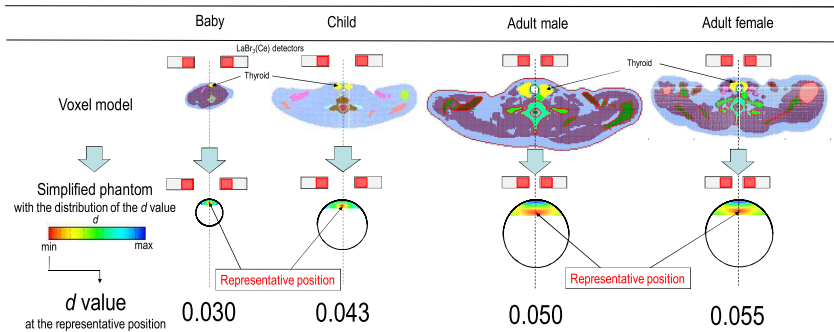
Counting efficiency (cpm/photons/s)	Counting efficiencies for LaBr <sub>3</sub> (Ce) detectors (k = 1)	
	Representative point method	Direct measurement using the ORINS phantom
	0.18 $\pm$ 0.01	0.19 $\pm$ 0.04

The two values are comparable within uncertainty (8% difference)



## Results

The representative positions of proposed detector arrangement for each voxel model



## Summary

- A novel calibration method for the thyroid monitor was proposed.
- Only an acrylic phantom including a sealed point source is sufficient for the calibration regardless of the age group.
- This method enables the calibration based on the voxel model which mimics the measurements of the monitored subjects.
- Large sets of proposed monitoring system could be easily but precisely calibrated using this method.

## Acknowledgements

This study was supported by Grant from the Nuclear Regulation Authority, Japan

## Conceptual Design of Thyroid Dose Monitoring System using Gamma-ray Spectrometers

Sho Nishino<sup>1</sup>, Hiroshi Yoshitomi<sup>1</sup>, Yoshihiko Tanimura<sup>1</sup>, Masa Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

**Abstract** (less than 400 words)

In the situation of a severe nuclear accident, a large amount of radionuclides could be released into the environment, and cause internal exposure of residents and workers. In order to estimate thyroid equivalent dose that largely contributes to the total internal dose, individual monitoring based on the radioiodine measurement in thyroid gland should be started immediately after the accident because half-lives of radioiodines are short (8.02 days for <sup>131</sup>I). In-vivo measurement method using thyroid dose monitor is generally used for determination of radioiodine activity in thyroid. However, the most of currently-used thyroid monitors includes large radiation shields and is not supposed to be used at evacuation centers or emergency command posts in the radiologically affected area. Consequently, early measurements for a lot of people are significantly difficult.

Here, we propose conceptual design of the portable thyroid dose monitoring system that satisfies the following requirements; (1) a few mSv in thyroid equivalent dose is measurable under a highly-dosed environment around several 10 μSv/h. (2) portable enough to install into the each evacuation center and command post in the affected area. (3) easy to measure even for small children or people who need special care. The portable thyroid monitor consists of two gamma-ray spectrometers embedded into well-type radiation shields. The distance between two detectors is variable to fit physical size of the thyroid which depends on subject's age. The radiation shield consists of lead(Pb) and partially tungsten(W), and has an aperture only for upward. The adoption of tungsten allows to downsize the monitor so as to be applicable to small child's throat. The subject sitting on a chair puts their throat on the thyroid monitor from upside, and the radioactivity in thyroid is measured based on spectral analysis of gamma-ray energy.

The performance tests of CdZnTe detector (1500 mm<sup>3</sup>), LaBr<sub>3</sub>:Ce and SrI<sub>2</sub>:Eu scintillation detectors (1 inch<sup>3</sup>), which are candidates of spectrometer, were performed in the photon reference field at the Facility of Radiation Standards of the Japan Atomic Energy Agency. We confirmed that detectors show high energy resolution in the room temperature, and have enough detection capability even in the high-dose-rate field, by using an appropriate radiation shield. In this presentation, we introduce the detailed design of the monitor and give discussion on applicability of each detector to the thyroid dose monitor.

-----

## Thyroid Dose Monitor

Thyroid dose monitoring for a large number of people should be performed immediately after severe nuclear accident.

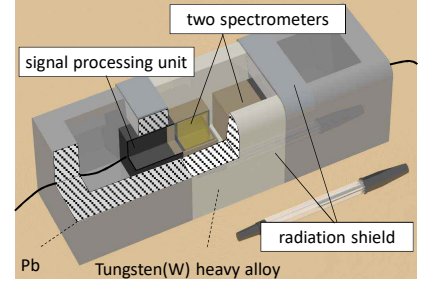
### Conventional monitors

- fixed at laboratory
- large radiation shields

### Proposed monitor

- portable and can be installed easily to evacuation centers and incident command post
- available under a high dose rate condition
- reliable estimation based on spectral information

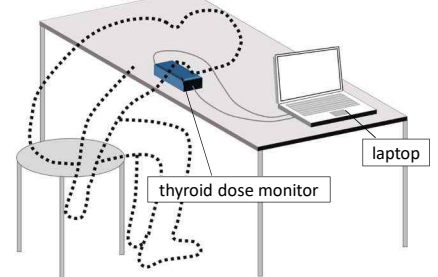
Schematic drawing of the thyroid monitor



Requirement for proposed thyroid monitor

	Requirement	Notes
Minimum assessable thyroid dose	< 10 mSv	when measured 3-5 days after intake
Acceptable background dose rate	several tenth $\mu\text{Sv/h}$	evacuation centers, command posts in the radiologically affected area.
Measurement time	< 5 minutes / subject	>150 subjects / day/1system
Power supply	supplied via USB cable	operational with connecting to a laptop PC or a mobile battery

Iodine-in-thyroid measurement using the monitor



## Experiments & Results

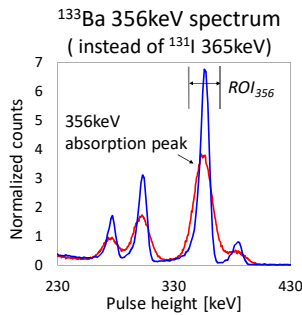
Spectrometers to be tested

CdZnTe: 1.5cm<sup>3</sup> LaBr<sub>3</sub>(Ce): 16cm<sup>3</sup>

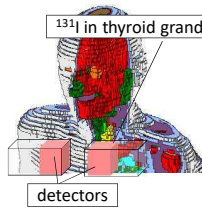


$\Delta E/E$  sensitivity 2.8%  
0.39 cm<sup>2</sup>

5.3%  
1.9 cm<sup>2</sup>



### Evaluation of counting efficiency



Fluence rate [ $\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}/\text{Bq}$ ] at detector position is obtained by Monte-Carlo calculation.

※ Detector arrangement is optimized so as to minimize an influence of uncertainty due to positional displacement divided by detector sensitivity [ $\text{cm}^2$ ] given in experiment (see left).

⇒  $\epsilon_*$ : counting efficiency [ $\text{s}^{-1}/\text{Bq}$ ]

Minimum Assessable thyroid equivalent dose;  $H_{thy,min}$

$$H_{thy,min} = \frac{k}{t\epsilon_*} (k + 2\sqrt{2n_0}) \cdot \frac{CF_{thy}}{F}$$

$k$ : (=1.65) gives 95% confidence level  
 $t$ : measurement time [s]

$\epsilon_*$ : counting efficiency [ $\text{s}^{-1}/\text{Bq}$ ]

$n_0$ : BG counts within ROI<sub>356</sub>

$CF_{thy}$ : thyroid dose conversion factor [mSv/Bq]

$F$ : retention fraction at the date of measurement

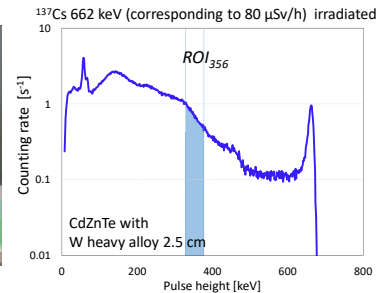
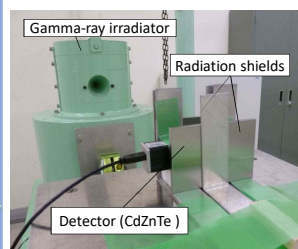
### Rough estimation of BG counts

$n_0$ : number of continuous-BG counts within evaluation area of 356 keV (ROI<sub>356</sub>).

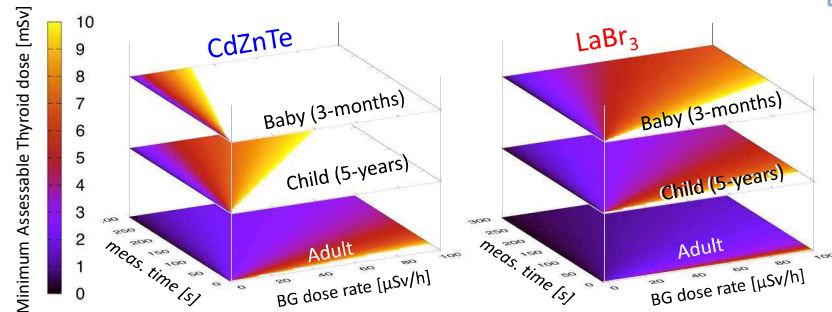
The gamma-ray reference field (<sup>137</sup>Cs) in FRS/JAEA was used to simulate a high dose rate condition.

$n_0$  given with the detector shielded by W heavy alloy 2.5 cm<sup>3</sup> ※ was examined.

(※ optimized so as to be; thyroid <sup>131</sup>I 365keV rate >> BG <sup>131</sup>I 365keV rate)



$H_{thy,min}$  as a function of measurement time [s] and BG dose rate [mSv/h]



## Summary

Performance requirements can be satisfied by using CdZnTe or LaBr<sub>3</sub> detectors with W heavy alloy shield.

• For adult-radiation workers at a incident command post :  
High BG dose rate, small-number of subjects, various kinds of radionuclides



CdZnTe  
(higher energy resolution)

• For members of public at evacuation centers :  
Low BG dose rate, large-number of subjects, necessity of short-time measurement



LaBr<sub>3</sub>  
(higher counting efficiency)



# Conceptual Design of a Portable Thyroid Dose Monitoring System Using Gamma-ray Spectrometers



Japan Atomic Energy Agency

Y. Tanimura, S. Nishino, H. Yoshitomi  
and M. Takahashi

## Background



Internal dose assessment in the nuclear accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant(FDNPP)

Nuclide	Evaluand	Method	Feature and problems
Radio-Cs	Many public and workers	WBC	-Relatively rapid and accurate measurement is available
Radio-Iodine	Limited public and worker	-Dosemeter -WBC -Guess from I/Cs ratio, Airborne Iodine conc. etc.	-Rapid measurement is required due to short half live of radio-Iodine -measurement using dosimeter has many difficulty under high dose rate environment

**Rapid internal dosimetry procedure for Iodine is required**

➡ We started to develop the portable thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers from Aug 2017 to Mar 2020 as the Radiation Safety Research Program of Nuclear Regulation Authority in Japan.

1



## Objectives

A portable thyroid dose monitoring system using photon spectrometers has been developed for the rapid and accurate assessment of the thyroid dose for workers and public at an early stage after a nuclear accident. The system has been designed in consideration of using in evacuation centers or incident command posts.

Following subjects have been studied

### (1) Development of the thyroid monitor

Selecting suitable spectrometers and designing photon shields in consideration of high dose rate environment

### (2) Development of calibration method

Developing the calibration method to determine the Iodine activity using a simplified phantom and voxel phantoms

2



## Performance target of the system

Subject	Target	Remarks
B.G. dose rate (Upper limit)	A few tens of $\mu\text{Sv/h}$	
Measurement time	Within 5 min./body	
Assessable number	More than 150 body/day	Using one system
Lower limit of assessment	10 mSv (Thyroid)	Measurement on 3 to 5 days after inhalation
Power supply	Operation available for a few hours using a Laptop PC without AC power	

3



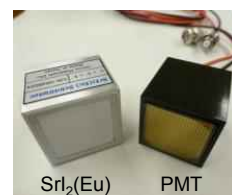
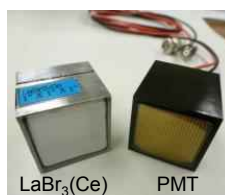
# (1) Development of the thyroid monitor

4

## Characteristics of spectrometers



	Semiconductor		Scintillator	
	CdZnTe	LaBr <sub>3</sub> (Ce)	SrI <sub>2</sub> (Eu)	
Atomic Number	48/30/52	57/35	38/53	
Dimensions	1.5 × 1.5 × 0.75 cm <sup>3</sup>	2.54 × 2.54 × 2.54 cm <sup>3</sup>	2.54 × 2.54 × 2.54 cm <sup>3</sup>	
Effective volume	1.5 cm <sup>3</sup>	16cm <sup>3</sup>	16 cm <sup>3</sup>	



Energy resolution and responses of the spectrometers were evaluated using 356 keV photons from a <sup>133</sup>Ba source.

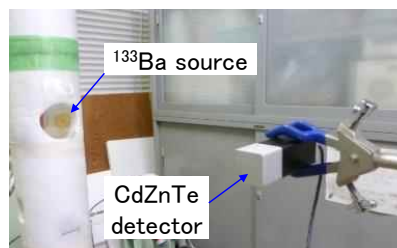
5



## Energy resolution and sensitivity

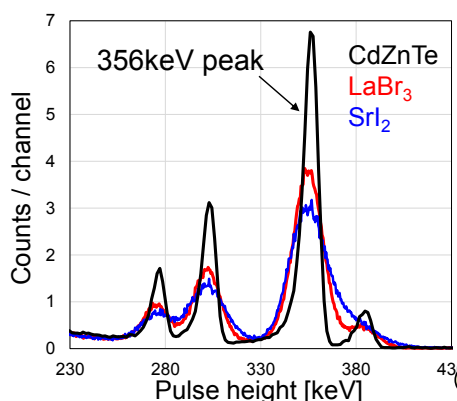
Following characteristics were evaluated using 356 keV photons from a <sup>133</sup>Ba source (which mimic the 365 keV photons from <sup>131</sup>I)

- Energy resolution  $\Delta E/E$  (FWHM)
- Photon sensitivity  $R$



	$\Delta E/E$	$R$
CdZnTe	2.8 %	0.39 cm <sup>2</sup>
LaBr <sub>3</sub>	5.3 %	1.9 cm <sup>2</sup>
SrI <sub>2</sub>	5.5 %	2.5 cm <sup>2</sup>

Energy resolution  $\Delta E/E$   
 CdZnTe: quite high  
 LaBr<sub>3</sub>: relatively high



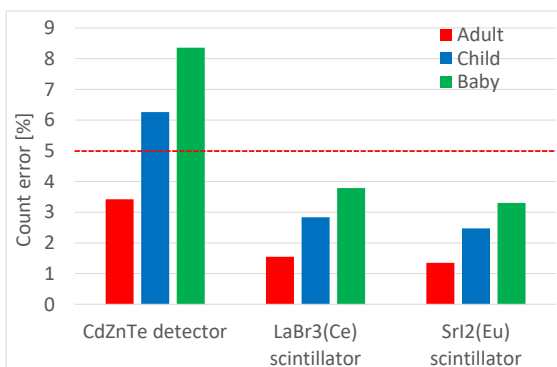
6



## Selection of the spectrometer

Requirement for the monitor

- Measurement time : 150s ( 5 min. including exchange time)
- Assessable thyroid eq. dose : 10mSv
- Count error : <5%



### CdZnTe spectrometer

Enough high sensitivity to assess the dose only for adult

◆ Applicable to workers

### LaBr3(Ce) spectrometer

Enough high sensitivity to assess the dose for not only adult but also child and baby

Energy resolution: higher than SrI(Eu) spectrometer

◆ Applicable to public members

Count error (1 $\sigma$ ) when a couple of the spectrometers detect photons from the <sup>131</sup>I correspond to 10 mSv thyroid eq. dose.

Meas. time: 150s, spectrometer center : 2.5 cm from neck surface

7

## Characteristics of shielding materials



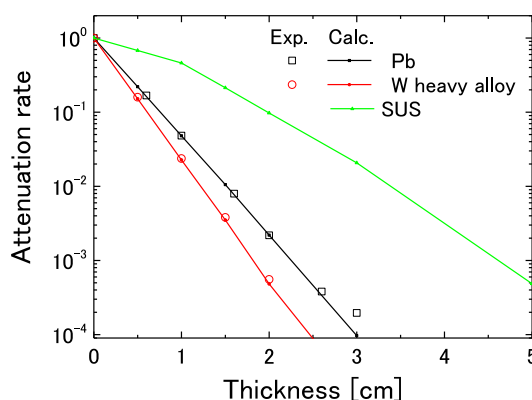
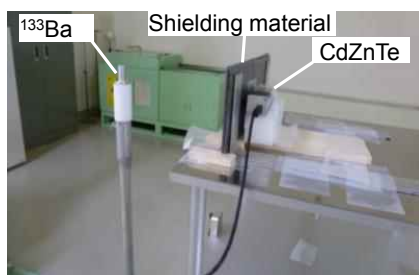
	Lead	W heavy alloy
Atomic number	82	~74
Density	11.34 g/cm <sup>3</sup>	17.74 g/cm <sup>3</sup>



Attenuation rates of 356 keV photons were evaluated for the shielding materials by the calculations using PHITS code and the experiments using a <sup>133</sup>Ba source.

8

## Characteristics of shielding materials

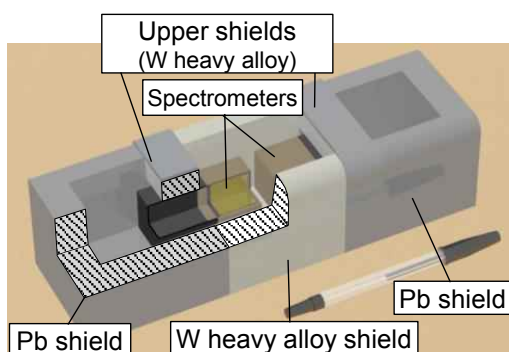


Tungsten (W) heavy alloy can effectively shield photons  
 Attenuation rate of 10<sup>-4</sup> can be achieved by using **2.5-cm tungsten heavy alloy and 3 cm lead.**

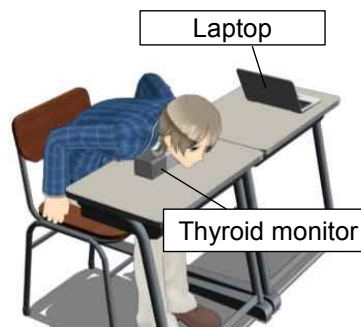
9



## Designed thyroid monitor



Schematic drawing of the designed monitor



Measurement setup of the thyroid monitor

Using a couple of spectrometers  
 → increase the detection efficiency and decrease the effect of misalignment  
 Aperture size was determined to be 5 cm height  
 → considering the typical thyroid height  
 Shield size (27 cm(L) × 8 cm(W) × 7 cm(H)) and total weight (about 16 kg)  
 has been decreased by the combination of W heavy alloy and Pb shields.  
 → easily set up on common desks

10



## (2) Development of calibration method

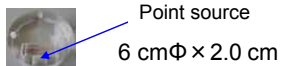
11



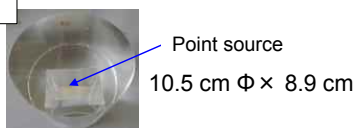
# Simplified neck phantom

## Three age groups

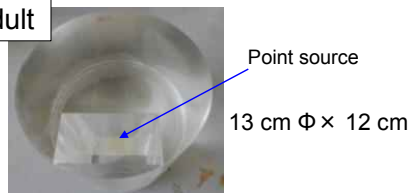
Baby



Child

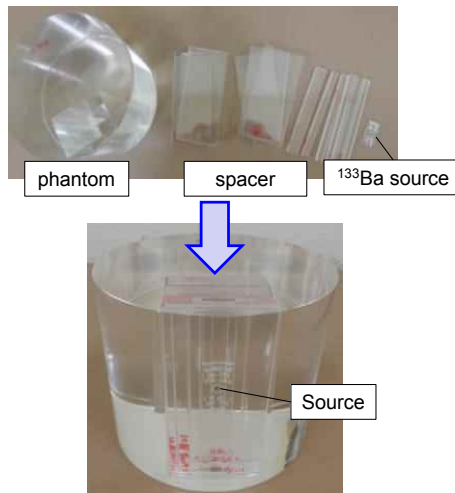


Adult



Acrylic cylinder phantoms with a point source

## Phantom and source



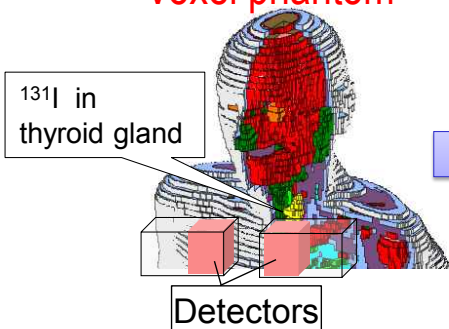
The source position is variable

12

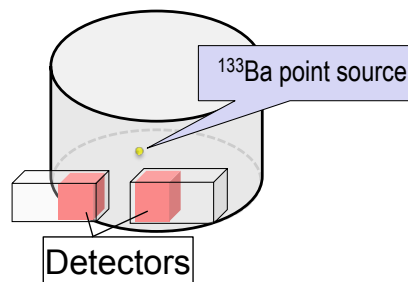


# New method for calibration using a point source

Voxel phantom



Simplified phantom



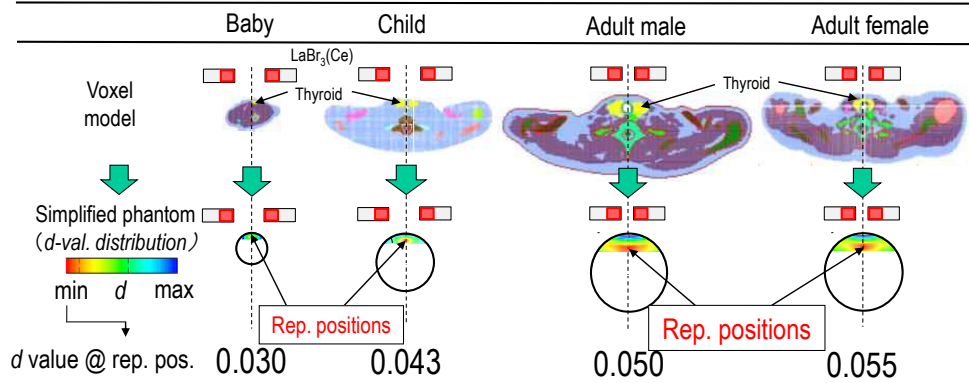
$$\eta_{\text{voxel}} = \eta_{\text{point}}(x_r, y_r, z_r)$$

A "representative position"  $(x_r, y_r, z_r)$  of the point source, which gives the same fluence at the detector, was determined from Monte Carlo calculations.

13

## Representative positions

The representative positions for baby, child and adults were calculated



$d$  value represents the difference between voxel model and simplified phantom model

**Differences ( $d$  value) are less than 6%**

➡ The thyroid monitor can be easily calibrated using the simplified phantom with a  $^{133}\text{Ba}$  point source at the representative position.

14

## Summary

### (1) Development of the thyroid monitor

- Energy resolution and detection efficiency of the  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ ,  $\text{SrI}_2(\text{Eu})$  and  $\text{CdZnTe}$  spectrometers were characterized by using a  $^{133}\text{Ba}$  source.
- The  $\text{CdZnTe}$  is applicable to assess dose for workers and the  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  is applicable to assess the dose for all public members.
- Performance test of W heavy alloy and Pb shields were examined by experiments using a  $^{133}\text{Ba}$  source and Monte Carlo calculations.
- ➡
- Portable thyroid dose monitor consisting with a couple of spectrometers and a shield was designed.

### (2) Development of calibration method

- A novel calibration method for the thyroid monitor was proposed by using the simplified phantoms with a point source at the representative position.
- Large sets of proposed monitoring system could be easily but precisely calibrated using this method.

15



## Acknowledgement



This research has been conducted as the Radiation Safety Research Program of Nuclear Regulation Authority in Japan.



## 平成30年度 放射線安全規制戦略的推進事業費 一事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の 開発に関する研究一

平成31年2月15日

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  
リスク評価研究ディビジョン 放射線安全・防災研究グループ



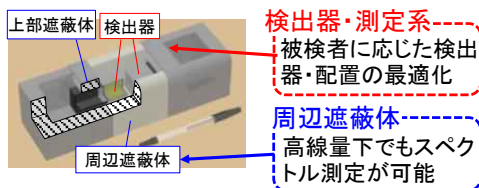
(主任研究者)谷村 嘉彦

### 【研究の概要】 本研究の目的

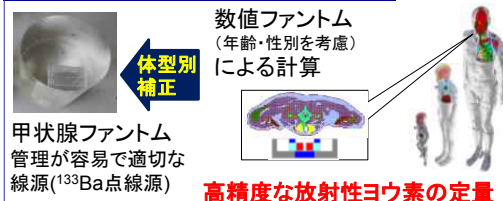


原子力事故等緊急時に、各避難所、指揮所等に設置できるγ線エネルギー分析方式の**可搬型甲状腺モニタシステムを開発し、多数の公衆及び作業者が摂取した放射性ヨウ素の放射能について、迅速かつ高精度な測定・評価を可能とする。**

#### ① 甲状腺モニタ測定器の開発



#### ② 高精度放射性ヨウ素定量法の開発



#### ③ 甲状腺モニタシステムの開発



- 検出器固定用治具の開発  
体型(年齢群)に応じて検出器と甲状腺の位置関係を正確に決定できる治具を開発する。  
高線量率下におけるバックグラウンド測定時に使用する治具を開発する。
- 測定法の標準化  
測定法及びモニタシステムのマニュアルを作成する。



1

【研究の概要】 ロードマップ及びH29年度の達成状況



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の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>検出器の試験・選定</li> <li>遮蔽体材質・形状の最適化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定器の試作性能評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機の製作</li> </ul>
②高精度放射性ヨウ素定量法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>年齢別頸部ファントムの製作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>頸部ファントムの製作</li> <li>頸部及び数値ファントムによる定量法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定量法の完成</li> </ul>
③甲状腺モニタシステムの開発		<ul style="list-style-type: none"> <li>標準化用治具の設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準化用治具の製作</li> <li>マニュアル作成</li> <li>システム完成</li> </ul>

【H29年度の達成状況】 概ね計画どおりに進捗

- ①甲状腺モニタ測定器の開発
  - ・甲状腺モニタで使用する検出器、最適な材質・厚さの遮蔽体を選定
- ②高精度放射性ヨウ素定量法の開発
  - ・数値ファントムを用いた検出器応答(配置)の評価
  - ・年齢別頸部ファントムを製作

2

【研究の概要】 平成30年度の実実施計画と目標(1)

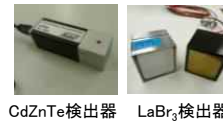


①甲状腺モニタ測定器の開発

(1) 甲状腺モニタ試作機の開発

- ・最適化した材質・厚さに基づく検出器遮蔽体の製作
- ・選定した検出器(公衆用:高感度LaBr<sub>3</sub>検出器、作業用:高エネルギー分解能CdZnTe検出器)各2個を準備
- ・検出器制御・スペクトル解析用ソフトウェアの開発

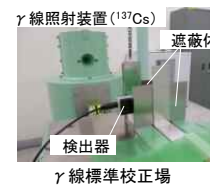
➡ 甲状腺モニタの試作機を開発



(2) 試作機の高線量率下における特性試験

- ・γ線標準校正場を用いた高線量率下での性能試験
- ・高バックグラウンド線量率環境を模擬した照射試験

➡ 試作機の測定性能を確認



今年度の目標: 甲状腺モニタ試作機の完成

3

【研究の概要】 平成30年度の実施計画と目標(2)



②高精度放射性ヨウ素定量法の開発

- 性別・年齢別ボクセルファントムを使用した体格補正方法の開発
- 簡易頸部ファントムを用いた試作機の計数効率の評価
- 甲状腺の大きさ、周辺組織の厚さ等の個人差が計数効率に与える影響の評価
  - ➔ 性別、年齢、体格等による解剖学的な相違を考慮した簡易頸部ファントムによる最適な定量法を開発

今年度の目標: **放射性ヨウ素定量法の完成**



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設計

今年度の目標: **検出器固定治具の設計**

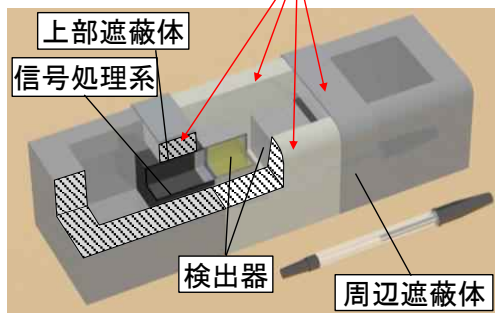
4

【研究の進捗】 ①甲状腺モニタ測定器の開発(1)

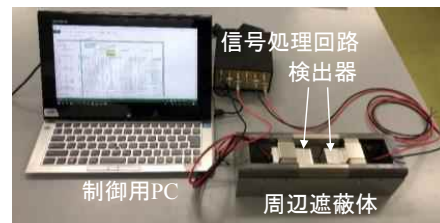


(1) 甲状腺モニタ試作機の開発

	高密度タングステン合金	鉛
原子番号	~74	82
密度	17.74 g/cm <sup>3</sup>	11.34 g/cm <sup>3</sup>



検出器周辺については遮蔽効果が高い高密度タングステン合金を採用



甲状腺モニタ試作機の写真  
検出器制御用ソフトウェアを製作中  
(~2月末)

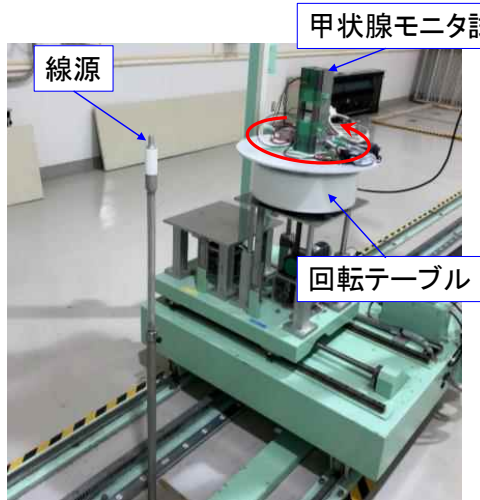
**試作機の完成(見込み)**

5

【研究の進捗】 ①甲状腺モニタ測定器の開発(2)



(2) 試作機の高線量率下における特性試験



γ線標準校正場における特性試験の様子

- γ線標準校正場において、高線量率下における特性試験に着手
- 高バックグラウンド環境を模擬するために回転テーブルを用いた全方位照射試験を実施  
⇒シミュレーション計算結果と整合
- 検出器制御用ソフトウェアの開発完了後に総合的な特性試験を実施予定

年度内に測定性能の確認(見込み)

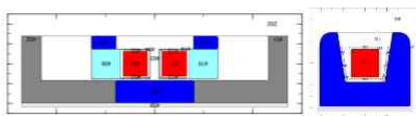
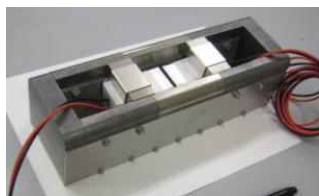
6

【研究の進捗】 ②高精度放射性ヨウ素定量法の開発(1)

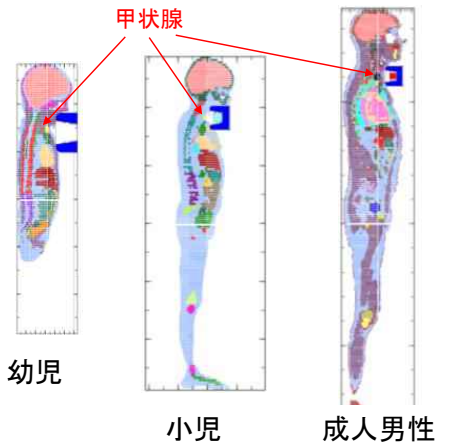


甲状腺モニタ試作機の計算体系⇒数値ファントムに組み込み済

- 計算コード : PHITS 3.0.2 (EGS mode)  
 数値ファントム : GSFボクセルファントム(幼児、小児)  
 ICRP標準ボクセルファントム(成人男性・女性)  
 JF-103、Onago ファントム(成人女性)  
 JM-103、Otoko ファントム(成人男性)



甲状腺モニタ試作機の計算体系



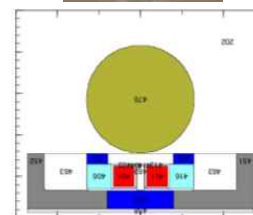
7

【研究の進捗】 ②高精度放射性ヨウ素定量法の開発(2)  
③甲状腺モニタシステムの開発



②高精度放射性ヨウ素定量法の開発

- 年齢・性別・体型の異なる様々な数値ファントムを用いて検出効率を計算  
⇒目標の性能(評価下限:10mSv)を達成可能
- 簡易頸部ファントムを活用した高線量率下におけるバックグラウンドの影響補正法を開発
- 今後、甲状腺、周辺組織の大きさの違いが甲状腺モニタ検出効率に与える影響を評価予定  
⇒補正の要否を検討するとともに放射性ヨウ素定量の精度を検証



簡易頸部ファントム



放射性ヨウ素定量法の完成(見込み)

③甲状腺モニタシステムの開発

- 検出器と被検者の位置関係を決定するための治具について、**概念設計を完了**

8

【成果】 成果の公表状況



- 5<sup>th</sup> Asia and Oceanic IRPA Congress on Radiation Protection (AOCR-5) において成果公表(5月20日~23日、オーストラリアメルボルン、ポスター発表)  
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
- 5<sup>th</sup> European IRPA Congressにおいて成果公表(6月4日~8日、オランダデン・ハーグ、ポスター発表)  
S. Nishino et al.: Conceptual design of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers
- 4<sup>th</sup> Asia Radiation Dosimetry Group annual meeting (ARADOS-4)において成果公表(10月17日~19日、韓国ソウル、口頭発表)  
Y. Tanimura et al.: Conceptual design of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers
- 日本原子力学会2019年春の年会で成果発表(3月19日~21日、茨城大学、口頭発表)  
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

9

## 【自己評価】 進捗状況及び成果公表



### (1) 進捗状況(平成30年度)

#### ① 甲状腺モニタ測定器の開発

- ・ 周辺遮蔽体と検出器を組み合わせた試作機を製作し、 $\gamma$ 線標準校正場での特性試験に着手しており、平成30年度の目標(試作機の製作及び特性評価)を達成できる見込みである。

#### ② 高精度放射性ヨウ素定量法の開発

- ・ ボクセルファントムと試作機を組み合わせた計算体系を作成し、目標評価下限値に対して十分な検出効率を得られる見通しを得るとともに、簡易頸部ファントムを用いた高線量率下におけるバックグラウンド放射線補正方法を開発できたことから、平成30年度の目標(放射性ヨウ素定量法の完成)を達成できる見込みである。

#### ③ 甲状腺モニタシステムの開発

- ・ 標準化用治具の概念設計を完了したことから、平成30年度の目標(検出器固定治具の設計)を達成できる見込みである。

⇒自己評価として、概ね計画どおりに進捗

10

## 【次年度計画】 テーマ別開発項目(1)



当初の計画どおり以下の研究テーマを実施予定

### ① 甲状腺モニタ測定器の開発

- ・ 試作機の実験で得られた成果に基づき、周辺遮蔽体寸法などの最適化
- ・ 公衆用及び作業員用の2種類の甲状腺モニタ測定器の実機を製作



#### ○ 指揮所等に設置する作業員用システム

多数の核種が混在、高線量率環境下  
⇒エネルギー分解能に優れるCdZnTe検出器

#### ○ 避難所等に設置する公衆用システム

幼児等を考慮した短時間測定、より低い評価下限値  
⇒大型化による感度向上が可能なLaBr<sub>3</sub>検出器

11



### ③甲状腺モニタシステムの開発

- 検出器と被検者の位置関係を決定し測定条件を標準化するための  
検出器固定治具を製作
- 高線量率下でのバックグラウンドを補正するための治具を作成
- 簡易頸部ファントムを用いた校正・定量方法の検証
- 甲状腺モニタシステムのマニュアルを作成



公衆用及び作業員用の甲状腺モニタシステムの完成

### 成果の公表

- Solid State Dosimetry 19(SSD-19)等の国際会議において成果報告
- 原子力学会等の国内学会において成果を報告
- 成果のとりまとめ⇒論文の投稿



## 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

Development of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers

### (4) Fabrication and characteristic test of the prototype monitor

\*谷村 嘉彦<sup>1</sup>, 西野 翔<sup>1</sup>, 吉富 寛<sup>1</sup>, 高橋 聖<sup>1</sup>

<sup>1</sup>原子力機構

$\gamma$ 線スペクトロメータと検出器用遮蔽体を組み合わせたエネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタ試作機を開発し、 $\gamma$ 線標準校正場を用いた試験と及び数値ファントムを用いた計算によりその特性を試験した。

**キーワード**：甲状腺，放射性ヨウ素，内部被ばく，CdZnTe 検出器，LaBr<sub>3</sub>(Ce)検出器

#### 1. 緒言

日本原子力研究開発機構では、原子力施設での事故等の高バックグラウンド線量率下において、公衆及び作業員の甲状腺の内部被ばく線量を測定するために、 $\gamma$ 線スペクトロメータを用いたエネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタ（甲状腺モニタ）を開発している。これまでに、 $\gamma$ 線標準校正場及びシミュレーション計算を用いて検出器の選定と遮蔽体材質・厚さの最適化を行ってきた<sup>[1]</sup>。今回、CdZnTe 検出器を用いた作業員用及び LaBr<sub>3</sub>(Ce)検出器を用いた公衆用の2種類の甲状腺モニタについて、周辺遮へい体と2個の検出器で構成される試作機を製作し、 $\gamma$ 線標準校正場等を利用してその特性を試験した。さらに、高バックグラウンド線量率下での使用を考慮して、バックグラウンド放射線の補正法を検討した。

#### 2. 甲状腺モニタ試作機の特性試験とバックグラウンド補正法の開発

試作した甲状腺モニタの写真を図1に示す。試作機について<sup>131</sup>Iからの $\gamma$ 線を模擬した<sup>133</sup>Ba線源を用いて、高線量率下における遮蔽効果等の特性を放射線標準施設棟の $\gamma$ 線標準校正場において試験した。また、年齢別数値ファントムを用いた計算により、試作した甲状腺モニタの検出効率を評価し、甲状腺等価線量を十分な精度で測定できることを確認した。さらに、バックグラウンド放射線が測定に与える影響について、甲状腺モニタの校正に用いるアクリル樹脂（PMMA）製簡易頸部ファントムを活用して補正する手法を開発した。

#### 3. 結論

甲状腺モニタの試作機について、 $\gamma$ 線標準校正場における試験と年齢別数値ファントムを用いた計算から、必要な遮蔽性能及び検出効率を有していることを確認した。また、事故時のバックグラウンド放射線の補正法を開発した。これにより、甲状腺モニタの実用化へのめどを得た。

本件は、原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（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）事業」により得られた成果の一部である。

#### 参考文献

[1] 谷村嘉彦他：日本原子力学会2018年春の年会1E08～1E10「エネルギー分析型甲状腺放射線ヨウ素モニタの開発(1)～(3)」(2018年3月大阪大学)

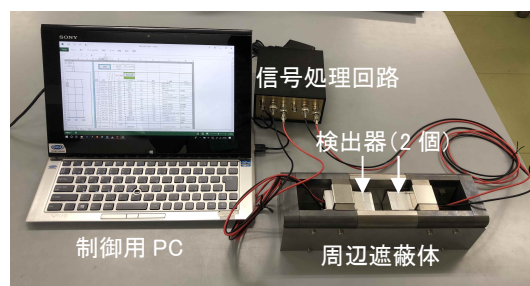


図1 甲状腺モニタ試作機の写真

\*Yoshihiko Tanimura<sup>1</sup>, Sho Nishino<sup>1</sup>, Hiroshi Yoshitomi<sup>1</sup> and Masa Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency

# 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



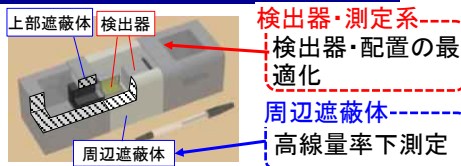
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構  
○谷村 嘉彦、西野 翔、吉富 寛、高橋 聖

### 目的

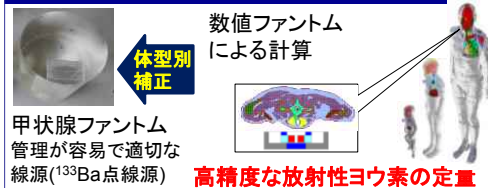


γ線エネルギー分析方式の**可搬型甲状腺モニタシステムを開発**  
→ 多数の公衆及び作業者の迅速かつ高精度な測定・評価

#### ① 甲状腺モニタ測定器の開発



#### ② 高精度放射性ヨウ素定量法の開発



#### ③ 甲状腺モニタシステムの開発

- 検出器固定用治具の開発
  - ・ 検出器と被検者の位置を正確に決定
- 測定法の標準化
  - ⇒ マニュアル作成



- 原子力規制委員会 放射線安全規制研究戦略的推進事業に採択
- 平成29年度~平成31年度の3年間で開発する計画

1



## 研究計画と進捗状況

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の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>検出器の試験・選定</li> <li>遮蔽体材質・形状の最適化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定器の試作性能評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機の製作</li> </ul>
②高精度放射性ヨウ素定量法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>年齢別頸部ファントムの製作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>頸部ファントムの製作</li> <li>頸部及び数値ファントムによる定量法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定量法の完成</li> </ul>
③甲状腺モニタシステムの開発		<ul style="list-style-type: none"> <li>標準化用治具の設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準化用治具の製作</li> <li>マニュアル作成</li> <li>システム完成</li> </ul>

平成30年(2018年)春の年会での報告内容

- ・最適な検出器、遮蔽体(材質・厚さ)を選定
- ・数値ファントムを用いた検出器配置の決定
- ・年齢別頸部ファントムを製作

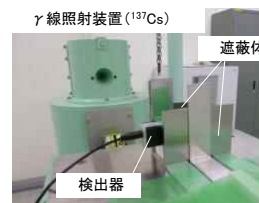
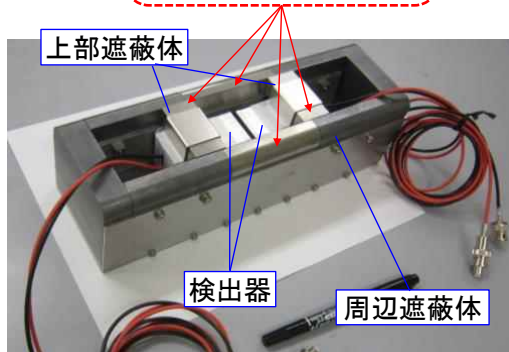
2



## ①甲状腺モニタ測定器の開発(1)

### 検出器用遮蔽体の試作

	高密度タングステン合金	鉛
原子番号	~74	82
密度	17.74 g/cm <sup>3</sup>	11.34 g/cm <sup>3</sup>



遮蔽効果の試験

材質・構造を最適化した遮蔽体を試作

検出器周辺 → 高密度タングステン合金を採用

3



# ①甲状腺モニタ測定器の開発(2)

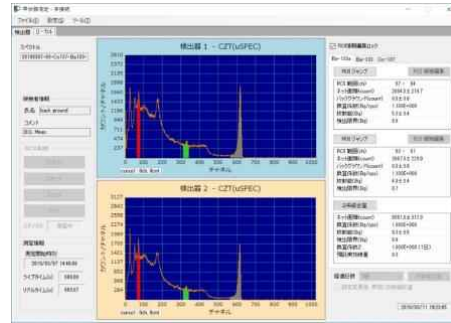
## 甲状腺モニタ測定器の試作

### 検出器



LaBr<sub>3</sub>(公衆用) CdZnTe(作業用)

### 制御用ソフトウェア



- ・2個の検出器を同時に制御
- ・ $\gamma$ 線ピークの解析
- ➡ 放射性ヨウ素の定量

### 甲状腺モニタ試作機



4



# ①甲状腺モニタ測定器の開発(3)

## 試作機の実験



$\gamma$ 線標準場における特性試験

- ・ Cs-137、Co-60の高線量率環境下(20  $\mu$ Sv/h)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	公衆(LaBr <sub>3</sub> )			作業者(CdZnTe)
	乳児*	小児	成人	
<sup>137</sup> Cs	9.3	7.4	2.2	3.7
<sup>60</sup> Co	6.7	5.3	1.6	2.7

\*乳児のみ測定時間: 300秒、その他: 150秒

20  $\mu$ Sv/hの高線量率環境下においても**10mSvの評価が可能**

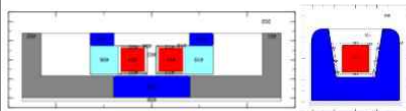
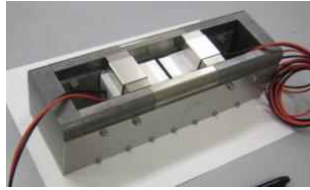
5



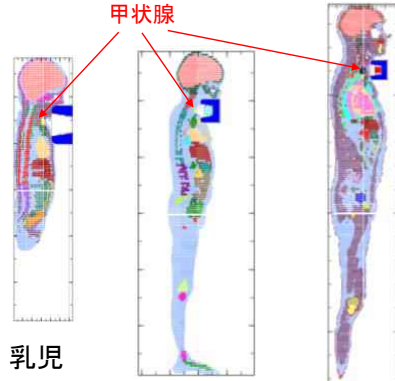
## ②高精度放射性ヨウ素定量法の開発(1)

### 甲状腺モニタ試作機・数値ファントムの計算体系

計算コード : PHITS 3.0.2 (EGS mode)  
 数値ファントム : GSFボクセルファントム(乳児、小児)  
 ICRP標準ボクセルファントム(成人男性・女性)  
 JF-103、Onago ファントム(成人女性)  
 JM-103、Otoko ファントム(成人男性)



甲状腺モニタ試作機  
の計算体系



乳児

小児

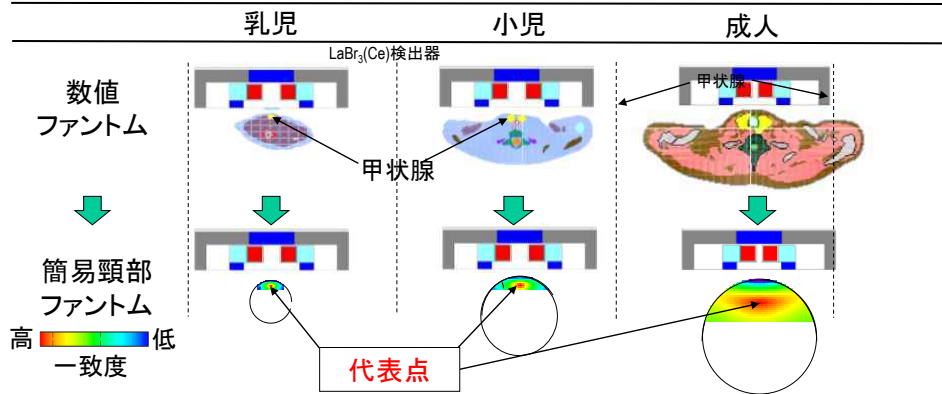
成人男性

6



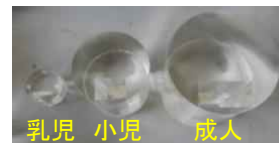
## ②高精度放射性ヨウ素定量法の開発(2)

### 数値ファントムと等価な検出効率を与える代表点



4%以内で一致

簡易頸部ファントム内の代表点に点線源を配置して、モニタの校正が可能



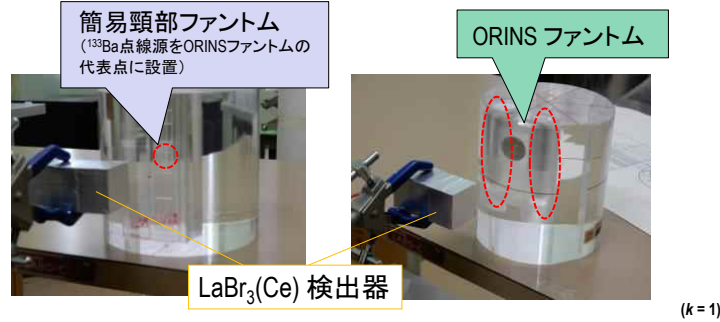
簡易頸部ファントム

7



## ②高精度放射性ヨウ素定量法の開発(3)

### 開発した校正法の検証



	簡易頸部ファントム	ORINSファントム
検出効率 (cpm/photons/s)	$0.18 \pm 0.01$	$0.19 \pm 0.04$

不確かさの範囲で一致⇒開発した手法の妥当性を確認

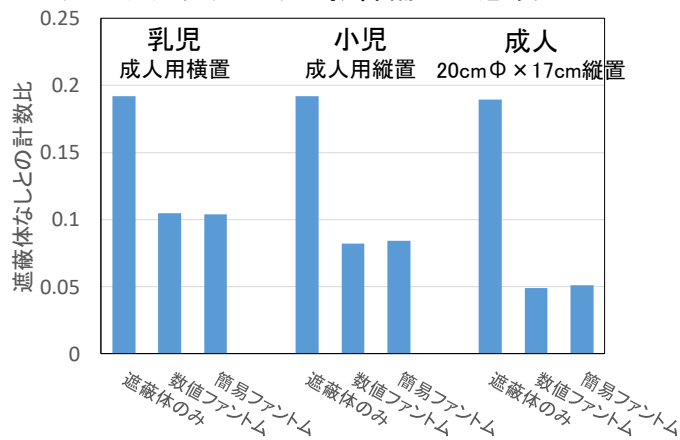
8



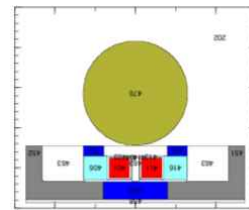
## ②高精度放射性ヨウ素定量法の開発(4)

### バックグラウンド補正法の開発

高線量率下においては、周辺の放射性ヨウ素(バックグラウンド)の影響補正が必須



簡易頸部ファントム (成人用)  
13cmΦ × 12cm



乳児向け配置例

簡易頸部ファントムの活用で補正が可能

9





## まとめ

### 開発内容

#### ① 甲状腺モニタ測定器の開発

- 甲状腺モニタ測定器の試作機が完成  
⇒  $\gamma$ 線標準校正場( $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ )において試験  
高線量率下(20  $\mu\text{Sv/h}$ )でも10mSv(甲状腺等価線量)の評価が可能

#### ② 高精度放射性ヨウ素定量法の開発

- 数値ファントムと等価なフルエンスを与える簡易頸部ファントム中の代表点を決定  
⇒ 体積線源入りORINSファントムに適用して妥当性確認
- 周辺からの放射性ヨウ素の影響補正法を開発  
簡易頸部ファントムを用いた甲状腺モニタの校正法及びバックグラウンド補正法が完成

➤ 本件は、原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(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)事業」により得られた成果の一部である。

平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進  
事業費（環境モニタリング線量計の現地校  
正に関する研究）事業

成果報告書

平成31 年3 月

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

## 内容

1	本研究の目的.....	3
1-1	はじめに .....	3
1-2	研究の目的.....	3
2	高線量地域（福島県内）に設置されている環境モニタリング線量計の設置状況について.....	5
2-1	MPの仕様について .....	5
2-2	MPの設置状況の確認.....	10
2-3	高線量地域の実証実験のためのMPの選定.....	18
3	バックグラウンド低減のための遮へい効果の検証.....	23
3-1	高バックグラウンド地域に設置されているモニタリングポストの選定.....	23
3-2	サーベイメータによるモニタリングポスト周辺の線量率分布.....	23
3-3	スペクトル測定 .....	26
3-4	遮へいの効果について .....	27
4	コリメート照射装置及びモニタリングポスト遮へい体の製作.....	31
4-1	照射装置及び遮へい体の製作 .....	31

4-2 照射装置の線量率の決定.....	32
5 従来手法との比較.....	34
5-1 日本分析センターによる現地校正結果.....	34
5-2 本研究による現地校正手法.....	36
5-3 校正結果の比較.....	37
6 まとめ.....	39

## 1 本研究の目的

### 1-1 はじめに

現在、我が国では原子力施設を中心に環境の放射線量を連続的に測定するためのモニタリングポストに代表される放射線計測機器（以下「連続モニタ」という。）が多数設置・運用されている。連続モニタは、検出器及び演算処理部が建屋等に強固に固定されていることが多く、装置を取り外して校正施設等で校正することが困難である。また、連続測定が義務づけられている場合もあることから、欠測期間を最小限にできる現地校正が行われている。しかしながら、東京電力福島第一原子力発電所事故以降、福島県内を中心に多くの連続モニタが配置されているが、一部の地域では、校正に用いる照射線量に対して無視できないレベルのバックグラウンド線量が存在し、現地校正を容易に行うことができない状況にある。このため高バックグラウンド線量下における現地校正技術の開発が喫緊の課題となっている。本研究では、既存の校正手法では不得意な高バックグラウンド線量下においても精度よく校正を行うため、散乱線を低減させるためのコリメータ及び簡易遮へいを組み合わせた現地校正手法を確立し、高バックグラウンド線量下に設置している連続モニタ測定値の品質を適切に維持するための手法を構築することを目的とする。さらに、本校正手法は、コリメータを用いて散乱線を抑制できるため、現行広く行われている既存の校正手法では見積もることができない校正における不確かさを評価できる可能性がある。このため、校正における不確かさの評価手法及びその妥当性についても合わせて検討する。

### 1-2 研究の目的

現在、我が国では原子力施設を中心に環境の放射線量を連続的に測定するためのモニタリングポストに代表される連続モニタが多数設置・運用されている。

我が国における連続モニタの測定値の品質を保証するための取り組みについては、原子力規制委員会が開催している「環境放射線モニタリング技術検討チーム」の第5回会合において議論され、「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）」の中に取りまとめられている。当該資料では、「モニタリングポスト等による空間放射線量率の測定に関しては、測定器について定期的な校正又は確認校正により健全性を確認する必要がある。」とされ、連続モニタの測定値の品質の保証には、定期的な校正が必須であることが明記されている。

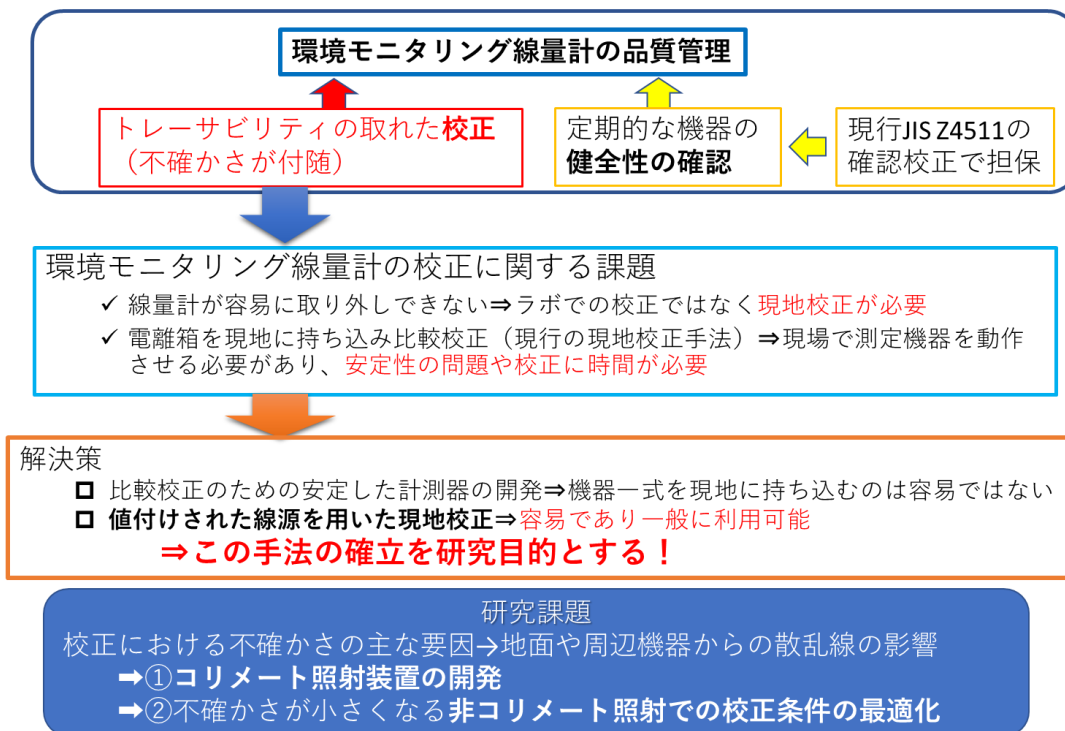
我が国における連続モニタは、検出器及び演算処理部が建屋等に強固に固定されていることが多く、装置を取り外して校正施設等で校正することが困難である。また、連続測定が義務づけられている場合もあることから、欠測期間を最小限にできる現地校正が行われている。

一方、東京電力福島第一原子力発電所事故以降、福島県内を中心に多くの連続モニタが配置されているが、一部の地域では、校正に用いる照射線量に対して無視できないレベルのバックグラウンド線量が存在し、現地校正を容易に行うことができない状況にある。しかしながら、この課題を解決するための系統的な研究はなされていないのが現状である。このため高バックグラウンド線量下における現地校正技術の開発が喫緊の課題となっている。

本研究では、既存の校正手法では不得意な高バックグラウンド線量下においても精度よく校正を行うため、散乱線を低減させるためのコリメーター及び簡易遮へいを組み合わせた現地校正手法を確立することを目的とする。さらに本校正手法は、コリメート照射による校正となっており、モニタリングポストの周辺機器からの散乱線を無視できる程度に低減することが可能である。線量率が付与された線源を用いる既存の校正手法では、周辺機器からの散乱線の影響があり、またこれらの影響の度合いも周辺機器の配置に大きく依存してしまう。このため、従来手法では校正の不確かさ評価が非常に困難であるが、本手法は周辺機器の配置に依存せず不確かさ評価が可能である。このため、校正における不確かさの評価手法及びその妥当性についても合わせて検討する。

H30 年度では、高バックグラウンド線量下において現地校正できるよう、既存の照射装置を改良し、下方向に向けたコリメート照射装置を開発した。本手法と基準電離箱による現地校正手法との比較を行い、その妥当性を確認した。

## 環境モニタリング線量計の品質管理に関する課題



環境モニタリング線量計の品質管理に関する課題点と本研究の位置づけ

## 2 高線量地域（福島県内）に設置されている環境モニタリング線量計の設置状況について

（本章は、平成 29 年度実施計画別添 1 の(3)現在利用されているモニタリング線量計の調査に対する報告内容である）

福島県内には環境モニタリング線量計（以下「MP」という。）が可搬型、固定型及びリアルタイム型が約 4000 基設置されている。これらの MP について、機器仕様及び設置状況の整理を行った。

### 2-1 MP の仕様について

福島県内には約 4000 基の MP が設置されており、内訳は次のとおりである。

- ・可搬型モニタリングポスト
- ・固定型モニタリングポスト
- ・リアルタイム線量測定システム

これらの MP について、主な仕様を以下に示す。

#### ①可搬型モニタリングポスト

可搬型モニタリングポストは、富士電機製が 2 種類、日立製作所製が 1 種類、福島県内に設置されている。富士電機製の可搬型モニタリングポストは、検出器に半導体検出器のみが使われている型（以下、「富士電機製 半導体型」という。）、NaI (TI) シンチレーション式及び半導体検出器が使われている型（以下、「富士電機製 NaI/半導体型」という。）が設置されている。また、日立製作所製は、検出器に NaI (TI) シンチレーション式及び半導体検出器が使われている型（以下、「日立製作所製 NaI/半導体型」という。）が設置されている。可搬型モニタリングポストの仕様の一例を表 1～表 3 に示す。

表1 可搬型モニタリングポスト（富士電機製 半導体型）の仕様の一例

項目	性能等
検出器	シリコン半導体検出器
測定線種	$\gamma$ 線
測定範囲	$10^2 \sim 10^8$ nGy/h
線量率測定精度	$\pm 20\%$ (0.1 $\mu$ Gy/h 以上, $^{137}\text{Cs}$ 基準)
エネルギー範囲	60 keV $\sim$ 6 MeV
エネルギー特性	$\pm 30\%$ , 60 keV $\sim$ 3 MeV ( $^{137}\text{Cs}$ 基準)
方向特性	$\pm 20\%$ , ( $0 \sim \pm 90^\circ$ )
表示器	12.1 インチ TFT カラーLCD
点検校正時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して横（水平）方向
データ記録	線量率 1 分値を 1 か月保存可能
本体外径	500(W) $\times$ 300(D) $\times$ 700(H)mm

【富士電機取扱説明書、Website 他】



表2 可搬型モニタリングポスト（富士電機製 NaI/半導体型）の仕様の一例

項目	性能等	
	NaI(Tl)シンチレーション式検出器 (低線量域)	半導体検出器 (高線量域)
測定線種	γ (X) 線	
測定範囲	BG ~100 mGy/h	
表示範囲	0.000 ~ 999.9 μGy/h 1.000 ~ 99.99mGy/h	
方向特性	方向特性 ±20%, ( -90 ~+90° の範囲において、 <sup>137</sup> Cs)	
エネルギー特性	許容範囲 ( <sup>137</sup> Cs に対して)	
	60~100 keV 未満 : 0.5~1.25 100~400 keV 未満 : 0.9~1.2 400~1500 keV 以下 : 0.9~1.1	60~100 keV 未満 : 0.5~1.3 100~400 keV 未満 : 0.7~1.3 400~1500 keV 以下 : 0.7~1.3
使用温度・湿度範囲	-10~+40°C 100%RH (相対湿度) 以下 (結露なきこと)	
点検校正時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して上 (垂直) 方向	
電源	AC85~110V 及び太陽電池(最大 70W×2 個)、 二次電池(105Ah×2 個)、バックアップ用一次電池(22Ah×2 個)	
本体外径	約 400(W)×300(D)×700(H)mm	

【富士電機取扱説明書】

表3 可搬型モニタリングポスト（日立製作所製 NaI/半導体型）の仕様の一例

項目	性能等	
	検出器	NaI(Tl)シンチレーション式検出器 (低線量域)
計数方式	測定部：デジタルレートメータ方式、記録部：積算平均方式	
測定範囲	バックグラウンド～11 $\mu$ Gy/h	9 $\mu$ Gy/h～100mGy/h
エネルギー測定範囲	50 keV ～ 3 MeV	50 keV ～ $\infty$
時定数	100秒または10秒	
積算平均値	10分、2分または1分	
$\gamma$ 線スペクトル測定	あり	
指示精度	±20%以内	
点検時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して上（垂直）方向	
使用温度・湿度範囲	-10°C～+40°C、90%以下（但し、結露しないこと）	

【提供：福島県】

②固定型モニタリングポスト

固定型モニタリングモニタリングポストの仕様の一例を表4に示す。

表4 固定型モニタリングポストの仕様の一例

項目	性能等	
	低線量率ポスト	高線量率ポスト
測定線種	γ線及びX線	
検出器	温度補償型 NaI(Tl)シンチレーション式検出器 (2インチφ×2インチ)	加圧型電離箱式検出器 (約14L)
測定範囲	バックグラウンド～10μGy/h	バックグラウンド～100mGy/h
測定エネルギー範囲	50keV～3MeV	50keV～∞
γ線スペクトル測定	あり(5MeV以上の計数を 5MeV相当のchに記録)	なし
検出部温度制御	加温・送風	
表示器	タッチパネル式6.5インチカラーTFT液晶	
表示項目	線量率、計数率、SCA線量率、 SCA計数率、スペクトル	線量率
指示精度	±1%±1digit	±2%±1digit
使用温度・湿度範囲	+5℃～+35℃、80%以下	
点検校正時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して上(垂直)方向	
検出器設置高さ	地面より1mまたは局舎上約1m	
メーカー名	株式会社日立製作所	

【提供：福島県】

③リアルタイム線量測定システム

リアルタイム線量測定システム（富士電機製）の仕様の一例を表5に示す。

表5 リアルタイム線量測定システム（富士電機製）の仕様の一例

項目	性能等
検出器	シリコン半導体検出器
測定線種	$\gamma$ (X) 線
測定範囲	バックグラウンド～99.99 $\mu$ Sv/h
エネルギー依存性	60 keV ～ 1.25 MeV について $\pm 25\%$ (Cs-137 基準)
電源	AC85～110V 及び太陽電池（最大 50W）、 二次電池（105 Ah）
点検校正時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して横（水平）方向
通信機能	携帯電話回線によるデータ送信が可能

【提供：福島県】

2-2 MP の設置状況の確認

福島県内には(1)のとおり、幾つかの MP が設置されている。MP の種類毎に設置状況を確認した。

①可搬型モニタリングポスト

可搬型モニタリングポストは、富士電機製の半導体型、NaI/半導体型及び日立製作所製の NaI/半導体型が約 600 基設置されている。それぞれの可搬型モニタリングポストの設置状況の一例を以下に示す。

a) 富士電機製 半導体型

富士電機製 半導体型の設置の様子を図 1～2 に示す。



図1 富士電機製 半導体型  
(設置地点：葛尾村 柏原地区 (原子力規制庁所有))



図2 富士電機製 半導体型  
(設置地点：双葉町 石熊公民館 (原子力規制庁所有))

富士電機製 半導体型の設置状況を表6に示す。

表 6 富士電機製 半導体型の設置状況

検出器	設置状況
半導体型	検出器中心が地上高 1m の高さになるように設置
	約 1m × 約 1m の鉄板の上に MP が設置
	MP の側面に衛星通信のアンテナ及び支柱が設置
	AC 電源が確保できない地域は、検出器上部付近にソーラーパネルが設置
	測定値表示は測定器本体に内蔵
	検出器の周囲にフェンスが取り付けられている地点、フェンスの無い地点がある
	検出器は半導体のみ、低線量率から高線量率まで対応
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して横（水平）方向
	検出器中心を表す印が外（断熱）カバーに記されている

b) 富士電機製 NaI/半導体型

富士電機製 NaI/半導体型の設置の様子を図 3~4 に示す。



図 3 富士電機製 NaI/半導体型（設置地点：浪江町 小丸多目的集会所（原子力規制庁所有）



図4 富士電機製 NaI/半導体型（設置地点：飯舘村 大倉体育館\*（原子力規制庁所有））

\*ここで示したMPは、一例として環境場に設置されているMPを示したものであり、高線量率地域に設置されているMPではない。

富士電機製 NaI/半導体型の設置状況を表7に示す。

表7 富士電機製 NaI/半導体型の設置状況

検出器	設置状況
NaI/ 半導体型	検出器中心が地上高1mの高さになるように設置
	約1m×約1mの鉄板の上にMPが設置
	衛星通信を利用している地点では、MPの側面に衛星通信のアンテナ及び支柱が設置
	AC電源が確保できない地域は、検出器上部付近にソーラーパネルが設置
	検出器上部付近に測定値表示板が設置
	検出器の周囲にフェンスが取り付けられている地点、フェンスの無い地点がある
	検出器には低線量率用にNaI(Tl)シンチレーション、高線量率用に半導体検出器が取り付けられている
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して上（垂直）方向
	検出器中心を表す印が外（断熱）カバーに記されている

c) 日立製作所製 NaI/半導体型

日立製作所製 NaI/半導体型の設置の様子を図5に示す。



図5 日立製作所製 NaI/半導体型（設置地点：浪江町 請戸局\*（福島県所有）

\*ここで示したMPは、一例として環境場に設置されているMPを示したものであり、高線量率地域に設置されているMPではない。

日立製作所製 NaI/半導体型の設置状況を表8に示す。

表8 日立製作所製 NaI/半導体型の設置状況

検出器	設置状況
NaI/ 半導体型	検出器中心が地上高1mの高さになるように設置
	ソーラーパネル、バッテリー等の付属物を載せているフレームが設置
	AC電源が確保できない地域は、検出器上部付近にソーラーパネル、バッテリーが設置
	検出器上部付近に測定値表示板が設置
	原則、検出器の周囲にフェンスが取り付けられている
	検出器には低線量率用にNaI(Tl)シンチレーション、高線量率用に半導体検出器が取り付けられている
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して上（垂直）方向
	検出器の外（断熱）カバーに検出器中心を示す印が付されている



②固定型モニタリングポスト

固定型のモニタリングポストは福島県内に約 50 基設置されており、建物屋上に検出器が取り付けられているタイプ（以下「局舎上」という。）、地面に取り付けられているタイプ（以下「路地上」という。）がある。

a) 局舎上

局舎上に取り付けられている固定型モニタリングポストの設置の様子を図 6 に示す。



図 6 局舎上の固定型モニタリングポスト（設置地点：富岡町 富岡局\*（福島県所有）

\*ここで示した MP は、一例として環境場に設置されている MP を示したものであり、高線量率地域に設置されている MP ではない。

舎上の固定型モニタリングポストの設置状況を表 9 に示す。

表 9 局舎上の固定型モニタリングポストの設置状況

検出器	設置状況
NaI(Tl) 及び 電離箱 検出器	主にコンクリート製の建物（局舎）の屋上に設置
	低線量率計が NaI、高線量率計が電離箱の検出器が設置
	検出器中心が局舎上面から 1m 程度の高さに設置
	NaI 及び電離箱検出器が各々外（断熱）カバーに覆われて設置
	局舎によっては、気象観測装置、ダストサンプラーの吸入口が屋上付近に取り付けられている
	検出器の上（垂直）方向、横（水平）方向に障害となる物は置かれていない（局舎によっては、雨量計、大型水盤等の機器が設置されている）
	検出器が局舎の端に設置されている測定地点がある
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して上（垂直）方向

b) 路地上

地面上に取り付けられている固定型モニタリングポストの設置の様子を図7に示す。



図7 路地上の固定型モニタリングポスト

(南相馬市 萱浜局\* (福島県所有))

\*ここで示したMPは、一例として環境場に設置されているMPを示したものであり、高線量率地域に設置されているMPではない。

路地上の固定型モニタリングポストの設置状況を表10に示す。

表10 路地上の固定型モニタリングポストの設置状況

検出器	設置状況
NaI(Tl) 及び 電離箱 検出器	検出器中心が地面から1mの高さになるよう設置
	低線量率計がNaI、高線量率計が電離箱の検出器が設置
	検出器の近くに測定部等を収納する局舎等が設置
	NaI及び電離箱検出器が各々外(断熱)カバーに覆われて設置
	検出器の周囲にフェンスが取り付けられている
	検出器の上(垂直)方向、横(水平)方向に校正の支障となる物は置かれていない
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して上(垂直)方向
気象観測装置等の装置が取り付けられている測定地点がある	

### ③リアルタイム線量測定システム

リアルタイム線量測定システムは、福島県内に約 3000 基が設置されている。リアルタイム線量測定システムの様子を図 8 に示す。



図 8 リアルタイム線量測定システム

(設置地点：富岡町 エスパイエル公園\* (福島県所有))

\*ここで示した MP は、一例として環境場に設置されている MP を示したものであり、高線量率地域に設置されている MP ではない。

リアルタイム線量測定システムの設置状況を表 11 に示す。

表 11 リアルタイム線量測定システムの設置状況

検出器	設置状況
半導体	検出器中心が地面から 1m の高さになるよう設置
	AC 電源が確保できない地域は、検出器上部付近にソーラーパネルが設置されている
	検出器上部付近に測定値表示板が設置
	フェンスはほぼ取り付けられていない
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して横（水平）方向

## 2-3 高線量地域の実証実験のための MP の選定

福島県内に設置されている約 4000 基の MP について、高線量地域に設置されている線量計の選定（抽出）を行った。また、現地校正が可能な線量計の選定を行った。選定（抽出）は原子力規制委員会ホームページ“放射線モニタリング情報”により検索した。選定（抽出）した結果を表 12 に示す。なお、高線量地域は、 $1\mu\text{Sv/h}$  ( $=1\mu\text{Gy/h}$ ) 以上とした。

表 12 福島県内の高線量地域 ( $1\mu\text{Sv/h}$  以上) に設置されている MP

市町村	設置場所	線量率	単位	ポスト 種類
浪江町	小丸多目的集会所	8.37	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	やすらぎ荘<平成25年12月に新規設置>	7.37	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	大柿簡易郵便局（葛尾村営バス停脇）	4.442	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	昼曾根屯所	3.948	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	南津島下冷田 2（環境省設置）	3.708	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	福島県立浪江高等学校津島校	3.587	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	大字下津島字大和久地内<平成25年12月に新規設置>	3.43	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	陶芸の杜おおぼり	3.43	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	赤字木字白石森地内（環境省設置）	3.243	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	手七郎集会所	2.956	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	葛久保集会所	2.928	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	賀老集会所	2.692	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	南津島下冷田 1（環境省設置）	2.595	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	赤字木集会所	2.529	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	室原上組集会所<平成25年12月に新規設置>	2.309	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	南下コミュニティーセンター	2.12	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	南津島上集会所<平成25年12月に新規設置>	1.895	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	末森集会所<平成25年12月に新規設置>	1.808	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	下津島集会所<平成25年12月に新規設置>	1.604	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	室原公民館	1.568	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	赤字木字白追地内（環境省設置）	1.547	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	浪江町立津島小学校	1.492	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	室原北向集会所<平成25年12月に新規設置>	1.35	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	酒井集会所	1.288	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	南津島広谷地（環境省設置）	1.244	$\mu\text{Sv/h}$	◇

浪江町	末森中継ポンプ場<平成25年12月に新規設置>	1.235	μ Sv/h	○
浪江町	南津島局	1.106	μ Sv/h	■
富岡町	国道6号線富岡町新夜ノ森地内	2.066	μ Sv/h	○
富岡町	夜の森つつみ公園<平成25年12月に新規設置>	2.035	μ Sv/h	○
富岡町	小良ヶ浜多目的運動広場<平成25年12月に新規設置>	1.751	μ Sv/h	○
富岡町	桜2丁目公園<平成25年12月に新規設置>	1.732	μ Sv/h	○
富岡町	新田第三なかよし広場（福島県設置）	1.652	μ Sv/h	○
富岡町	小良ヶ浜多目的集会所	1.596	μ Sv/h	◇
富岡町	新田多目的集会所	1.342	μ Sv/h	■
飯舘村	長泥字曲田地内（福島県設置）	1.853	μ Sv/h	○
飯舘村	村道長泥曲田線（環境省設置）	1.787	μ Sv/h	○
飯舘村	比曾字下比曾地内（福島県設置）	1.506	μ Sv/h	○
南相馬市	鉄山ダム	1.129	μ Sv/h	◇
大熊町	夫沢三区地区集会所	8.923	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町 夫沢	7.937	μ Sv/h	■
大熊町	小入野地区公民館	6.324	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町水産振興公社（福島県設置）	5.346	μ Sv/h	○
大熊町	大熊町 南台	5.294	μ Sv/h	■
大熊町	夫沢二区地区集会所	4.498	μ Sv/h	◇
大熊町	熊町小学校	4.329	μ Sv/h	◇
大熊町	小入野東平2（環境省設置）	4.233	μ Sv/h	○
大熊町	小入野東平1（環境省設置）	3.87	μ Sv/h	○
大熊町	下野上一区地区集会所	3.728	μ Sv/h	◇
大熊町	町区集落センター	3.541	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町保健センター<平成25年12月に新規設置>	2.92	μ Sv/h	○
大熊町	大熊町図書館<平成25年12月に新規設置>	2.627	μ Sv/h	○
大熊町	ふれあいパーク<平成25年12月に新規設置>	2.612	μ Sv/h	○
大熊町	大熊町スポーツセンター<平成25年12月に新規設置>	2.576	μ Sv/h	○
大熊町	野馬形地区集会所<平成25年12月に新規設置>	2.484	μ Sv/h	◇
大熊町	大和久区地区集会所<平成25年12月に新規設	2.28	μ Sv/h	◇

	置>			
大熊町	国道6号線大熊町西大和久地内	2.203	$\mu$ Sv/h	○
大熊町	駅前地区集会所<平成25年12月に新規設置>	2.084	$\mu$ Sv/h	◇
大熊町	大熊町文化センター<平成25年12月に新規設置>	2.043	$\mu$ Sv/h	○
大熊町	大熊町保育所<平成25年12月に新規設置>	1.911	$\mu$ Sv/h	○
大熊町	旭台公園<平成25年12月に新規設置>	1.848	$\mu$ Sv/h	○
大熊町	下野上二区地区集会所<平成25年12月に新規設置>	1.818	$\mu$ Sv/h	◇
大熊町	大熊町 熊川	1.79	$\mu$ Sv/h	■
大熊町	大熊中学校	1.637	$\mu$ Sv/h	◇
大熊町	夫沢一区地区集会所	1.634	$\mu$ Sv/h	◇
大熊町	小入野東平3 (環境省設置)	1.494	$\mu$ Sv/h	○
大熊町	熊三区地区集会所<平成25年12月に新規設置>	1.4	$\mu$ Sv/h	◇
大熊町	熊川区地区集会所	1.395	$\mu$ Sv/h	◇
大熊町	大熊町 向畑	1.339	$\mu$ Sv/h	■
大熊町	野上二区地区集会所<平成25年12月に新規設置>	1.263	$\mu$ Sv/h	◇
大熊町	大熊町 大野	1.113	$\mu$ Sv/h	■
大熊町	野上一区地区集会所	1.05	$\mu$ Sv/h	◇
双葉町	谷沢町集会所 (福島県設置)	5.402	$\mu$ Sv/h	○
双葉町	JA双葉北部営農センター<平成25年12月に新規設置>	5.333	$\mu$ Sv/h	○
双葉町	双葉町 山田(山田農村広場)	4.578	$\mu$ Sv/h	■
双葉町	石熊公民館	1.95	$\mu$ Sv/h	◇
双葉町	双葉町青年婦人会館<平成25年12月に新規設置>	1.75	$\mu$ Sv/h	○
双葉町	双葉町 新山(双葉町体育館)	1.325	$\mu$ Sv/h	■
双葉町	双葉幼稚園<平成25年12月に新規設置>	1.323	$\mu$ Sv/h	○
葛尾村	木取場入口バス停付近 (福島県設置)	3.122	$\mu$ Sv/h	○
葛尾村	野行集会所近傍<平成25年12月に新規設置>	1.789	$\mu$ Sv/h	○
葛尾村	葛尾村柏原地区	1.709	$\mu$ Sv/h	◇

○：リアルタイム線量測定システム    ◇：可搬型モニタリングポスト    ■：固定型モニタリングポスト

注) 原子力規制委員会ホームページ “放射線モニタリング情報”により検索した結果。

検索は平成 30 年 9 月 4 日 0:00 のデータを用いた（富岡町 南津島局は平成 30 年 9 月 5 日 0:00 の測定データ）。

検索した時間において、機器調整等による調整中が行われていた測定地点のデータは含まれていない。

原子力規制委員会ホームページ“放射線モニタリング情報”により検索した結果、 $1\mu\text{Sv/h}$  以上の測定場所は、平成 30 年 9 月 4 日 0:00 現在 81 地点であった。最も高い測定値を示している場所は、大熊町の夫沢三区地区集会所の  $8.9\mu\text{Sv/h}$ 、次いで浪江町の小丸多目的集会所の  $8.4\mu\text{Sv/h}$  であった。市町村別では、浪江町が 27 場所、富岡町が 7 場所、南相馬市が 1 場所、大熊町が 33 場所、双葉町が 7 場所、飯館村が 3 場所、葛尾村が 3 場所であった。ポストの種類別では、固定型モニタリングポストが 9 場所、可搬型モニタリングポストが 34 場所、リアルタイム線量計システムが 38 場所であった。

$1\mu\text{Sv/h}$  以上の高線量地域の 34 場所に設置されている主な可搬型モニタリングポストについて、特徴を表 13 に示す。また、設置場所で採寸した可搬型モニタリングポストを図 9 及び 10 に示す。

表 13 高線量地域に設置されている主な可搬型モニタリングポストの特徴

設置場所		線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	特徴			
			A	B	C	D
浪江町	小丸多目的集会所	8.37	無	有 約 1m	上	NaI/ 半導体型
大熊町	夫沢二区地区集会所	4.50				
浪江町	大柿簡易郵便局 (葛尾村営バス停脇)	4.44				
大熊町	熊町小学校	4.33				
浪江町	昼曾根屯所	3.95				
浪江町	手七郎集会所	2.96				
浪江町	賀老集会所	2.69				
浪江町	赤宇木集会所	2.53				
双葉町	石熊公民館	1.95	有	※	横	半導体型
葛尾村	葛尾村柏原地区	1.71	無	無		
大熊町	野上一区地区集会所	1.05		有 約 1m	上	NaI/ 半導体型

A：フェンスの設置

B：ソーラーパネル等、線源照射に影響の可能性がある検出器上部の付属物の有無  
(表中の数字は検出器と付属物の距離)

※双葉町石熊公民館は検出器の横方向に線源を設置する際に、線源の設置位置によりフェンスが影響

C：校正時の検出器に対する線源設置方向

上：検出器の軸に対して垂直方向

横：検出器の軸に対して水平方向

D：検出器（富士電機製（原子力規制庁所有））

注) 線量率は原子力規制委員会ホームページ“放射線モニタリング情報”により検索した結果である。検索は平成30年9月4日0:00のデータを用いた。

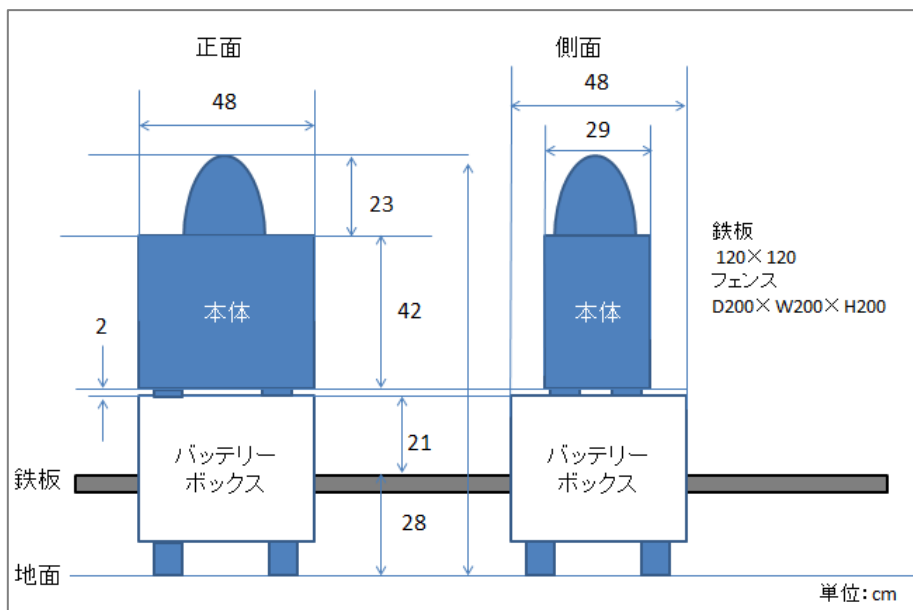


図9 設置場所で採寸した可搬型モニタリングポストの寸法（富士電機製 半導体型）



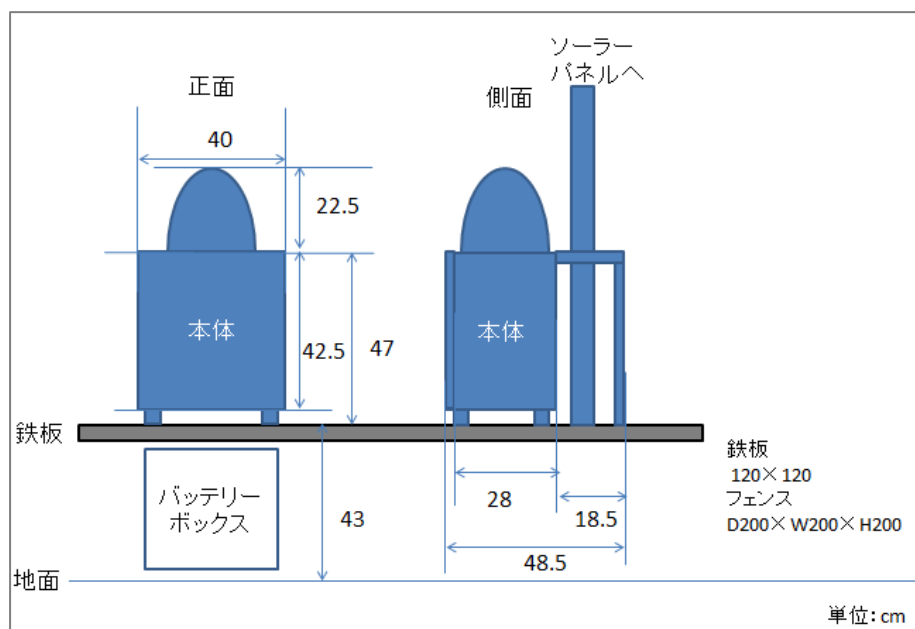


図 10 設置場所で採寸した可搬型モニタリングポストの寸法

(富士電機製 NaI/半導体型)

### 3 バックグラウンド低減のための遮へい効果の検証

#### 3-1 高バックグラウンド地域に設置されているモニタリングポストの選定

1  $\mu\text{Sv/h}$  以上の線量率となっているモニタリングポストを2か所選定し、線量率測定、スペクトル測定、遮へい効果の検証を行った。調査を行った地点は以下の通りである。

- ・福島県双葉郡双葉町

同町内の石熊公民館敷地内に設置されている可搬型モニタリングポスト (図 1 1)

- ・福島県双葉郡大熊町

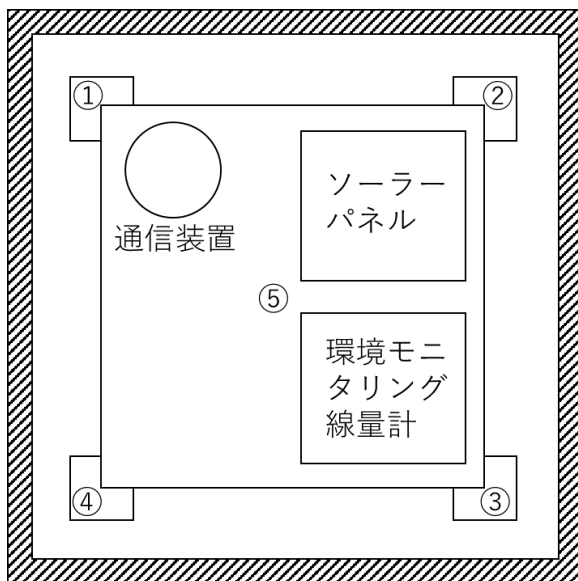
同町内の夫沢二区地区集会所敷地内に設置されている可搬型モニタリングポスト (図 1 2)

#### 3-2 サーベイメータによるモニタリングポスト周辺の線量率分布

##### (1) 双葉町モニタリングポスト



図 1 1 調査を行った双葉町に設置されている可搬型モニタリングポスト



※斜線部はフェンス

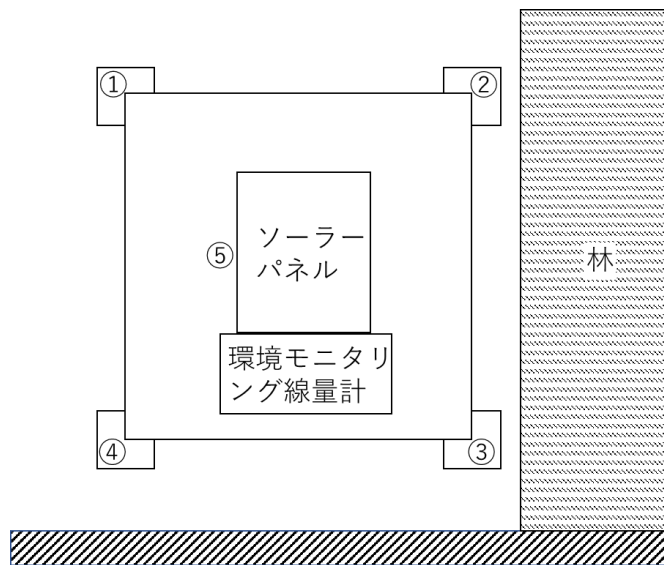
- ① 2.28  $\mu\text{Sv/h}$
- ② 2.24  $\mu\text{Sv/h}$
- ③ 2.28  $\mu\text{Sv/h}$
- ④ 2.37  $\mu\text{Sv/h}$
- ⑤ 1.97  $\mu\text{Sv/h}$

- ・ 中心では鉄板の影響のせいか、線量率が減少。地面付近で線量率が高い。
- ・ モニタリング装置とソーラーパネル間の距離は約 50 cm

(2) 大熊町モニタリングポスト



図 1 2 調査を行った大熊町に設置されている可搬型モニタリングポスト



① 4.72  $\mu\text{Sv/h}$

② 5.57  $\mu\text{Sv/h}$

- ③ 5.32  $\mu\text{Sv/h}$
- ④ 4.24  $\mu\text{Sv/h}$
- ⑤ 4.50  $\mu\text{Sv/h}$

- ・ 駐車場（アスファルト上）に設置されたモニタリングポスト
- ・ 土の多い林に近いほど線量率が上昇

2か所のモニタリングポスト周辺はまだ除染が行われておらず、周辺の地形や設置されている地面の状況により、線量率に大きな分布があることが分かった。

### 3-3 スペクトル測定

それぞれのモニタリングポストそばで、CdZnTe 検出器によるスペクトル測定を行った。測定された波高分布データと応答関数をもとに、アンフォールディングにより光子スペクトルを求めた。（図13、14）

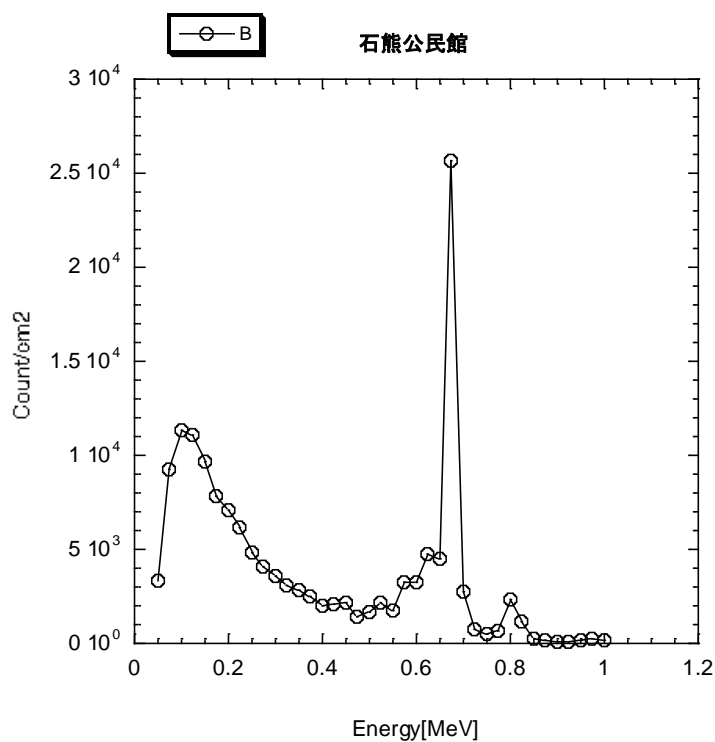


図13 双葉町に設置されている可搬型モニタリングポスト付近の光子スペクトル

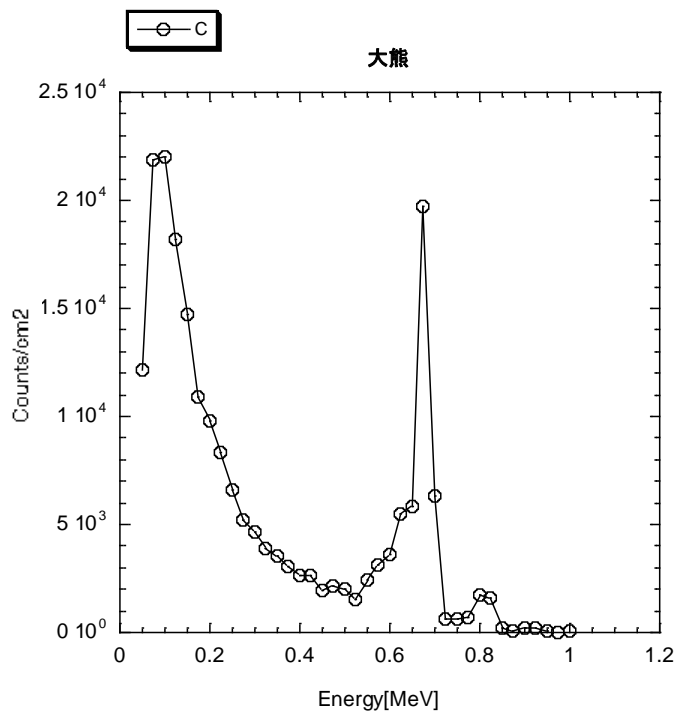


図1 4 大熊町に設置されている可搬型モニタリングポスト付近の光子スペクトル

両者のスペクトルを見て明らかなように、Cs-137 からの 0.6 MeV ガンマ線のピークが確認された。また 0.8 MeV 付近にも小さなピークが確認され、Cs-134 が存在していることが分かった。研究代表者が以前から行っている福島県内のスペクトル測定の結果からも同様のスペクトルデータが得られており、これは未除染で測定位置のすぐそばに放射性物質が沈着していることを意味している。また双葉町と大熊町のスペクトルを比較すると、大熊町の散乱線成分が多いことが分かった。双葉町のモニタリングポストは広い平地に設置されていたが、大熊町はモニタリングポストのすぐ脇に林があり、サーベイメータの計測でも林の中の線量が大きく、放射性物質が多く沈着していることが確認できた。大熊町でのこの散乱線成分が多いのは、この隣接する林から飛来しているためだと推測される。

### 3-4 遮へいの効果について

CdZnTe 検出器の周りに銅板を配置し、どれくらい線量率が減少するか検討を行った。以下に測定時の写真を示す。

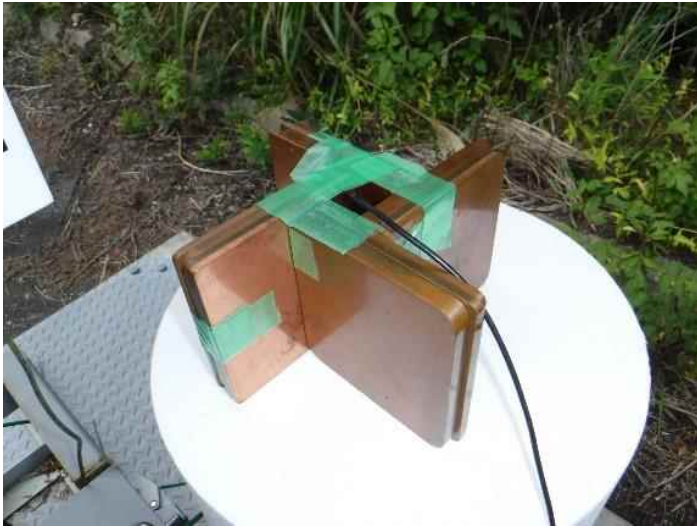


図 1 5 側面 4 方向を遮へいした場合



図 1 6 下方向及び屋根による側面 2 方向、上方方向を遮へいした場合



図17 下方方向のみを遮へいした場合

以下に測定された線量率及び減少率を示す。

石熊公民館結果

遮へいなし	下のみ Cu19mm	屋根のみ 19mm	屋根+下 19mm	側面 19mm
1.88 $\mu\text{Sv/h}$	1.01 $\mu\text{Sv/h}$	1.30 $\mu\text{Sv/h}$	0.7 $\mu\text{Sv/h}$	0.59 $\mu\text{Sv/h}$
減少率	0.54	0.69	0.37	0.31

大熊町

遮へいなし	下のみ Cu19mm	屋根のみ 19mm	屋根+下 19mm	側面 19mm
3.85 $\mu\text{Sv/h}$	3.16 $\mu\text{Sv/h}$	3.33 $\mu\text{Sv/h}$	1.92 $\mu\text{Sv/h}$	1.49 $\mu\text{Sv/h}$
減少率	0.82	0.86	0.50	0.39

減少率から、Cs137 の 662keV ガンマ線の減弱係数とほぼ同じであることが分かった。Pb

を遮へい体とした場合、厚さ 10mm で Cu20mm と同等の遮へい効果となり、Pb20mm であれば、減弱率が 0.3 から 0.1 となる。ただしこれは理想的に検出器周りを覆った場合で、実際のモニタリングポストを考えると、検出器の上部に保護用のケースがあることから、検出器と遮へい体の間に空間が生じ、遮へい効果が低下することが想定される。

この測定結果から、鉛の遮へい体を 20 mm 厚とすることとした。



#### 4 コリメート照射装置及びモニタリングポスト遮へい体の製作

高バックグラウンド地域に多く設置されているモニタリングポストは、可搬型モニタリングポストを固定して使用されている。これらのモニタリングポストを製作している主要なメーカーに問い合わせしたところ、顧客からの特段の要請がない限り、上方からの照射による校正を行っているとは回答を得た。そこで本研究でも、上方から照射する方法で校正が行える装置の開発を行った。

##### 4-1 照射装置及び遮へい体の製作

図18に、設計した照射装置及び遮へい体の設計図を示す。コリメータは、なるべく検出器周りに近い位置に配置できるように設計している。鉛のリングを重ねる形となっており、リングの厚さは20 mmである。リングの重量は1個約2 kgとなっており、リングを5個重ねて使用する。線源部分は、下方向に照射できるよう、リメータ付きの照射装置となっている。また線源周りも周囲からの散乱線低減のため線源部分を遮へいしている。コリメータ部分の重量は、約10 kgである。このコリメータ部分は、レーザー距離計と入れ替えることが可能となっており、これにより線源からモニタリングポストまでの距離を精度よく計測することが可能となっている。

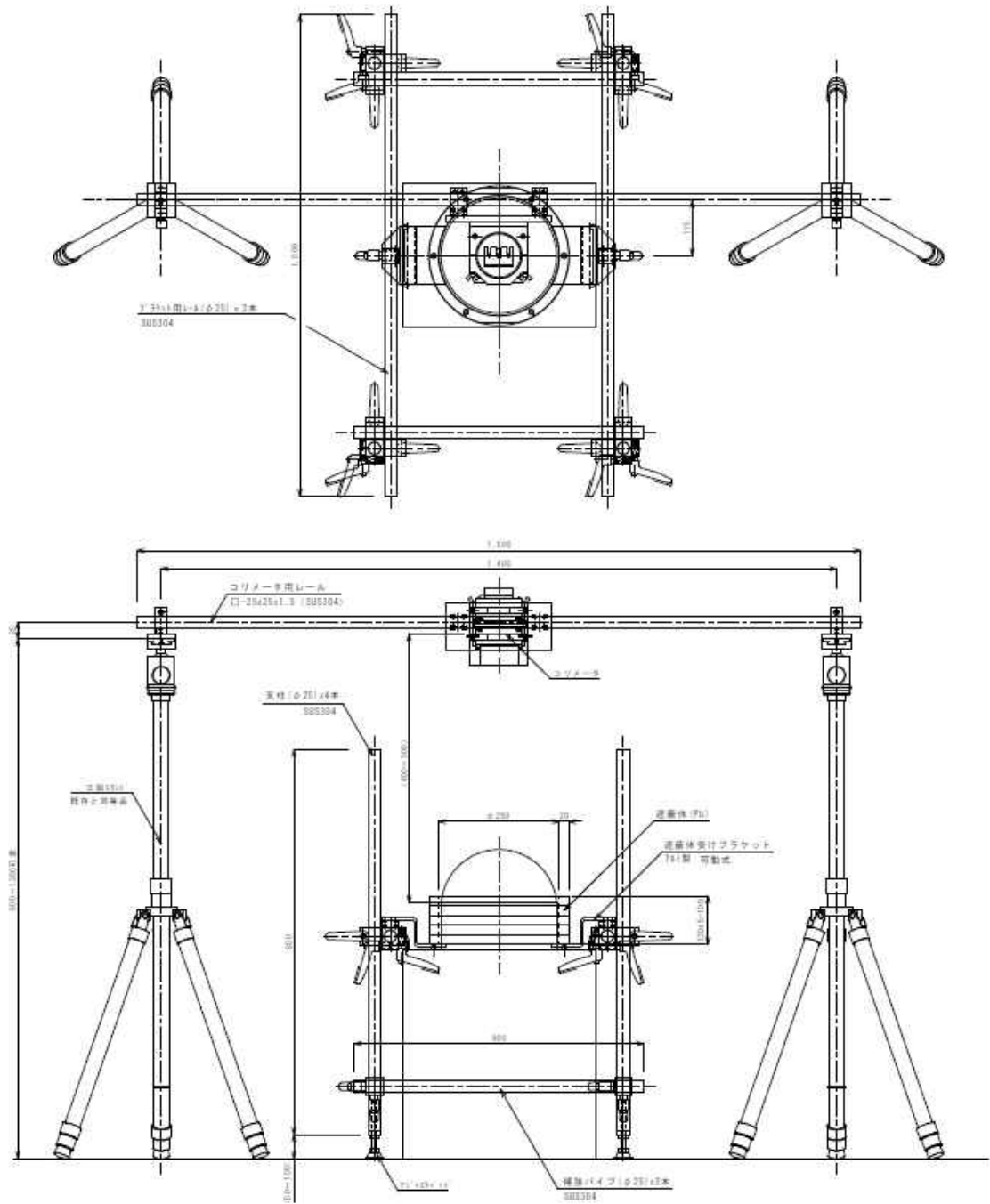


図18 下方向照射装置及びモニタリングポスト遮へい体の設計図

#### 4-2 照射装置の線量率の決定

現地校正において、線源と検出器の距離合わせが最も時間を要する作業となる。そこで本研究では、実験室内において複数の線源間距離における線量率を実測により求め、この値を内挿することにより、任意の距離における線量率を求められる方法を採用した。これにより、

セットアップの時間を大幅に短縮することが可能となった。図19に測定した各距離における線量率を示す。

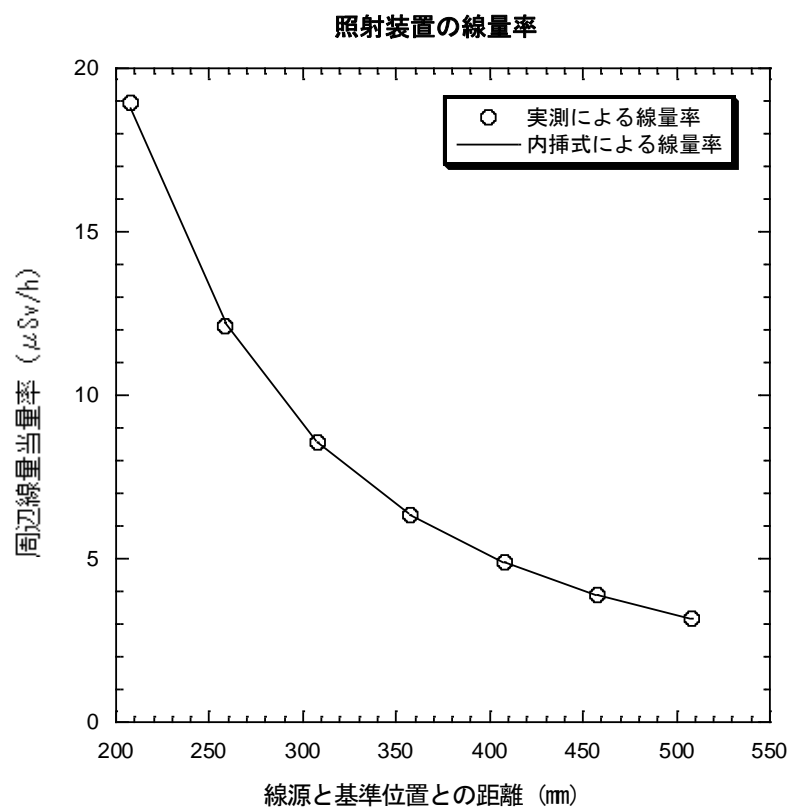


図19 線源と各評価点における線量率の変化

## 5 従来手法との比較

日本分析センターでは、基準電離箱を現地に持ち込み、比較測定を行うことによりモニタリングポストの現地校正を行っている。そこでこの従来手法と、今回開発した手法との比較を行った。

### 5-1 日本分析センターによる現地校正結果

#### (1) 比較正器

屋外（受託事業者敷地内）に受託者が所有する被校正器を設置し、検出器の中心位置から1.5mの距離で<sup>137</sup>Csの $\gamma$ 線源を約 $1\mu\text{Gy/h}$ の線量率で照射し、1分間隔で10回の繰り返し測定を行った。 $\gamma$ 線源を撤去し、バックグラウンドの測定を $\gamma$ 線源と同様の時間及び回数で行った。10回の測定値から平均値を求め、 $\gamma$ 線源の平均値からバックグラウンドの平均値を差し引き正味の値を求めて被校正器の値とした。被校正器の仕様を表14に示す。

表14 被校正器の仕様

品名	可搬型モニタリングポスト
メーカー	富士電機株式会社
型式	NAJ51001-01 型
検出器	2inch $\phi$ $\times$ 2inch NaI(Tl)検出器 ワイドレンジタイプ
測定線量率範囲	10nGy/h $\sim$ 100mGy/h

#### (2) 実用標準

被校正器の近傍に国家標準とトレーサビリティのとれた実用標準（基準電離箱線量計）を設置し、被校正器と同一に検出器中心位置から1.5mの距離で<sup>137</sup>Csの $\gamma$ 線源を約 $1\mu\text{Gy/h}$ の線量率で照射し、200秒間隔で5回の繰り返し測定を行った。 $\gamma$ 線源を撤去し、バックグラウンドの測定を $\gamma$ 線源と同様の時間及び回数で行った。繰り返しの測定値から平均値を求め、 $\gamma$ 線源の平均値からバックグラウンドの平均値を差し引き正味の値を求めて校正定数（二次標準から供給）を乗じ、空気密度補正を行い、基準の値とした。実用標準（基準電離箱線量計）の仕様を表15に示す。

表15 実用標準（基準電離箱線量計）の仕様

品名	空気等価電離箱線量計
メーカー	株式会社ネスコ

型式	808-MR20 STD/V 型
検出器	フェノール樹脂製 21L 円筒形
測定線量率範囲	バックグラウンド～200 $\mu$ Gy/h

現地校正の様子を図 2 0 及び図 2 1 に示す。



図 2 0 比較正器への照射風景



図 2 1 基準電離箱への照射風景

#### 5-2 本研究による現地校正手法

現地校正手法による校正を行った場所において同じ被校正器（受託者所有）を用いて、産総研開発手法による校正が行われた。産総研により行われた校正の概要を以下に示す。

検出器上方にコリメート式照射装置をセットし、検出器との距離が一定になるよう位置調整を行った。コリメート式照射装置に  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  線源を取り付け、検出器の中心位置から約 0.4m の距離（距離は任意で設定）で約  $4\mu\text{Gy/h}$  の線量率で照射し、1 分間隔で 10 回の繰り返し測定を行った。 $\gamma$  線源を撤去し、バックグラウンドの測定を  $\gamma$  線源と同様の時間及び回数で行った。10 回の測定値から平均値を求め、 $\gamma$  線源の平均値からバックグラウンドの平均値を差し引き正味の値を求めて被校正器の値とした。

$\gamma$  線源の基準値は、予め求めた  $\gamma$  線源の線量率を基に距離の逆二乗法により今回校正を行った距離における線量率を算出して基準値とした。

なお、コリメート式照射装置及び  $\gamma$  線源は産総研が持参したものである。校正の様子を図 2 2 に示す。



図 2 2 本研究で開発した照射装置による校正風景

### 5-3 校正結果の比較

#### (1) 日本分析センターによる校正結果

現地校正手法による校正結果を表 16 に示す。

表 16 現地校正手法による校正の結果

核種	$\gamma$ 線エネルギー (keV)	校正距離 (m)	線量率 ( $\mu$ Gy/h)	校正定数	不確かさ* (%)
$^{137}\text{Cs}$	660	1.5	0.84	1.03	6.7

\*校正の不確かさは、拡張不確かさ(k=2)を表す。

拡張不確かさは、ISO 国際文書”Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (1995)” (「計測における不確かさの表現ガイド」)に基づき、合成標準不確かさと包含係数 k=2 とから決定されたもので、約 95%の信頼の水準を持つと推定される区間を定めたものである。

#### (2) 本研究手法による校正結果

産総研開発手法による校正の結果を表 17 に示す。なお、日本分析センターの校正条件と合わせるために、モニタリングポストの検出器周りの遮へい体はない状態で校正を行っている。

表 17 産総研開発手法による校正の結果

核種	$\gamma$ 線エネルギー (keV)	校正距離 (m)	線量率 ( $\mu$ Gy/h)	校正定数
$^{137}\text{Cs}$	660	0.4	3.5	1.01

日本分析センターの現地校正手法による校正定数は 1.03、同じ被校正器に対して校正を行った産総研開発手法による校正定数は 1.01 であった。日本分析センターの現地校正手法による校正定数を基準にして産総研開発手法による校正定数を比較した結果は、0.98(−2%) であり±3%以内で一致した結果であった。

また本手法によるモニタリングポストの検出器周りの遮へい体の有無による校正結果の影響についても検証を行った。結果を表 18 に示す。

校正手法	本研究での校正結果 (遮へい体なし)	本研究での校正結果 (遮へい体あり)
校正定数 (空気吸収線量)	1.01	1.03

2%程度の違いが見られたが、本校正手法の相対標準不確かさはおよそ3%程度あると考えられることから、不確かさの範囲内で一致していることが確認できた。



## 6 まとめ

今年度は、高バックグラウンド地域のモニタリングポストの設置状況調査、それを踏まえた高バックグラウンド線量下において現地校正できるよう、既存の照射装置を改良し、下方向に向けたコリメート照射装置を開発した。本手法と基準電離箱による現地校正手法との比較を行い、その妥当性を確認した。本研究で開発された校正手法は、基準電離箱といった電氣的な機器を屋外で使用する必要がないことから、ウォーミングアップ等の時間が不要となっている。また位置合わせも、線源からモニタリングポストの距離を正確に合わせる必要がなく任意の距離で校正が行えるため、セットアップの作業が容易のとなり大幅な時間短縮となっている。従来の基準電離箱を用いた校正は、約5時間程度必要となるが、本手法であれば1時間程度で校正が行える。また現地に設置されているモニタリングポスト周辺には、通信機器や電源供給のためのソーラーパネル、蓄電池などが配置されてるが、コリメート照射による校正のため、周辺機器からの散乱線の影響を非常に小さくすることが可能となった。線量率が付与された線源を用いる従来手法では、周辺機器の配置により散乱線による影響を評価することが非常に困難であるが、本手法では容易に不確かさ評価を行うことが可能である。

来年度は、本手法を現地に設置されているモニタリングポストに対して適応し、不確かさの評価、また手法の文書化を行う予定である。

平成 30 年度放射線安全規制研究推進事業

成果報告書

研究課題名：

放射線業務従事者に対する健康診断のあり方に関する検討

公益財団法人 原子力安全研究協会

平成 31 年 3 月



## 目次

1. 研究目的 .....	1
2. 研究方法 .....	2
2.1 研究の実施体制 .....	2
2.2 平成 30 年度の研究計画 .....	3
2.3 倫理面への配慮 .....	4
3. 研究結果 .....	5
3.1 アンケート調査 .....	5
3.1.1 調査対象と回収率	
3.1.2 アンケート調査票	
3.1.3 単純集計（量的解析）	
3.1.4 自由記述（質的解析）	
3.1.5 アンケート調査結果を基にした意見交換	
3.2 国際機関や国内における検討状況の再整理 .....	23
3.2.1 国際機関での検討状況	
3.2.2 健康診断に関する国内での検討	
3.2.3 国際機関や国内での検討のまとめ	
3.3 海外の適用状況についての予備的調査 .....	39
4. まとめ .....	40
4.1 平成 30 年度のまとめ .....	40
4.2 平成 31 年度の計画 .....	41

## 5. 付録

付録 1	アンケート調査票.....	45
	A-1 健康診断実施者	
	・原子力施設	
	・放射線施設	
	・産業医	
	A-2 健康診断受診者	
	・共通	
付録 2	アンケート結果（単純集計）.....	85
	B-1 健康診断実施者	
	・原子力施設	
	・放射線施設（大学）	
	・放射線施設（一般企業）	
	・産業医	
	B-2 健康診断受診者	
	・原子力施設	
	・放射線施設（大学）	
	・放射線施設（一般企業）	
	・医療従事者	
付録 3	ICRP 勧告および IAEA 安全基準文書における健康診断に関する記述.....	105

## 1 研究目的

わが国では、放射線障害防止法が施行された当初から、放射線業務従事者に対する健康診断を作業による異常な被ばくや作業環境の欠陥を発見する手法として規制上採用してきた経緯があり、現在も定期的な実施が義務付けられている。

放射線審議会において放射線業務従事者に対する健康診断のあり方について様々な議論が行われており、平成 23 年 1 月に発出された放射線審議会基本部会「国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007 年勧告 (Publ.103) の国内制度等への取入れについて—第二次中間報告—」では、「放射線防護・管理システムが進展した現在において、異常な被ばくの事実の発見および放射線作業環境の欠陥を定期的特殊健康診断に求めるべきではない。」と提言されている。そして、第 139 回放射線審議会 (平成 30 年 1 月 19 日開催) では「ICRP2007 年勧告の国内制度等への取入れ状況について (案)」(資料 139-2) が議論され、健康診断について、前年及び当該年度に実効線量が 5mSv を超えない者に対して法令によって書きぶりに違いがあるものの医師の判断で柔軟に対応出来る仕組みになっていることを示した上で、「運用状況についてヒアリングし、制度の主旨に沿った対応が取られているかを把握し、必要があれば検討する」案が述べられている。

一方、旧労働省では、「労働省の所管行政に係る規制緩和要望およびその検討状況について」(平成 12 年 1 月 18 日) で、日本労働組合総連合会からの意見・要望として、「経済団体等から要望が出ている放射線業務従事者の健康診断間隔の 1 年への延長について、労働者の健康を確保するとの目的と設定の考えを踏まえ慎重に検討すべきである。」が示され、健康診断間隔を 1 年に延長する予定はないと判断された。

これらを踏まえて、本研究では、計画被ばく状況および緊急時被ばく状況のそれぞれにおける放射線業務従事者に対する健康診断の医学的な見地からの意義、有効性を科学的に検討する。具体的には、(1)実態把握のために、関係者 (特殊健康診断の実施者 (産業医、労務管理担当者、放射線管理担当者等) と特殊健康診断受診者 (原子力施設、放射線施設及び医療施設の放射線業務従事者等)) へアンケート調査を行い、(2)海外の適用状況の調査と合わせ、(3)ICRP 勧告や IAEA 安全基準文書における国際的な考え方とそれらを受けた放射線審議会等での我が国の規制制度への取り入れに関する議論や論点を再整理する。これらの検討結果を基に医学・科学的に合理的な放射線業務従事者に対する健康診断のあり方を検討することを目的とする。

なお、本研究では、単に「放射線業務従事者の線量測定が適切に実施され、実効線量限度や等価線量限度を超えていない場合、確定的影響が発生することはないことから、定期的特殊健康診断の実施は不要」という点を推し進めるのではなく、幅広い関係者に対してアンケート調査及びインタビュー調査を実施することにより、現状の課題やそれぞれの意識を整理する。

放射線業務従事者に対する健康診断のあり方については放射線審議会等において長年検討が続けられてきているように、規制上の懸案の課題であることは明らかである。医学的・科学的な考え方を確認し、海外の適用状況調査を踏まえ、国際的な考え方と我が国の検討経緯を今一度整理することは規制行政上意義が深いと考えられる。

## 2 研究方法

### 2.1 研究の実施体制

本研究は、主任研究者である山本尚幸（所属：原子力安全研究協会・業務執行理事、専門分野：放射線医学／緊急被ばく医療）の全体統括のもと、表 2-1 に示す研究協力者がそれぞれの分担に応じた役割を果たす。

なお、放射線審議会の二次中間報告書には、特殊健康診断の判断基準を線量に求め各事業所の線量管理に責任を有する者が検査の要否に関して判断できる仕組みの構築や内部被ばくの調査レベルの運用方法について、関連学会の検討に期待する旨が記されている。本研究チームは医師（緊急被ばく医療、産業保健）と放射線防護の専門家（ICRP 委員、国際動向、規制科学）の必要な分野の専門家で構成されている。オープンな有識者の検討と幅広い関係者からのオープンな意見収集による研究成果のインプットは、本推進事業費の目的と正しく合致すると考えられる。

表 2-1 研究協力者

氏名	協力内容	所属機関及び現在の専門	所属機関での職名
大久保靖司	アンケート調査（産業医等） あり方の提言作成	東京大学 産業保健	教授
飯本武志	アンケート調査（放射線施設） 国際動向調査	東京大学 放射線防護	教授
黒田玲子	アンケート解析 あり方の提言作成	東京大学 産業保健	助教
山本健也	アンケート解析 あり方の提言作成	東京大学 産業保健	助教
酒井一夫	国際動向調査	東京医療保健大学 （ICRP 委員） 放射線防護	教授
大野和子	アンケート調査（医療従事者）	京都医療科学大学 医療放射線防護	教授
杉浦紳之	総括補佐 アンケート調査（原子力施設）	原子力安全研究協会 放射線防護	理事長・所長
米原英典	規制上の課題整理	原子力安全研究協会 放射線規制科学	主任研究員

## 2.2 平成 30 年度の研究計画

### (1) 健康診断実施者のアンケート調査（実態ならびにニーズ・意識調査）

#### 1) 対象者

a) 事業場内産業医、健康診断担当医：日本産業衛生学会の協力：500 名程度

b) 事業場の労務管理担当者及び放射線管理担当者など：

原子力施設及び放射線施設：500 名程度

#### 2) 方法と調査項目

- ・匿名での質問紙法とし郵送による回収
- ・健康診断の課題、有効活用及びニーズの調査、リスクについての意識の調査
- ・放射線障害防止法及び電離則に基づく健康診断実施の経験の有無
- ・以降の協力（更なるインタビュー調査）の可否

→アンケートの取りまとめにあたり、現行法令での医師の判断による省略の有無に着目

### (2) 健康診断受診者のアンケート調査（ニーズ・意識調査）

#### 1) 対象者

a) 原子力発電所等従事者：電力事業者、日本電機工業会の協力：3,000 名程度

b) 放射線事業所従事者：(大学) 大学等放射線施設協議会の協力、(一般企業) 許可及び届出事業所のリストからランダムサンプリング：500 名程度

c) 医療従事者：医療放射線防護連絡協議会の協力：500 名程度

#### 2) 方法と調査項目

- ・匿名での質問紙法とし郵送による回収
- ・健康診断についてのニーズと意識の調査、リスクについての理解及び意識の調査

### (3) 関係者へのインタビュー調査

(1) 及び (2) のアンケート調査は、健康診断の実施者と受診者の双方に対して、分野や業態、担当者の職種や役割について幅広く実施する。第一の目的である実態調査として、紙ベースのアンケート調査により量的データについては一定の結果は得られると考えられる。しかし、本研究で特に注目すべき健康診断を省略するにあたっての判断基準や健康診断の意義についての意識等については自由記述の質的解析に基づくもの他、量的データをもとにした関係者へのインタビュー調査を行い、より深掘りした考察を行うこととする。

さらに、健康診断の間隔の延長について労働組合側からの意見・要望があった背景を踏まえ、電力事業者等については労使双方の意見収集も重要と考えられる。労働組合については論点を整理したうえでインタビュー調査を実施し、意見交換を行いながらより深い意見収集を行う。

### (4) 国際機関や国内における検討状況の再整理

特殊健康診断に関し、国際機関での勧告や提言、国内における規制制度への取り入れに係る議論や論点を本研究の検討に役立つ形に再整理する。



#### (5) 海外の適用状況についての予備的調査

海外の原子力・放射線分野の研究者とのネットワークを活用して、電子メールで海外における健康診断の適用状況について概要の調査を行う。この概要調査は次年度に行う海外訪問調査の候補選定、調査項目の絞り込みにも役立てる。

### 2.3 倫理面への配慮

本研究では、生体試料等を取り扱わない。また実験動物等も取り扱わない。

アンケート調査では個人情報を取り扱うことは予定していないが、実施にあたっては、人を対象とする医学系研究に関する倫理指針に基づき実施する。研究を担当する研究代表者及び研究協力者の在籍する機関において倫理審査を受け、研究内容全般については承認され、受診者向けに実施するアンケートについては、倫理審査委員会の審査非該当とされた。

### 3 研究結果

#### 3.1 アンケート調査

##### 3.1.1 調査対象と回収率

アンケート調査の配布数、回収数、回収率について、表 3.1 に示す。実施者については、①原子力施設：254 名、②放射線施設：205 名、③産業医：643 名、合計 1,102 名に配布し、回収数は 361 名（回収率：32.8%）であった。受診者については、①原子力施設：7,659 名、②放射線施設：1,673 名、③医療従事者：690 名、合計 10,022 名に配布し、回収数は 6,098 名（回収率：60.8%）であった。

原子力施設については、電気事業連合会から各電力会社に、日本電機工業会から各サイトにある元請け会社にアンケート協力について連絡の後、電力会社と協力会社の両方の担当窓口アンケート回答の依頼をした。協力会社については、数次にわたる下請け構造が見られるが、下請け会社は元請け会社の放射線管理に関する方針を原則として踏襲しているとの情報が得られたことから階層別のアンケート用紙の配布は行わなかった。各サイトにおいて協力可能な概数を把握し、労務管理担当もしくは放射線管理担当を通じて配布した。回収方法は、サイトによって異なり、個人毎の返信用封筒（着払い）で事務局宛て送付する形とサイトでまとめてから返送される形が半々であった。

放射線施設の大学についても原子力施設と同様で、大学等放射線施設協議会の協力のもと、各大学の担当窓口協力可能な枚数のアンケート用紙を配布した。大学についての回収方法は、個人毎の返信用封筒（着払い）で事務局宛て送付する形とした。

医療従事者（受診者）については、医療放射線防護に関する研修会の受講者に対してアンケート用紙を配布し、個人毎の返信用封筒（着払い）で事務局宛て送付する形とした。

一方、放射線施設の一般企業については、原子力規制庁のホームページに掲載されていた「放射線障害防止法の対象事業所一覧」（平成 29 年 3 月 31 日現在）から 100 か所をランダムサンプリングで対象事業所を抽出し、実施者 1 名、受診者 5 名分のアンケート用紙を送付した。産業医（実施者）については、日本産業衛生学会の許可を得てから同学会の専門医制度委員会に登録している全産業医を対象にアンケート用紙を送付した。回収方法

表 3.1 アンケート配布数、回収数、回収率

対象	健康診断実施者			健康診断受診者		
	配布数	回収数	回収率	配布数	回収数	回収率
原子力施設	254	178	70.1%	7,659	5,075	66.3%
放射線施設 一般企業	100	20	20.0%	500	70	14.0%
放射線施設 大学	105	55	52.4%	1,173	630	53.7%
産業医	643	108	16.8%	—	—	—
医療従事者	—	—	—	690	323	46.8%
合計	1,102	361	—	10,022	6,098	—

は、個人毎の返信用封筒（着払い）で事務局宛て送付する形の他、QRコードを付してウェブアンケートでも回答できるようにした（ウェブアンケートでの回答率は43%とそれほど活用されなかった）。

回収率を見ると、原子力施設、放射線施設・大学、医療従事者は約50%～70%と高く、放射線施設・一般企業、産業医では14～20%と低かった。上述の配布方法から分かるとおり、回収率が低かったところは事前に協力依頼がなくアンケート用紙がいきなり送られている。大学の放射線安全管理担当者との意見交換において、配布の仕方が対象施設によって異なっているためバイアスがかかっている（回答率が高いのは、本課題について関心の高い人が回答している）ので、結果の解釈には注意を要するとのコメントがあった。

### 3.1.2 アンケート調査票

アンケート調査の内容は、健康診断実施者については実態と意識を、健康診断受診者については意識を主に質問する内容とした。表3.2に、アンケート調査項目を一覧にまとめた。また、付録にアンケート調査用紙を実施者用（原子力施設、放射線施設、医療従事者）と受診者用（共通）を付した。

本調査で対象となる放射線業務従事者の特殊健康診断を規定している法令には、大きく放射線障害防止法と電離放射線障害防止規則の2つがあり、健康診断の頻度について、それぞれ年1回と年2回と規定が異なっている。事業者が対応する場合、法令を遵守するた

表 3.2 アンケート調査項目一覧

健康診断実施者	健康診断受診者
<ul style="list-style-type: none"> <li>○フェイスシート               <ul style="list-style-type: none"> <li>・業種、事業所規模、取扱内容</li> <li>・回答者職種、経験年数</li> </ul> </li> <li>○健康診断の実施内容               <ul style="list-style-type: none"> <li>・健康診断（検査）の<u>機会と回数</u></li> <li>・<u>5mSv超・以下での対応の区別の有無</u></li> <li>・<u>省略する検査項目</u></li> <li>・<u>省略をする／しない理由</u></li> <li>・実施日に未受診者の対応</li> <li>・健康診断の費用</li> <li>・被ばく歴の管理（複数事業所従事）</li> </ul> </li> <li>○健康診断についての認識               <ul style="list-style-type: none"> <li>・実施する<u>目的</u></li> <li>・<u>発見できると思う病気、症状</u></li> <li>・<u>妥当と考える実施回数、項目</u></li> <li>・<u>障害防止法と電離則の記載について</u> (放射線施設のみ)</li> <li>・コメント、意見（自由記述）</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○フェイスシート               <ul style="list-style-type: none"> <li>・業種、取扱内容</li> <li>・管理区域への入域頻度</li> </ul> </li> <li>○健康診断の実施内容               <ul style="list-style-type: none"> <li>・健康診断についての<u>説明</u></li> <li>・健康診断（検査）の<u>機会と回数</u></li> <li>・健康診断の<u>結果確認</u></li> <li>・被ばく線量の結果確認</li> <li>・被ばく歴の管理（複数事業所従事）</li> </ul> </li> <li>○健康診断についての認識               <ul style="list-style-type: none"> <li>・実施する<u>目的</u></li> <li>・妥当と考える<u>実施回数、項目</u></li> <li>・被ばく管理、健康診断への希望の有無</li> <li>・コメント、意見（自由記述）</li> </ul> </li> </ul>

めにはより厳しい方の規定に従うことになる。このため、年 2 回の特殊健康診断が義務づけられている電離則についての設問とした。大学においては、教職員は労働者であるため電離則の規制を受けるが、学生（大学院生）は労働者ではないため電離則の規制を受けないこととなる。事前のヒアリングにより、安全管理という法の趣旨を鑑みて学生（大学院生）を区別することなく教職員と同様に電離則の規定に従って管理しているとの情報があったため、放射線施設・大学についても上記の考え方は適用できるものと考えた。

なお、放射線施設については放射線障害防止法に基づいて規制や管理を直接受けることから、「電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）と放射線障害防止法について、特殊健康診断に関する記載が異なりますが、どのようにお考えですか。」との設問を追加した。

### 3.1.3 単純集計（量的解析）

#### （1）実施者

表 3.3 に、年 2 回の電離則に基づく特殊健康診断の検査（又は検診）をどのように実施しているかについての回答を示す。

表 3.3 特殊健康診断（検査）の機会と回数

<p><b>【特殊健康診断の機会と回数】</b></p> <p>電離放射線障害防止規則に基づいた場合、特殊健康診断における検査又は検診（問診は必須）を年 2 回（6 ヶ月を超えない期間ごと）実施することとなっておりますが、どのように検査を実施していますか。該当するものにチェックを入れてください。</p> <p><input type="checkbox"/> 定期一般健康診断とは別に年 2 回実施している</p> <p><input type="checkbox"/> 定期一般健康診断の際に 1 回実施し、約半年後に別途 1 回実施することで、年間で計 2 回実施している</p> <p><input type="checkbox"/> 定期一般健康診断の際に 1 回のみ実施し、半年後の別途 1 回は省略している</p> <p><input type="checkbox"/> 年に 1 回も実施していない</p> <p><input type="checkbox"/> その他（ ）</p>
--

	一般健診とは別に年2回	一般健診で1回別に1回	一般健診で1回1回は省略	実施しない(2回とも省略)	その他	未回答	回答数
原子力施設	13%	75%	1%	0%	5%	6%	178
放射線施設 一般企業	25%	40%	5%	5%	10%	15%	20
放射線施設 大学	67%	24%	2%	0%	4%	4%	55
産業医	7%	53%	6%	3%	2%	9%	108

一般定期健康診断に合わせて行うか否かについては施設別に大きく異なるが、どの施設でも検査を省略することなく、2 回実施していることが分かる。原子力施設では一般定期健康診断の機会を利用しているのに対して、大学においては一般定期健康診断とは別に改めて実施している様子が分かる。年 1 回への省略は数%、2 回とも省略は 0%から数%に留まっている。

電離則では、前年度の実績と当該年度の見込みの実効線量が 5mSv 以下と超える場合とで健康診断の省略に関する医師の判断が異なる（第 56 条第 4 項）。このため、5mSv 超と以下で対応を区別しているかについて表 3.4 に示す。

最も区別して対応している割合が高かったのは大学であるが、それでも 38%であった。最も低かったのは電力の 8%であった。線量の区分を活用していない理由として、前年度 5mSv 以下であったとしても、作業変更などが原因で当該年度に 5mSv を超えないことを保証するのが困難であるというものがあげられていた。





複数回答可のためもあると考えられるが、「判断手続きが煩雑である」、「省略する積極的な理由がない」、「法定項目は省略しない」、「異常がないことを確認・記録する」が拮抗した結果となった。中では「異常がないことを確認・記録する」が若干多めであるが、線量管理が効果的・効率的に行われていれば異常な被ばくはなく、放射線障害（検査項目から検出される確定的影響）は発生しないはずなので、この選択肢の意味合いを一般的な健康状態の異常ととらえている可能性も考えられる。放射線施設の一般企業の「積極的な理由がない」が表中で最も大きな割合となっている。これらの結果から、たとえ省略可能であっても検査項目が法定項目として定まっておき、若干のコストは掛かるものの、積極的に省略せずとも実施可能なので、検討や考察をせずにとりあえず実施しているのが現状であることが示唆された。そうであるならば、省略を実施するにあたって確認するためのフローチャートを整備するというニーズが指摘できる。

一方、表 3.7 に省略する理由についての回答を示す。

表 3.7 省略する理由（複数回答可）

<b>【省略する理由】</b>						
実施回数、検査項目を省略する理由で該当するものすべてにチェックを入れてください。						
<input type="checkbox"/> コストや健診の労力の軽減のため。						
<input type="checkbox"/> 被ばく量が低く、検査を行う意義が低いため。						
<input type="checkbox"/> 検査項目が健康管理において有効性が低いため。						
<input type="checkbox"/> 実施する積極的な理由がないため。						
<input type="checkbox"/> その他						

	コスト、労力削減	被ばく線量が低い	検査項目が有効でない	積極的な理由がない	その他	回答数
原子力施設	39%	34%	16%	5%	63%	38
放射線施設 一般企業	25%	75%	0%	25%	0%	4
放射線施設 大学	77%	81%	23%	23%	19%	31
産業医	21%	79%	18%	28%	21%	39

まず、原子力施設のその他が 63% と高いが、ほとんどが「医師（産業医）の判断による」というもので、条文上の理由を正しく記入頂いた結果である。「被ばく線量が低い」ことの原因が原子力施設以外で 75-81% と高く、省略を実施しているところでは、ICRP 等の考え方についての理解があることが示されている。電力は前述した通り当該年度に 5mSv を超えない保証がしにくいということから、「線量が低い」とは言えないのであろう。加えて、「コスト、労力の削減のため」については大学において際立って高くなっている。被ばく線量が低く、検査目的に対応した異常の検出がされることは考えられないところ、大学の貴重な財源を有効に活用したいとする事情が表れている結果と考えられる。



(2) 受診者

表 3.8 に特殊健康診断についての説明をどの機会に受けたかについて、表 3.9 に特殊健康診断の機会と回数についての回答をそれぞれ示す。

表 3.8 特殊健康診断についての説明を受けた機会（複数回答可）

**【特殊健康診断についての説明を受けた機会】**

健康診断の実施者から特殊健康診断（電離放射線障害防止規則、放射線障害防止法に規定されている健康診断、以下同様）として実施している検査・検診の目的や実施内容等に関する説明を受けていますか。社内メール等による説明も含みます。（複数回答可）

教育訓練のとき

初めて健康診断を受けたとき

健康診断の都度

説明を受けたことがない

	教育訓練	初めての健康診断	健康診断の都度	受けたことがない	未回答	回答数
原子力施設	58%	23%	26%	7%	2%	5,075
放射線施設 一般企業	63%	26%	10%	20%	3%	70
放射線施設 大学	70%	12%	23%	5%	4%	630
医療従事者	49%	16%	29%	18%	4%	323

表 3.9 特殊健康診断（検査）の機会と回数

**【特殊健康診断（検査）の機会と回数】**

特殊健康診断における検査又は検診（問診は必須）の受診状況を教えてください。（複数回答可）

定期一般健康診断とは別の時期に年2回

定期一般健康診断の際に1回受け、別の時期に1回で年2回

定期一般健康診断とあわせて年1回

定期的には受診していない

その他（                      ）

	一般健診とは別に年2回	一般健診で1回別に1回	一般健診で1回1回は省略	定期的には受けない	その他	未回答	回答数
原子力施設	23%	47%	15%	1%	12%	2%	5,075
放射線施設 一般企業	26%	39%	11%	13%	13%	0%	70
放射線施設 大学	34%	38%	20%	5%	2%	1%	630
医療従事者	22%	50%	18%	3%	4%	4%	323

放射線業務従事者に対して特殊健康診断があり、受診する必要性等について、教育訓練や健康診断の際に説明を受けたことを覚えており、一般健康診断とは区別したものとして理解されていると考えられる。このことは、特殊健康診断の受診の機会と回数の分布が実施者側のものと大きく異なっていないことから裏付けられる。

さらに、特殊健康診断の結果は法令に基づき検査の都度放射線業務従事者（受診者）本人に交付されるが、表 3.10 に示すとおり、その結果の確認は非常に高い割合で行われており、放射線業務従事者は特殊健康診断の存在を理解している。

表 3.10 特殊健康診断の結果確認

**【特殊健康診断の結果確認】**  
 特殊健康診断の結果を、ご自身で確認していますか。  
 確認している       確認していない       その他（ ）

	確認している	確認していない	その他	未回答	回答数
原子力施設	91%	7%	0%	1%	5,075
放射線施設 一般企業	84%	7%	6%	3%	70
放射線施設 大学	89%	7%	2%	2%	630
医療従事者	89%	8%	1%	2%	323

表 3.11 に、特殊健康診断を定期的に受診する目的を示す。

表 3.11 特殊健康診断を定期的に受診する目的（複数回答可）

**【特殊健康診断を定期的に受診する目的】**  
 特殊健康診断の目的について、あなたの考えに近いものはどれですか。（複数回答可）  
 健康状態の経時的な把握  
 放射線障害の判定の基礎データ取得  
 放射線障害以外の病気の把握  
 その他（ ）  
 わからない

	通常の健康状態 把握のため	放射線障害基礎 データ取得のため	放射線障害以外の 病気把握	その他	わからない
原子力施設	60%	27%	10%	1%	2%
放射線施設 一般企業	49%	31%	6%	8%	6%
放射線施設 大学	62%	30%	5%	1%	2%
医療従事者	52%	35%	11%	1%	1%

複数回答可の設問であったが、回答は1個を選んで回答したものが非常に多かった。選択肢の中から1個を選ぶとすれば、「放射線障害の基礎データ取得のため」が最も目的に沿った選択肢であろう。いずれの施設においても、「通常の状態の把握のため」が約50-60%と高かった。

### (3) 障害防止法と電離則での規定の違いについて

放射線施設については放射線障害防止法に基づいて規制や管理を直接受ける。このため、放射線施設の健康診断実施者に対して、障害防止法と電離則の規定の違いについての意見の有無を表3.12の通りに聞き、意見がある場合は意見を記載してもらった。

表 3.12 障害防止法と電離則の規定の違いについての意見の有無（実施者）

<b>【障害防止法と電離則の規定の違い】</b>	
電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）と放射線障害防止法について、特殊健康診断に関する記載が異なりますが、どのようにお考えですか。	
<input type="checkbox"/> 意見、要望は特になく、現状のままで良い。	
<input type="checkbox"/> 意見要望がある。	

	意見なし	意見あり	未回答	回答数
放射線施設 一般企業	70%	25%	5%	20
放射線施設 大学	26%	67%	7%	55

一般企業と大学は同じ放射線施設（障害防止法の規制や管理が主となる）であるものの、意見ありなしの比が、一般企業では1:2であるのに対し、大学では2:1とまったく異なった傾向であった。

意見の内容について、主要なものをまとめて表3.13に列挙する。意見の内容については、一般企業と大学の間で差は認められなかった。

表 3.13 障害防止法と電離則の規定の違いについての自由記述

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同様の法制、同内容の法令については同じ記述としてほしい。</li> <li>• 健康診断の実施基準等が法令間で食い違う場合、結局一番厳しい法令に沿った管理とならざるを得ない。法律間で差がない一律での実施基準策定を望む。</li> <li>• 省略の基準について、医師が「必要と認める場合に実施する」に統一すべき。年間被ばく線量を考慮して、必要性を判断できるようにすべき。</li> <li>• 医学的には被ばく量に応じて実施回数を変えるのが良いと思うが、きちんと運用されない、抜けが出る、などのリスクを避けるため、年1回の実施が望まれる。</li> </ul>
---

また、受診者に対しては、法令の規定にとらわれず、望まれる特殊健康診断の頻度を表 3.14 の通りに聞いた。

表 3.14 望まれる特殊健康診断の頻度（受診者）

<p><b>【望まれる特殊健康診断の頻度】</b></p> <p>特殊健康診断は、放射線障害防止法では 1 年ごと、電離則では 6 ヶ月を超えない期間ごとを実施することとなっています。法的規制は考慮しないとして、ご自身が妥当だと考える健診頻度を教えてください。</p> <p><input type="checkbox"/> 年 2 回（理由：                    ）</p> <p><input type="checkbox"/> 年 1 回（理由：                    ）</p> <p><input type="checkbox"/> 本人が希望したとき（理由：    ）</p> <p><input type="checkbox"/> 不要（理由：                    ）</p>
---

	年2回	年1回	本人が希望したとき	不要	未回答	計
原子力施設	58.6%	29.9%	2.7%	2.5%	6.6%	5,090
放射線施設 一般企業	48.6%	31.4%	5.7%	8.6%	5.7%	70
放射線施設 大学	34.3%	48.4%	8.7%	5.9%	2.7%	630
医療従事者	35.9%	49.2%	4.3%	1.5%	9.9%	326

\*原子力施設（15名）、医療従事者（3名）の複数回答を含めて集計している。

表 3.3 および表 3.9 で示した通り、いずれの категорияにおいても年 2 回の実施が大多数を占めていた。受診者の希望する頻度で年 2 回としたのは、最も多い原子力施設で 60%、放射線施設・一般企業で 50%、放射線施設・大学と医療従事者については 3 分の 1 という結果であった。

### 3.1.4 自由記述（質的解析）

#### （1）分析方法：テキストマイニング（KH Corder 使用）

自由記述式アンケートより得られたテキストデータに対し、分析過程での人的バイアスをできるだけ排除することが期待できる手法として、テキストマイニング(KH Corder (Ver.3.Alpha.08i) を使用)による共起ネットワーク分析を採用した。テキストマイニングとは、文章を単語に分割し、それらの出現頻度や相関関係を分析して情報を抽出する手法である。日本語は、他の言語と比べて単語の境界判別の必要性や文法による文章表現の制限がないため、意味を持つ最小単位にテキストデータを分割し分析する必要がある。

共起ネットワーク分析は、どの単語が頻出しているかを確認するための分析方法である。これにより得られた回答の単語間の繋がりを把握することができ、それを図示化したものを「共起ネットワーク図」と呼ぶ。この結果は、隣接している単語間の関係のみを表している。そのため、ネットワーク図全体として考えたときにどの単語がより網羅的に繋がりを説明できるのかを表す指標となる「中心性」の値（最大値が1となるように規格化された値）を算出する。中心性とは、ネットワーク図全体を説明する各ノード(単語)がどの程度核になっているかを表す指標である。共起ネットワークを構成するノードは、中心性の値の程度によって色付けすることで視覚化し、その数値が高いとき青色とし、低いとき黄色とした。またノードの大きさは頻度を表す。

#### （2）分析結果

##### 1) 実施者：自由記述

##### a) 放射線管理担当者

実施者（放射線管理担当者）の自由記述についての共起ネットワーク分析結果を図 3.1 に示す。図 3.1 によれば、①外国人従事者を受け入れる際、外国では健康診断を実施して

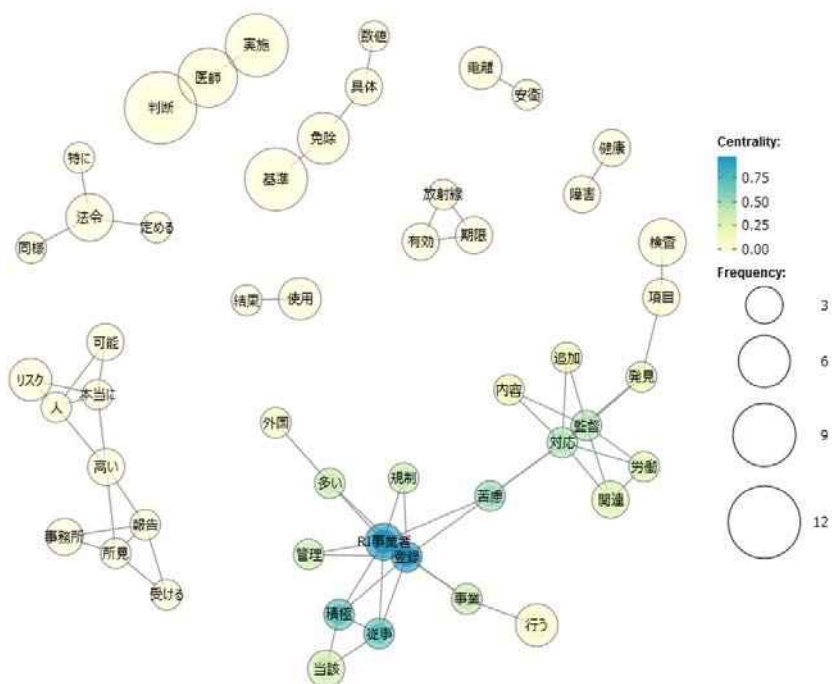


図 3.1 放射線管理担当者の自由記述に関する共起ネットワーク分析結果

いない場合が多く被ばく歴の確認が行えないので困る。R I 事業者に関して被曝線量の登録が行われておらず、被ばく前歴の確認に苦慮することが多い。②監督官によって指導内容等が変わる。健診項目の省略・追加の判断基準を定めてほしい。③本当に健康リスクが高い被ばく可能性がある方のみ特殊健診を受けさせるべき等が読み取れ、その他として、「法令で定められている以上は積極的に免除することはできない。」「医師による判断にゆだねられる部分が大きすぎる。」などもある。

## b) 産業医

実施者（産業医）の自由記述についての共起ネットワーク分析結果を図 3.2 に示す。図 3.2 によれば、①本当に高い被曝線量を示している人のみ健診を受けさせるべきである、②労働基準監督官によって指導内容や対応が異なるが、医師が省略を判断するのに困らないよう、対象となる業務など判断基準を明確に示してほしい、③線量監視（モニタリング）に重点を置き問題がなければ健診を省略すべき、問題がないのに健診を行うのは無駄が多い、といった意見が見て取れる。

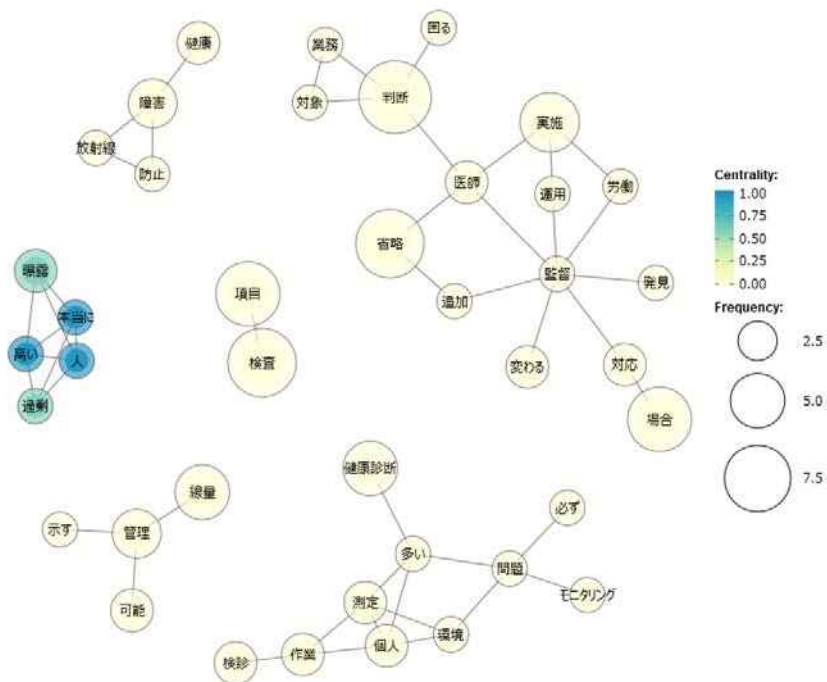


図 3.2 産業医の自由記述に関する共起ネットワーク分析結果

## 2) 受診者：妥当と考える頻度について

受診者に対して、【9】「特殊健診は、放射線障害防止法施行規則では1年ごと、電離放射線障害防止規則では6ヶ月を超えない期間ごとに実施することとなっています。法的規制は考慮しないとして、ご自身が妥当だと考える健診頻度を教えてください。」として、①年2回、②年1回、③本人が希望したとき、④不要の4つの選択肢を示し、それぞれ理由を自由記載としたものについて、分析を行った。

a) 年2回が妥当と回答

年2回が妥当と回答した人の共起ネットワーク分析結果を図3.3に示す。

図3.3によれば、①の点線で囲んだ「健康」、「状態」、「把握」の3つの単語の中心性が高いことが示されており、これらの単語をキーワードと考えることができる。このことから、年2回が妥当であるとする主な理由について、「自身の健康状態を把握するためには頻度は多い方が良い」が多くを占めていると考えられる。

これら3つのキーワードから遠い位置にあるノードの塊について注目してみると、②「現状年2回で特に問題を感じていないので、現状通りが良い」、③「現在年2回実施している定期の一般健康診断と合わせて年2回行うのがよい」、④「異常の早期発見のため」を見て取ることができる。

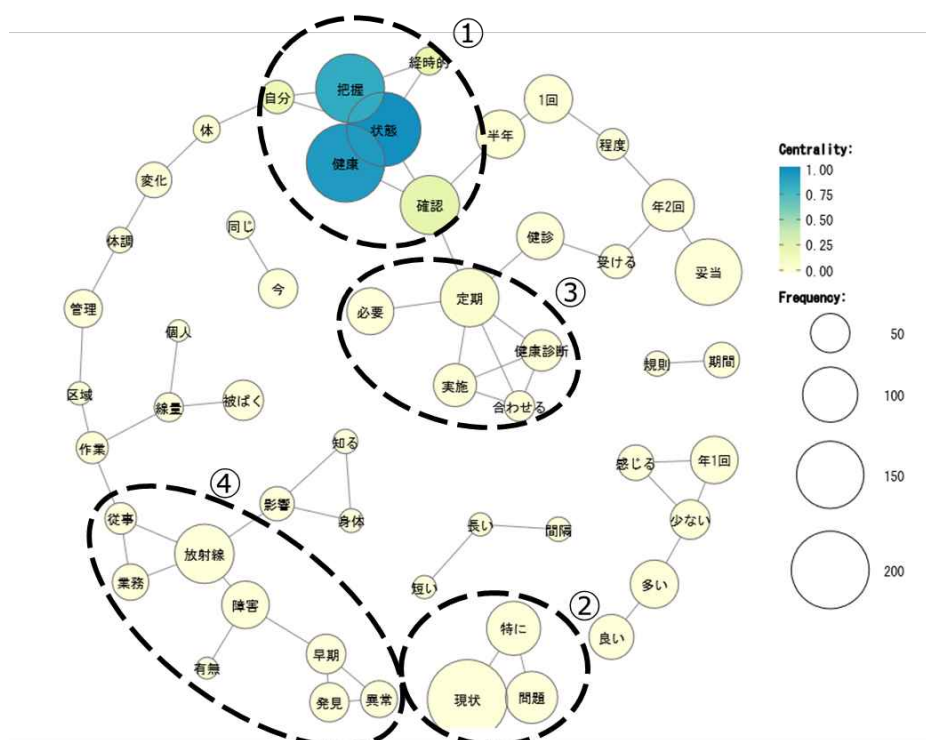


図 3.3 年2回が妥当と回答した群に関する共起ネットワーク分析結果

b) 年1回が妥当と回答

年1回が妥当と回答した人の共起ネットワーク分析結果を図3.2に示す。

図3.4によれば、①の点線で囲んだ「管理」と「区域」の2つの単語の中心性が高いことが示され、これらの単語をキーワードと考えることができる。このことから、年1回が妥当であるとする主な理由について、隣接している単語も考慮すると、「管理区域への入域頻度、被ばく線量が少ないから」が多くを占めていると考えられる。

また、2つのキーワードから遠い位置にあるノードの塊について注目してみると、②の「現在年1回実施している定期の一般健康診断と合わせて年1回行うのが効率的」の他、「年1回で十分、妥当」が①の点線の下に見て取れる。

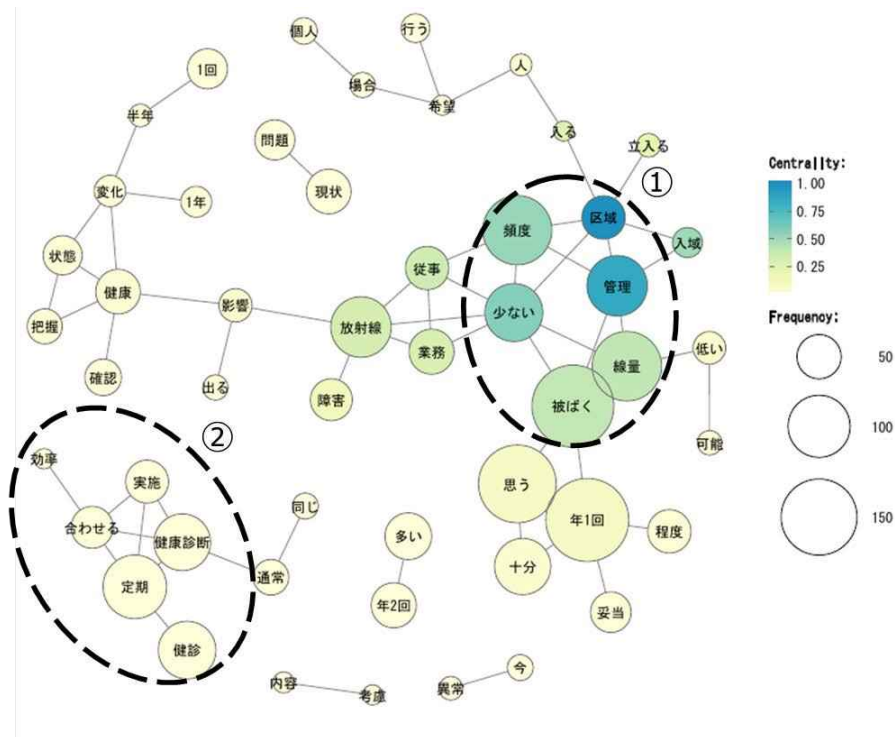


図 3.4 年 1 回が妥当と回答した群に関する共起ネットワーク分析結果

c) 不要と回答

不要と回答した人に関して、共起ネットワーク分析の結果を図 3.5 に示す。図 3.5 によれば、「血液」、「眼」、「皮ふ」の 3 つの単語の中心性が高いことが示され、これらの単語をキーワードと考えることができる。このことから、本人が希望したときが妥当であるとする主な理由について、隣接している単語も考慮すると、①の点線で囲んだ「法令で定められている線量限度(年 50mSv, 5年で 100mSv) を超えなければ、皮ふ・血液・眼の障害は起きないから」が多くを占めていると考えられる。

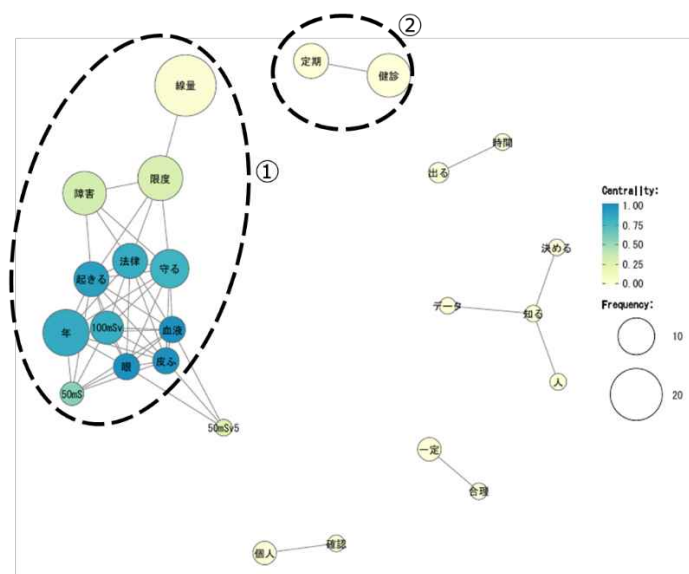


図 3.5 不要と回答した群に関する共起ネットワーク分析結果



また、3つのキーワードから遠い位置にあるノードの塊について注目してみると、②の「定期の一般健康診断で代替できるから」の他、「一定の数値を超えた時のみ行うのが合理的だから」等があげられる。

### 3.1.5 アンケート調査結果を基にした意見交換

以上のようなアンケート調査結果の概要を回答頂いた代表者への報告を行うとともに、対面で意見交換を行い、以下のようなコメントを得た。

#### (1) 電力事業者放射線管理担当者（平成 31 年 2 月 14 日）

すでに議論されている点とは思うが、特殊健康診断の受診対象者については、安衛則 45 条で一般健康診断についても 1 回/6 月が義務付けられている。したがって受診者の意識の中には、低線量放射線の影響とはあまり関係なく、一般健康診断を人より多く受けられるというメリットを感じていることがアンケート結果から見て取れる。

したがって、このような紙ベースのアンケート調査では難しいと思うが、特殊健康診断の要否の議論と一般健康診断の機会増加による効果の議論は切り分けて行う必要があると考える。

その観点から、受診者の分析については以下の観点からの分析が必要であろう。

- ① 受診者が低線量放射線の影響について懸念し、その対応である血液検査等の特殊健康診断にメリットを感じているか。
- ② 安衛則 45 条に基づき、一般健康診断について一般人よりも多く受診できることに安心を感じているのではないか。

ただし、②については、技術的な枠を超えた作業者の安心の問題であり、放射線業務に限らず、安衛則上 13 条に規定する他の危険業務にも関係する話なので、本研究でどこまで扱うかについては検討する必要があると思う。

#### (2) 大学等放射線施設協議会（平成 31 年 3 月 16 日）

##### a) アンケート調査の実施方法等について

- ・（特殊健康診断を継続する目的を問う設問について）「放射線障害の判定の基礎データにするため」という選択肢は記述が難しく、選びづらかったのではないか。
- ・受診者に対するアンケートを依頼する際に、学生（大学院生）に渡すと放置したり、いかげんな回答をしたりすることが予想されたため、回答の対象が選びにくく、回答してくれそうな人に配布した。このことから、結果にはバイアスが掛かっていることを念頭に置いて結果の考察を行うことが必要だと思う。
- ・大学関係者は障害防止法に慣れており、電離則に基づいて設問や用語が書かれており、分かりにくく感じる場所があった。
- ・産業医からの回収率が低い、回答した人は相当なバイアスがかかっている人ではないか。

##### b) アンケート結果や特殊健康診断の実施に関して

- ・現場の声として主張する人はいないかもしれないが、実施側からすると特殊健康診断の実施を面倒に感じている。
- ・業務内容（X 線装置から加速器など取扱う機器が変わる）が変更されると、取扱前のものとして再度特殊健康診断を受診する必要があるため、手間に感じている。

- ・大学では有害業務は放射線取扱に限られているものではなく、有機溶剤やその他様々である。そして、有害業務に従事している人は年2回の特殊健康診断が義務づけられている。管理者としての意見であるが、特殊健康診断の位置づけが分かりにくく、受診している当人はあまり区別を意識していないと思う。また、この調査の結果、放射線健康診断だけが省略されることとなっても、他の特殊健康診断は変わらないのであれば意義はあまりないかも知れない。

→当研究班のメンバー（産業医）からの情報によれば、厚生労働省は有害業務の特殊健康診断についてリスクに基づく形で実施すべきという考え方の検討を始めているとのことであり、有害業務の特殊健康診断全体についての議論も別途進められているようである。

## 3.2 国際機関や国内における検討状況の再整理

### 3.2.1 (1) 国際放射線防護委員会 (ICRP) における検討内容

職業被ばくの放射線防護における健康診断については、1958年に採択されたICRPの最初の勧告において、健康監視 (health surveillance) の節に記述されて以降、その後の主勧告や職業被ばくに関する刊行物において記述されてきた。1958年勧告 (Publication 1, 1959) においては、健康監視について、雇用の際の検査と定期健康診断における目的や検査項目について示されている。その後確率的影響を含む線量制限体系を導入したICRP 1977年勧告 (Publication 26, 1977) においては、医学的監視 (Medical surveillance) の目的の明確化をし、作業条件と作業者の健康状態の情報を医師が把握すること重要性を示した。ICRP 1990年勧告 (Publication 60, 1991) では、職業的保健サービスについて簡単に記述されているが、詳細についてはその後発行された「作業者の放射線防護に対する一般原則」 (Publication 75, 1997) に示された。最新の基本勧告であるICRP 2007年勧告 (Publication 103) には、被ばくした個人の同定の節で医学的監視に触れている程度で、詳細な記述はない。

ICRP 勧告における健康診断の検査項目やその頻度に関する考え方については、1958年勧告で記載されて以降、詳細な記述はされていない。上で述べたICRP 勧告や刊行物における健康診断での記述内容の抜粋を付録に示す。またこれらの健康診断の目的や内容に関する記述内容の概要を以下に示す。

#### 1) ICRP 1958年勧告 (Publication 1)

健康監視の目的で、放射線作業にあらたに従事するすべての職員は、雇用時健康診断を受けなければならないとしている。家族歴、職歴および過去のX線診断または放射線治療について記録をとり、検査は赤血球数、白血球数および白血球百分率の検査を含まなければならないとし、この検査は、従事することになった時のその人の“正常な”状態を判定することと、放射線障害と混同されるおそれのあるような異常があるかどうかをみることを目的としている。

以前に職業上被ばくを受けている場合には、総蓄積線量を記録し、かつなんらかの適当な補足の医学的検査を実施しなければならないとしている。この検査は中性子および重粒子による被ばくの場合にはとくに水晶体の変化に着目して眼科学的検査を、また局所的な体外照射および体外汚染の場合には皮膚および爪の検査を含むべきであるとしている。

定期的健康診断としての医学的検査は、職業上の被ばく条件によって定められる頻度で、実施されるべきであるとしている。血球の検査は医学的検査の一部ではあるが、放射線モニタリングの方法とは考えるべきでないとしている。中性子および透過力の強い重粒子に職業上被ばくする者は、とくに水晶体の変化に着目して眼科学的検査を受けなければならないとし、検査の回数は被ばくの条件によるとしている。

#### 2) ICRP 1977年勧告 (Publication 26)

職業上の被ばくの医学的監視の節において、作業者の医学的監視は、職業医学の一般原則に基づいており、次の目的をもっているとしている。

- ・ 作業者の健康を評価すること
- ・ 作業者の健康が、当初および引き続き作業条件に適合していることを保証するのに役立つこと
- ・ 事故時の被ばくまたは職業病が起こった場合に役立つ、基礎となる情報を与えること

有害な影響と線量当量限度の範囲内での被ばくとの明確な関連づけは不可能であり、放射線防護プログラムの有効性を確かめる上で医学的監視は何の役割も果たさないとし、医学的監視には就業前検査と日常検査の両方を実施し、後者の内容は主に作業者の一般的健康状態と作業条件とによって決定されるとしている。

作業者を区分し、年間被ばくが線量限度の 3/10 を超えるおそれのある作業の条件（作業条件 A と呼ばれている）の作業者について、この種の作業を開始する前に就業前の医学検査を受けるべきであるとしている。この検査の一つの目的は、その個人が受けることになる被ばくの型を限定する作業者の状態または特性を見出すことであり、この目的には、医師は仕事の内容の詳細を含む作業条件についての情報を必要としている。就業前検査に引き続き、作業者の健康についての継続的監視が必要かどうかを考慮すべきである。もし必要があれば、作業条件（たとえば仕事の内容および作業環境）と作業者の健康状態（たとえば病欠）について事業者のもつ情報を医師が入手できるようにすべきであるとして、日常検査の頻度もその決定は、主としてこの情報に基づいて行われるとしている。

### 3) ICRP 1990 年勧告 (Publication 60)

この勧告においては、健康診断について、特に新たな考え方は示さず、職業的保健サービスの主な役割は、他の職業における役割と同様である。以下の3つのカテゴリーの作業者について、健康管理医は、時には専門家による支援を受けて、カウンセリングの必要性があると説明している。

- (a) 妊娠しているかもしくは妊娠するかもしれない女子
- (b) 線量限度をかなり超過した人、あるいは潜在的に危険な状態に巻き込まれたかもしれない人
- (c) 生物医学研究プログラムの一部として故意の被ばく志願しようと考えている個々の作業者から構成されるグループ

### 4) 作業者の放射線防護に対する一般原則(Publication 75、1997)

職業上放射線に被ばくする作業者の健康監視の目的は、産業医学の一般原則に基づいて以下の3つの事項を挙げている。

- (a) 作業者の健康を評価すること
- (b) 特定の作業条件下で始めることが予想される仕事への作業者の適性を決定すること
- (c) 事故により特定の有害物質にさらされた場合あるいは職業病の場合に役立つ基礎情報を提供すること

作業員がある特定の仕事を遂行するのに適しているかどうかを判断するために、放射線被ばくの影響を考慮することはないが、健康管理医は、作業員が割り当てられた仕事の遂行に適していることを保証するために、放射線被ばくを伴う作業員の健康監視に関わるべきであるとしている。特に次の3つの場合に、作業の種類と作業員の健康状態に応じて特別の健康監視が必要となることがある。

- (a) 作業員が呼吸保護具を使用する必要のある場合
- (b) 皮膚病あるいは皮膚に損傷のある作業員が非密封放射性物質の取扱いを求められている場合
- (c) 作業員に精神的失調があると分かっている場合

## 5) ICRP 2007年勧告 (Publication 103)

最新の基本勧告である2007年勧告においては、健康監視に用に関する新たな記述はない。関連の記述としては、人の放射線防護体系の章において、被ばくした個人の同定の節で医学的監視に触れている程度である。

### (2) 国際原子力機関 (IAEA) の安全基準文書における記述内容

ICRPの勧告に基づいて、IAEAが国際機関等と協同で策定した「放射線源の放射線防護と安全：国際基本安全基準」(BSS GSR Part 3)や、職業被ばくに関する具体的な安全指針を示した「職業上の放射線防護」(GSG-7)における健康診断に関する記述内容について付録に示す。その内容の概要は以下の通りである。

#### 1) 国際基本安全基準 (BSS) (GSR Part3) における健康診断に関する記述

国際基本安全基準には、放射線防護に関する基本的な要件が示されて、それに関する具体的な要件が示される。健康診断に関連する要件は、職業被ばくの節に示される以下の基本的要件21に関連して規定されている。

#### **要件 21**：雇用主、登録者および許可取得者の、作業員を防護する責任

雇用主、登録者および許可取得者は、職業被ばくから作業員を防護する責任を持たなければならない。雇用主、登録者および許可取得者は、防護と安全が最適化され、職業被ばくの線量限度を超過しないことを確実にしなければならない。

この要件に関連して、雇用主、登録者および許可取得者が、職業被ばくを伴うか伴う可能性のある活動に従事するすべての作業員のための必要な健康監視および保健サービスを提供することを要件としている。

基本的要件22に、作業員が順守する事項について規定している。

#### **要件 22**：作業員による順守

作業員は、その任務を遂行するとともに、防護と安全のための義務を果たさなければならない。

この要件に関連して、作業者は、防護と安全ならびに作業者の健康監視計画と線量評価計画の運用に関し、雇用主、登録者または許可取得者と協力しなければならないと規定している。

要件 25 では、職業被ばくと健康監視の評価について規定している。

#### 要件 25：職業被ばくおよび作業者の健康監視の評価

雇用主、登録者および許可取得者は、作業者の職業被ばくの評価と記録、および健康監視のための取り決めを行う責任を持たなければならない。

この要件に関連して、雇用主、登録者および許可取得者は、職業被ばく記録へのアクセス権を作業者の健康監視計画の監督者、規制機関および関係雇用主に与えなければならないと規定している。

作業者の健康監視に関する要件について、作業者の健康監視計画において、労働衛生の一般原則に基づかなければならないことや対象とする作業への作業者の最初の適性およびその後続く適性を評価するように立案しなければならないとしている。

また、1 名以上の作業者が、雇用主の管理下でない線源からの被ばくを伴うかまたは伴う可能性のある作業に従事する場合、その線源に責任を持つ登録者または許可取得者は、そのような従事の前提条件として、規制機関が設置する規則に合致する必要がある作業者の健康監視のための特別な取り決めを雇用主と結ばなければならないとしている。

## 2) IAEA 一般安全指針 GSG-7 職業上の放射線防護 (2018 年発行)

この一般安全指針は、職業被ばくに関する包括的な指針で、BSS の基準に整合をとり、より詳細な要件事項が記述されている。「10 章 作業者の健康監視」には、責任、作業者の健康監視のためのプログラム、以下のように規定されている。

### 作業者の健康監視のためのプログラム

(10.8 項) GSR Part 3 [2] の 3.108 項に従えば、作業者の健康監視プログラムは、文献 [163] に提示されているような職業衛生の一般原則に基づき、所定の業務に対して初期および継続的に作業者の適性を評価することを目的としなければならない。作業者の健康監視プログラムにはさらに次の目的がある。

- (a) 特定の危険物質に予期せず曝露され、または職業病が発生した場合に利用することができる情報、および作業者が被っている、あるいは被る可能性のある職業衛生リスク（放射線リスクを含む）に関する作業者のカウンセリングに利用できる情報の基礎資料を与えること
- (b) 過剰被ばくした作業者のケアを支援すること

(10.9 項) 作業者の健康監視プログラムの主な要素は以下に示すものであるべきである。

- (a) 作業者が所定の業務に適していることを確認することを目的とした作業者の健康

## 評価

- (b) 機密医療記録の作成および保全
- (c) 予期しない被ばくと過剰被ばくの処理およびその後の追跡調査に関する手はず
- (d) 管理者および作業員に対する医療アドバイスの提供

(10.10 項) 作業員健康監視プログラムの設計、作成、実施、管理責任者に関する詳細なガイダンスは、文献にある。

## 作業員の健康診断

(10.11) 職業上被ばくを受ける作業員の健康診断は、職業医学の一般原則に従うべきである。放射線に対する職業被ばくだけを理由として、作業員の健康診断を実行するわけではない。その他の理由としては、騒音、粉塵、化学物質のような危険要素への曝露がある。例えば、ほこりっぽい環境下で働く作業員の肺機能の定期的診断は非常に望ましく、産業医は、肺機能の検査や適宜、胸部 X 線検査といった特別な検査の適否を検討すべきである。放射線被ばくまたはその他の危険要素への曝露が該当限度を超える場合、特別な評価と検査が必要であろう。

(10.12 項) いかなる医師と患者の関係性と同様に、産業医は、特定の検査の理由と、作業員の健康および特定の労働環境に関する重要な所見について作業員へ継続的に十分伝えるべきである。

(10.13 項) 作業員の健康診断は、雇用の開始前と終了時および、その間に定期的実施すべきである。

(10.14 項) 次の目的で各作業員の既往歴と医学的評価を確立すべきである。

- (a) 雇用される作業員の所定の業務に対する適性を判断すること
- (b) 特定の労働慣行の変更を検討するときに用いるベースを与えること
- (c) 職業病または過剰被ばくを評価するときに用いるベースを与えること

(10.15 項) 最初の健康診断は、所定の業務に関する作業員の健康と適性を評価し、作業員が仕事に特別な注意を必要とする状況にあるかどうかを確認することを目的とするべきである。ただし、放射線業務に対する作業員の適性判断や業務の一般的な条件は、労働環境の放射線要素にあまり左右されるべきではない。産業医が調査すべき医学的条件には、防護服と設備を利用し着用する能力、警報を聞き取り、放射線ハザードに対応する能力、専門ツールおよび設備を使用する能力に影響する条件を含むべきである。

(10.16 項) 次の例によって示されるように、放射線業務に対する適性は、作業員の健康状態と当該業務の種類によって決まる。

- (a) 作業員の職務が呼吸用保護具の使用を必要とする場合、産業医は、肺機能の健全



性に関する検査を含め、呼吸用保護具の着用に対する作業者の適性を検査すべきである。

- (b) 作業者が非密封線源の取り扱いに従事する場合、業務適性が湿疹や乾癬などの皮膚疾患があると、業務適正が影響され得る。そのような場合、適性の判断は、疾患の性質、程度、進行性と仕事の性質に基づくべきである。そのような疾病を有する作業者は、放射能が低く、例えば身体の患部を覆うなど適切な予防策が取られている限り、非密封放射性物質を扱う業務から必ずしも外すべきではない。
- (c) 作業者が放射線源を伴う業務を必要とする場合、業務適性は、精神的な不安に影響されることがある。そのような場合、症状の発現が安全に及ぼす影響を考慮して適性判断するべきである。主な懸念は、そのような作業者が自分自身または同僚や公衆に及ぶ危険性を示せるかどうかにある。

(10.17 項) 以前に放射線治療を受けたことのある作業者を放射線業務から外す本質的な理由はない。各ケースは個別に評価すべきで、放射線治療の結果、一般的な予後その他の健康状態、作業者の理解と希望、業務内容を考慮して、個別に評価すべきである。

(10.18 項) 定期健康診断では、産業医は、放射線ハザードを含む職業衛生ハザードを伴う区域で働く間、作業者の健康を害する病態が発症していないことを確認するべきである。定期健康診断の内容は、実施する業務の種類と作業者の年齢および健康状態、また場合によっては習慣（例えば、喫煙習慣）などの要因に基づいて決めるべきである。例えば：

- (a) 業務内容が被ばくによる局所的な皮膚損傷（特に手）の可能性がある場合、皮膚を検査すべきである。
- (b) 眼の水晶体への累積線量がすでに 0.5Gy 以上の場合や累積線量をすでに受けている作業人や、今後数年後でこのレベルを超える可能性がある作業者は、定期的に眼科診断を受ける必要があるかもしれない。これは、検出可能な混濁および視覚障害のリスクと関連しており、これらは、所定の業務を実行する作業者の能力（例えば、画像誘導下でのインターベンション手技の実施）に影響するかもしれない。

(10.19 項) 定期健康診断の頻度は、作業者の健康状態と当該業務の種類に基づいて決定するべきである。通常、放射線被ばくがそれ自体で、定期健康診断を通常より頻繁に実施する理由となるべきではない。

(10.20 項) 職業衛生の良好事例を保つには、産業医が、傷害または疾患のために欠勤していた作業者の復職が適正であることを確認するべきである。

(10.21 項) 健康診断を終えると同時に、産業医は、その結論を作業者および雇用主に書面で伝えるべきである。これらの結論は、医療情報を記載するべきではないが、少なくとも作業者を次のいずれかに分類するべきである。

- (a) 所定の業務に適している。

- (b) 一定の制限のもとで所定の業務（例えば、呼吸用保護具を必要としない業務）に適している。
- (c) 所定の業務に適さない。

上記の (c) に関して、産業医は、医学的な見地から、作業者が通常の業務に一時的または永久的に適さないと判断したり、作業者の配置換えを推奨したりする権限を有するべきである。産業医はまた、そのような作業者を通常の職務に復帰させることに関して、医学的見地から、雇用主に助言する権限を有するべきである。

(10.22 項) 現行の作業条件に起因する可能性がある疾患が観察された場合、産業医は、作業環境を調査する必要について管理者に助言するべきである。また、適宜、管理者は、産業医と相談して改善措置を進めるべきである。

(10.23 項) 雇用終了時の健康診断では、業務関連の障害がないかどうか確認するべきである。また、必要な場合、雇用終了後も、作業者の医師による定期的な追跡検診を行う手はずを整えるべきである。これは、以下のように述べている ILO 勧告 147 に基づいている：

「12. 所轄官庁は、職務終了後も作業者に適切な健康診断または生物学的その他の検査または調査を受けさせるための規定を設けるようにするべきである」

(10.24 項) 医療評価から収集されたデータは、疫学研究に役立つかもしれない。

#### 疾病と過剰被ばくの通知

(10.25 項) 作業者は、重大な疾患を全て速やかに産業医に報告するように奨励されるべきである。

(10.26 項) 作業者は、放射性物質を予期せず摂取した疑いがあれば、自分の上長および放射線防護監督官に報告するべきである。予期せぬ摂取量が規制機関によって指定された限度を超えた疑いがある場合、産業医は通知を受け、また、そのような摂取が実際に発生したかどうかを確認する調査の結果も通知されるべきである。産業医は、過剰被ばく調査手続きに参加することもあり得る。

(10.27 項) 作業者が調査レベル (3.122 項～3.127 項を参照) を超えた線量を受けた場合、規制機関は、被ばくの状況に関する通知と調査を要求することができる。

#### 医療記録

(10.28 項) 医療記録は、全医療評価の記録（雇用前の評価、定期的な評価、特別な評価、疾患後の評価、雇用終了時の評価）、臨床検査報告、疾病報告、病歴報告を含むべきである。放射線被ばくに関する情報も、適宜、特に過剰被ばくのケースでは記録されるべきである。医療記録は、機密とするべきであり、また規制機関が承認した方法で保存

されるべきである。医療記録は、少なくとも当該作業者の存命中は保存されるべきである。ただし、訴訟の可能性があるため、記録の保存期間はより長期的な記録の保存を考慮すべきである。

#### 過剰被ばくした作業者の管理

(10.29 項) 許認可条件に従って、管理者は、作業者が過剰被ばくする可能性がある状況に対応するための正式の計画を策定するべきである。これらの計画は、過剰被ばく作業者の管理および想定される健康影響を取り上げるべきである。これらの計画は、必要な措置を明示し、管理者は、それらの措置を実行するための資源を割り当てるべきである。

(10.30 項) 予期せぬ被ばくの程度または過剰被ばくが起きた場合、産業医は、管理者と協力し、被ばくの重症度を評価するための適切な手はずがすべて確実に実行されるようにするべきである。

(10.31 項) 過剰被ばくが発生した疑いがある場合、管理者は、当該の作業者が受けた線量を評価するための調査に速やかに着手するべきである。この調査には、個人線量計およびモニター装置、また、内部被ばくの場合、生体内モニタリングまたは生体外モニタリングの読取り値を、適宜、含むべきである。

(10.32 項) 線量限度に近い評価線量の場合、適切な教訓を確認できるように原因の調査だけでおそらく十分である。この線量は、特別の医療検査や治療を必要としない。線量限度を大きく上回る線量（すなわち 0.1 Sv 以上の線量）の場合にのみ、生物学的線量測定を伴う特別の線量調査（例えば、体細胞、主としてリンパ球における染色体異常分解）や、さらなる精密診断や治療が必要になるだろう（4.30 項～4.32 項を参照）。高レベルの外部放射線にさらされた人に対する治療は、健康への有害な影響、特に確定的影響、を取り上げるべきである。

(10.33 項) 作業者が放射性核種の多量摂取を被った場合、預託線量を低減する措置が是認されるかもしれない。そのような作業者には、状況によって取り込みを低減する医学的介入の可能性について知らせておくべきである。取るべき措置は、当該の放射性核種、関連器官に対する預託等価線量の大きさ、防護措置の有効性および関連リスクに基づいて決定される。この措置は、線量低減が副作用を上回る場合にのみ実行されるべきである。そのような治療法の例としては、取り込まれたアクチニドの Ca-DTPA による身体からの排出率向上、トリチウム摂取後の強制利尿、汚染創の外科的切除などがある。

(10.34 項) 事故、その状況および結果に関する詳細な調査には、さまざまな分野の専門家、特に産業医と放射線専門家が参加するべきである。医学的処置のために取られた全ての措置が的確に調整されるよう、これらの専門家間の緊密な連携が必要である。受けた線量が確定的影響のしきい値に近いか、上回る疑いがある場合、調査によって吸収線量と体内分布を可能な限り正確に把握し、また、当該作業者に対する適切な健康診断を

行うべきである。

### 3.2.2 健康診断に関する国内での検討

放射線審議会や関連の委員会等における健康診断に関するこれまでの検討の主な経緯を示す。

#### (1) 法令制定後初期の段階での検討

放射線障害防止法は、ICRPの1958年勧告に整合をとり、昭和32年(1957年)に制定・公布された後、ICRPの勧告の改訂とともに放射線審議会や関連の検討委員会等で改定の検討結果に沿って、改定されてきた。放射線審議会は、昭和51年5月に、1965年勧告の内容の取り入れを検討して、昭和51年5月に意見具申「国際放射線防護委員会勧告について」(昭和51年5月)をまとめた。その意見具申において、健康診断に関連する内容は、以下の通りである。

- ・ICRPは、1958年勧告では作業者の被ばくのカテゴリーを2つの区分を規定していたが、1965年勧告では、これを改め、「作業中に被ばくする成人」と「公衆の構成員」の二つのカテゴリーとするよう勧告している(1965年勧告41項)。また「作業中に被ばくする成人」のカテゴリーについては、その被ばくの可能性等に応じ健康診断等の措置に関して更に二つに区別する考え方を示している。
- ・これに対し、我が国の現行法令においては、おおむね1958年勧告に沿った区分がなされ、放射線障害防止法、原子炉等規制法、労働安全衛生法、その他の労働保護法等法令により表現に若干の相違はあるが、「作業中に被ばくする成人」に対応するものとしては、「放射線作業従事者」、「管理区域随時立入者」、「運搬従事者」及び「管理区域一時的立入者」等の区分が規定されており、1965年勧告を取り入れるに当たり、被ばく線量測定、健康診断等の実際の管理においての問題点を検討し、実際に予想される被ばく線量のレベルに応じて、これらの管理の対象者を区分する方向に整備を行っていくことが望ましい。
- ・健康診断について、最近の医学の進歩等を勘案し、現行法令の健康診断の項目について再検討することが望ましい。

この意見具申を受けて、放射線作業従事者等健康診断検討会が設置され、昭和51年12月に健康診断に関する検討を開始し、6回の検討会で検討を行った結果、昭和53年6月に「放射線作業従事者等の健康診断のあり方について」を当時の放射線審議会の事務局である科学技術庁原子力安全局に報告した。この報告の概要は、以下の通りであった。

#### 「放射線作業従事者等の健康診断のあり方について」

##### (1) 放射線健康診断の対象者

###### 1) 就業前放射線健康診断

放射線業務上(以下「業務上」という。)は被ばくする作業員(年被ばく線量が線量当量限度の1/10を超えるおそれのない作業環境・作業状況下にある者は除く。以下同じ。)を対象とすること。

###### 2) 就業中定期放射線健康診断

業務上被ばくする作業者のうち、年被ばく線量が線量当量限度の3/10を超えるおそれのあるような作業環境・作業状況下にあるものを対象とし、年被ばく線量が線量当量限度の3/10を超えるおそれのない作業環境・作業状況下にあるものは対象から除くこと。

(2) 放射線健康診断の時期・頻度

1) 就業前放射線健康診断の時期

初めて業務上被ばくすることとなるときまでに行うこと。

2) 就業中定期放射線健康診断の頻度

1年に1回の頻度とすること。

(3) 放射線健康診断の項目

1) 就業前放射線健康診断

イ 被ばくの状況

放射線の被ばく歴の有無、被ばく歴を有する者に対する作業の場所、内容及び期間、集積線量その他放射線による被ばくの状況に関する事項の調査は、事業者が行い、その結果を放射線健康診断を担当する医者に提示すること。

ロ 皮膚

必要か否かの判断は、健康管理に責任を持つ医師にゆだねること。

ハ 眼

必要か否かの判断は、健康管理に責任を持つ医師にゆだねること。

ニ 血液

血色素量、赤血球数及び白血球数の検査を行い、この外、健康管理に責任を持つ医師が必要と認めた者に対しては、白血球像等の検査を実施すること。

2) 就業中定期放射線健康診断

イ 被ばくの状況

作業の場所、内容及び期間、集積線量その他放射線による被ばくの状況に関する事項の調査は、事業者が行い、その結果を放射線健康診断を担当する医師に提示すること。

ロ 皮膚

必要か否かの判断は、健康管理に責任を持つ医師にゆだねること。

ハ 眼

必要か否かの判断は、健康管理に責任を持つ医師にゆだねること。

ニ 血液

血色素量、赤血球数及び白血球数の検査を行い、この他、健康管理に責任を持つ医師が必要と認めた者に対しては、白血球像等の検査を実施すること。

(4) 放射線健康診断に関連する事項

1) 実施義務者

放射線健康診断の実施義務者が同一の作業者について重複している場合は、実施義務

務者が重複するがゆえの放射線健康診断の無用の繰返しはさけるべきであって、適切な実施体制が計られる必要がある。

#### 2) 医師の勧告等

放射線健康診断を担当した医師が必要あるとして健康管理に関することを、事業者等に対し勧告、指導又は助言した場合は、関係者はそれを遵守すべきである。

#### 3) 放射線健康診断結果の本人への通知

放射線健康診断の結果の本人への通知は、異常があった場合又はその疑いがある場合にのみ、通知すればよいものとする。

ただし、本人の要求する場合は必ず通知するものとする。

#### 4) 秘密の保持

放射線健康診断の実施に伴い、知り得た個人に関する秘密については、関係者により厳守されるべきである。

### (2) ICRP 1977 年勧告(Publication 26)の国内制度等への取り入れについての検討

ICRP1977 年勧告の発行後、放射線審議会等でその内容について検討され、昭和 55 年 1 月に簡単な改正事項に関わる意見具申を行った。その後 1985 年(昭和 60 年)の ICRP のパリ声明も踏まえて、昭和 61 年 7 月に「国際放射線防護委員会の新勧告について」と題する意見具申を行った。昭和 62 年 9 月に法令取入れに係る技術的基準の改正について放射線審議会に諮問し、昭和 62 年 12 月に関係行政機関の長に対して答申を行った。この内容については、障害防止法など関連法令の平成元年(1989 年)の改正において取り入れられた。健康診断に関しては、上述の「放射線作業従事者等の健康診断のあり方について」報告書の内容に沿って検討されているが、当時の法令では、健康診断の対象者が放射線作業従事者および管理区域随時立入者であったところ、放射線作業従事者(ただし、年限度の 3/10 を超える恐れのない者を除く)とした。

### (3) ICRP 1990 年勧告(Publication 60)の国内制度等への取り入れについての検討

平成 3 年に ICRP1990 年勧告の国内制度への取り入れについて基本部会で検討を開始した。平成 9 年の時点での放射線業務従事者に対する健康診断のあり方に関する検討報告では、「放射線業務従事者に対する健康診断として、通常の定期健康診断に加えて、問診(被ばく歴の評価等)、血液(白血球の数および百分率)、皮膚、眼(水晶体)の検査を、配置前、および以降は年に 1 回以上実施することが適当である。ただし、配置前の健康診断にあつては、眼の検査は、線源の種類等に応じて省略することとすべきである。また、定期の健康診断にあつては血液、皮膚、眼の検査は医師が必要と認めた場合に限り行うこととすべきである。」と報告された。

その後、放射線審議会(第 109 回)では、現状の問題点、現行の制度を変更した場合の影響などについて検討することが必要なこと、および、現行制度での内部被ばくした場合の医師の診察・処置の必要性について基準の設定を含めて検討することが必要なこととまとめられていて、最終的な方向性としては、線量限度が担保されていれば、定期的な健康診断は、特に必要ないとしている。

放射線審議会は、その後の基本部会においての検討を踏まえて、平成 10 年 6 月に関連

省庁に対して意見具申を行った。

健康診断に関わる職業的保健サービスについて以下のように記述されている。

#### *ICRP1990年勧告の職業的保健サービスに関する内容*

(1) 職業的保健サービスの主な役割は、他の職業における役割と同様であるとし、放射線作業者の集団の健康管理を行う医師は、その作業者集団の職務及び作業条件についてよく知っている必要があり、その上で、割りあてられた職務に対するそれぞれの作業者の適性について決定を下さなければならないとしている。現在では、作業環境の放射線がこの決定に何らかの有意な影響を与えることはきわめてまれであり、さらに、職業的に被ばくする人々の雇用条件に影響を与えることはないはずであるとしている。(259)

(2) 健康管理を行う医師が、ときには専門家による支援を受けて、以下の3つの特別なカテゴリーの作業者に対するカウンセリングを求められるかもしれないことが述べられている。

1)第一は、妊娠しているかもしくは妊娠するかもしれない女子は、妊娠したかもしれないと思う場合は、直ちに医師に申し出るように助言を受けるべきである。それによって事業者は、必要な任務変更または特別な防護対策を行うように助言を受けることができる。(260)

2)第二は、線量限度をかなり超過して被ばくした人、潜在的に危険な状態に巻き込まれたかもしれない人の場合は、例外的な状況でのみ臨床検査や治療を必要とするだろうが、事故の潜在的な大きさによっては、必要なら、医師は短期間の予告で、例えば、リンパ球の染色体異常の検査のような適切な検査と治療の準備ができるようにすべきである。(261)

3)第三は、生物医学研究プログラムの一部として故意の被ばくを志願しようと考えている個々の作業者から構成されるグループの場合は、健康管理を行う医師は、安心感を与え、懸念を表す志願者を除外することが可能である。研究目的が適切であること、志願者選抜システムが満足すべきものであることを保証するために、倫理委員会への諮問が必要である。(262)

(3) 健康管理を行う医師には、個々の作業者の作業条件と被ばくに関する情報が必要であるとし、これらは医療記録の一部となり、通常は医療上の秘密とみなされるが、秘密を守るあまり防護担当者等がオリジナル・データを入手しにくくなってはならないとしている。(263)

職業的保健サービスの主な役割は、他の職業における役割と同様であるとし、放射線作業者の集団の健康管理を行う医師は、その作業者集団の職務及び作業条件についてよく知っている必要があり、その上で、割りあてられた職務に対するそれぞれの作業者の適性について決定を下さなければならないとしている。

#### *現行法令の状況*

放射線障害防止法等、放射線防護関係法令において「健康診断」、「放射線障害を受けた者又は受けたおそれのある者に対する措置」等が規定されている。

#### 取り入れに当たっての基本的考え方

(1) 放射線影響に関する知見、我が国における産業衛生の実態を踏まえて検討した結果、放射線業務従事者に対する特殊健康診断として、問診（被ばく歴の評価等）、血液（赤血球数、血色素量又はヘマトクリット値、白血球数及び百分率）、皮膚及び眼（水晶体）の検査を、配置前及び以降は年に1回以上実施することが適当である。ただし、配置前の健康診断にあつては、眼の検査は、線源の種類等に応じて省略すること。また、定期の特殊健康診断にあつては、血液、皮膚及び眼の検査は医師が必要と認めた場合に限り行うこととすべきである。

(2) 健康管理を行う医師には、個々の作業者の作業条件と被ばくに関する情報が与えられる必要がある。その上で、健康診断の結果を評価判定し、健康相談を含む包括的な健康管理が行われるシステムの整備が望まれる。

(3) 労働省の所管行政に係る規制緩和要望およびその検討状況については、平成12年1月18日に日本労働組合総連合会からの意見・要望として、放射線業務等の有害業務は、一般の業務と比べ労働者に与える健康上の負荷が高いことから、特殊健康診断は、特別な健康診断項目により、通常の定期健康診断（年1回以上）より高い頻度（年2回以上）で実施することとなっている。したがって、健康診断間隔を1年に延長する予定はないと判断された。

#### (4) ICRP 2007年勧告(Publication 103)の国内制度等への取り入れについての検討

放射線審議会基本部会では、平成20年3月よりICRP2007年勧告の国内法令取入れの検討が進められ、平成22年1月に「中間報告」をまとめ、その後平成23年1月12日（第38回）まで、20回にわたる検討を行い、「国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告(Pub.103)の国内制度等への取入れについて—第二次中間報告—」を取りまとめた。この第二次中間報告での、健康診断に関わる内容は以下の通りである。

(6-a) 異常な被ばくの実態の発見及び放射線作業環境の欠陥の発見を目的とした定期の特殊健康診断の意義について

#### (基本部会の提言)

放射線防護・管理システムが進展した現在において、異常な被ばくの実態の発見及び放射線作業環境の欠陥の発見を定期の特殊健康診断に求めるべきではない。

(解説) 現在、法令に基づいて実施されている定期の特殊健康診断は、放射線障害防止法に基づく規制が開始された当初から導入されているものであるが、当時としては、作業環境の異常な被ばくの実態や放射線作業環境の欠陥を発見する手法とされていた。ICRPの1990年勧告の国内制度等への取入れに関する検討に際し、基本部会の下に設置された「放射線業務従事者に係る健康診断ワーキンググループ」は、作業環境の異常又は作業状況の欠陥を検知する手段としての放射線業務従事者に対する特殊健康診断の有効性について、以下のような見解を示している。



「かつて、放射線健康診断によって、作業環境・作業状況における有害要因の発見と排除のための有用な情報が提供され得ることも、その意義の一つと考えられていた。しかしながら、放射線管理技術が進歩し整備された現在では、健康診断における放射線を原因とする身体異状の発見を契機として、異常被ばくの事実が発見されたり、放射線防護・管理システム上の欠陥が指摘される等のケースはあり得ないことであり、もはやそのような意義を放射線健康診断に期待すべきではない。」

この見解が示されて以降、放射線防護・管理システム及び放射線障害防止に係る法規制は益々進展し、労働安全衛生法に基づく作業環境の定期的な評価によって放射線業務の作業環境も改善されており、特殊健康診断で放射線防護・管理システム上の欠陥が発見されるような異常な事例は、無いか極めて稀であると言える。また、仮に放射線防護・管理システム上の欠陥が存在したとしても、放射線業務従事者の個人線量の評価によって、その発見が可能である。このような状況から、この無いか極めて稀な事例のために定期的特殊健康診断を実施する意義は極めて少なく、放射線防護・管理システム上の欠陥の発見を定期的特殊健康診断に求めるべきではない。

#### (5) 放射線防護に関わる学会での検討の現状

日本保健物理学会の放射線防護標準化委員会において、「放射線業務従事者に対する健康診断のあり方」(2014.9.28 制定)についてのガイドラインを以下のようにまとめている。

##### ○ 適用の範囲

このガイドラインは、計画被ばく状況において放射線業務従事者の健康監視を目的に実施する健康診断に適用する。

##### ○ 判断基準

線量管理に責任を有する者は、以下の場合に定期的一般健康診断に加えて放射線業務従事者に対する健康診断が必要であると判断すべきである。

- (1) 初めて放射線業務の職に就く前
- (2) 放射線業務の職を終了するときであって、従事した 期間中に線量限度\*を超えて被ばくした場合
- (3) 線量限度を超えて被ばくしたとき
- (4) 線量管理に責任を有する者が放射線業務従事者に対する健康診断の必要性を認めたとき

なお、(4)の必要性については、産業医又はそれに準ずる医師の助言を得た上で判断すべきである。

\*：線量限度とは、計画被ばく状況の実効線量限度又は等価線量限度を示す。

ICRP では、放射線業務従事者に対する健康診断について、「有害な影響と線量当量限度の範囲内での被ばくとの明確な関連づけは不可能であり、放射線防護プログラムの有効性

を確かめる上で医学的監視は何の役割も果たしていない。」(ICRP Publ.26)と勧告しているのに対し、現行の法令では、作業環境の異常な被ばくの事実や放射線作業環境の欠陥を発見する手法として放射線業務従事者に対する健康診断が位置づけられ、一般有害物質の吸入等の暴露と同じ時期での健康診断が必要とされてきた。しかしながら、放射線被ばくの場合は、一般有害物質とは異なり、個人モニタリングの評価から異常な事例を発見できることから、定期的に放射線業務従事者に対する健康診断を実施する意義は乏しい。放射線業務従事者の健康監視を合理的に行うためには、現行法令とは別の独自の視点から、ICRPの勧告や学会の存立基盤である学術的な知見をベースにしてどのような時に健康診断を実施すべきかの判断規準を提示する必要がある。なお、就業前と線量限度を超えた場合の放射線業務従事者に対する健康診断については、ICRPでは「年被ばくが線量限度の3/10を超えるおそれのある作業を行う作業者は、就業前の医学検査を受けるべきである。」(ICRP Publ.26)、「線量限度をかなり超過した人、あるいは潜在的に危険な状態に巻き込まれたかもしれない人は、事故の潜在的な大きさによっては、もし、必要なら、医師は診断検査および治療の適切な準備が確実にできるようにすべきである。」(ICRP Publ.60)と勧告しており、基本部会中間報告においても当該時期での放射線業務従事者に対する健康診断の実施を提言していることから、実施の必要があると考えられる。

### 3.2.3 国際機関や国内での検討のまとめ

健康診断を含めて健康監視については、その目的や基本的な事項は、職業医学の一般原則に基づいており、作業者の被ばくの状況に応じて、必要な項目について実施することが重要であることについて、ICRPの最初の勧告である1958年勧告から一貫して、述べられている。

検査項目については、1958年勧告において、赤血球数、白血球数および白血球百分率の検査を含まなければならないとしている。しかし、この当時は、まだ発がんなどの確率的影響の防護についても明確に示されず、放射線防護の考え方がまだ放射線利用の現場には普及していない時期であり、線量管理や測定が十分なレベルには達していない状況であることから、大線量被ばくでの造血臓器への影響が放射線防護上重要であったと考えられる。これ以降の勧告においては、血液検査についての検査項目としての記述は、見られない。

IAEAの最新の職業被ばくに関する安全指針では、健康監視についての詳細な指針が示されているが、定期的な健康診断での検査項目については、実施する業務の種類と作業者の年齢および健康状態、また場合によっては習慣（例えば、喫煙習慣）などの要因に基づいて決めるべきであるとし、例示として、局所的な皮膚損傷（特に手）の可能性のある被ばくを伴う作業条件では、皮膚検査の必要性があり、また眼の水晶体への累積線量がすでに0.5Gy以上の場合など場合には、定期的な眼科診断の必要性などが示されている。

定期健康診断の頻度については、ICRP勧告では、職業上の被ばく条件によって定められる頻度で実施するように示している。IAEA指針でも、明確な基準は示されず、作業者の健康状態と当該業務の種類に基づいて決定するべきであるとし、通常、放射線被ばくがそれ自体で、定期健康診断を通常より頻繁に実施する理由となるべきではないと示している。

これまで我が国における健康診断についての検討状況についても、その経緯について詳

述したが、今後、国際機関が示すような、作業者の健康状態と当該業務の種類に基づいて決定すべきであるという観点での十分な検討が必要と考えられる。

### 3.3 海外の適用状況についての予備的調査

海外の原子力・放射線分野の研究者とのネットワークを活用して、主に電子メールで海外における健康診断の適用状況について概要の調査を行った。この概要調査は次年度に行う海外訪問調査の候補選定、調査項目の絞り込みにも役立つ。

電子メールでの予備的調査は、担当する研究者がネットワークを有する ICRP のタスクグループのメンバーや IAEA のアジア太平洋地域技術協力メンバー (IAEA、OECD/NEA、ENSTTI-EU、アメリカ、イギリス、インドネシア、オーストラリア、オーストリア、オランダ、カナダ、韓国、スリランカ、タイ、中国、フランス、ベルギー、マラウイ、マレーシア、南アフリカ、モンゴル) について回答依頼を行った。

各国からの回答と IAEA、OECD/NEA 及び EU の情報を勘案すると、各国の規制制度に放射線健康診断を取り入れている国はかなり限られていると考えられる。詳細な回答を得られた国の中で、スリランカ、マレーシア、モンゴルは放射線健康診断を原子力安全規制や放射線安全規制の法令に取り入れている。問診の他、検査項目として、血液検査 (ヘマトクリット値や白血球百分率など我が国の法令と同様な項目)、皮ふ、眼の白内障があげられている。放射線健康診断の頻度は 1 年や 3 年毎とされている。

一方、イギリスは電離放射線規則に定めがあり、これは労働安全衛生の観点からの法令である。定期 (継続) の放射線健康診断にあたって実施の要否の判断は、規制機関 (HSE) によって任命された医療専門家が行うとされている。

放射線健康診断を労働安全衛生に係る法令で規定し実施しているイギリス (規制機関 HSE) は次年度の重要な調査対象であろうと考えられる。

また、多くの国で放射線健康診断が法令に規定されていないことを踏まえれば、次年度の海外現地調査では、平常時の考え方 (就業前、就業後の定期)、異常時 (過剰被ばく) の考え方に分け、健康診断の全体像を明らかにする必要があると考えられる。このとき、国際的な考え方の再整理で明らかにしたように、従前では ICRP 勧告においても血液検査が求められており、放射線防護における主たる目的が確定的影響の防止から確率的影響のリスクの制限へと変遷した過程で、放射線特殊健康診断の意義も変化し規制制度における扱い方も変更されてきたものと考えられる。これらの経緯とその議論における主要な論点についても明確とするように調査計画を立てる必要がある。

## 4 まとめ

### 4.1 平成 30 年度のまとめ

本研究の初年度においては、計画被ばく状況および緊急時被ばく状況のそれぞれにおける放射線業務従事者に対する健康診断の医学的な見地からの意義、有効性を科学的に検討することを目的とした。

具体的には、関係者（特殊健康診断の実施者（産業医、労務管理担当者、放射線管理担当者等）と特殊健康診断の受診者（原子力施設、放射線施設及び医療施設の放射線業務従事者等））に対してアンケート調査及びインタビュー調査を行い、国際的な考え方やこれまでの国内での規制制度への取り入れの議論を整理し、また海外の適用状況の調査を合わせて行った。これらの検討結果を基に、単に「放射線業務従事者の線量測定が適切に実施され、実効線量限度や等価線量限度を超えていない場合、確定的影響が発生することはないことから、定期の特殊健康診断の実施は不要」という点を推し進めるのではなく、医学・科学的に合理的な放射線業務従事者に対する健康診断のあり方を検討した。

アンケート調査は、健康診断実施者については実態と意識について、健康診断受診者については意識を主に問う内容とした。実施者については合計 1,102 名に配布し、回収数は 361 名（回収率：32.8%）であった。受診者については合計 10,022 名に配布し、回収数は 6,098 名（回収率：60.8%）であった。

電離則に規定されている年 2 回の健康診断（検査）は大多数が省略をせずに実施しており、年 1 回の省略、年 2 回とも省略しているのはそれぞれ数%にとどまった。さらに、被ばく線量が年 5mSv を超える場合と超えない場合で、健康診断の実施の要否に関する医師の判断の記載ぶりが法令上異なるが、この線量区分を区別して運用しているところは、比較的多い放射線施設（大学）で 38%、原子力施設では 8%にとどまった。省略をしない理由については、「法令の定めがあるため」、「省略手続きが煩雑なため」、「積極的な理由がないため」とした選択肢が拮抗した。その中でも、「異常がないことを確認するため」という回答が多くを占めており、線量管理が適切に行われている中で特殊健康診断の目的がはっきりしないまま実施が進められている現状がうかがえる結果となった。

受診者側については、受診者は一般健康診断と特殊健康診断は区別して認識されており、健診結果の確認などにも意識が高いことが示された。しかしながら、受診者についても特殊健康診断の意義について「健康状態に異常がないことを確認できるため」と考えている方が多いことが明らかとなった。

アンケート調査の集計結果をもとに、次年度に行う健康診断の在り方についての検討に資するため、電気事業連合会（労務管理担当者、放射線管理担当者）、大学等放射線管理担当者、医療放射線防護関係者と意見交換を行った。

また、今後の検討の参考とするために、国際的な考え方について ICRP 勧告の変遷や IAEA BSS の関連する記述を整理するとともに、放射線審議会の過去及び現在の議論の論点整理を行った。さらに、海外の適用状況の予備的調査の結果、現在、規制制度に取り入れられている国は一部の国であることがわかった。

## 4.2 平成 31 年度の研究計画

初年度は、実態の把握を目的として調査用紙によるアンケート調査を広く行うとともに、周辺情報の収集・整理を行った。この調査結果を踏まえ、①医療施設の実施者に対するアンケート調査の追加、②インタビュー形式による健康診断のあり方に関する意見交換、③内規や実施要領の調査による運用実態の把握、④海外における適用状況の調査を行う。

本研究の到達点は、(1) 包括的な調査結果を元に就業後定期に行われる特殊健康診断の省略についての実態及び課題をまとめるとともに、(2) 計画被ばく状況および緊急時被ばく状況のそれぞれにおける放射線業務従事者に対する健康診断のあり方について意義や目的、必要性を国際的な考え方とも照らし合わせてまとめて、提言、提案する。

### (1) アンケート調査

初年度、実施者側として省略の判断をどのように行っているかに着目して医師(産業医)を対象とした。原子力施設、放射線施設(一般企業、大学等)との比較を行うため、医療施設についてアンケート調査を追加して行う。配布数は 1,000 件を予定する。

### (2) 健康診断のあり方についての取りまとめと意見交換

健康診断のあり方について初年度のアンケート調査で追加の協力が得られた産業医、労務担当者及び放管担当者とのインタビュー形式で意見交換する。放射線健康診断の実施状況について、アンケートの集計結果がなぜそのような状況になっているか、理由や関連する要因について明らかにする。

また、班会議での研究協力者全員での意見交換を通じて、健康診断のあり方についてのまとめを行う。

### (3) 健康診断の実施に関する内規等の情報の集計

放射線障害防止法及び電離則に基づく健康診断の実施に関する内規や実施要領を分析・整理し、これらの健康診断の実施の実態を明らかにする。提供された内規等を基に健康診断対象者の選定、健康診断の実施時期、健康診断の項目(法定外の項目の追加、項目の省略等の運用等)、判定の基準、事後措置実施の基準等を集計し、日本におけるこれらの健康診断の実施の実態を明らかにする。

### (4) 海外の適用状況調査(欧米の実施状況を現地調査)

海外における特殊健康診断の適用状況を調査する。初年度に行った予備的調査では規制制度に放射線業務従事者の特殊健康診断を取り入れている国は極めて少ないことが分かった。

調査では、平常時の考え方(就業前、就業後の定期)、異常時(過剰被ばく)の考え方に分け、健康診断の全体像を明らかにする。このとき、国際的な考え方の再整理で明らかにしたように、従前では ICRP 勧告においても血液検査が求められていた。放射線防護における主たる目的が確定的影響の防止から確率的影響のリスクの制限へと変遷した過程で、放射線特殊健康診断の意義も変化し規制制度における扱い方も変更されてきたものと考えられる。これらの経緯とその議論における主要な論点についても明確となるよう調査する。

これらの情報は（２）の検討において参考とする。

調査対象は、

欧州：ウィーン（IAEA）、パリ（ASN、OECD/NEA）、ジュネーブ（ILO）、  
イギリス（HSE）

北米：ワシントン（NRA）、オタワ（ICRP、CNSC）

など、規制機関と放射線防護の考え方をとりまとめている ICRP、IAEA、OECD/NEA を加える。さらに、現場の状況を把握するために、大学等の研究機関も数カ所加えることを検討する。

## 5 付録

### 付録 1 アンケート調査票

#### A-1 実施者

- ・原子力施設
- ・放射線施設
- ・産業医

#### A-2 受診者（共通）

### 付録 2 アンケート集計結果

#### B-1 実施者

- ・原子力施設
- ・放射線施設（大学）
- ・放射線施設（一般企業）
- ・産業医

#### B-2 受診者

- ・原子力施設
- ・放射線施設（大学）
- ・放射線施設（一般企業）
- ・医療従事者

### 付録 3 ICRP 勧告および IAEA 安全基準文書における健康診断に関する記述





## 放射線業務従事者に対する健康診断実施に関する アンケートへのご協力をお願い

放射線業務従事者の特殊健康診断については、放射線審議会などにおいて「あり方」について長く検討されており、ICRP2007年勧告の法令取り入れの検討においても改めて議論されています。本規制庁研究では、放射線業務従事者に対し義務付けられている定期健康診断の実態調査を行った上で、放射線業務従事者に対する健康診断の医学的見地からの意義を検討することとしております。

上記を踏まえて、本アンケート調査では、放射線取扱事業所（原子力施設、放射線施設（大学・研究所、産業利用）、医療施設等）における特殊健康診断の**実態調査**に加えて、特殊健康診断の実施者である産業医並びに放射線管理担当者（労務管理担当者を含む）の方の**特殊健康診断に対する考え方（認識）**をお伺いし、上記の検討の基礎資料とすることを目的としています。

また別途、特殊健康診断を受診される放射線業務従事者の皆様についても、特殊健康診断に対する考え方（認識）を合わせてアンケート調査します。

ご回答いただいたアンケート等の個人情報については、関係法令等<sup>\*</sup>に基づき、セキュリティの確保された環境において厳重に管理し、本調査以外の目的には利用することはありません。また、調査結果についても、個人情報が特定される形での公表を行うことはありません。

本アンケート調査は、規制庁「放射線安全規制研究戦略的推進事業費」により公益財団法人原子力安全研究協会が実施します。ご不明点がありましたら、以下のお問い合わせ窓口までお問い合わせください。

※行政機関の保有する個人情報の保護に関する法律（平成15年5月30日法律第58号）、原子力規制委員会保有個人情報等管理規程（平成24年9月19日）、人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（平成26年12月22日 文部科学省・厚生労働省）、等

原子力規制委員会 原子力規制庁  
公益財団法人原子力安全研究協会

お問い合わせ窓口

放射線環境影響研究所 小野原、横山 [TEL:03-5470-1994](tel:03-5470-1994) E-mail:kenshin@nsra.or.jp

我が国の法律では、放射線業務従事者の特殊健康診断について、次のように規定されています。(一部抜粋)

#### 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則

- ・放射線従事者に対し、管理区域に立ち入る前に健康診断を実施し、管理区域に立ち入った後は、1年を超えない期間ごとに健康診断を実施する。
- ・健康診断は問診及び検査又は検診とし、「血液検査」、「皮膚」、「眼」については、医師が必要と認める場合に実施する。(管理区域に立ち入る前の健康診断については、「血液検査」及び「皮膚」の検査が必須)

#### 電離放射線障害防止規則

- ・事業者は、放射線業務に常時従事する労働者で管理区域に立ち入るものに対し、雇入れまたは当該業務の配置換えの際、またその後6か月ごとに1回定期的に次の項目について医師による健康診断を行う必要がある。
  - ①被ばく歴の有無 ②白血球数、白血球百分率の検査 ③赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値の検査 ④白内障に関する眼の検査 ⑤皮膚の検査
- ・上記健康診断項目のうち、定期的に行わなければならないものについて、医師が必要でないと認めるときは②～⑤の項目全部もしくは一部を省略できる。
- ・健康診断を行おうとする日の属する年の前年一年間の実効線量が5ミリシーベルトを超えず、かつ健康診断を行う日が属する1年間で5ミリシーベルトを超えるおそれがない者に対する健康診断については、上記②～⑤の項目は、医師が必要と認めないときには、行うことを要しない。

以上を踏まえて、続く設問にご回答ください。

回答しにくい、もしくは回答できない項目がございましたら、空欄でも構いません。

【1】貴社について教えてください。

〈業種〉

- 医療機関    教育・研究機関等    国の機関    地方自治体
- 核燃料加工、原子力（電力事業を除く）    電力事業（電力会社）
- 機械、精密機器    鉄鋼、金属    科学、ゴム製品
- 輸送用機器、運輸業    輸送容器承認・設計承認    建設業
- ガラス、窯業    環境計量、産業廃棄物処理、検査サービス（非破壊を除く）
- 石油・石炭製品、鉱業    電気機器、ガス業
- 非破壊検査（法第10条6項を除く）    非破壊検査（法第10条6項）
- 紙・パルプ、印刷業、繊維業    製薬業、臨床検査、食品製造業
- γ線滅菌    卸売・小売業（販一、賃一を含む）各担当の担当業種に同じ



・前述の①～③について、2017年度における対象者の延べ人数を教えてください。

① 電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）

5mSv を超えない方 （ ） 名

② 放射線障害防止法

5mSv を超えない方 （ ） 名

③ 電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）と放射線障害防止法の両方に該当する方

5mSv を超えない方 （ ） 名

④ その他

5mSv を超えない方 （ ） 名

【5】電離放射線障害防止規則に基づいた場合、特殊健康診断における検査又は検診（問診は必須）を年2回（6ヶ月を超えない期間ごと）実施することとなっておりますが、どのように検査を実施していますか。該当するものにチェックを入れてください。

定期一般健康診断とは別に年2回実施している

定期一般健康診断の際に1回実施し、約半年後に別途1回実施することで、年間で計2回実施としている

定期一般健康診断の際に1回のみ実施し、半年後の別途1回は省略している

年に1回も実施していない

その他（ ）

【6】年間5mSv以上を超えている方と年間5mSvを超えない方に検査を実施する際に、対応を分けていますか。

分けている ⇒【7】①と②へ

分けていない ⇒【7】③へ

【7】特殊健康診断（電離放射線障害防止規則、放射線障害防止法に規定されている健康診断、以下同様）として実施している検査・検診の項目また、実施状況にチェックを入れてください（複数回答可）。

①年間 5mSv 以上を超えている場合

〈電離放射線障害防止規則〉

	検査項目	全員実施	全員省略	医師の判断もしくは 基準を決めて省略
必須項目	被ばく歴の有無に関する 問診	<input type="checkbox"/>	—	—
省略できる 項目	白血球、白血球百分率検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	赤血球、血色素量または ヘマクリット値の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	白内障に関する眼の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	皮膚の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	その他 ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」と検査項目の記載は違いますが、同じものとみなします。

②年間 5mSv を超えない場合

〈電離放射線障害防止規則〉

	検査項目	全員実施	全員省略	医師の判断もしくは 基準を決めて省略
必須項目	被ばく歴の有無に関する 問診	<input type="checkbox"/>	—	—
省略できる 項目	白血球、白血球百分率検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	赤血球、血色素量または ヘマクリット値の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	白内障に関する眼の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	皮膚の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	その他 ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」と検査項目の記載は違いますが、同じものとみなします。

③対応を分けていない場合

〈電離放射線障害防止規則〉

	検査項目	全員実施	全員省略	医師の判断もしくは 基準を決めて省略
必須項目	被ばく歴の有無に関する 問診	<input type="checkbox"/>	—	—
省略できる 項目	白血球、白血球百分率検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	赤血球、血色素量または ヘマクリット値の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	白内障に関する眼の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	皮膚の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	その他 ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」と検査項目の記載は違いますが、同じものとみなします。

【8-1】(【5】、【7】について、実施回数、検査項目を省略していない場合にご回答ください)

【5】、【7】について、実施回数、検査項目を省略しない理由で該当するものすべてにチェックを入れてください。

- 省略の判断の手続きが煩雑であるため。
- 省略する積極的な理由がないため。
- 法定の項目は省略しないこととしているため。
- 異常がないことを確認・記録するため。
- その他

(具体的にご記入ください)







(管理区域立ち入り後・電離放射線業務従事中に行う目的)

- 作業者の通常健康状態を知るため
- 放射線障害の判定の基礎データにするため
- 放射線障害以外の病気を把握するため
- 健康リスクのマネジメントを行うため
- 経営リスク、訴訟リスク等のマネジメントを行うため
- 法令により定められているため
- その他 ( )

【14】特殊健康診断における検査・検診と考えられる項目から、どのような病気や症状が発見できると考えておられますか。該当するものにチェックを入れてください(複数回答可)。

- 多血症(赤血球増多症)       貧血       がん       白血病
- 皮膚障害       白内障       緑内障
- その他 ( )

【15】年間被ばく量を考慮するとした場合、特殊健康診断の実施についてどのように考えておられますか。実施回数と健診項目について、あなたの考えに最も近いものにチェックを入れてください。

実施回数

- 年間被ばく量に関係なく、年2回実施するのがよい
- 年間被ばく量に関係なく、年1回実施するのがよい
- 年間被ばく量に応じて、実施回数を変えるのがよい
- 年間被ばく量に関係なく、実施しなくてよい
- その他

( )

特殊健康診断項目

年間被ばく量に関係なく、項目には血液検査や診察等を含み、省略追加等は原則行わないのがよい

年間被ばく量に関係なく、項目は最小限とし、省略追加等は原則行わないのがよい

項目には血液検査や診察等を含み、年間被ばく量等に応じて項目を省略することができるのがよい

項目は最小限とし、年間被ばく量等に応じて項目を追加することができるのがよい

特殊健康診断を実施しなくてよい

その他

( )

【16】現在のわが国の法制度に対する意見、要望はありませんか。また、特殊健康診断の実施について、免除基準等の判断に困るようなことはありませんか。

意見、要望は特になく、現状のままで良い。

意見要望がある。または困ることがある。

ご意見をお書きください。

( )

以上、アンケートへのご協力ありがとうございました。

アンケート集計結果の返送を希望されますか。また、ご回答いただいた内容をもとにヒアリング調査にご協力いただけますか。当てはまる項目にチェックを入れてください。

結果の返送を希望する

ヒアリング調査に協力できる

上記にチェックを入れた方は連絡先のご記入をお願いいたします。

勤務先・部署名・お名前( )

勤務先住所(〒 — )

E-mail ( )

電話番号( — — )

【参考】

(放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則) 一部抜粋

第二十二條 法第二十三條第一項の規定による健康診断は、次の各号に定めるところによる。

- 一 放射線業務従事者（一時的に管理区域に立ち入る者を除く。）に対し、初めて管理区域に立ち入る前に行うこと。
- 二 前号の放射線業務従事者については、管理区域に立ち入った後は一年を超えない期間ごとに行うこと。
- 四 健康診断の方法は、問診及び検査又は検診とする。
- 六 検査又は検診は、次の部位及び項目について行うこと。ただし、イからハまでの部位又は項目（第一号に係る健康診断にあつては、イ及びロの部位又は項目を除く。）については、医師が必要と認める場合に限る。
- イ 末しょう血液中の血色素量又はヘマトクリット値、赤血球数、白血球数及び白血球百分率
- ロ 皮膚
- ハ 眼
- ニ その他原子力規制委員会が定める部位及び項目

(電離放射線障害防止規則) 一部抜粋

第八章 健康診断

(健康診断)

第五十六條 事業者は、放射線業務に常時従事する労働者で管理区域に立ち入るものに対し、雇入れ又は当該業務に配置替えの際及びその後六月以内ごとに一回、定期に、次の項目について医師による健康診断を行わなければならない。

- 一 被ばく歴の有無（被ばく歴を有する者については、作業の場所、内容及び期間、放射線障害の有無、自覚症状の有無その他放射線による被ばくに関する事項）の調査及びその評価
  - 二 白血球数及び白血球百分率の検査
  - 三 赤血球数の検査及び血色素量又はヘマトクリット値の検査
  - 四 白内障に関する眼の検査
  - 五 皮膚の検査
- 3 第一項の健康診断のうち、定期に行わなければならないものについては、医師が必要でないとき、同項第二号から第五号までに掲げる項目の全部又は一部を省略することができる。
- 4 第一項の規定にかかわらず、同項の健康診断（定期に行わなければならないものに限る。以下この項において同じ。）を行おうとする日の属する年の前年一年間に受けた実効線量が五ミリシーベルトを超えず、かつ、当該健康診断を行おうとする日の属する一年間に受ける実効線量が五ミリシーベルトを超えるおそれのない者に対する当該健康診断については、同項第二号から第五号までに掲げる項目は、医師が必要と認めないときには、行うことを要しない。

## 放射線業務従事者に対する健康診断実施に関する アンケートへのご協力をお願い

放射線業務従事者の特殊健康診断については、放射線審議会などにおいて「あり方」について長く検討されており、ICRP2007年勧告の法令取り入れの検討においても改めて議論されています。本規制庁研究では、放射線業務従事者に対し義務付けられている定期健康診断の実態調査を行った上で、放射線業務従事者に対する健康診断の医学的見地からの意義を検討することとしております。

上記を踏まえて、本アンケート調査では、放射線取扱事業所（原子力施設、放射線施設（大学・研究所、産業利用）、医療施設等）における特殊健康診断の**実態調査**に加えて、特殊健康診断の実施者である産業医並びに放射線管理担当者（労務管理担当者を含む）の方の**特殊健康診断に対する考え方（認識）**をお伺いし、上記の検討の基礎資料とすることを目的としています。

また別途、特殊健康診断を受診される放射線業務従事者の皆様についても、特殊健康診断に対する考え方（認識）を合わせてアンケート調査します。

ご回答いただいたアンケート等の個人情報については、関係法令等<sup>\*</sup>に基づき、セキュリティの確保された環境において厳重に管理し、本調査以外の目的には利用することはありません。また、調査結果についても、個人情報が特定される形での公表を行うことはありません。

本アンケート調査は、規制庁「放射線安全規制研究戦略的推進事業費」により公益財団法人原子力安全研究協会が実施します。ご不明点がありましたら、以下のお問い合わせ窓口までお問い合わせください。

※行政機関の保有する個人情報の保護に関する法律（平成15年5月30日法律第58号）、原子力規制委員会保有個人情報等管理規程（平成24年9月19日）、人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（平成26年12月22日 文部科学省・厚生労働省）、等

原子力規制委員会 原子力規制庁  
公益財団法人原子力安全研究協会

お問い合わせ窓口

放射線環境影響研究所 小野原、横山 [TEL:03-5470-1994](tel:03-5470-1994) E-mail:kenshin@nsra.or.jp

我が国の法律では、放射線業務従事者の特殊健康診断について、次のように規定されています。(一部抜粋)

#### 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則

- ・放射線従事者に対し、管理区域に立ち入る前に健康診断を実施し、管理区域に立ち入った後は、1年を超えない期間ごとに健康診断を実施する。
- ・健康診断は問診及び検査又は検診とし、「血液検査」、「皮膚」、「眼」については、医師が必要と認める場合に実施する。(管理区域に立ち入る前の健康診断については、「血液検査」及び「皮膚」の検査が必須)

#### 電離放射線障害防止規則

- ・事業者は、放射線業務に常時従事する労働者で管理区域に立ち入るものに対し、雇入れまたは当該業務の配置換えの際、またその後6か月ごとに1回定期的に次の項目について医師による健康診断を行う必要がある。
  - ①被ばく歴の有無 ②白血球数、白血球百分率の検査 ③赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値の検査 ④白内障に関する眼の検査 ⑤皮膚の検査
- ・上記健康診断項目のうち、定期的に行わなければならないものについて、医師が必要でないと認めるときは②～⑤の項目全部もしくは一部を省略できる。
- ・健康診断を行おうとする日の属する年の前年一年間の実効線量が5ミリシーベルトを超えず、かつ健康診断を行う日が属する1年間で5ミリシーベルトを超えるおそれがない者に対する健康診断については、上記②～⑤の項目は、医師が必要と認めないときには、行うことを要しない。

以上を踏まえて、続く設問にご回答ください。

回答しにくい、もしくは回答できない項目がございましたら、空欄でも構いません。

【1】貴社について教えてください。

〈業種〉

- 医療機関    教育・研究機関等    国の機関    地方自治体
- 核燃料加工、原子力（電力事業を除く）    電力事業（電力会社）
- 機械、精密機器    鉄鋼、金属    科学、ゴム製品
- 輸送用機器、運輸業    輸送容器承認・設計承認    建設業
- ガラス、窯業    環境計量、産業廃棄物処理、検査サービス（非破壊を除く）
- 石油・石炭製品、鉱業    電気機器、ガス業
- 非破壊検査（法第10条6項を除く）    非破壊検査（法第10条6項）
- 紙・パルプ、印刷業、繊維業    製薬業、臨床検査、食品製造業
- γ線滅菌    卸売・小売業（販一、賃一を含む）各担当の担当業種に同じ





・前述の①～③について、2017年度における対象者の延べ人数を教えてください。

① 電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）

5mSv を超えない方 （ ） 名

② 放射線障害防止法

5mSv を超えない方 （ ） 名

③ 電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）と放射線障害防止法の両方に該当する方

5mSv を超えない方 （ ） 名

④ その他

5mSv を超えない方 （ ） 名

【5】電離放射線障害防止規則に基づいた場合、特殊健康診断における検査又は検診（問診は必須）を年2回（6ヶ月を超えない期間ごと）実施することとなっておりますが、どのように検査を実施していますか。該当するものにチェックを入れてください。

定期一般健康診断とは別に年2回実施している

定期一般健康診断の際に1回実施し、約半年後に別途1回実施することで、年間で計2回実施としている

定期一般健康診断の際に1回のみ実施し、半年後の別途1回は省略している

年に1回も実施していない

その他（ ）

【6】年間5mSv以上を超えている方と年間5mSvを超えない方に検査を実施する際に、対応を分けていますか。

分けている ⇒【7】①と②へ

分けていない ⇒【7】③へ

【7】特殊健康診断（電離放射線障害防止規則、放射線障害防止法に規定されている健康診断、以下同様）として実施している検査・検診の項目また、実施状況にチェックを入れてください（複数回答可）。

①年間 5mSv 以上を超えている場合

〈電離放射線障害防止規則〉

	検査項目	全員実施	全員省略	医師の判断もしくは 基準を決めて省略
必須項目	被ばく歴の有無に関する 問診	<input type="checkbox"/>	—	—
省略できる 項目	白血球、白血球百分率検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	赤血球、血色素量または ヘマクリット値の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	白内障に関する眼の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	皮膚の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	その他 ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」と検査項目の記載は違いますが、同じものとみなします。

②年間 5mSv を超えない場合

〈電離放射線障害防止規則〉

	検査項目	全員実施	全員省略	医師の判断もしくは 基準を決めて省略
必須項目	被ばく歴の有無に関する 問診	<input type="checkbox"/>	—	—
省略できる 項目	白血球、白血球百分率検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	赤血球、血色素量または ヘマクリット値の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	白内障に関する眼の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	皮膚の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	その他 ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」と検査項目の記載は違いますが、同じものとみなします。

③対応を分けていない場合

〈電離放射線障害防止規則〉

	検査項目	全員実施	全員省略	医師の判断もしくは 基準を決めて省略
必須項目	被ばく歴の有無に関する 問診	<input type="checkbox"/>	—	—
省略できる 項目	白血球、白血球百分率検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	赤血球、血色素量または ヘマクリット値の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	白内障に関する眼の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	皮膚の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	その他 ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」と検査項目の記載は違いますが、同じものとみなします。

【8-1】(【5】、【7】について、実施回数、検査項目を省略していない場合にご回答ください)

【5】、【7】について、実施回数、検査項目を省略しない理由で該当するものすべてにチェックを入れてください。

- 省略の判断の手続きが煩雑であるため。
- 省略する積極的な理由がないため。
- 法定の項目は省略しないこととしているため。
- 異常がないことを確認・記録するため。
- その他

(具体的にご記入ください)





(管理区域立ち入り後・電離放射線業務従事中に行う目的)

- 作業者の通常健康状態を知るため
- 放射線障害の判定の基礎データにするため
- 放射線障害以外の病気を把握するため
- 健康リスクのマネジメントを行うため
- 経営リスク、訴訟リスク等のマネジメントを行うため
- 法令により定められているため
- その他 ( )

【14】特殊健康診断における検査・検診と考えられる項目から、どのような病気や症状が発見できると考えておられますか。該当するものにチェックを入れてください(複数回答可)。

- 多血症(赤血球増多症)       貧血       がん       白血病
- 皮膚障害       白内障       緑内障
- その他 ( )

【15】年間被ばく量を考慮するとした場合、特殊健康診断の実施についてどのように考えておられますか。実施回数と健診項目について、あなたの考えに最も近いものにチェックを入れてください。

実施回数

- 年間被ばく量に関係なく、年2回実施するのがよい
- 年間被ばく量に関係なく、年1回実施するのがよい
- 年間被ばく量に応じて、実施回数を変えるのがよい
- 年間被ばく量に関係なく、実施しなくてよい
- その他

( )

特殊健康診断項目

年間被ばく量に関係なく、項目には血液検査や診察等を含み、省略追加等は原則行わないのがよい

年間被ばく量に関係なく、項目は最小限とし、省略追加等は原則行わないのがよい

項目には血液検査や診察等を含み、年間被ばく量等に応じて項目を省略することができるのがよい

項目は最小限とし、年間被ばく量等に応じて項目を追加することができるのがよい

特殊健康診断を実施しなくてよい

その他

( )

【16】電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）と放射線障害防止法について、特殊健康診断に関する記載が異なっていますが、どのようにお考えですか。

意見、要望は特になく、現状のままで良い。

意見要望がある。

ご意見をお書きください。

( )

【17】現在のわが国の法制度に対する意見、要望はありませんか。また、特殊健康診断の実施について、免除基準等の判断に困るようなことはありませんか。

意見、要望は特になく、現状のままで良い。

意見要望がある。または困ることがある。

ご意見をお書きください。

( )

以上、アンケートへのご協力ありがとうございました。

アンケート集計結果の返送を希望されますか。また、ご回答いただいた内容をもとにヒアリング調査にご協力いただけますか。当てはまる項目にチェックを入れてください。

結果の返送を希望する

ヒアリング調査に協力できる

上記にチェックを入れた方は連絡先のご記入をお願いいたします。

勤務先・部署名・お名前( )

勤務先住所(〒 — )

E-mail ( )

電話番号( — — )



【参考】

(放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則) 一部抜粋

第二十二條 法第二十三條第一項の規定による健康診断は、次の各号に定めるところによる。

- 一 放射線業務従事者（一時的に管理区域に立ち入る者を除く。）に対し、初めて管理区域に立ち入る前に行うこと。
- 二 前号の放射線業務従事者については、管理区域に立ち入った後は一年を超えない期間ごとに行うこと。
- 四 健康診断の方法は、問診及び検査又は検診とする。
- 六 検査又は検診は、次の部位及び項目について行うこと。ただし、イからハまでの部位又は項目（第一号に係る健康診断にあつては、イ及びロの部位又は項目を除く。）については、医師が必要と認める場合に限る。
- イ 末しょう血液中の血色素量又はヘマトクリット値、赤血球数、白血球数及び白血球百分率
- ロ 皮膚
- ハ 眼
- ニ その他原子力規制委員会が定める部位及び項目

(電離放射線障害防止規則) 一部抜粋

第八章 健康診断

(健康診断)

第五十六條 事業者は、放射線業務に常時従事する労働者で管理区域に立ち入るものに対し、雇入れ又は当該業務に配置替えの際及びその後六月以内ごとに一回、定期に、次の項目について医師による健康診断を行わなければならない。

- 一 被ばく歴の有無（被ばく歴を有する者については、作業の場所、内容及び期間、放射線障害の有無、自覚症状の有無その他放射線による被ばくに関する事項）の調査及びその評価
  - 二 白血球数及び白血球百分率の検査
  - 三 赤血球数の検査及び血色素量又はヘマトクリット値の検査
  - 四 白内障に関する眼の検査
  - 五 皮膚の検査
- 3 第一項の健康診断のうち、定期に行わなければならないものについては、医師が必要でないときと認めるときは、同項第二号から第五号までに掲げる項目の全部又は一部を省略することができる。
- 4 第一項の規定にかかわらず、同項の健康診断（定期に行わなければならないものに限る。以下この項において同じ。）を行おうとする日の属する年の前年一年間に受けた実効線量が五ミリシーベルトを超えず、かつ、当該健康診断を行おうとする日の属する一年間に受ける実効線量が五ミリシーベルトを超えるおそれのない者に対する当該健康診断については、同項第二号から第五号までに掲げる項目は、医師が必要と認めないときには、行うことを要しない。

# 放射線業務従事者に対する健康診断実施に関する アンケートへのご協力のお願い

放射線業務従事者の特殊健康診断については、放射線審議会などにおいて「あり方」について長く検討されており、ICRP2007年勧告の法令取り入れの検討においても改めて議論されています。本規制庁研究では、放射線業務従事者に対し義務付けられている定期健康診断の実態調査を行った上で、放射線業務従事者に対する健康診断の医学的見地からの意義を検討することとしております。

上記を踏まえて、放射線取扱事業所（原子力施設、放射線施設（大学・研究所、産業利用）、医療施設等）における特殊健康診断の**実態調査**に加えて、特殊健康診断の実施者である産業医並びに放射線管理担当者（労務管理担当者を含む）の方の**特殊健康診断に対する考え方（認識）**をお伺いし、上記の検討の基礎資料とすることを目的としています。

本調査は、日本産業衛生学会及び同専門医制度委員会の許可を得て、日本産業衛生学会専門医及び指導医の方々を対象に研究協力者の大久保靖司（東京大学環境安全本部）が実施しております。

つきましては、**同封のアンケート用紙にご回答**いただきたくお願い申し上げます。もしくは、<https://sites.google.com/ohs.adm.u-tokyo.ac.jp/tyousa20181110/>（または右下のQRコード）のアンケートへのご協力のお願いのページよりウェブアンケートにてご回答ください。

ウェブアンケートはスマートフォン、タブレットでもご利用いただけます。



ご回答いただいたアンケート等の個人情報については、関係法令等\*に基づき、セキュリティの確保された環境において厳重に管理し、本調査以外の目的には利用することはありません。また、調査結果についても、個人情報が特定される形での公表を行うことはありません。

本アンケート調査は、規制庁「放射線安全規制研究戦略的推進事業費」により公益財団法人原子力安全研究協会が実施します。ご不明点がございましたら、以下のお問い合わせ窓口までお問い合わせください。

※行政機関の保有する個人情報の保護に関する法律（平成15年5月30日法律第58号）、原子力規制委員会保有個人情報等管理規程（平成24年9月19日）、人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（平成26年12月22日文部科学省・厚生労働省）、等

原子力規制委員会 原子力規制庁  
公益財団法人原子力安全研究協会

お問い合わせ窓口

放射線環境影響研究所 小野原、横山 [TEL:03-5470-1994](tel:03-5470-1994) E-mail:kenshin@nsra.or.jp

我が国の法律では、放射線業務従事者の特殊健康診断について、次のように規定されています。(一部抜粋)

#### 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則

- ・放射線従事者に対し、管理区域に立ち入る前に健康診断を実施し、管理区域に立ち入った後は、1年を超えない期間ごとに健康診断を実施する。
- ・健康診断は問診及び検査又は検診とし、「血液検査」、「皮膚」、「眼」については、医師が必要と認める場合に実施する。(管理区域に立ち入る前の健康診断については、「血液検査」及び「皮膚」の検査が必須)

#### 電離放射線障害防止規則

- ・事業者は、放射線業務に常時従事する労働者で管理区域に立ち入るものに対し、雇入れまたは当該業務の配置換えの際、またその後6か月ごとに1回定期的に次の項目について医師による健康診断を行う必要がある。
  - ①被ばく歴の有無 ②白血球数、白血球百分率の検査 ③赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値の検査 ④白内障に関する眼の検査 ⑤皮膚の検査
- ・上記健康診断項目のうち、定期的に行わなければならないものについて、医師が必要でないと認めるときは②～⑤の項目全部もしくは一部を省略できる。
- ・健康診断を行おうとする日の属する年の前年一年間の実効線量が5ミリシーベルトを超えず、かつ健康診断を行う日が属する1年間で5ミリシーベルトを超えるおそれがない者に対する健康診断については、上記②～⑤の項目は、医師が必要と認めないときには、行うことを要しない。

以上を踏まえて、続く設問にご回答ください。

回答しにくい、もしくは回答できない項目がございましたら、空欄でも構いません。

【1】貴社について教えてください。

〈業種〉

- |                                   |   |   |
|-----------------------------------|---|---|
| <input type="checkbox"/> 農業, 林業   | <input type="checkbox"/> 漁業             | <input type="checkbox"/> 鉱業, 採石業, 砂利採取業   |
| <input type="checkbox"/> 建設業      | <input type="checkbox"/> 製造業            | <input type="checkbox"/> 電気・ガス・水道業        |
| <input type="checkbox"/> 情報通信業    | <input type="checkbox"/> 運輸業, 郵便業       | <input type="checkbox"/> 卸売業・小売業          |
| <input type="checkbox"/> 金融業, 保険業 | <input type="checkbox"/> 不動産業, 物品賃貸業    | <input type="checkbox"/> 学術研究, 専門・技術サービス業 |
| <input type="checkbox"/> 宿泊業, 飲食店 | <input type="checkbox"/> 生活関連サービス業, 娯楽業 |   |
| <input type="checkbox"/> 教育学習支援業  | <input type="checkbox"/> 医療, 福祉         | <input type="checkbox"/> 複合サービス事業         |
| <input type="checkbox"/> サービス業    | <input type="checkbox"/> 公務             |   |
| <input type="checkbox"/> その他 ( )  |   |   |



・ 前述の①～③について、2017 年度における対象者の延べ人数を教えてください。

① 電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）

5mSv を超えない方 （ ） 名

② 放射線障害防止法

5mSv を超えない方 （ ） 名

③ 電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）と放射線障害防止法の両方に該当する方

5mSv を超えない方 （ ） 名

【5】電離放射線障害防止規則では、特殊健康診断が年2回義務づけられており、問診は必須事項となっています。一方、血液検査、眼の検査、皮膚の検査については省略規定が設けられていることから、検査の機会（定期一般健康診断の利用）と省略の有無の関係についてお伺いします。

定期一般健康診断とは別に年2回実施している

定期一般健康診断の際に1回実施し、約半年後に別途1回実施することで、年間で計2回実施としている

定期一般健康診断の際に1回のみ実施し、半年後の別途1回は省略している

年2回とも検査は省略している

年に1回も実施していない

その他（ ）

【6】年間5mSv以上を超えている方と年間5mSvを超えない方に検査を実施する際に、対応を分けていますか。

分けている

⇒【7】①と②へ

分けていない

⇒【7】③へ

【7】特殊健康診断（電離放射線障害防止規則、放射線障害防止法に規定されている健康診断、以下同様）として実施している検査・検診の項目また、実施状況にチェックを入れてください（複数回答可）。

①年間 5mSv 以上を超えている場合

〈電離放射線障害防止規則〉

	検査項目	全員実施	全員省略	医師の判断もしくは基準を決めて省略
必須項目	被ばく歴の有無に関する問診	<input type="checkbox"/>	—	—
省略できる項目	白血球、白血球百分率検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	赤血球、血色素量またはヘマクリット値の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	白内障に関する眼の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	皮膚の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	その他 ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」と検査項目の記載は違いますが、同じものとみなします。

②年間 5mSv を超えない場合

〈電離放射線障害防止規則〉

	検査項目	全員実施	全員省略	医師の判断もしくは基準を決めて省略
必須項目	被ばく歴の有無に関する問診	<input type="checkbox"/>	—	—
省略できる項目	白血球、白血球百分率検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	赤血球、血色素量またはヘマクリット値の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	白内障に関する眼の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	皮膚の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	その他 ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」と検査項目の記載は違いますが、同じものとみなします。

③対応を分けていない場合

〈電離放射線障害防止規則〉

	検査項目	全員実施	全員省略	医師の判断もしくは 基準を決めて省略
必須項目	被ばく歴の有無に関する 問診	<input type="checkbox"/>	—	—
省略できる 項目	白血球、白血球百分率検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	赤血球、血色素量または ヘマクリット値の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	白内障に関する眼の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	皮膚の検査	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	その他 ( )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」と検査項目の記載は違いますが、同じものとみなします。

【8-1】(【5】、【7】について、実施回数、検査項目を省略していない場合にご回答ください)

【5】、【7】について、実施回数、検査項目を省略しない理由で該当するものすべてにチェックを入れてください。

- 省略の判断の手続きが煩雑であるため。
- 省略する積極的な理由がないため。
- 法定の項目は省略しないこととしているため。
- 異常がないことを確認・記録するため。
- その他

(具体的にご記入ください)







(管理区域立ち入り後・電離放射線業務従事中に行う目的)

- 作業者の通常健康状態を知るため
- 放射線障害の判定の基礎データにするため
- 放射線障害以外の病気を把握するため
- 健康リスクのマネジメントを行うため
- 経営リスク、訴訟リスク等のマネジメントを行うため
- 法令により定められているため
- その他 ( )

【14】特殊健康診断における検査・検診と考えられる項目から、どのような病気や症状が発見できると考えておられますか。該当するものにチェックを入れてください(複数回答可)。

- 多血症(赤血球増多症)       貧血       がん       白血病
- 皮膚障害       白内障       緑内障
- その他 ( )

【15】年間被ばく量を考慮するとした場合、特殊健康診断の実施についてどのように考えておられますか。実施回数と健診項目について、あなたの考えに最も近いものにチェックを入れてください。

実施回数

- 年間被ばく量に関係なく、年2回実施するのがよい
- 年間被ばく量に関係なく、年1回実施するのがよい
- 年間被ばく量に応じて、実施回数を変えるのがよい
- 年間被ばく量に関係なく、実施しなくてよい
- その他

( )

特殊健康診断項目

年間被ばく量に関係なく、項目には血液検査や診察等を含み、省略追加等は原則行わないのがよい

年間被ばく量に関係なく、項目は最小限とし、省略追加等は原則行わないのがよい

項目には血液検査や診察等を含み、年間被ばく量等に応じて項目を省略することができるのがよい

項目は最小限とし、年間被ばく量等に応じて項目を追加することができるのがよい

特殊健康診断を実施しなくてよい

その他

( )

【16】現在のわが国の法制度に対する意見、要望はありませんか。また、特殊健康診断の実施について、免除基準等の判断に困るようなことはありませんか。

意見、要望は特になく、現状のままで良い。

意見要望がある。または困ることがある。

ご意見をお書きください。

( )

以上、アンケートへのご協力ありがとうございました。

アンケート集計結果の返送を希望されますか。また、ご回答いただいた内容をもとにヒアリング調査にご協力いただけますか。当てはまる項目にチェックを入れてください。

結果の返送を希望する

ヒアリング調査に協力できる

上記にチェックを入れた方は連絡先のご記入をお願いいたします。

勤務先・部署名・お名前( )

勤務先住所(〒 — )

E-mail ( )

電話番号( — — )

【参考】

(放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則) 一部抜粋

第二十二條 法第二十三條第一項の規定による健康診断は、次の各号に定めるところによる。

- 一 放射線業務従事者（一時的に管理区域に立ち入る者を除く。）に対し、初めて管理区域に立ち入る前に行うこと。
- 二 前号の放射線業務従事者については、管理区域に立ち入った後は一年を超えない期間ごとに行うこと。
- 四 健康診断の方法は、問診及び検査又は検診とする。
- 六 検査又は検診は、次の部位及び項目について行うこと。ただし、イからハまでの部位又は項目（第一号に係る健康診断にあつては、イ及びロの部位又は項目を除く。）については、医師が必要と認める場合に限る。
- イ 末しょう血液中の血色素量又はヘマトクリット値、赤血球数、白血球数及び白血球百分率
- ロ 皮膚
- ハ 眼
- ニ その他原子力規制委員会が定める部位及び項目

(電離放射線障害防止規則) 一部抜粋

第八章 健康診断

(健康診断)

第五十六條 事業者は、放射線業務に常時従事する労働者で管理区域に立ち入るものに対し、雇入れ又は当該業務に配置替えの際及びその後六月以内ごとに一回、定期に、次の項目について医師による健康診断を行わなければならない。

- 一 被ばく歴の有無（被ばく歴を有する者については、作業の場所、内容及び期間、放射線障害の有無、自覚症状の有無その他放射線による被ばくに関する事項）の調査及びその評価
  - 二 白血球数及び白血球百分率の検査
  - 三 赤血球数の検査及び血色素量又はヘマトクリット値の検査
  - 四 白内障に関する眼の検査
  - 五 皮膚の検査
- 3 第一項の健康診断のうち、定期に行わなければならないものについては、医師が必要でないとき認めるときは、同項第二号から第五号までに掲げる項目の全部又は一部を省略することができる。
- 4 第一項の規定にかかわらず、同項の健康診断（定期に行わなければならないものに限る。以下この項において同じ。）を行おうとする日の属する年の前年一年間に受けた実効線量が五ミリシーベルトを超えず、かつ、当該健康診断を行おうとする日の属する一年間に受ける実効線量が五ミリシーベルトを超えるおそれのない者に対する当該健康診断については、同項第二号から第五号までに掲げる項目は、医師が必要と認めないときには、行うことを要しない。

## 放射線業務従事者に対する健康診断受診に関する アンケートへのご協力をお願い

わが国では、放射線業務従事者が健康に作業を継続するために、定期的な特殊健康診断の実施を義務付けています。現状では、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（RI法）と労働安全衛生法（電離則）の2つの法令に健診に関する規定があり、従事者によっては両方の法令の規制を受けている者もいます。そこで、放射線業務従事者のためのよりよい健診の在り方を検討することを目的として、健診の実態調査と検診への認識を確認するアンケートを企画いたしました。

本調査を基にして放射線業務従事者の健康を保持するためのより良い健診の在り方を考察する予定です。また、回答していただいた内容は検診のあり方に係る本調査のみに使用しますので、実態についてご記入ください。お忙しいとは存じますが、本調査の趣旨をご理解いただき、ご協力のほどよろしくお願い申し上げます。

ご回答いただいたアンケート等の個人情報については、関係法令等※に基づき、セキュリティの確保された環境において厳重に管理し、本調査以外の目的には利用することはありません。また、調査結果についても、個人情報が特定される形での公表を行うことはありません。

※行政機関の保有する個人情報の保護に関する法律（平成15年5月30日法律第58号）、原子力規制委員会保有個人情報等管理規程（平成24年9月19日）、人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（平成26年12月22日 文部科学省・厚生労働省）、等

原子力規制委員会  
公益財団法人原子力安全研究協会

お問い合わせ窓口

放射線環境影響研究所 小野原、横山 [TEL:03-5470-1994](tel:03-5470-1994) E-mail:kenshin@nsra.or.jp







【10】放射線作業従事者として法令に基づいた業務を実施するときに、被ばく管理および健康診断について改善を希望することはありますか。

改善してほしいことは特になく、現状で良い。

改善してほしいことがある。または困ることがある。

(その内容 :

)

以上です。ご協力ありがとうございました。

参考資料：放射線業務従事者の特殊健康診断に関する法令文（一部抜粋）

#### 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則

- ・放射線従事者に対し、管理区域に立ち入る前に健康診断を実施し、管理区域に立ち入った後は、1年を超えない期間ごとに健康診断を実施する。
- ・健康診断は問診及び検査又は検診とし、「血液検査」、「皮膚」、「眼」については、医師が必要と認める場合に実施する。（管理区域に立ち入る前の健康診断については、「血液検査」及び「皮膚」の検査が必須）

#### 電離放射線障害防止規則

- ・事業者は、放射線業務に常時従事する労働者で管理区域に立ち入るものに対し、雇入れまたは当該業務の配置換えの際、またその後6か月ごとに1回定期的に次の項目について医師による健康診断を行う必要がある。
  - ①被ばく歴の有無 ②白血球数、白血球百分率の検査 ③赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値の検査 ④白内障に関する眼の検査 ⑤皮膚の検査
- ・上記健康診断項目のうち、定期的に行わなければならないものについて、医師が必要でないときは②～⑤の項目全部もしくは一部を省略できる。
- ・健康診断を行おうとする日の属する年の前年一年間の実効線量が5ミリシーベルトを超えず、かつ健康診断を行う日が属する1年間で5ミリシーベルトを超えるおそれがない者に対する健康診断については、上記②～⑤の項目は、医師が必要と認めないときには、行うことを要しない。

付録2 アンケート結果(単純集計)

電気実施者(n=178)

【1】回答者業種、事業所規模  
業種(複数回答)

	地方自治体	核燃料加工、原子力 (電力事業を除く)	電力事業(電力 会社)	機械、精密機器	輸送容器承認・ 設計承認	建設業	環境計量、産業廃棄 物処理、検査サービ ス(非破壊を除く)	電気機器、 ガス業	非破壊検査(法 10条6項を除く)	その他	計
回答数	1	56	97	9	1	5	2	8	1	4	184
割合	0.5%	30.4%	52.7%	4.9%	0.5%	2.7%	1.1%	4.3%	0.5%	2.2%	100.0%

事業所規模

	50人未満	50人以上	100人以上	未回答	計
回答数	0	4	171	3	178
割合	0.0%	2.2%	96.1%	1.7%	100.0%

【2】職種、経験年数

職種(複数回答)

	事務(放管担当)	事務(労務担当)	衛生管理者	事務所内産業医	その他	計
回答数	78	27	15	20	36	176
割合	44.3%	15.3%	8.5%	11.4%	20.5%	100.0%

経験年数

	0~9年	10~19年	20年以上	未回答	計
回答数	101	37	29	11	178
割合	56.7%	20.1%	15.8%	6.0%	98.6%

【3】放射線業務従事者の作業場所、取り扱っている放射性同位元素、装置(複数回答)

	原子炉	核燃料物質	核原料物質	密封RI	非密封RI	加速器・放射 線発生装置	X線発生装置	電子顕微鏡	該当なし	計
回答数	113	131	31	97	66	25	23	8	1	495
割合	22.8%	26.5%	6.3%	19.6%	13.3%	5.1%	4.6%	1.6%	0.2%	100.0%

【4】各法令の対象者数、特殊健診受診率

対象者数

	電離放射線 障害防止規 則	放射線障害 防止法	電離則と障防 法両方	その他
0~99人	8	47	68	10
100~499人	49	11	12	1
500~999人	41	45	47	0
1000人以上	45	2	4	0
無回答	35	73	47	167
計	178	178	178	178

受診率

	電離放射線 障害防止規 則	放射線障害 防止法	電離則と障防 法両方	その他
89%以下	1	2	1	6
90~99%	0	0	0	0
100%	145	107	133	4
無回答	32	69	44	168
計	178	178	178	178

対象者のうち、5mSv以下

	電離放射線 障害防止規 則	放射線障害 防止法	電離則と障防 法両方	その他
0~99人	9	2	1	6
100~499人	48	107	133	4
500~999人	38	0	0	0
1000人以上	45	0	0	0
無回答	35	69	44	168
計	175	178	178	178

【5】特殊健康診断の検査実施

	定期一般健康診断と は別に年2回	定期一般健康診断の 際に1回、別途1回と 合わせ年2回	定期一般健康診断の 際に1回実施し、半年 後の検診は省略	年に1回も実 施していない	その他	未回答	計
回答数	24	134	1	0	9	10	178
割合	13.5%	75.3%	0.6%	0.0%	5.1%	5.6%	100.0%

【6】年5mSvを超えている場合と超えていない場合の対応

	分けている	分けていない	未回答	計
回答数	15	131	32	178
割合	8.4%	73.6%	18.0%	100.0%

【7】対応ごとの検査、健診の実施状況、項目

[対応を分けている場合]

①年5mSv以上

	問診		白血球		赤血球		白内障		皮膚		その他	
	全員実施	医師の判断により一部省略	全員実施	医師の判断により一部省略	全員実施	医師の判断により一部省略	全員実施	医師の判断により一部省略	全員実施	医師の判断により一部省略	全員実施	医師の判断により一部省略
回答数	12	0	12	0	12	0	13	0	13	0	0	1
回答率	80.0%	0.0%	80.0%	0.0%	80.0%	0.0%	86.7%	0.0%	86.7%	0.0%	0.0%	6.7%

②年5mSv未満

	問診		白血球			
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略		
回答数	15	8	1	4		
回答率	100.0%	53.3%	6.7%	26.7%		
	赤血球			白内障		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	12	1	3	5	1	8
回答率	80.0%	6.7%	20.0%	33.3%	6.7%	53.3%
	皮ふ			その他		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	4	1	9	0	1	0
回答率	26.7%	6.7%	60.0%	0.0%	6.7%	0.0%

[対応を分けていない場合]

	問診		白血球			
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略		
回答数	129	110	2	17		
回答率	98.5%	84.0%	1.5%	13.0%		
	赤血球			白内障		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	110	2	17	108	5	14
回答率	84.0%	1.5%	13.0%	82.4%	3.8%	10.7%
	皮ふ			その他		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	112	3	13	16	3	0
回答率	85.5%	2.3%	9.9%	12.2%	2.3%	0.0%

【8-1】健診の回数、項目を省略しない理由(複数回答)

	判断手続きが煩雑	積極的な理由がない	法定項目は実施する	異常がないことを確認	その他	計
回答数	18	28	28	37	23	134
回答率	13.4%	20.9%	20.9%	27.6%	17.2%	100.0%

【8-2】健診の回数、項目を省略する理由(複数回答)

	コスト、労力削減	被ばく線量が低い	検査項目が有効でない	積極的な理由がない	その他	計
回答数	15	13	6	2	24	60
回答率	25.0%	21.7%	10.0%	3.3%	40.0%	100.0%

【9】実施日に受診できない従事者への対応(複数回答)

	予備日に受診	医療機関を紹介	その他	計
回答数	98	86	15	199
回答率	49.2%	43.2%	7.5%	100.0%

【10】特殊健康診断にかかる費用

	1,000円未満	1,000～3,000円未満	3,000～5,000円未満	5,000円以上	その他	未回答	計
回答数	13	44	34	19	5	63	178
回答率	7.3%	24.7%	19.1%	10.7%	2.8%	35.4%	100.0%

【11】特殊健康診断に関する概要説明の実施(複数回答)

	従事者の教育訓練	健康診断の案内と合わせて	説明未実施	その他	計
回答数	127	73	5	3	208
回答率	61.1%	35.1%	2.4%	1.4%	100.0%

【12】複数機関で作業する従事者の被ばく歴管理(複数回答)

	当該機関のみ管理	当該機関ですべてを管理	他機関で管理	個人に被ばく歴の記録を提供し管理を一元	関係機関でデータベース化	その他	該当者なし	計
回答数	19	56	1	2	43	7	12	140
回答率	13.6%	40.0%	0.7%	1.4%	30.7%	5.0%	8.6%	100.0%

【13】特殊健康診断実施目的(複数回答)

〔管理区域立ち入り前〕

	放射線業務の従事について可否判断	就業前の健康状態の把握	放射線障害の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	法定のため実施	その他	計
回答数	116	105	81	38	133	1	474
回答率	24.5%	22.2%	17.1%	8.0%	28.1%	0.2%	100.0%

〔管理区域立ち入り後・継続実施〕

	通常の健康状態把握	放射線障害判定の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	健康リスクマネジメント	経営リスク、訴訟リスク等のマネジメント	法定のため実施	その他	計
回答数	102	80	38	57	26	127	2	432
回答率	23.6%	18.5%	8.8%	13.2%	6.0%	29.4%	0.5%	100.0%

【14】特殊健康診断の検査、項目から発見できる病気及び症状(複数回答)

	多血症(赤血球増多症)	貧血	がん	白血病	皮膚障害	白内障	緑内障	その他	計
回答数	98	93	51	117	112	89	22	14	596
回答率	16.4%	15.6%	8.6%	19.6%	18.8%	14.9%	3.7%	2.3%	100.0%

【15】年間被ばく量を考慮した場合の特殊健康診断実施回数、検査項目

被ばく量に応じた特殊健診実施希望回数(複数回答)

	年間被ばく量に関係なく年2回	年間被ばく量に関係なく年1回	年間被ばく量に応じて、実施回数を変更	年間被ばく量に関係なく、実施不要	その他	計
回答数	59	47	59	7	3	175
回答率	33.7%	26.9%	33.7%	4.0%	1.7%	100.0%

特殊健康診断検査項目

	項目の省略追加等は実施せず	項目を最小限とし、省略追加等は実施せず	年間被ばく量に応じて項目を省略	項目を最小限とし、年間被ばく量等に応じて追加	特殊健康診断を実施しなくてよい	その他	未回答	計
回答数	47	11	47	42	9	3	19	178
回答率	26.4%	6.2%	26.4%	23.6%	5.1%	1.7%	10.7%	100.0%

【16】現在の法制度、特殊健康診断実施について

	意見なし	意見あり	未回答	計
回答数	114	28	36	178
回答率	64.0%	15.7%	20.2%	100.0%

一般企業実施者 (n=20)

【1】回答者業種、事業所規模

業種

	機械、精密機器	鉄鋼、金属	輸送用機器、運輸業	建設業	環境計量、産業廃棄物処理、検査サービス(非破壊を除く)	石油・石炭製品、鉱業	非破壊検査(法10条6項)	紙・パルプ、印刷業、繊維業	製薬業、臨床検査、食品製造業	卸売・小売業(販一、買一を含む)	その他
回答数	3	2	1	2	2	1	1	2	1	1	3
割合	15.0%	10.0%	5.0%	10.0%	10.0%	5.0%	5.0%	10.0%	5.0%	5.0%	15.0%
	未回答	計									
回答数	1	20									
割合	5.0%	100.0%									

事業所規模

	50人未満	50人以上	100人以上	未回答	計
回答数	5	2	13	0	20
割合	25.0%	10.0%	65.0%	0.0%	100.0%

【2】職種、経験年数

職種

	事務(放管担当)	事務(労務担当)	衛生管理者	事務所内産業医	その他	未回答	計
回答数	6	5	3	1	4	1	20
割合	30.0%	25.0%	15.0%	5.0%	20.0%	5.0%	100.0%

経験年数

	0～9年	10～19年	20年以上	未回答	計
回答数	11	4	3	2	20
割合	55.0%	20.0%	15.0%	10.0%	100.0%

【3】放射線業務従事者の作業場所、取り扱っている放射性同位元素、装置(複数回答)

	原子炉	核燃料物質	核原料物質	密封RI	非密封RI	加速器・放射線発生装置	X線発生装置	電子顕微鏡	該当なし	計
回答数	0	1	0	8	3	2	4	1	5	24
割合	0.0%	4.2%	0.0%	33.3%	12.5%	8.3%	16.7%	4.2%	20.8%	100.0%

【4】各法令の対象者数、特殊健診受診率

受診者数

	電離放射線障害防止規則	放射線障害防止法	電離則と障防法両方	その他
0～99人	6	6	8	1
100～499人	2	1	2	1
500～999人	1	0	0	0
1000人以上	0	0	0	0
無回答	11	13	10	18
計	20	20	20	20

受診率

	電離放射線障害防止規則	放射線障害防止法	電離則と障防法両方	その他
89%以下	1	1	0	1
90～99%	2	1	1	0
100%	6	5	7	0
無回答	11	13	12	19
計	20	20	20	20

対象者のうち、5mSv以下

	電離放射線障害防止規則	放射線障害防止法	電離則と障防法両方	その他
0～99人	7	6	10	0
100～499人	1	1	1	0
500～999人	1	0	0	0
1000人以上	0	0	0	0
無回答	11	13	9	20
計	20	20	20	20

【5】特殊健康診断の検査実施

	定期一般健康診断とは別に年2回	定期一般健康診断の際に1回、別途1回と合わせ年2回	定期一般健康診断の際に1回実施し、半年後の検査は省略	年に1回も実施していない	その他	未回答	計
回答数	5	8	1	1	2	3	20
割合	25.0%	40.0%	5.0%	5.0%	10.0%	15.0%	100.0%

【6】年5mSvを超えている場合と超えていない場合の対応

	分けている	分けていない	未回答	計
回答数	3	11	6	20
割合	15.0%	55.0%	30.0%	100.0%

【7】対応ごとの検査、健診の実施状況、項目

[対応を分けている場合]

①年5mSv以上

	問診		白血球			
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略		
回答数	3	3	0	0		
回答率	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%		
	赤血球			白内障		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	3	0	0	2	0	1
回答率	100.0%	0.0%	0.0%	66.7%	0.0%	33.3%
	皮ふ			その他		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	2	0	1	0	0	1
回答率	66.7%	0.0%	33.3%	0.0%	0.0%	33.3%

②年5mSv未満

	問診		白血球			
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略		
回答数	3	3	1	1		
回答率	100.0%	100.0%	33.3%	33.3%		
	赤血球			白内障		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	3	1	0	3	1	0
回答率	100.0%	33.3%	0.0%	100.0%	33.3%	0.0%
	皮ふ			その他		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	3	1	0	1	1	0
回答率	100.0%	33.3%	0.0%	33.3%	33.3%	0.0%

[対応を分けていない場合]

	問診		白血球			
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略		
回答数	11	9	0	2		
回答率	100.0%	81.8%	0.0%	18.2%		
	赤血球			白内障		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	10	0	1	10	0	1
回答率	90.9%	0.0%	9.1%	90.9%	0.0%	9.1%
	皮ふ			その他		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	11	0	0	1	0	0
回答率	100.0%	0.0%	0.0%	9.1%	0.0%	0.0%

【8-1】健診の回数、項目を省略しない理由(複数回答)

	判断手続きが煩雑	積極的な理由がない	法定項目は実施する	異常がないことを確認	その他	計
回答数	5	7	4	6	2	24
回答率	20.8%	29.2%	16.7%	25.0%	8.3%	100.0%

【8-2】健診の回数、項目を省略する理由(複数回答)

	コスト、労力削減	被ばく線量が低い	検査項目が有効でない	積極的な理由がない	その他	計
回答数	1	3	0	1	0	5
回答率	20.0%	60.0%	0.0%	20.0%	0.0%	100.0%

【9】実施日に受診できない従事者への対応(複数回答)

	予備日に受診	医療機関を紹介	その他	計
回答数	7	8	1	16
回答率	43.8%	50.0%	6.3%	100.0%

【10】特殊健康診断にかかる費用(複数回答)

	1,000円未満	1,000～3,000円未満	3,000～5,000円未満	5,000円以上	その他	計
回答数	1	2	9	0	2	14
回答率	7.1%	14.3%	64.3%	0.0%	14.3%	100.0%

【11】特殊健康診断に関する概要説明の実施(複数回答)

	従事前の教育訓練	健康診断の案内と合わせ	説明未実施	その他	計
回答数	12	6	0	1	19
回答率	63.2%	31.6%	0.0%	5.3%	100.0%

【12】複数機関で作業する従事者の被ばく歴管理(複数回答)

	当該機関のみ管理	当該機関ですべてを管理	他機関で管理	個人に被ばく歴の記録を提供し管理を一元	関係機関でデータベース化	その他	該当者なし	計
回答数	5	4	0	0	0	2	6	17
回答率	29.4%	23.5%	0.0%	0.0%	0.0%	11.8%	35.3%	100.0%

【13】特殊健康診断実施目的(複数回答)

[管理区域立ち入り前]

	放射線業務の従事について可否判断	就業前の健康状態の把握	放射線障害の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	法定のため実施	その他	計
回答数	11	5	4	2	14	0	36
回答率	30.6%	13.9%	11.1%	5.6%	38.9%	0.0%	100.0%

[管理区域立ち入り後・継続実施]

	通常の健康状態把握	放射線障害判定の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	健康リスクマネジメント	経営リスク、訴訟リスク等のマネジメント	法定のため実施	その他	計
回答数	9	3	1	3	2	12	0	30
回答率	30.0%	10.0%	3.3%	10.0%	6.7%	40.0%	0.0%	100.0%

【14】特殊健康診断の検査、項目から発見できる病気及び症状(複数回答)

	多血症(赤血球増多症)	貧血	がん	白血病	皮膚障害	白内障	緑内障	その他	計
回答数	9	8	3	10	9	10	2	1	52
回答率	17.3%	15.4%	5.8%	19.2%	17.3%	19.2%	3.8%	1.9%	100.0%

【15】年間被ばく量を考慮した場合の特殊健康診断実施回数、検査項目

被ばく量に応じた特殊健診実施希望回数

	年間被ばく量に関係なく年2回	年間被ばく量に関係なく年1回	年間被ばく量に応じて、実施回数を変更	年間被ばく量に関係なく、実施不要	その他	未回答	計
回答数	7	2	7	0	1	3	20
回答率	35.0%	10.0%	35.0%	0.0%	5.0%	15.0%	100.0%

特殊健康診断検査項目

	項目の省略追加等は実施せず	項目を最小限とし、省略追加等は実施せず	年間被ばく量に応じて項目を省略	項目は最小限とし、年間被ばく量等に応じて追加	特殊健康診断を実施しなくてよい	その他	未回答	計
回答数	5	1	7	2	0	2	3	20
回答率	25.0%	5.0%	35.0%	10.0%	0.0%	10.0%	15.0%	100.0%

【16】電離則と障防法の記載の違い

	意見なし	意見あり	未回答	計
回答数	14	5	1	20
回答率	70.0%	25.0%	5.0%	100.0%

【17】現在の法制度、特殊健康診断実施について

	意見なし	意見あり	未回答	計
回答数	16	3	1	20
回答率	80.0%	15.0%	5.0%	100.0%

大学実施者(n=55)

【1】回答者業種、事業所規模

業種

	医療機関	教育・研究機関等	その他	未回答	計
回答数	1	54	0	0	55
割合	1.8%	98.2%	0.0%	0.0%	100.0%

事業所規模

	50人未満	50人以上	100人以上	未回答	計
回答数	10	2	38	5	55
割合	18.2%	3.6%	69.1%	9.1%	100.0%

【2】職種、経験年数

職種

	事務(放管担当)	事務(労務担当)	放射線取扱主任者	衛生管理者	事務所内産業医	その他	未回答	計
回答数	11	2	15	6	5	12	4	55
割合	20.0%	3.6%	27.3%	10.9%	9.1%	21.8%	7.3%	100.0%

経験年数

	0～9年	10～19年	20年以上	未回答	計
回答数	31	16	5	3	55
割合	56.4%	29.1%	9.1%	5.5%	100.0%

【3】放射線業務従事者の作業場所、取り扱っている放射性同位元素、装置(複数回答)

	原子炉	核燃料物質	核原料物質	密封RI	非密封RI	加速器・放射線発生装置	X線発生装置	電子顕微鏡	該当なし	未回答	計
回答数	4	14	4	43	50	26	34	16	0	0	191
割合	2.1%	7.3%	2.1%	22.5%	26.2%	13.6%	17.8%	8.4%	0.0%	0.0%	100.0%

【4】各法令の対象者数、特殊健診受診率

受診者数

	電離放射線障害防止規則	放射線障害防止法	電離則と障防法両方	その他
0～99人	16	11	17	4
100～499人	19	23	20	0
500～999人	3	5	2	0
1000人以上	0	1	3	0
無回答	17	15	13	51
計	55	55	55	55

受診率

	電離放射線障害防止規則	放射線障害防止法	電離則と障防法両方	その他
89%以下	1	2	1	0
90～99%	5	4	10	0
100%	32	34	31	4
無回答	17	15	13	51
計	55	55	55	55

対象者のうち、5mSv以下

	電離放射線障害防止規則	放射線障害防止法	電離則と障防法両方	その他
0～99人	19	13	17	2
100～499人	17	21	20	0
500～999人	3	5	2	0
1000人以上	0	1	3	0
無回答	16	15	13	53
計	55	55	55	55

【5】特殊健康診断の検査実施

	定期一般健康診断とは別に年2回	定期一般健康診断の際に1回、別途1回と合わせ年2回	定期一般健康診断の際に1回実施し、半年後の検査は省略	年に1回も実施していない	その他	未回答	計
回答数	37	13	1	0	2	2	55
割合	67.3%	23.6%	1.8%	0.0%	3.6%	3.6%	100.0%

【6】年5mSvを超えている場合と超えていない場合の対応

	分けている	分けていない	未回答	計
回答数	21	31	3	55
割合	38.2%	56.4%	5.5%	100.0%



【7】対応ごとの検査、健診の実施状況、項目

[対応を分けている場合]

①年5mSv以上

	問診		白血球			
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略		
回答数	19	10	0	7		
回答率	90.5%	47.6%	0.0%	33.3%		
	赤血球			白内障		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	10	0	8	8	0	10
回答率	47.6%	0.0%	38.1%	38.1%	0.0%	47.6%
	皮ふ			その他		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	8	0	10	5	0	3
回答率	38.1%	0.0%	47.6%	23.8%	0.0%	14.3%

②年5mSv未満

	問診		白血球			
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略		
回答数	21	9	3	8		
回答率	100.0%	42.9%	14.3%	38.1%		
	赤血球			白内障		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	9	3	8	0	3	17
回答率	42.9%	14.3%	38.1%	0.0%	14.3%	81.0%
	皮ふ			その他		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	0	3	17	0	0	9
回答率	0.0%	14.3%	81.0%	0.0%	0.0%	42.9%

[対応を分けていない場合]

	問診		白血球			
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略		
回答数	30	21	0	9		
回答率	96.8%	67.7%	0.0%	29.0%		
	赤血球			白内障		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	21	0	10	14	1	14
回答率	67.7%	0.0%	32.3%	45.2%	3.2%	45.2%
	皮ふ			その他		
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	15	1	14	2	0	7
回答率	48.4%	3.2%	45.2%	6.5%	0.0%	22.6%

【8-1】健診の回数、項目を省略しない理由(複数回答)

	判断手続きが煩雑	積極的な理由がない	法定項目は実施する	異常がないことを確認	その他	計
回答数	3	7	4	6	2	22
回答率	13.6%	31.8%	18.2%	27.3%	9.1%	100.0%

【8-2】健診の回数、項目を省略する理由(複数回答)

	コスト、労力削減	被ばく線量が低い	検査項目が有効でない	積極的な理由がない	その他	計
回答数	24	25	7	7	6	69
回答率	34.8%	36.2%	10.1%	10.1%	8.7%	100.0%

【9】実施日に受診できない従事者への対応(複数回答)

	予備日に受診	医療機関を紹介	その他	計
回答数	35	32	3	70
回答率	50.0%	45.7%	4.3%	100.0%

【10】特殊健康診断にかかる費用

	1,000円未満	1,000～3,000円未満	3,000～5,000円未満	5,000円以上	その他	未回答	計
回答数	14	13	5	3	3	17	55
回答率	25.5%	23.6%	9.1%	5.5%	5.5%	30.9%	100.0%

【11】特殊健康診断に関する概要説明の実施(複数回答)

	従事前の教育訓練	健康診断の案内と合わせて	説明未実施	その他	計
回答数	48	22	1	2	73
回答率	65.8%	30.1%	1.4%	2.7%	100.0%

【12】複数機関で作業する従事者の被ばく歴管理(複数回答)

	当該機関のみ管理	当該機関ですべてを管理	他機関で管理	個人に被ばく歴の記録を提供し管理を一元化	関係機関でデータベース化	その他	該当者なし	計
回答数	26	21	1	4	0	0	2	54
回答率	48.1%	38.9%	1.9%	7.4%	0.0%	0.0%	3.7%	100.0%

【13】特殊健康診断実施目的(複数回答)

[管理区域立ち入り前]

	放射線業務の従事について可否判断	就業前の健康状態の把握	放射線障害の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	法定のため実施	その他	計
回答数	24	27	28	4	43	0	126
回答率	19.0%	21.4%	22.2%	3.2%	34.1%	0.0%	100.0%

[管理区域立ち入り後・継続実施]

	通常の健康状態把握	放射線障害判定の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	健康リスクマネジメント	経営リスク、訴訟リスク等のマネジメント	法定のため実施	その他	計
回答数	18	28	4	13	4	42	0	109
回答率	16.5%	25.7%	3.7%	11.9%	3.7%	38.5%	0.0%	100.0%

【14】特殊健康診断の検査、項目から発見できる病気及び症状(複数回答)

	多血症(赤血球増多症)	貧血	がん	白血病	皮膚障害	白内障	緑内障	その他	計
回答数	27	30	8	35	32	33	8	2	175
回答率	15.4%	17.1%	4.6%	20.0%	18.3%	18.9%	4.6%	1.1%	100.0%

【15】年間被ばく量を考慮した場合の特殊健康診断実施回数、検査項目

被ばく量に応じた特殊健康診断実施希望回数(複数回答)

	年間被ばく量に関係なく年2回	年間被ばく量に関係なく年1回	年間被ばく量に応じて、実施回数を変更	年間被ばく量に関係なく、実施不要	その他	計
回答数	7	11	32	3	1	54
回答率	13.0%	20.4%	59.3%	5.6%	1.9%	100.0%

特殊健康診断検査項目

	項目の省略追加等は実施せず	項目を最小限とし、省略追加等は実施せず	年間被ばく量に応じて項目を省略	項目は最小限とし、年間被ばく量等に応じて追加	特殊健康診断を実施しなくてよい	その他	未回答	計
回答数	5	1	24	16	7	0	2	55
回答率	9.1%	1.8%	43.6%	29.1%	12.7%	0.0%	3.6%	100.0%

【16】電離則と障防法の記載の違い

	意見なし	意見あり	未回答	計
回答数	14	37	4	55
回答率	25.5%	67.3%	7.3%	100.0%

【17】現在の法制度、特殊健康診断実施について

	意見なし	意見あり	未回答	計
回答数	21	29	5	55
回答率	38.2%	52.7%	9.1%	100.0%

産業医実施者(n=108)

【1】回答者業種、事業所規模  
業種(複数回答)

	製造業	情報通信業	運輸業、郵便業	卸売業・小売業	金融業・保険業	学術研究、専門・技術サービス業	教育学習支援業	医療、福祉	複合サービス業	サービス業	公務
回答数	54	7	5	2	2	7	2	20	1	2	2
割合	50.0%	6.5%	4.6%	1.9%	1.9%	6.5%	1.9%	18.5%	0.9%	1.9%	1.9%
	その他	未回答	計								
回答数	3	3	110								
割合	2.8%	2.8%	101.9%								

事業所規模

	50人未満	50~99人	100~999人	1000~2999人	3000人以上	未回答	計
回答数	7	4	36	34	26	1	108
割合	6.5%	3.7%	33.3%	31.5%	24.1%	0.9%	100.0%

【2】職種、経験年数

職種

	事務所内産業医	その他	未回答	計
回答数	86	22	0	108
割合	79.6%	20.4%	0.0%	100.0%

経験年数

	0~9年	10~19年	20年以上	未回答	計
回答数	49	33	21	5	108
割合	45.4%	30.6%	19.4%	4.6%	100.0%

【3】放射線業務従事者の作業場所、取り扱っている放射性同位元素、装置(複数回答)

	原子炉	核燃料物質	核原料物質	密封RI	非密封RI	加速器・放射線発生装置	X線発生装置	電子顕微鏡	該当なし	計
回答数	5	1	0	21	14	12	65	15	25	158
割合	3.2%	0.6%	0.0%	13.3%	8.9%	7.6%	41.1%	9.5%	15.8%	100.0%

【4】各法令の対象者数、特殊健診受診率

受診者数

	電離放射線障害防止規則	放射線障害防止法	電離則と障防法両方
0~99人	63	42	38
100~499人	8	5	4
500~999人	5	0	1
1000人以上	2	1	0
無回答	30	60	65
計	108	108	108

受診率

	電離放射線障害防止規則	放射線障害防止法	電離則と障防法両方
89%以下	2	0	0
90~99%	5	1	3
100%	59	22	16
無回答	42	85	89
計	108	108	108

対象者のうち、5mSv以下

	電離放射線障害防止規則	放射線障害防止法	電離則と障防法両方
0~99人	65	41	36
100~499人	5	6	5
500~999人	5	0	1
1000人以上	1	0	1
無回答	32	61	65
計	108	108	108

【5】特殊健康診断の検査実施

	定期一般健康診断とは別に年2回	定期一般健康診断の際に1回、別途1回と合わせて年2回	定期一般健康診断の際に1回実施し、半年後の検査は省略	年2回とも検査は省略	年に1回も実施していない	その他	未回答	計
回答数	8	57	7	3	2	10	21	108
割合	7.4%	52.8%	6.5%	2.8%	1.9%	9.3%	19.4%	100.0%

【6】年5mSvを超えている場合と超えていない場合の対応

	分けている	分けていない	未回答	計
回答数	19	61	28	108
割合	17.6%	56.5%	25.9%	100.0%

【7】対応ごとの検査、健診の実施状況、項目

[対応を分けている場合]

①年5mSv以上

	白血球				白内障		
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	15	14		0	13	0	3
回答率	78.9%	73.7%	0.0%	5.3%	68.4%	0.0%	15.8%
	赤血球			白内障			
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	
回答数	14	0	1	13	0	3	
回答率	73.7%	0.0%	5.3%	68.4%	0.0%	15.8%	
	皮ふ			その他			
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	
回答数	12	0	2	5	0	1	
回答率	63.2%	0.0%	10.5%	26.3%	0.0%	5.3%	

②年5mSv未満

	白血球				白内障		
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	18	6	4	10	5	4	9
回答率	94.7%	31.6%	21.1%	52.6%	26.3%	21.1%	47.4%
	赤血球			白内障			
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	
回答数	5	3	10	5	4	9	
回答率	26.3%	15.8%	52.6%	26.3%	21.1%	47.4%	
	皮ふ			その他			
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	
回答数	5	4	9	1	2	3	
回答率	26.3%	21.1%	47.4%	5.3%	10.5%	15.8%	

[対応を分けていない場合]

	白血球				白内障		
	全員実施	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略
回答数	58	43	6	9	39	10	8
回答率	95.1%	70.5%	9.8%	14.8%	63.9%	16.4%	13.1%
	赤血球			白内障			
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	
回答数	44	6	8	39	10	8	
回答率	72.1%	9.8%	13.1%	63.9%	16.4%	13.1%	
	皮ふ			その他			
	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	全員実施	全員省略	医師の判断により一部省略	
回答数	41	7	8	6	5	4	
回答率	67.2%	11.5%	13.1%	9.8%	8.2%	6.6%	

【8-1】健診の回数、項目を省略しない理由(複数回答)

	判断手続きが煩雑	積極的な理由がない	法定項目は実施する	異常がないことを確認	その他	計
回答数	14	17	11	11	10	63
回答率	22.2%	27.0%	17.5%	17.5%	15.9%	100.0%

【8-2】健診の回数、項目を省略する理由(複数回答)

	コスト、労力削減	被ばく線量が低い	検査項目が有効でない	積極的な理由がない	その他	計
回答数	8	31	7	11	8	65
回答率	12.3%	47.7%	10.8%	16.9%	12.3%	100.0%

【9】実施日に受診できない従事者への対応(複数回答)

	予備日に受診	医療機関を紹介	その他	計
回答数	60	30	7	97
回答率	61.9%	30.9%	7.2%	100.0%

【10】特殊健康診断にかかる費用

	1,000円未満	1,000～ 3,000円未満	3,000～ 5,000円未満	5,000円以上	その他	未回答	計
回答数	11	26	22	8	4	37	108
回答率	10.2%	24.1%	20.4%	7.4%	3.7%	34.3%	100.0%

【11】特殊健康診断に関する概要説明の実施(複数回答)

	従事前の教育訓練	健康診断の案内と合わせ	説明未実施	その他	計
回答数	40	32	20	5	97
回答率	41.2%	33.0%	20.6%	5.2%	100.0%

【12】複数機関で作業する従事者の被ばく歴管理(複数回答)

	当該機関のみ管理	当該機関ですべてを管理	他機関で管理	個人に被ばく歴の記録を提供し管理を一元	関係機関でデータベース化	その他	該当者なし	計
回答数	33	5	1	3	2	1	37	82
回答率	40.2%	6.1%	1.2%	3.7%	2.4%	1.2%	45.1%	100.0%

【13】特殊健康診断実施目的(複数回答)

[管理区域立ち入り前]

	放射線業務の従事について可否判断	就業前の健康状態の把握	放射線障害の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	法定のため実施	その他	計
回答数	64	64	51	18	63	1	261
回答率	24.5%	24.5%	19.5%	6.9%	24.1%	0.4%	100.0%

[管理区域立ち入り後・継続実施]

	通常の健康状態把握	放射線障害判定の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	健康リスクマネジメント	経営リスク、訴訟リスク等のマネジメント	法定のため実施	その他	計
回答数	45	51	12	49	29	63	3	252
回答率	17.9%	20.2%	4.8%	19.4%	11.5%	25.0%	1.2%	100.0%

【14】特殊健康診断の検査、項目から発見できる病気及び症状(複数回答)

	多血症(赤血球増多症)	貧血	がん	白血病	皮膚障害	白内障	緑内障	その他	計
回答数	64	81	23	74	68	63	7	3	383
回答率	16.7%	21.1%	6.0%	19.3%	17.8%	16.4%	1.8%	0.8%	100.0%

【15】年間被ばく量を考慮した場合の特殊健康診断実施回数、検査項目

被ばく量に応じた特殊健康診断実施希望回数

	年間被ばく量に関係なく年2回	年間被ばく量に関係なく年1回	年間被ばく量に応じて、実施回数を変更	年間被ばく量に関係なく、実施不要	その他	未回答	計
回答数	22	15	56	4	1	10	108
回答率	20.4%	13.9%	51.9%	3.7%	0.9%	9.3%	100.0%

特殊健康診断検査項目

	項目の省略追加等は実施せず	項目を最小限とし、省略追加等は実施せず	年間被ばく量に応じて項目を省略	項目は最小限とし、年間被ばく量等に応じて追加	特殊健康診断を実施しなくてよい	その他	未回答	計
回答数	12	12	31	39	2	1	11	108
回答率	11.1%	11.1%	28.7%	36.1%	1.9%	0.9%	10.2%	100.0%

【16】現在の法制度、特殊健康診断実施について

	意見なし	意見あり	未回答	計
回答数	53	42	13	108
回答率	49.1%	38.9%	12.0%	100.0%

電気受診者 (n=5075)

【1】業種、取り扱っている放射性同位元素 (複数回答)

業種

	電力事業者	製造業	RI事業所	医療関係	教育、研究機関等	その他	計
回答数	3995	265	75	0	0	443	4778
割合	83.6%	5.5%	1.6%	0.0%	0.0%	9.3%	100.0%

取り扱っている放射性同位元素、装置

	密封RI	非密封RI	放射線発生装置	その他	わからない	計
回答数	966	385	240	1141	1504	4236
割合	22.8%	9.1%	5.7%	26.9%	35.5%	100.0%

【2】放射線管理区域入域頻度 (複数回答)

	毎日	週の半分以上	週2~3日	週1日	月1~2日	ほぼ立ち入らない	計
回答数	573	652	690	565	1271	1268	5019
割合	11.4%	13.0%	13.7%	11.3%	25.3%	25.3%	100.0%

【3】特殊健康診断についての説明 (複数回答)

	教育訓練	初めての健康診断	健康診断の都度	受けたことがない	計
回答数	2922	1159	1314	364	5759
割合	50.7%	20.1%	22.8%	6.3%	100.0%

【4】特殊健康診断の受診状況 (複数回答)

	定期健康診断とは別に年2回	定期健康診断の際に1回、別に1回で年2回	定期健康診断と合わせて年1回	定期的に受けていない	その他	計
回答数	1162	2383	770	68	625	5008
割合	23.2%	47.6%	15.4%	1.4%	12.5%	100.0%

【5】特殊健康診断の結果確認

	確認している	確認していない	その他	未回答	計
回答数	4632	349	24	70	5075
割合	91.3%	6.9%	0.5%	1.4%	100.0%

【6】個人被ばく線量測定結果確認 (複数回答)

	常に確認	時々確認	確認していない	その他	計
回答数	3801	1109	119	15	5044
割合	75.4%	22.0%	2.4%	0.3%	100.0%

【7-1】(複数施設に勤務)主たる勤務先の特殊健康診断の結果を他の施設に提出

	全施設に提出	一部施設に提出	提出せず	分からない	未回答	計
回答数	496	143	302	327	3808	5076
割合	9.8%	2.8%	6.0%	6.4%	75.0%	100.0%

【7-2】(複数施設に勤務)複数施設で作業した合計の個人線量を把握

	把握している	把握していない	未回答	計
回答数	935	319	3821	5075
割合	18.4%	6.3%	75.3%	100.0%

【8】特殊健康診断実施目的 (複数回答)

[管理区域立ち入り前]

	放射線業務従事者が適当か判断	通常の健康状態把握	放射線障害の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	その他	わからない	計
回答数	3456	1831	1545	507	82	252	7673
割合	45.0%	23.9%	20.1%	6.6%	1.1%	3.3%	100.0%

[管理区域立ち入り後・継続実施]

	通常の健康状態把握	放射線障害判定の基礎データ取得	放射線障害以外の病気把握	その他	わからない	計
回答数	4074	1833	689	78	138	6812
割合	59.8%	26.9%	10.1%	1.1%	2.0%	100.0%

【9】妥当と考える健診頻度(複数回答)

	年2回	年1回	本人が希望したとき	不要	計
回答数	2975	1515	139	125	4754
割合	62.6%	31.9%	2.9%	2.6%	100.0%

【10】放射線作業従事者として法令に基づいた業務を実施するとき、被ばく管理や健康診断について改善を希望

	改善の希望無し	改善の希望あり	未回答	計
回答数	4791	153	131	5075
割合	94.4%	3.0%	2.6%	100.0%

一般企業受診者(n=70)

【1】業種、取り扱っている放射性同位元素(複数回答)

業種

	電力事業者	製造業	RI事業所	医療関係	教育、研究機関等	その他	未回答	計
回答数	0	39	8	1	2	19	1	70
割合	0.0%	55.7%	11.4%	1.4%	2.9%	27.1%	1.4%	100.0%

取り扱っている放射性同位元素、装置

	密封RI	非密封RI	放射線発生装置	その他	わからない	計
回答数	47	8	12	1	7	75
割合	62.7%	10.7%	16.0%	1.3%	9.3%	100.0%

【2】放射線管理区域入域頻度

	毎日	週の半分以上	週2~3日	週1日	月1~2日	ほぼ立ち入らない	未回答	計
回答数	15	5	12	5	14	18	1	70
割合	21.4%	7.1%	17.1%	7.1%	20.0%	25.7%	1.4%	100.0%

【3】特殊健康診断についての説明(複数回答)

	教育訓練	初めての健康診断	健康診断の都度	受けたことがない	計
回答数	44	18	7	14	83
割合	53.0%	21.7%	8.4%	16.9%	100.0%

【4】特殊健康診断の受診状況(複数回答)

	定期健康診断とは別に年2回	定期健康診断の際に1回、別に1回で年2回	定期健康診断と合わせて年1回	定期的に受けていない	その他	計
回答数	18	27	8	9	9	71
割合	25.4%	38.0%	11.3%	12.7%	12.7%	101.4%

【5】特殊健康診断の結果確認

	確認している	確認していない	その他	未回答	計
回答数	59	5	4	2	70
割合	84.3%	7.1%	5.7%	2.9%	100.0%

【6】個人被ばく線量測定結果確認

	常に確認	時々確認	確認していない	その他	未回答	計
回答数	44	15	9	1	1	70
割合	62.9%	21.4%	12.9%	1.4%	1.4%	100.0%

【7-1】(複数施設に勤務)主たる勤務先の特殊健康診断の結果を他の施設に提出

	全施設に提出	一部施設に提出	提出せず	分からない	未回答	計
回答数	6	6	6	2	50	70
割合	8.6%	8.6%	8.6%	2.9%	71.4%	100.0%

【7-2】(複数施設に勤務)複数施設で作業した合計の個人線量を把握

	把握している	把握していない	未回答	計
回答数	15	5	50	70
割合	21.4%	7.1%	71.4%	100.0%

【8】特殊健康診断実施目的(複数回答)

[管理区域立ち入り前]



	放射線業務従事者が適当か判断	通常の健康状態把握	放射線障害の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	その他	わからない	計
回答数	42	28	25	3	2	5	105
割合	40.0%	26.7%	23.8%	2.9%	1.9%	4.8%	100.0%

[管理区域立ち入り後・継続実施]

	通常の健康状態把握	放射線障害判定の基礎データ取得	放射線障害以外の病気把握	その他	わからない	計
回答数	49	22	5	3	4	83
割合	59.0%	26.5%	6.0%	3.6%	4.8%	100.0%

【9】妥当と考える健診頻度

	年2回	年1回	本人が希望したとき	不要	未回答	計
回答数	34	22	4	6	4	70
割合	48.6%	31.4%	5.7%	8.6%	5.7%	100.0%

【10】放射線作業従事者として法令に基づいた業務を実施するとき、被ばく管理や健康診断について改善を希望

	改善の希望無し	改善の希望あり	未回答	計
回答数	61	9	0	70
割合	87.1%	12.9%	0.0%	100.0%

大学受診者 (n=630)

【1】業種、取り扱っている放射性同位元素 (複数回答)

業種

	電力事業者	製造業	RI事業所	医療関係	教育、研究機関等	その他	計
回答数	1	0	11	95	508	15	630
割合	0.2%	0.0%	1.7%	15.1%	80.6%	2.4%	100.0%

取り扱っている放射性同位元素、装置

	密封RI	非密封RI	放射線発生装置	その他	わからない	計
回答数	158	271	222	30	48	729
割合	21.7%	37.2%	30.5%	4.1%	6.6%	100.0%

【2】放射線管理区域入域頻度

	毎日	週の半分以上	週2～3日	週1日	月1～2日	ほぼ立ち入らない	未回答	計
回答数	72	63	80	53	134	224	4	630
割合	11.4%	10.0%	12.7%	8.4%	21.3%	35.6%	0.6%	100.0%

【3】特殊健康診断についての説明 (複数回答)

	教育訓練	初めての健康診断	健康診断の都度	受けたことがない	計
回答数	438	75	148	29	690
割合	63.5%	10.9%	21.4%	4.2%	100.0%

【4】特殊健康診断の受診状況 (複数回答)

	定期健康診断とは別に年2回	定期健康診断の際に1回、別に1回で年2回	定期健康診断と合わせて年1回	定期的に受けていない	その他	計
回答数	214	239	125	33	13	624
割合	34.3%	38.3%	20.0%	5.3%	2.1%	100.0%

【5】特殊健康診断の結果確認

	確認している	確認していない	その他	未回答	計
回答数	563	45	11	11	630
割合	89.4%	7.1%	1.7%	1.7%	100.0%

【6】個人被ばく線量測定結果確認

	常に確認	時々確認	確認していない	その他	未回答	計
回答数	413	140	59	9	9	630
割合	65.6%	22.2%	9.4%	1.4%	1.4%	100.0%

【7-1】(複数施設に勤務)主たる勤務先の特殊健康診断の結果を他の施設に提出

	全施設に提出	一部施設に提出	提出せず	分からない	未回答	計
回答数	62	27	95	46	400	630
割合	9.8%	4.3%	15.1%	7.3%	63.5%	100.0%

【7-2】(複数施設に勤務)複数施設で作業した合計の個人線量を把握

	把握している	把握していない	未回答	計
回答数	144	78	408	630
割合	22.9%	12.4%	64.8%	100.0%

【8】特殊健康診断実施目的 (複数回答)

[管理区域立ち入り前]

	放射線業務従事者が適 当か判断	通常の健康状態把握	放射線障害の 基礎データ取得	放射線障害以 外の病気発見	その他	わからない	計
回答数	350	242	199	46	9	28	874
割合	40.0%	27.7%	22.8%	5.3%	1.0%	3.2%	100.0%

〔管理区域立ち入り後・継続実施〕

	通常の健康状 態把握	放射線障害判 定の基礎データ 取得	放射線障害以 外の病気把握	その他	わからない	計
回答数	473	230	36	9	21	769
割合	61.5%	29.9%	4.7%	1.2%	2.7%	100.0%

【9】妥当と考える健診頻度

	年2回	年1回	本人が希 望したとき	不要	未回答	計
回答数	216	305	55	37	17	630
割合	34.3%	48.4%	8.7%	5.9%	2.7%	100.0%

【10】放射線作業従事者として法令に基づいた業務を実施するとき、被ばく管理や健康診断について改善を希望

	改善の希 望無し	改善の希 望あり	未回答	計
回答数	539	90	1	630
割合	85.6%	14.3%	0.2%	100.0%

**医療機関受診者(n=323)**

**【1】業種、取り扱っている放射性同位元素(複数回答)**

業種

	電力事業者	製造業	RI事業所	医療関係	教育、研究機関等	その他	計
回答数	0	0	1	283	24	16	324
割合	0.0%	0.0%	0.3%	87.3%	7.4%	4.9%	100.0%

**取り扱っている放射性同位元素、装置**

	密封RI	非密封RI	放射線発生装置	その他	わからない	計
回答数	94	154	203	18	11	480
割合	19.6%	32.1%	42.3%	3.8%	2.3%	100.0%

**【2】放射線管理区域入域頻度**

	毎日	週の半分以上	週2~3日	週1日	月1~2日	ほぼ立ち入らない	未回答	計
回答数	163	38	47	27	17	27	4	323
割合	50.5%	11.8%	14.6%	8.4%	5.3%	8.4%	1.2%	100.0%

**【3】特殊健康診断についての説明(複数回答)**

	教育訓練	初めての健康診断	健康診断の都度	受けたことがない	計
回答数	158	51	94	57	360
割合	43.9%	14.2%	26.1%	15.8%	100.0%

**【4】特殊健康診断の受診状況(複数回答)**

	定期健康診断とは別に年2回	定期健康診断の際に1回、別に1回で年2回	定期健康診断と合わせて年1回	定期的に受けていない	その他	計
回答数	72	160	58	10	12	312
割合	23.1%	51.3%	18.6%	3.2%	3.8%	100.0%

**【5】特殊健康診断の結果確認**

	確認している	確認していない	その他	未回答	計
回答数	286	27	2	8	323
割合	88.5%	8.4%	0.6%	2.5%	100.0%

**【6】個人被ばく線量測定結果確認**

	常に確認	時々確認	確認していない	その他	未回答	計
回答数	205	93	18	3	4	323
割合	63.5%	28.8%	5.6%	0.9%	1.2%	100.0%

**【7-1】(複数施設に勤務)主たる勤務先の特殊健康診断の結果を他の施設に提出**

	全施設に提出	一部施設に提出	提出せず	分からない	未回答	計
回答数	25	5	39	12	242	323
割合	7.7%	1.5%	12.1%	3.7%	74.9%	100.0%

**【7-2】(複数施設に勤務)複数施設で作業した合計の個人線量を把握**

	把握している	把握していない	未回答	計
回答数	34	44	245	323
割合	10.5%	13.6%	75.9%	100.0%

**【8】特殊健康診断実施目的(複数回答)**

[管理区域立ち入り前]

	放射線業務従事者が適当か判断	通常の健康状態把握	放射線障害の基礎データ取得	放射線障害以外の病気発見	その他	わからない	計
回答数	148	141	146	37	4	18	494
割合	30.0%	28.5%	29.6%	7.5%	0.8%	3.6%	100.0%

〔管理区域立ち入り後・継続実施〕

	通常の健康状態把握	放射線障害判定の基礎データ取得	放射線障害以外の病気把握	その他	わからない	計
回答数	228	151	48	2	7	436
割合	52.3%	34.6%	11.0%	0.5%	1.6%	100.0%

【9】妥当と考える健診頻度（複数回答）

	年2回	年1回	本人が希望したとき	不要	計
回答数	116	159	14	5	294
割合	39.5%	54.1%	4.8%	1.7%	100.0%

【10】放射線作業従事者として法令に基づいた業務を実施するとき、被ばく管理や健康診断について改善を希望

	改善の希望無し	改善の希望あり	未回答	計
回答数	227	49	47	323
割合	70.3%	15.2%	14.6%	100.0%

## 付録 3 ICRP 勧告および IAEA 安全基準文書における健康診断に関する記述

### ICRP 刊行物における健康診断に関する記述

#### 1.1 ICRP 1958 年勧告 (1959 年発行の刊行物 Publication 1 に含まれる)

健康診断に関する記述は、健康監視の節において以下の記述がある。

#### **健康監視** (日本語版では健康管理とされている)

##### 雇用の際の検査

(パラグラフ 81) 放射線作業にあらたに従事するすべての職員は、雇用時健康診断を受けなければならない。家族歴、職歴および過去の X 線診断または放射線治療について記録をとるべきである。検査は赤血球数、白血球数および白血球百分率の算定をおこなう完全な血球算定を含まなければならない。この検査は、従事することになった時のその人の“正常な”状態を判定すること、ならびに後日放射線障害と混同されるおそれのあるようなどんな異常にも注目することを目的とするものであることをよく知っておくべきである。

(パラグラフ 82) 以前に職業上被曝している場合には、総蓄積線量を記録し、かつなんらかの適当な補足的な医学的検査を実施しなければならない。この検査は中性子および重粒子による被曝の場合にはとくに水晶体の変化に着目して眼科学的検査を、また局所的な体外照射および体外汚染の場合には皮膚および爪の検査を含むべきである。

##### 定期的健康診断

(パラグラフ 83) 医学的検査は、職業上の被曝条件によって定められる頻度で、実施されるべきである。血球算定は医学的検査の一部ではあるが、放射線モニタリングの方法とは考えるべきでない。

(パラグラフ 84) 中性子および透過力の大きい重粒子に職業上被曝する者は、とくに水晶体の変化に着目して眼科学的検査を受けなければならない。検査の回数は被曝の条件による。

#### 1.2 ICRP 1977 年勧告 (Publication 26)

職業上の被ばくの医学的監視の節において、以下の記述がある。

##### G.異なる種類の被ばく種類の被ばくへの適用

.....

##### 医学的監視

(184 項) 放射線にさらされる作業者の医学的監視は職業医学の一般原則に基づいており、次の目的をもっている：

作業者の健康を評価すること；

作業者の健康が、当初および引き続き作業条件に適合していることを保証するのに役立つ

てること；

事故時の被ばくまたは職業病が起こった場合に役立つ、基礎となる情報を与えること。  
有害な影響と線量当量限度の範囲内での被ばくとの明確な関連づけは不可能であり、放射線防護プログラムの有効性を確かめる上で医学的監視は何の役割も果たさない。医学的監視には就業前検査と日常検査の両方が含まれよう、後者の内容は主に作業者の一般的健康状態と作業条件とによって決定される。

(185 項) 「作業条件 A」\* で作業を行うよう指名された作業者は、必ずしも雇用前の必要はないが、この種の作業を開始する前に就業前の医学検査を受けるべきである。この検査の一つの目的は、その個人が受けることになる被ばくの型を限定するその人の状態または特性を見出すことである。これらの目的には、医師は仕事の内容の詳細を含む作業条件についての情報を必要とする。

\*年間被ばくが線量限度の 3/10 を超えるおそれのある作業の条件

(186 項) 就業前検査に引き続き、作業者の健康についての継続的監視が必要かどうかを考慮すべきである。もし必要があれば、作業条件(たとえば仕事の内容および作業環境)と作業者の健康状態(たとえば病欠)について事業体のもつ情報を医師が入手できるようにすべきである。いずれの日常検査の頻度もその決定は、主としてこの情報に基づいて行われる。

## 1.2 ICRP 1990 年勧告 (Publication 60)

(259 項) 職業的保健サービスの主な役割は、他の職業における役割と同様である。放射線作業者の集団の健康管理を行う医師は、その作業者集団の職務および作業条件についてよく知っている必要がある。そのうえで、割り当てられた職務に対するそれぞれの作業者の適性について決定を下さなければならない。現在では、作業環境の放射線がこの決定に対して何らかの有意な影響を与えることはきわめてまれである。

(260 項) 健康管理医は、時には専門家による支援を受けて、3つの特別なカテゴリーの作業者に対するカウンセリングを求められるかもしれない。第一のカテゴリーは、妊娠しているかもしくは妊娠するかもしれない女子である。彼女らは、妊娠したかもしれないと思う場合は直ちに医師に申し出るように助言を受けるべきである。それによって管理者は、必要な任務変更または特別な防護対策を行うように助言を受けることができる。

(261 項) 第二のカテゴリーは、線量限度をかなり超過した人、あるいは潜在的に危険な状態に巻き込まれたかもしれない人である。例外的な状況でのみ臨床検査または治療を必要とするであろうが、それにもかかわらず事故の潜在的な大きさによっては、もし必要なら、医師は短期間の予告で診断検査および治療の適切な準備が確実にできるようにすべきである。……

(262 項) 第三のカテゴリーは、生物医学研究プログラムの一部として故意の被ばくを志願している個々の作業員から構成されるグループである。十分に計画された実験では、その線量は通常の職業被ばくの線量より小さく、また、防護の最適化に適用される線量拘束値によって制限されるであろう。

#### 1.1.4 作業員の放射線防護に対する一般原則 (ICRP Publication 75, 1997 年発行)

8 章健康監視において、以下の記述がある。

### 8 章 健康監視

(272 項) ……職業上放射線に被ばくする作業員の健康監視は、産業医学の一般原則に基づくべきである。産業医学の 3 つの主な目的は次の通りである：

- (a) 作業員の健康を評価すること、
- (b) 特定の作業条件下で始めることが予想される仕事への作業員の適性を決定すること
- (c) 事故により特定の有害物質にさらされた場合あるいは職業病の場合に役立つ基礎情報を提供すること。

(273 項) 通常作業での放射線被ばくは、作業員がある特定の仕事を遂行するのに適しているかどうかを決定することに通常はいかなる影響も与えるべきでない。しかしながら、作業員が彼らに割り当てられた仕事の遂行に適していることを保証するために、健康管理医は職業上放射線被ばくする者を含めた作業員の健康監視に関わるべきである。それらの仕事が作業員自身とその共同作業員、または公衆に対してかなりの潜在的危険を伴っている場合はとくにそうである。作業員が彼らに割り当てられた仕事の遂行に適していることを保証するために、健康管理医は職業上放射線被ばくする者を含めた作業員の健康管理に関わるべきである。

(274 項) 他の健康監視プログラムと同様に、作業の種類と作業員の健康状態に応じて特別の健康監視が必要となることがある。次の 3 つの状況を考慮する必要がある：

- (a) 作業員が呼吸保護具を使用する必要がある場合
- (b) 皮膚病あるいは皮膚に損傷のある作業員が非密封放射性物質の取扱いを求められている場合
- (c) 作業員に精神的失調があると分かっている場合

(275 項) 作業のあいだに呼吸保護具をつけなければならない可能性のある作業員は、肺機能の健全性を確かめるため定期的な検査を受ける必要がある。皮膚病のある作業員が非密封放射性物質を取り扱うことの適性は、その皮膚病の種類、範囲および進行度に依るべきである。放射能レベルが低く、放射性物質を血中へ直接取り込まないようにする適切



な予防措置が取られているならば、そのような状態の作業者を非密封放射性物質取扱い作業から除外する必要はないかもしれない。適切な処置には通常、身体の罹患部分を覆うことが含まれよう。防護されていない身体部分が皮膚病に罹りあるいは損傷を受けていないかどうか、定期的に医学的検査でチェックする必要もあろう。精神的失調のある作業者の場合、適性の判定は疾病の発の安全上の意味合いを考慮してなされるべきである。主な関心事は、作業者が自分自身は共同作業者に危険をもたらすか否かである。ある場合には、適切なカウンセリングを後でも、引き起こされたストレスにより放射線作業を行うことが不適当になってしまう業者が放射線に対して理性を失った恐怖に陥ることがある。

(279 項) 次の二つのタイプの作業者には、時には専門家の支援を受けて、産業医の特別なカウンセリングが必要となるかもしれない。

(a) 妊娠しているかもしくは妊娠するかもしれない女性

(b) 線量限度をかなり超過して被ばくしたか、あるいは被ばくしたかもしれない、個々の作業者。

上に加えて、作業者が放射線被ばくに不安を抱いているならば、それらの作業者には被ばくレベルに関係無く、特別なカウンセリングが必要かもしれない。

#### 1.1.4 ICRP 2007 年勧告 (Publication103)

最新の基本勧告である 2007 年勧告においては、健康監視についての記述がない。関連の記述としては、以下の 5.4 節の被ばくした個人の同定の節で医学的監視に触れている程度である。

##### 5.4.1 作業者

.....

(パラグラフ 185) 作業場の“管理区域”の中にいる作業者は、よく情報を知らされ、特別に訓練され、かつ容易に識別できるグループを形成すべきである。そのような作業者は、ほとんどの場合、作業場で受ける放射線被ばくをモニタされ、時折特別な医学的監視を受けることがある。

.....

## 2 IAEA の安全基準文書における記述内容

### 2.1 国際基本安全基準 (BSS) (GSR Part3) における健康診断に関する記述

要件 21 : 雇用主、登録者および許可取得者の、作業者を防護する責任

雇用主、登録者および許可取得者は、職業被ばくから作業者を防護する責任を持たなければならない。雇用主、登録者および許可取得者は、防護と安全が最適化され、職業被ばくの線

量限度を超過しないことを確実にしなければならない。

(3.76 項) 雇用主、登録者および許可取得者は、職業被ばくを伴うか伴う可能性のある活動に従事するすべての作業員について、以下を確実にしなければならない。

.....

(f) 作業員のための必要な健康監視および保健サービスが提供されること。

.....

要件22：作業員による順守

作業員は、その任務を遂行するとともに、防護と安全のための義務を果たさなければならない。

(3.83項)

(c) 作業員は、防護と安全ならびに作業員の健康監視計画と線量評価計画の運用に関し、雇用主、登録者または許可取得者と協力しなければならない。

要件 25：職業被ばくおよび作業員の健康監視の評価

雇用主、登録者および許可取得者は、作業員の職業被ばくの評価と記録、および健康監視のための取り決めを行う責任を持たなければならない。

(3.106項) 雇用主、登録者および許可取得者は、

.....

(b) 職業被ばく記録へのアクセスを作業員の健康監視計画の監督者、規制機関および関係雇用主に提供しなければならない。

.....

**作業員の健康監視**

(3.108 項) 3.76(f)で定める作業員の健康監視計画は、以下の通り：

(a) 労働衛生[19]の一般原則に基づかなければならない、

(b) 対象とする作業への作業員の最初の適性およびその後続く適性を評価するように立案しなければならない。

(3.109 項) 1 名以上の作業員が、雇用主の管理下でない線源からの被ばくを伴うかまたは伴う可能性のある作業に従事する場合、その線源に責任を持つ登録者または許可取得者は、そのような従事の前条件として、規制機関が設置する規則に合致する必要がある作業員の健康監視のための特別な取り決めを雇用主と結ばなければならない。

要件 27：雇用条件

雇用主、登録者および許可取得者は、防護と安全のための対策の代替として便益を提供してはならない。

(3.112 項) 雇用主は、作業者が健康上の理由からもはや職業被ばくを伴うもしくは伴う可能性のある就業を続けられないであろうと、規制機関により決定されるか、または本基準の要件に従って作業者の健康監視計画の枠組みにおいて決定された場合、代わりとなる適切な雇用をその作業者に提供するよう、あらゆる合理的な努力を払わなければならない。

## 2.2 IAEA 一般安全指針 GSG-7 職業上の放射線防護 (2018 年発行)

職業被ばくに関する包括的な指針で、BSS の基準に整合をとり、より詳細な事項が記述されている。健康診断に関する

### 放射線防護プログラムの範囲

(3.60 項) 放射線防護計画は、以下のことについて適度に詳細な文書化すべきである：  
として、その中の事項として、「作業者の健康監視プログラム」を挙げている。

.....

### 現場規則、監督

.....

(3.89 項) 現場規則と手順は、組織構造や管理区域で従うべき方法を記述すべきで、放射線防護計画のさまざまな要素のための規定の一部またはすべてを含めるべきであろう。

として、その要素の中に、作業者の健康監視を挙げている。

.....

### 施設の管理下の線源

.....

(6.34 項) このような状況では、渡り作業者に対し防護と安全について、自社の作業者と同じように適用するのは施設管理者の責任である。これを達成するために必要な手はずを制度化することは、渡り作業者を雇用する前提条件であるべきである。請負契約上の合意において3節で規定された防護と安全に関連する対策に言及することにより、これを正式なものにする配慮がされるべきで、以下のものが含まれるであろう：

として、その中に作業者の健康監視を挙げている。

.....

### 職業被ばくの記録

.....

(6.71項) 各渡り作業者に対する線量の最新記録および健康監視の状況が確実に利用できるように手はずを整えるべきである。この記録は、作業者の被ばく記録を集中管理したデータベースからの出力の形である場合もあり、または個々の放射線学的モニタリング文書（「個々人の放射線通帳」と称する場合もある）あるいはそれに代わる個人線量記録の場合もある。作業者の職業被ばくと健康監視記録は、適切な防護および安全プログラムを確立できるように、放射線源を用いる施設で請負作業を開始する前に、施設管理者に利用できるようにすべきである。

.....

**防護と安全の見直し**

.....

(6.81項) 自分の管理下に線源を持っている請負業者も、定期的に社内の手はずや手続きを見直すべきである。登録者または許認可取得者として、請負業者は、その従業員が受ける線量を制限し、放射線防護を最適化する責任がある。請負業者は、線量測定結果を継続的に見直すための手順を整備しているべきである。上述したように、単一施設での長期作業に対する手はずや手続きは、施設管理者との協議により定期的に見直すべきである。請負業者は、すべてのサイト作業で守るべき現行の手はずと手順、例えば、作業者の健康監視、機器の保守手順のプログラム、自社が責任を有するそれぞれの線源の存在場所、説明、放射能、および型式の記録を保持するための手はずについても、見直すべきである。

.....

**ラドンおよび／又は自然起源の放射性物質に対する被ばくをもたらず鉱山**

.....

(6.92項) 地下鉱山のラドン濃度は換気条件に依存するため、場所によっては高レベルに達することがある。ウラン鉱石（そして時には他の特定の鉱物）の採掘は、自然起源の放射性物質への作業者の外部および内部被ばくを引き起こしうる。請負業者の雇用は、短期および長期によらず、鉱山では一般的である。渡り作業者に関して、誰が放射線防護対策（訓練、健康監視と個人用防護具の使用を含む）の責任を取るのが最善かという質問は、請負作業の特性に大きく依存し、この特性は幅広い差異があるので、以下に2つの例で説明する：

.....

第1章から第9章には本文中に、健康監視に関連する事項が記述されているが、第10章は、健康監視に関する章として、以下の記述がある。

**10章. 作業者の健康監視  
責任**

## 管理

(10.1項) GSR Part 3 [2]の3.76 (f) 項、3.108項および3.109項について、管理者は、職業被ばくの可能性がある活動に従事する全ての作業員に対し、必要な作業員の健康監視および保健サービスが提供されるようにすべきである。働いている施設の管理下で線源にさらされる渡り作業員については、その施設管理者は、当該の移動作業員が必要な作業員健康監視を受けられるよう、契約作業員の雇用主と特別に決めべきである (6.34 (i) 項を参照)。

(10.2項) 管理者は、作業員健康監視に適した健康診断施設を職場の近辺に設けるべきである。

## 職業衛生サービス

(10.3項) 職業衛生サービスは、作業員健康監視に関して次の責任を負うべきである。

- (a) 作業員の健康を評価すること。
- (b) 作業員の健康と作業員の労働条件の間の適合性を最初から継続的に確保するのを助けること。
- (c) 次の場合に有益な情報を提供する記録を作成すること。
  - (i) 予期しない被ばくまたは職業病
  - (ii) 労働条件に関連する可能性がある疾病の発生に関する統計的評価
  - (iii) 職業被ばくが発生する可能性がある施設における防護と安全の管理に関する公衆衛生目的の評価
  - (iv) 医療および法務上の問い合わせ
- (d) 放射線リスクに関して作業員にカウンセリングし、また、身体の汚染または過剰被ばくの場合に助言および治療サービスを行うこと。

## 産業医

(10.4項) 作業員健康監視プログラムを担当する産業医は次の責任を負うべきである。

- (a) 作業員の健康診断を実行すること
- (b) 作業員の健康状態と雇用主の業務要件に基づいて、所定の業務に対する作業員の適性に関して管理者に定期的に助言すること
- (c) 作業員が医学的理由で通常の労働環境から離れた後、通常の労働環境に復帰することについて許可を与えること

(d) 放射線防護監督官と適宜協議し、作業の衛生および創傷からの放射性核種の汚染除去に関する手はずについて助言すること

(10.5項) 産業医は、非常勤の民間産業医も全て含めて、研修によって、また必要な場合、再研修によって、放射線被ばくの生物影響、被ばく管理手段、被ばくデータの解釈および線量測定評価に関して知識を持つべきである [162]。適宜、専門家の力を借りながら、産業医は、作業健康監視プログラムにその知識を活かし、放射線健康リスクに関して、次に該当する作業者にカウンセリングする立場にあるべきである。

(a) 妊娠を疑う、または妊娠しそうな、あるいは母乳育児をしている作業員で、職業被ばくしている作業員 (6.2項～6.20項を参照)

(b) 線量限度を大幅に上回って被ばくしたか、または被ばくした可能性がある個々の作業員

(c) 放射線被ばくを懸念するかもしれない作業員

(d) その他の点で、こうしたカウンセリングを要求する作業員

(10.6項) 作業員の労働適性を判断するには、産業医は、職場の作業内容と作業環境における条件に精通しているべきである。ある種の鉱山や鉱物処理施設の場合のように、および特異な条件の下での作業については、産業医は、作業場を定期的に視察して、その条件について常に認識しておくべきである。雇用主は、産業医が職場の作業内容と作業環境における条件に関して必要な程度に把握するための適切な機会を与えるべきである。

(10.7項) 産業医は、過剰被ばくの疑いがある場合、ケース・マネジメントに対する責任を負うべきである。これには、適格な専門家にケースの詳細を提出すること、作業員のカウンセリング、必要な場合、作業員の代理人および家族への状況報告を含むべきである。この分野におけるさらなるガイダンスが、文献 [162] に記載されている。

### 作業員の健康監視プログラム

(10.8項) GSR Part 3 [2]の3.108項に従えば、作業員の健康監視プログラムは、文献 [163] に定める職業衛生の一般原則に基づき、所定の業務に対して初期および継続的に作業員の適性を評価することを目的としなければならない。作業員の健康監視プログラムにはさらに次の目的がある。

(a) 特定の危険有害な作用物質に予期せず晒され、または職業病が発生した場合に利用することができる情報、および作業者が被っている、あるいは被る可能性のある職業衛生リスク（放射線リスクを含む）に関する作業者のカウンセリングのための情報のベースを与えること

(b) 過剰被ばくした作業者の管理をサポートすること

(10.9項) 作業者の健康監視プログラムの主な要素は以下に示すものであるべきである。

(a) 作業者が所定の業務に適していることを確認することを目的とした作業者の健康評価

(b) 機密医療記録の作成および保全

(c) 予期しない被ばくと過剰被ばくの処理およびその後の追跡調査に関する手はず

(d) 管理者および作業者に対する医療アドバイスの提供

(10.10項) 作業者健康監視プログラムの設計、作成、実施、管理責任者に関する詳細な指針は、文献 [163] にある。

### 作業者の健康診断

(10.11項) 職業上被ばくを受ける作業者の健康診断は、職業病医学の一般原則に従うべきである。放射線に対する職業被ばくだけを理由として、作業者の健康診断を実行するわけではない。その他の理由としては、騒音、粉塵、化学物質などの危険性に対する被ばくがある。例えば、ほこりまみれの環境内で働く作業者の肺機能の定期的診断は非常に望ましいことかもしれない。産業医は、肺機能および、もし該当するならば胸部X線検査といった特別診断の勧めを検討するべきである。放射線被ばくまたはその他の危険性に対する被ばくが該当限度を超える場合、特別評価および検査は当然であろう。

(10.12項) いかなる医師-患者関係とも同様に、産業医は、個々の診断の理由と、作業者の健康および特定の労働環境に関する重要な調査結果について作業者に十分伝えるべきである。

(10.13項) 作業者の健康診断は、雇用開始前に実施し、その後定期的にも実施し、また雇用終了時に実施するべきである。

(10.14項) 次の目的で各作業者に関する医学履歴と医学的評価を確立するべきであ

る。

- (a) 所定の業務に対する作業者の適性を判断すること
- (b) 特定の労働慣行の変更を検討するときに用いるベースを与えること
- (c) 職業病または過剰被ばくを評価するときに用いるベースを与えること

(10.15項) 最初の健康診断は、所定の業務に関する作業者の健康と適性を評価し、作業者が仕事中に特別の注意を必要とする体調にあるかどうかを確認することを目的とするべきである。ただし、放射線業務に対する作業者の適性判断や業務の一般的な条件は、労働環境の放射線要素にあまり左右されるべきではない。産業医が調査すべき医学的条件には、防護服と設備を利用し着用する能力、警報を聞き取り、放射能危険に対応する能力、専門ツールおよび設備を使用する能力に影響する条件を含むべきである。

(10.16項) 次の例によって示されるように、放射線業務に対する適性は、作業者の健康状態と当該業務の種類によって決まる。

(a) 作業者の職務が呼吸用保護具の使用を必要とする場合、産業医は、肺機能の健全性に関する検査を含め、呼吸用防護具の着用に対する作業者の適性を検査すべきである。

(b) 作業者が非密封線源の処理に従事している場合、業務適性が湿疹や乾癬などの皮膚病に影響され基づいて判断するべきである。そのような疾病を有する作業者は、放射能が低く、例えば身体の患部を覆うなど適切な予防策が取られている限り、非密封放射性物質を伴う業務から外す必要はない。

(c) 作業者が放射線源を伴う業務を必要とする場合、業務適性は、精神的な不安に影響されることがある。そのような場合、症状の発現が安全に及ぼす影響を考慮して適性判断するべきである。主な懸念は、そのような作業者が自分自身または同僚や公衆に及ぶ危険を意味しているかどうかにある。

(10.17項) 以前放射線療法を受けた作業者を放射線業務から外す本質的な理由はない。各ケースは個別に評価すべきで、放射線治療の結果、一般的な予後その他の健康状態、作業者の理解と希望、業務内容を考慮に入れてなされるべきである。

(10.18項) 定期健康診断では、産業医は、放射線による危険を含む職業衛生危険性を伴う区域で働く間、作業者の健康を害する病態が発症していないことを確認するべきである。定期健康診断の内容は、業務の種類と作業者の年齢および健康状態、また



場合によっては習慣（例えば、喫煙習慣）などの要因に基づいて決めるべきである。  
例えば：

(a) 業務内容が被ばくによる局所的な皮膚損傷（特に手）の可能性がある場合、皮膚を検査すべきである。

(b) 目の水晶体に0.5Gy以上の蓄積線量をすでに受けている作業員や、数年後にこのレベルを超えた線量を蓄積する可能性がある作業員は、定期的に眼科診断を受ける必要がある。これは、検出可能なまでの混濁および視力障害のリスクと関連している。これらは、所定の業務を実行する作業員の能力（例えば、画像誘導式インターベンション処置の実施）に影響する可能性があるからである。

(10.19項) 定期健康診断の頻度は、作業員の健康状態と当該業務の種類に基づいて決定すべきである。通常、放射線被ばくがそれ自体で、定期健康診断を標準以上に頻繁に実施する理由となる必要はない。

(10.20項) 職業衛生の良好事例を保つには、産業医が、傷害または疾患のために欠勤していた作業員の復職が適正であることを確認すべきである。

(10.21項) 健康診断を終えると同時に、産業医は、その結論を作業員および雇用主に書面で伝えるべきである。これらの結論は、医療情報を記載するべきではないが、少なくとも作業員を次のいずれかに分類するべきである。

(a) 所定の業務に適している。

(b) 一定の制限のもとで所定の業務（例えば、呼吸防護装置を必要としない業務）に適している。

(c) 所定の業務に適さない。

上記の(c)に関して、産業医は、医学的見地から、作業員が通常の業務に一時的または永久的に不適だと判断したり、作業員の配置換えを推奨したりする権限を有するべきである。産業医はまた、そのような作業員を通常の職務に復職させることに関して、医学的見地から、雇用主に助言する権限を有するべきである。

(10.22項) 代表的な作業環境に起因する可能性がある疾患が観察された場合、産業医は、作業環境を調査する必要があることについて管理者に助言するべきである。また、該当する場合、管理者は、産業医と相談して改善措置を進めるべきである。

(10.23項) 雇用終了時の健康診断では、業務関連の障害がないかどうか確認するべきである。また、必要な場合、雇用が終わった後も、作業者の医師による定期診断、フォローアップ診断を行う手はずを整えるべきである（さらなるガイダンスは文献 [163] を参照）。これは、ILO勧告147 [164] に基づいていて勧告は次のように述べているな：

「12. 所轄官庁は、職務終了後も作業者に適切な健康診断または生物学的その他の検査または調査を受けさせるための規定を設けるようにするべきである」

(10.24項) 医療評価から収集されたデータは、疫学的調査に役立つかもしれない。

### 疾患と過剰被ばくの通知

(10.25項) 作業者は、重大な疾患を全て速やかに産業医に報告するように奨励されるべきである。

(10.26項) 作業者は、放射性物質を予期せず摂取した疑いがあれば、自分の上長および放射線防護監督官に報告するべきである。予期せぬ摂取量が規制機関によって指定された限度を超えた疑いがある場合、産業医は通知を受け、また、そのような摂取が実際に発生したかどうかを確認する調査の結果も通知されるべきである。産業医は、過剰被ばく調査手続きに参加することもあり得る。

(10.27項) 作業者が調査レベル（3.122項～3.127項を参照）を超えた線量を受けた場合、規制機関は、被ばくの状況に関する通知と調査を要求することができる。

### 医療記録

(10.28項) 医療記録は、全医療評価の記録（雇用前の評価、定期的な評価、特別な評価、疾患後の評価、雇用終了時の評価）、検査室報告、疾病報告、病歴報告を含むべきである。放射線被ばくに関する情報も、該当する場合、特に過剰被ばくのケースでは記録されるべきである。医療記録は、機密とするべきであり、また規制機関が承認した方法で保存されるべきである。医療記録は、少なくとも当該作業者の存命中は保存されるべきである。ただし、訴訟の可能性があるため、記録の保存期間はさらに長くすることも考慮すべきである。

### 過剰被ばくした作業者の管理

(10.29項) 許認可条件に従って、管理者は、作業者が過剰被ばくする可能性がある状況に対応するための正式の計画を策定すべきである。これらの計画は、過剰被ばく作業者の管理および想定される健康影響を取り上げるべきである。これらの計画は、必要な措置を明示し、管理者は、それらの措置を実行するための資源を割り当てるべきである。

(10.30項) 予期せぬ被ばくまたは過剰被ばくが起きた場合、産業医は、管理者と協力し、被ばくの重症度を評価するための適切な手はずがすべて確実に実行されるようにすべきである。

(10.31項) 過剰被ばくが発生した疑いがある場合、管理者は、当該の作業者が被った線量を評価するための調査に速やかに着手すべきである。この調査には、個人線量計およびモニター装置、また、内部被ばくの場合、生体内モニタリングまたは生体外モニタリングの読取り値を含むべきである。

(10.32項) 線量限度に近い評価線量の場合、適切な教訓を確認できるように原因の調査だけでおそらく十分である。この線量は、特別の医療調査や治療を必要としない。線量限度を大きく上回る線量（すなわち0.1 Sv以上の線量）の場合にのみ、生物学的線量測定を伴う特別の線量調査（例えば、体細胞、主としてリンパ球における染色体異常分析）や、さらなる精密診断や治療が必要になるだろう（4.30項～4.32項を参照）。高レベルの外部放射線にさらされた人に対する治療は、健康への有害な影響、特に確定的影響、を取り上げるべきである。

(10.33項) 作業者が放射性核種の多量摂取を被った場合、預託線量を低減する処置が当然となるだろう。そのような作業者には、状況によって取り込みを低減する医学的介入の可能性について知らせておくべきである。取るべき措置は、当該の放射性核種、関連器官に対する預託等価線量の大きさ、防護手段の有効性および関連リスクに基づいて決定される。この措置は、線量低減が副作用を上回る場合にのみ実行されるべきである。そのような治療法の例としては、Ca-DTPAを使った取り込みアクチニドの身体からの排出率向上、トリチウム摂取後の強制利尿、汚染創の外科的切除などがある。

(10.34項) 事故、その状況および結果に関する詳細な調査には、さまざまな分野の専門家、特に産業医と放射線専門家が参加するべきである。医学的処置のために取られた全ての措置が的確に調整されるよう、これらの専門家間の緊密な連携が必要であ

る。受けた線量が確定的影響の閾値に近いか、上回る疑いがある場合、調査によって吸収線量と身体におけるその分布を可能な限り正確に把握し、また、当該作業者に対する適切な健康診断を行うべきである。

放射線安全規制研究戦略的推進事業費  
(染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に  
関する調査研究) 事業

平成 30 年度事業成果報告書

平成 31 年 3 月

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

本報告書は、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構が実施した「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に関する調査研究）事業」の成果を取りまとめたものです。

## 目 次

1. 研究の概要 .....	5
2. 研究の背景と目的 .....	7
3. 平成 30 年度 研究実施体制 .....	9
4. 平成 30 年度 研究計画 .....	11
5. 平成 30 年度 研究成果 .....	13
5-1. 染色体線量評価における画像解析研究開発の動向調査・情報収集 .....	13
5-2. 人工知能技術を導入した画像判別手法の開発に関する検討 .....	15
5-3. 検討委員会の開催 .....	19
5-4. 研究倫理審査等の準備 .....	20
5-5. テスト用の画像ファイルの準備 .....	21
5-5-1. 染色体異常検出力の比較試験 .....	21
5-5-2. テスト用の画像ファイルの準備 .....	23
6. まとめ .....	25
7. 平成 31 年度の展開 .....	27
8. 参考文献 .....	28
9. 成果発表 .....	29
10. 資料 .....	31
資料 1 : 海外調査報告 .....	31
資料 2 : 第 90 回日本遺伝学会大会 報告 .....	37
資料 3 : 日本人類遺伝学会第 63 回大会 報告 .....	39
資料 4 : 第 1 回メディカル AI 学会 報告 .....	45
資料 5 : 第 1 回情報収集 (ヒアリング) 報告 .....	47
資料 6 : 第 2 回情報収集 (ヒアリング) 報告 .....	48

資料 7 : AI 開発関連企業の調査 報告.....	50
資料 8 : 第 1 回研究会合 議事概要.....	51
資料 9 : 第 2 回研究会合 議事概要.....	53
資料 1 0 : 第 3 回研究会合 議事概要.....	54
資料 1 1 : 第 4 回研究会合 議事概要.....	56
資料 1 2 発表概要 (ICRP-QST-RERF Workshop on Individual Response to Ionizing Radiation) .....	58
資料 1 3 研究発表資料 (世界保健機関 生物線量評価ネット会議) .....	60
資料 1 4 研究発表資料 (NCT) .....	68
資料 1 5. 原子力規制庁 平成 30 年度研究成果報告会 発表資料.....	69



## 1. 研究の概要

本研究は、染色体線量評価における染色体異常の判定の標準化を実現するために、画像解析技術の調査および評価を行い、課題抽出し、効果的で実現可能な画像解析手法の開発案を提示することを目標とする。

染色体線量評価とは、放射線の線量が細胞 1 個当たりの染色体異常生成頻度と相関があることに基づいてなされる。具体的には、あらかじめ健常人末梢血リンパ球の *in vitro* 照射実験によって線量と染色体異常生成頻度の関係曲線（検量線）を作成し、患者の染色体異常頻度を当てはめて被ばく線量推定する。実際に放射線医学総合研究所（現 量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所、以下、量研 放医研という）では東電福島第一原発事故（2011 年）で緊急時作業員の線量評価を実施し、被ばく医療に貢献した（参考文献 1）。

染色体線量評価手法は、標本自動作製装置の開発、顕微鏡画像撮影の自動化といった技術革新により高速化されたが、正確な染色体画像判定の部分は熟練検査者の目視判断に頼っており、患者 1 人当たり 1000 細胞以上の観察、2 日以上に従事を要する。原子力災害をはじめとする多数の被災者が発生する被ばく事故では多くの熟練検査者の協力が必要である。しかし、プロトコルの国際標準化（参考文献 2, 3）と 20 年以上続けられてきた努力にも関わらず、ラボ間や染色体分析者間の判定差違をなくすことはできていない。このように熟練者の養成は困難であり、染色体線量評価において、染色体異常の画像判定の標準化が最大で喫緊の課題である。

一方、近年、分子細胞遺伝学の発展により染色体異常の判別のための染色方法の選択肢が増えた。並行してコンピュータによる画像認識技術の発達も著しく、特に、人工知能技術による機械学習を採り入れた画像識別手法の開発は目覚ましいものがある。

そこで本研究では、人工知能技術を含む最先端の画像解析手法を調査・試行し、その実用性（有用性と限界）を検討する（図 1, 2）。調査・検討においては、染色体線量評価・染色体研究、コンピュータ画像解析技術、人工知能技術の研究者、数理統計学の研究者など、諸分野の専門家の英知と協力を得ることとする。本研究の成果（最適な手法の提案）は、染色体異常の判定の標準化および高速化に向けた、本格的な解析プログラムの開発の礎となる。

なお、本研究ではヒト試料から取得した画像ファイルを利用するため、必要に応じて、所属機関倫理委員会における承認手続き・試料提供者の同意取得確認や材料移転契約を行

う。

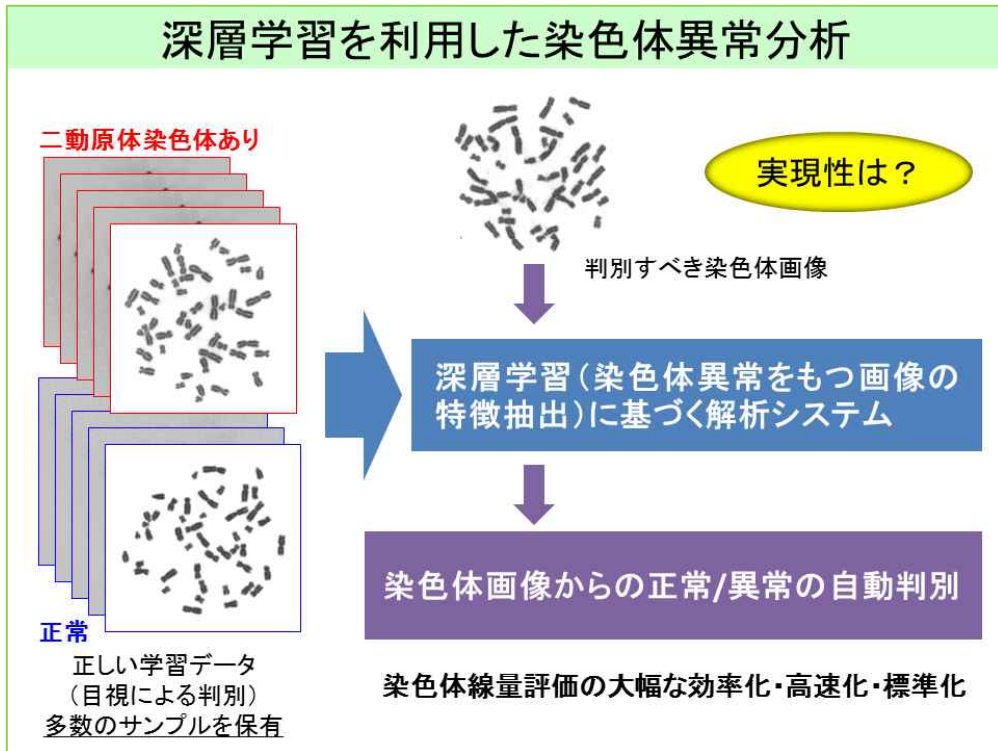


図1. 染色体画像解析への人工知能技術導入の可能性

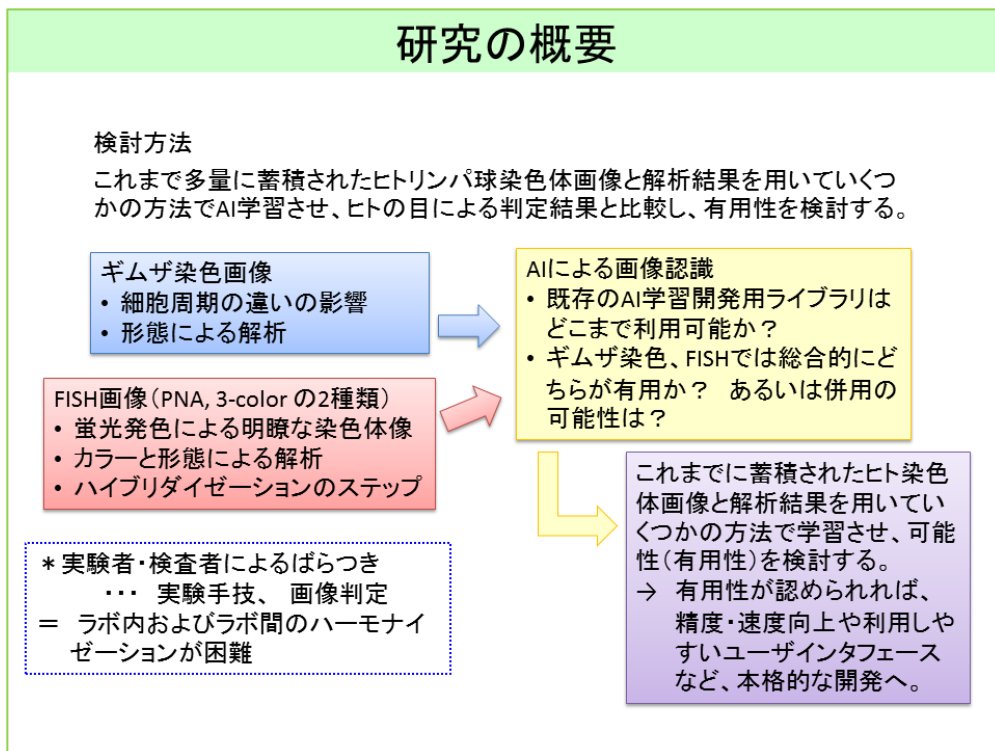


図2. 研究の概要

## 2. 研究の背景と目的

### 2-1. 研究の目的・目標

本研究では染色体線量評価における染色体異常の判定の標準化を実現するために、画像解析技術の調査および評価を行い、課題抽出し、画像解析手法の開発案を提示することを目標とする。

#### 【年度目標】

平成 30 年度：①線量評価のための染色体画像解析技術に関する情報収集・検討

②人工知能技術を用いた画像判別手法に関する情報収集・検討

平成 31 年度：③②つづき

④数理統計学的なデータ処理法に関する検討

⑤総括（染色体線量評価のための画像判定技術開発の提案）

### 2-2. 背景・必要性

染色体線量評価は、標本の自動作製装置、顕微鏡画像の自動撮影装置といった機器開発により高速化されたが、正確な染色体画像判定は熟練検査者の目視に頼っており、被検者 1 人の線量評価に 2 日以上要する。複数の被災者が発生する原子力災害等では多くの熟練者の協力が必要だが、養成は困難で、検査者により判定基準にブレが生じる。染色体線量評価では染色体異常の画像判定の標準化が最大で喫緊の課題である。

### 2-3. 特色・独創的な点

本研究では、従来のギムザ染色標本だけでなく、蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション (FISH) 標本から得た染色体画像も検討対象とする。前者からは形態的異常しか検出できないが、後者では染色体の特定塩基配列への結合性が高い蛍光標識プローブをハイブリダイズさせるため、染色体異常を正確に検出することができる。国際標準化機構は今後 FISH 標本による染色体異常検出が主流となるとしている（参考文献 4、および【資料 1】の(iii)参照）。

また、本研究では画像解析手法を検討するために、ヒト染色体画像を用いた評価試験を実施する。画像認識における機械学習では、学習させる画像数の多さが正確な認識に大きく寄与することが知られている。主任研究者らは既に様々な個体の染色体標本や、目視判

定済み染色体画像ファイル（50 万枚以上）を有している。実験的にガンマ線照射した試料（0～15 Gy）と被ばく患者の試料がある。このように質・量ともに豊富な試料を有するラボは世界でも稀である。

#### 2-4. 期待される成果

本研究では、染色体線量評価において最大で喫緊の課題となっている染色体異常の画像判定の標準化を目指して、現存する技術を調査し、最適な標本染色技術と有用かつ実現可能なコンピュータ画像判定技術を検討し、画像判定技術開発案を提示する。染色体画像の品質評価や品質の違いによる推定線量の信頼度評価といった課題への数理統計学的な対応（処理法）を検討する。

本研究の成果は、膨大な染色体画像ファイルのコレクションを機械学習材料として活用して実際にコンピュータ画像判定技術を研究開発することで、染色体異常の画像判定の均質化と高速化の達成につながる。染色体判定基準が標準化されることにより、従来ラボごとに用意せざるを得なかった線量評価のための線量効果曲線式（線量を横軸、染色体異常頻度を縦軸にした検量線）が一元化され、異なる検査者や異なるラボの間で共有可能となる。以上により、線量評価の安定化と高速化が実現する。検査者の育成も容易となり、持続可能で現実的な染色体線量評価の仕組みと国内ネットワーク作りが可能となる。さらに国際標準化機構で採択されれば、アジア地域のネットワーク作りやより広い国際的なネットワーク作りにも貢献することとなる。これらの成果が実現に至れば、国内外で被ばく事故が発生した際には公衆を含む多人数被ばく者に対しても、迅速な生物線量評価が可能となると考えられる。

### 3. 平成 30 年度 研究実施体制

#### 【主任研究者】

数藤 由美子 (量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所  
生物線量評価研究チームリーダー)

#### 【研究協力者】

長田 直樹 (北海道大学大学院情報科学研究科 准教授)  
瀧川 一学 (北海道大学大学院情報科学研究科 准教授)  
弓 至 (北海道大学大学院情報科学研究科 修士課程 1 年)  
平井 百樹 (東京大学 名誉教授)  
野里 博和 (産業技術総合研究所人工知能研究センター 主任研究員)

#### 【研究参加者】

高島 良生 (量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所 主任研究員)  
穂山 美穂 (量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所 技術員)  
栗原 治 (量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所  
計測・線量評価部長)

(注) 以下、本研究にたずさわる研究者の機関名として、次の略称を用いることとする。

量子科学技術研究開発機構： 量研

北海道大学： 北大

東京大学： 東大

産業技術総合研究所： 産総研

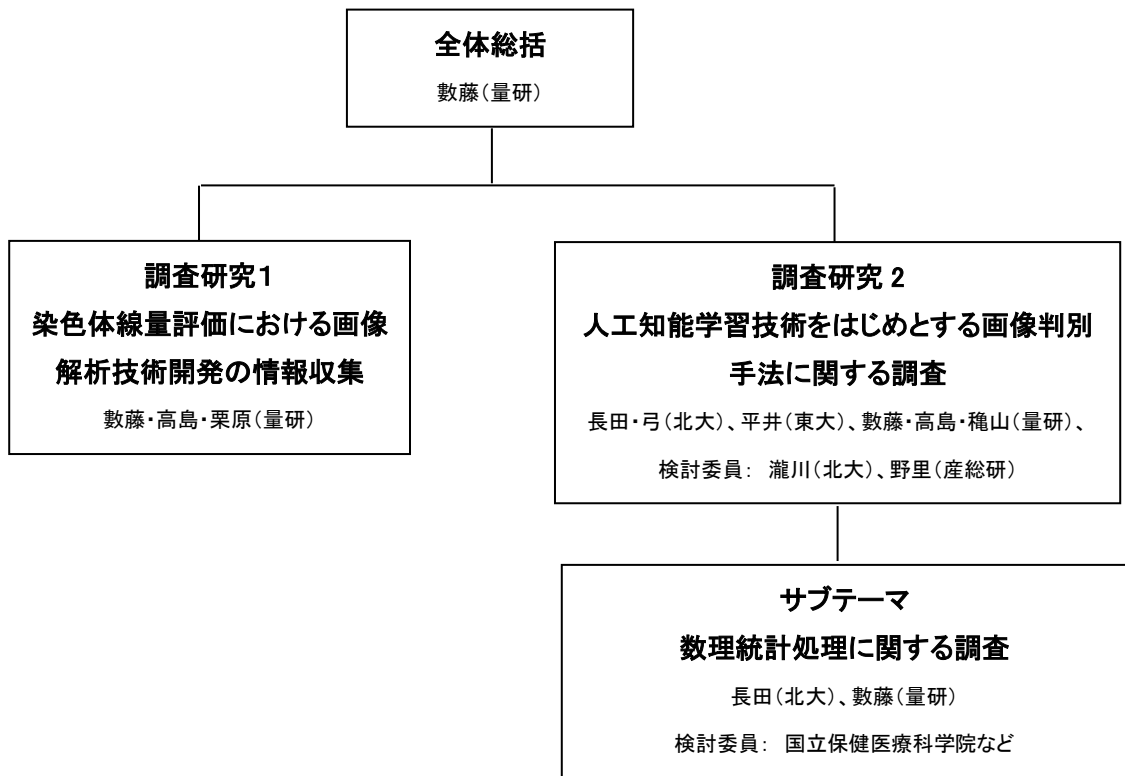


図3. 研究実施体制

## 4. 平成 30 年度 研究計画

本研究は平成 30 年度から平成 31 年度の 2 カ年で実施する予定であり、初年度となる平成 30 年度は、第一に線量評価のための染色体画像解析技術に関する情報収集・検討を行い、第二に人工知能技術を用いた画像判別手法に関する情報収集・検討を行うこととする。具体的には以下の通りである。

### ①染色体線量評価における画像解析研究開発の動向調査・情報収集

#### ①- 1. 市販の染色体解析ソフトウェアの情報収集

#### ①- 2. 国内学会、国際学会（ドイツ、6 月）参加

\* 開発企業（ツァイス社等）および研究開発者へのヒアリングを含む。

#### ①- 3. 国際標準化機構（ISO）および世界保健機関（WHO）の染色体線量評価会議（ドイツ、6 月）出席

\* 国際標準プロトコールの検討と確認（ISO に委員として出席し、ギムザ法による二動原体分析プロトコールの改訂、同法による多検体対応プロトコールの改訂、FISH 法による転座分析プロトコールの完成、次期課題策定等を行う）。

\* 各国の被ばく医療における線量評価責任機関の研究者との情報交換

#### ①- 4. 文献調査

### ②. 人工知能技術を導入した画像判別手法の開発に関する検討

#### ②- 1. 他分野で実用化されている手法（顔認識、地形認識、文字認識など）の調査

\* 人工知能技術を導入した画像判別手法の研究開発者へのヒアリング（産業技術総合研究所人工知能研究センターなど）

\* 文献調査

#### ②- 2. 本研究開発に必要な要件と手法（画像認識ライブラリ、計算ハードウェア、クラウドサービス利用など）についての調査

### ③検討委員会の開催（染色体解析、線量評価、人工知能、画像解析、数理統計学等、各分野の研究開発者・専門家を必要に応じて招聘）

#### ③- 1. 染色体分析技術の情報共有

#### ③- 2. コンピュータによる画像判定技術（人工知能を含む）に関する知識の共有

③-3. 染色体異常解析への適用性についての検討と手法の絞り込み

④研究倫理審査等の準備

④-1. ヒト試料（染色体標本および染色体画像データ）を用いるために必要な手続き（倫理審査・同意取得、材料移転契約等）を調査し、実施する。

⑤テスト用の画像ファイルの準備

⑤-1. 染色体異常検出の精度評価

\*FISH法とギムザ染色法の比較により各染色法の検出精度や限界を明らかにする。

⑤-2. テスト用の画像データの選択

⑤-3. テスト用の画像データと目視判定結果の紐付け



## 5. 平成 30 年度 研究成果

### 5-1. 染色体線量評価における画像解析研究開発の動向調査・情報収集

調査：

- ① 文献・ウェブ情報調査
- ② 染色体線量評価に関連した 3 つの学会・会議での調査およびヒアリング【資料 1】  
国際学会： EPR BioDose 2018（平成 30 年 6 月、ミュンヘン）  
国際会議： WHO BioDoseNet（同上）  
ISO, Working Group 18（生物線量評価分科会）（同上）
- ③ 染色体解析技術に関連した 2 つの学会での調査  
第 90 回日本遺伝学会大会（平成 30 年 9 月）【資料 2】  
日本人類遺伝学会第 63 回大会（平成 30 年 10 月）【資料 3】

成果：

- 1) 染色体画像自動分析ソフトウェア開発の現状および動向（①、②）【資料 1 参照】

\*現在、ギムザ染色標本の染色体画像自動分析ソフトウェアの主力は MetaSystems 社製。

後発の CytoGnomix 社製とともに市販されている（図 4）。

\*PNA-FISH 標本の二動原体染色体自動分析ソフトウェアは MetaSystems 社製で追加された。

\*開発者・開発企業に対する、開発用標本の提供者（研究者）が判明した（ドイツ、イギリス、カナダ、ギリシャ等。詳細は【資料 1】注 5 を参照。）現在も精度テストが続けられている。

\*染色体ペインティング標本の自動分析ソフトウェアは数藤・高島らが開発している（厚生労働省委託研究事業）（図 4）。

\*他のマイナーな開発例（弘前大学等）を含め、誤判定・必要細胞数など課題は多く、開発途上で、少数のラボで実用化に向け長期調整中である。いずれの現存ソフトウェアも染色体異常の判別に従来型の機械学習を利用している。すなわち、あらかじめ人間がパラメータを決定し、適合した分裂中期染色体像のみ分析される。ラボごとに染色体の凝縮具合や判定基準が異なるため、ラボごとに学習用画像を用意しパラメータを模索す

る必要がある。

## 2) 人工知能技術の導入 (①、②、③)【資料1～3 参照】

\*染色体線量評価分野でのさらに進んだ画像解析ソフトウェア開発の具体的な予定はみられなかった。

\*いずれ開発をするとすれば、がん関連の画像診断および臨床細菌学における診断への支援優先するという意見はあった。その後、それらのシステムを応用して、あるいはその開発経験を生かして、染色体画像解析用のプログラムを開発することはあり得るとのことであった。

\*染色体研究技術に関連した国内学会（日本遺伝学会、日本人類遺伝学会）において、染色体画像解析ソフトウェアに関して人工知能技術を導入した新情報はみられなかった。

## 3) まとめ

染色体線量評価における人工知能技術の導入例や研究は未だみられない。

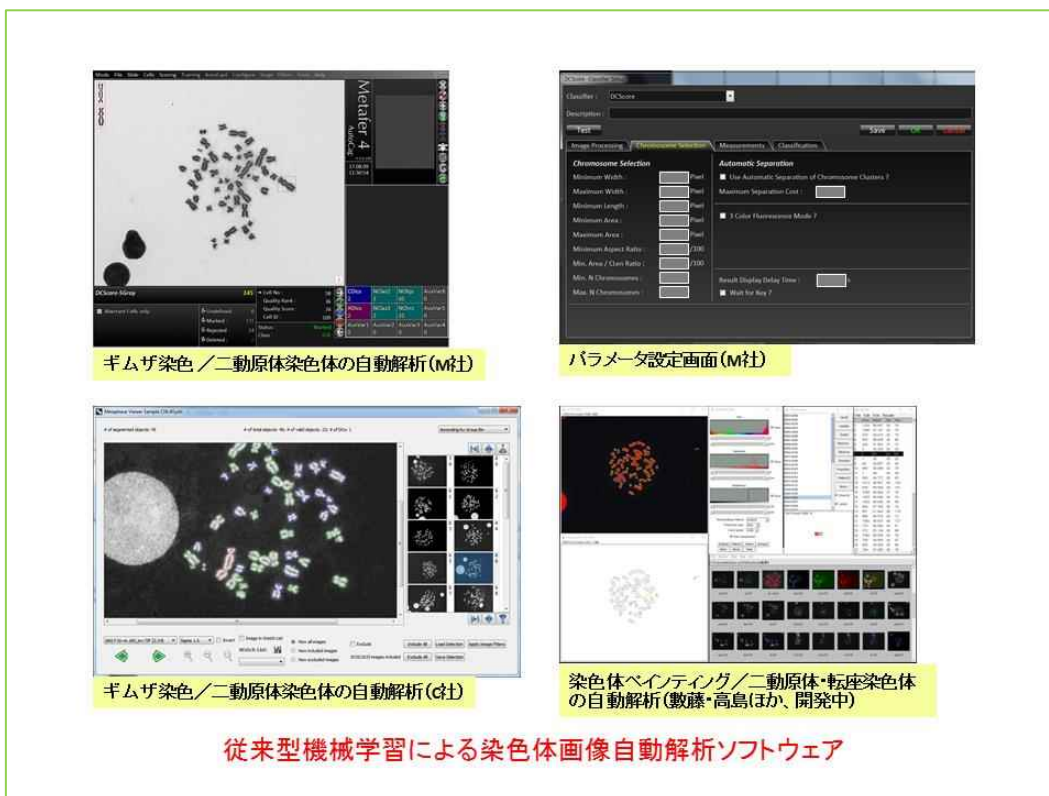


図4. 染色体解析ソフトウェアの最前線

## 5-2. 人工知能技術を導入した画像判別手法の開発に関する検討

調査1： 他分野で実用化されている手法の調査

調査2： 本研究開発に必要な要件と手法（画像認識ライブラリ、計算ハードウェア、クラウドサービス利用など）についての調査

### ① 人工知能技術に関連した学会での調査

国内学会： 第90回日本遺伝学会大会（平成30年9月）【資料2】

日本人類遺伝学会第63回大会（平成30年10月）【資料3】

第1回日本メディカルAI学会学術集会（平成31年1月）【資料4】

### ② 文献調査・ウェブ情報調査・ヒアリング

AI関連展示会： シーテック・ジャパン2018（平成30年10月）【資料7】

AI・業務自動化展（平成30年10月）【資料7】

第1回情報収集（ヒアリング）（平成30年10月）【資料5】

第2回情報収集（ヒアリング）（平成31年3月）【資料6】

### ③ 手書きデータの電子化に関する調査 AI-OCR（AIを導入した光学的文字認識）調査

### ④ 畳み込みニューラルネットワーク（CNN）画像解析の染色体異常解析への適用調査

成果：

#### 1) 他分野で実用化されている手法の調査（①、②）

\* 関連学会における情報収集として、日本遺伝学会（9月）および日本人類遺伝学会（10月）の学会発表（【資料2, 3】参照）においては現在のところAIを用いた染色体画像解析の研究報告は見られなかった。一方で、複数種類の大量のテキストデータ（全ゲノムシーケンスデータ・カルテ情報・治療薬情報等）を組み合わせた診断支援システム開発や、顔貌異常診断・筋病理診断における画像データを用いた診断支援システム開発において、AI導入試験の報告がみられ（【資料2, 3】参照）、今後、診断におけるAI導入は

拡大することが示された。特に、筋病理診断支援の研究は、症例数の制約により教師データが少ない、がん細胞の有る無しといった大まかな判別ではなく非常に類似した2種類の対象像の判別が必要、エキスパートによる画像診断が必要でかつエキスパートの人

数が少ない、など、本研究の対象の特徴との類似点があり、画像データの準備（クロッピング方法、アノテーション方法、テスト用画像枚数など）を検討する上で参考になった。

\*メディカル AI 学会（平成 31 年 1 月）では、実際に多数の医用画像診断支援やゲノムデータを用いた遺伝医療、創薬などへの AI の導入が、国家的プロジェクトを含め、産官学連携により進行中であることが分かった（【資料 4】参照）。また、AI の医療分野での活用に法的整備が追いついていない状況があるが、最近厚生労働省がいくつかの方針を示していることがわかった。「人工知能（AI）を用いた診断、治療等の支援を行うプログラムの利用と医師法第 17 条の規定との関係について（課長通知）」等である。米国では医師の介在なしに診断可能な糖尿病網膜症診断装置が昨年 FDA 承認されている。

\*産総研・人工知能研究センターにおける、医療診断支援としての画像認識技術、および土木分野でのトンネル壁面打音検査における音響解析技術についての開発手順が紹介された【資料 6】。技術力の高い日本の産業界では、非常に稀な異常（不良品、不良箇所）の検出を行うという特徴があること、また医療分野では、学習用の異常データが少ないという特徴があることがわかった。それぞれの研究開発例は本研究で大いに参考にする。より具体的には、正常データから特徴量を抽出し、それと観察データとの距離を見ることにより、これまで出てきたことのないパターンを検出する、という手法や、転移学習という手法を用いることが適用可能と期待される。

以上より、

- ・染色体画像解析における AI 技術の実際の導入例や研究は未だみられない。
- ・医用画像診断支援研究で、教師データの準備について参考になるものがある。
- ・使用目的の明確化と、教師データの質・量が非常に重要である。

ということがいえる。

## 2) 本研究開発に必要な要件と手法についての調査

\*画像認識ライブラリの情報を収集し、代表的な 2 社について重点的に調査し、必要な計算ハードウェアについて把握した（【資料 5, 7】参照）。

\*予備試験として、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）画像解析による染色体画像解析を実施した。CNN 学習用に用意された画像コレクションの中から学習・解析に適さない染色体画像の識別を試みたところ 100%の識別が可能であった。メタフェーズ画像の画素数は1枚あたり約130万（1280×1024ピクセル）あり、メタフェーズの存在しない領域が広い。今後の開発にあたっては、計算量を削減するために用意された染色体画像をクロッピングし余白を除去することとした。実際に試してみたところ、画素数約130万ピクセルから514ピクセルまで落とすことができた（【資料6】参照）。染色体標本画像では、染色体の近接や重なりが起これると染色体の機械認識が困難になる可能性があるため、機械認識に適した標本の作製方法などについて、第3回研究会合にて新たな手法の可能性が議論された。

\*続く予備試験として、染色体領域の検出がディープラーニングによって可能であるかどうかを評価した【資料11】。CNNを用いた画像判別においては、一度に処理できる画像のサイズ（画素数）にある程度の制限が存在するため、ギムザ染色による二動原体検出のような微小な変異を判別するには、学習・判別に用いる画像データのサイズを適切に調整する必要がある。そのため、顕微鏡下で撮影された染色体全視野画像から、染色体を含む領域だけを抽出することにより、学習制度を向上させることができると考えられる。

これらを踏まえて、異常検出の前段階として、U-Netを用いたセマンティック・セグメンテーションを行い、染色体領域の検出がディープラーニングによって可能であるかどうかを評価した。通常ギムザ染色画像300枚を学習およびテストデータとして、U-Netを用いて染色体領域のセマンティック・セグメンテーションを行った。図5において、左が予測に用いたテストデータ、右が予測結果であり、染色体以外の核やノイズが除去されていることが分かる。10回の交差検定を行い、平均0.993、標準偏差0.004のDice係数を得た。平均としては非常に高い予測効果が得られたが、Dice係数が比較的低い予測結果においては、ノイズ等が染色体と認識視されている例もあり、ファイン・チューニングが今後必要になることが求められる。ただし、本処理は異常判別のための前処理であるので、第4回研究会合での検討【資料11】で、Dice係数が低いものについては異常検出に用いないなどとすることによって対処が可能であることが検討された。また、教師用画像データを順次増やしていく度に試用精度を上げていくこととした。

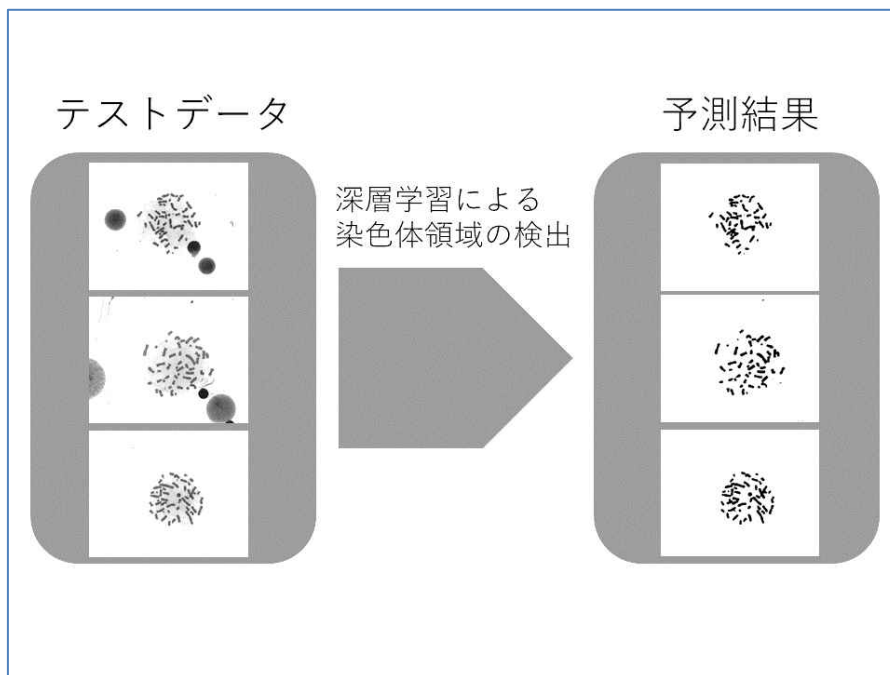


図5. 染色体領域の検出例

\*今後の開発にあたっては開発環境にこれまで以上の計算力が必要なことから、ディープラーニング用のスーパーコンピュータの利用などの可能性について検討し、来年度継続申請時にはその予算を計上することとした（【資料6，9】参照）。

\*企業等の動向調査から、大小多数の企業が多様な分野でAIを利用したソリューションが提供されている状況が明らかになった【資料7】。本格開発において適合するソフトウェア開発を受注可能とおもわれる企業が数社あり、プロトタイプ開発および本開発にかかる費用・期間のおおよそが判明した。開発スケジュールの一例を以下に示す。

○開発スケジュールの一例

- |  |
|--|
| ① 画立案：コンセプト立案、AI導入方針の策定、技術リサーチ、PoC開発計画策定 |
| ② PoC開発：AIの精度検証、プロトタイプ開発                 |
| [ここまでで1~3ヶ月、300万円~700万円]                 |
| ③ プリケーション開発：実際のサービスへ組み込むためのウェブ/システム開発    |
| ④ 守運用：サービスのリリース後のモデルチューニング、精度向上など        |
| [ここまででプラス500万円以上]                        |

(注：PoCとは、Proof of Conceptの略で、実証実験を意味する。)

\*手書きの染色体異常判定データ（図6）のデジタル化のために、AI-OCR（AIを導入した光学的文字認識）を試用した（【資料5，7】参照）。複数社の製品を用いて手書きデータのデジタル化をテストした結果、P社、M社、G社、F社の製品が比較的認識精度が高かったものの目視確認が必要で、要求水準に達しなかった。それに代わる手法として、入力代行業者にかかる経費について調査した。一例では、500円/データシートで、記号対応は別途費用発生する場合があるとのことである。第3回研究会合（平成30年12月開催）【資料10】において費用と効果からみて、AI-OCR技術が現状の場合、入力代行業者へ来年度以降外注することが適当との提案がなされた。さらには、画像上に直接アノテーションを付ける方法も検討された。アノテーションを容易にするソフトウェアや代行業について現在調査中である。

	meta. No.	chr. No.	cent.No	Tri	Dio	Rc	Ra	Frg	Min	Mar	Remarks
1	0001	4b			2			3			
2	0003	4b			1			1			
3	0004	4b			2			2			
4	0005	47			1			2			
5	0011	47			2			1			
6	0012	47			3			3			
7	0013	45									
8	0014	45			1			1			
9	0021	4b			3			2			
10	0024	4b			3			3			
11	0027	4b			1			4			
12	0032	4b			5		2	3			
13	0036	4b			1			2			
14	0041	47			4			3			
15	0042	47			4			4			
16	0043	47			3			3			chr
17	0045	45			1			1			
18	0047	47			1			4	1		1chr x1
19	0049	45									
20	0053	45			2			1			
21	0055	4b			1			2			
22	0056	47						2			
23	0057	4b				1		4			
24	0059	4b			1			4			
25	0064	4b			3			1			
26	0066	4b						1			
27	0068	47									
28	0070	4b			1			3			
29	0072	45									
30	0078	47			1			2			
31	0079	4b			3			2			
32	0087	45			1			2			

図6. 染色体分析のデータ例（手書き記録）

### 5-3. 検討委員会の開催

\*主任研究者、研究協力者、研究参加者、PO、PO補佐による研究会合を開催した〔第1回（平成30年8月20日）【資料8】、第2回（11月13日）【資料9】、第3回（12月26日）【資料10】、第4回（平成31年3月26日）【資料11】、各3時間〕。

\*研究会合においては、染色体分析技術およびコンピュータによる画像判定技術（人工知能を含む）に関して情報や知見を共有し、検討を行った（5-2. 参照）。

\*染色体異常解析への適用性についての検討と手法の絞り込みについては、今後の試験結果もふまえ更新していくため、次年度に継続する。

#### 5-4. 研究倫理審査等の準備

\*量研 放医研のヒト由来試料（染色体標本および染色体画像データ）を研究協力者と共有することとなるため、研究倫理審査を受け、承認された。

\*これに基づき、データ共有のための安全性の高いサーバを構築した（平成31年2月）（図7, 8）。



図7. ヒト染色体画像のコレクション共有



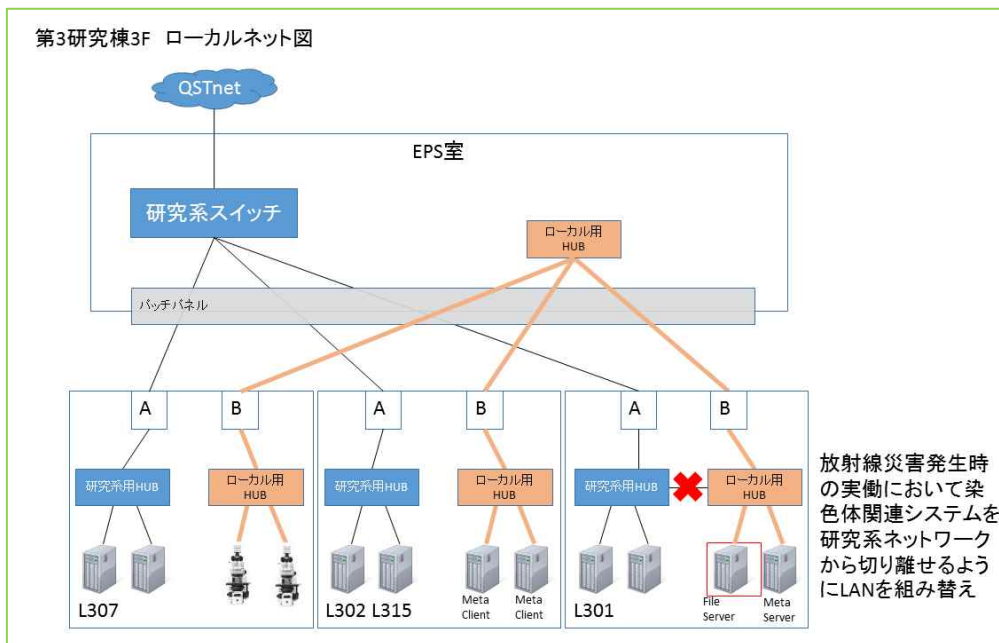


図 8. 放医研ローカルネットワークの構築

## 5-5. テスト用の画像ファイルの準備

### 5-5-1. 染色体異常検出力の比較試験

\*ギムザ染色法、蛍光染色法、3色 FISH 法（染色体ペインティング）（図 9 参照）の染色体異常検出力を調査し、それぞれの長所・短所を調査した。

#### (1) 二動原体染色体分析比較

ギムザ染色および蛍光染色（DAPI を使用）で二動原体染色体異常の検出比較を行った。その結果、採用可能なメタフェーズ数は、DAPI 染色で 90%以上、ギムザ染色で 50~65%と、DAPI 染色の方がよりデータ採用可能なメタフェーズ数が多い（採択率が高い）ことが示唆された。また、照射線量が高くなると、ギムザ染色では DAPI 染色より異常判定の頻度が高くなる（誤判定が増える）ことが示唆された。複雑な染色体異常の頻度が高くなるためと考えられる。

標本 1 枚当たりにかかるおおよその染色費用は、購入試薬の種類（粉末試薬、調整済み

液状試薬などの違い) によるが、ギムザ染色で 100 円未満、DAPI 染色で 400 円以下である。

## (2) 交換型染色体異常分析比較

3 色 FISH 法および M-FISH 法で交換型染色体異常の検出比較を行った。その結果、3 色 FISH 法の方が M-FISH 法より検出力が高いことが示唆された。小サイズの異常部位の検出精度が高いためと考えられる。

標本 1 枚当たりにかかるおおよその費用は、ラボ内で自作するか市販品利用するかで大きく異なる。市販品でも購入単位で大きく異なってくる。市販品を最小単位で購入する場合、3 色 FISH 法で 4,000 円程度、M-FISH 法で 30,000 円程度である。なお、購入単位が大きいかいほど標本 1 枚当りに要する価格は低くなる。

## (3) まとめ

4 手法ともに臨床検査室の染色体検査で広く用いられている手技であり、主要な検査機関では顕微鏡画像取得の自動化も完備されているため、大規模原子力災害における緊急被ばく医療の染色体検査支援要請を検討する場合、実施困難な手法ではないと考えられる。検出力、検査時間、検査費用、国際標準化動向を考慮すると、DAPI 染色法、または 3 色 FISH 法は有用である。また、DAPI 検出によるスクリーニングと 3 色 FISH 検出による精査の併用が有用である可能性がある。本研究では主として従来線量評価に用いられてきたギムザ染色法を調査対象とするが、DAPI 染色法および 3 色 FISH 法についてもその有用性を考慮して来年度の AI 運用試験に加えることとする。

PNA-FISH 法（動原体領域とテロメア領域を異なる 2 色として検出する手法）による二動原体染色体検出力に関しては、現在、調査進行中である。PNA-FISH 法におけるメタフェーズ採択率は DAPI 染色と同等であった。平成 31 年 1 月末に現有の顕微鏡画像解析システムに導入した PNA-FISH 二動原体分析機能を用い、平成 31 年 3 月以降に用意した標本も交えて、平成 31 年度により詳細に検証する予定である。

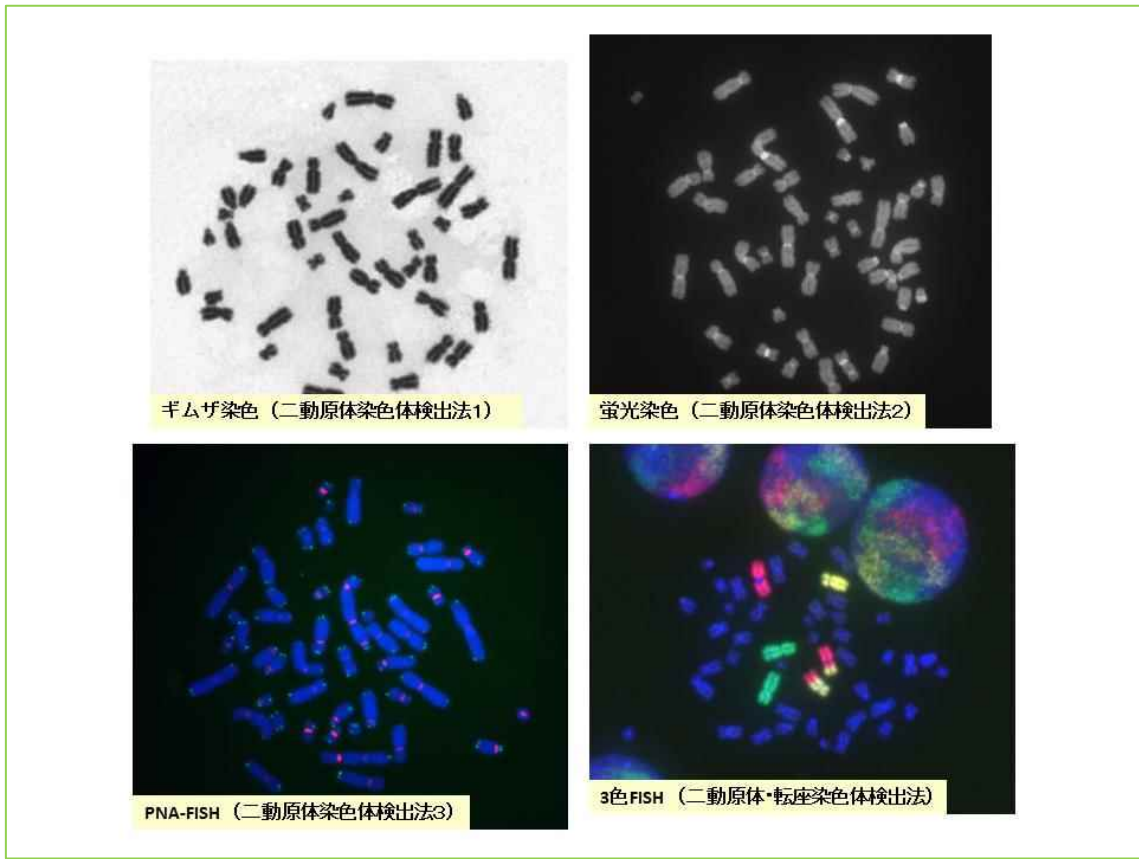


図9. 各種染色体分析法

#### 5-5-2. テスト用の画像ファイルの準備

5-2. と 5-3. に示した成果と倫理審査承認をふまえ、量研 放医研にて画像データ検討会を開催した [全6回、平成30年11月21日、11月22日、平成31年2月27日、3月4日、3月6日、3月13日。出席者は数藤・穂山・平井 (図3、調査研究2 参照)]。ディープラーニングによる画像判定プログラム試用のための画像ファイル準備を開始した。

現在、量研 放医研所有の50万枚を超える染色体画像コレクションからテスト用の画像データの選択を進めている。画像データと目視判定記録の紐付け方法は、本研究における手法のフィージビリティ調査目的に対してはアノテーション方式を採ることとした。人工知能技術の活用により有用とされるサンプル数増大のため、テスト用画像ファイルの準備は次年度継続する。また、今後の人工知能技術導入試験では従来のギムザ染色法を主とするが、将来的な必要性に備えて他の染色法による画像についても可能性を確認することとする。

今年度は、ギムザ染色標本の画像コレクションから以下のものを準備した。

\*もとの画像データ

0～5 Gy 照射標本由来の画像、全ファイル。線量別フォルダに画像を分類して格納しており、目視による染色体分析データが存在する。

\*教師用画像データ

2 Gy 照射および～3 Gy 照射の標本由来の全メタフェーズ画像について、①二動原体をもつメタフェーズ、②二動原体の無いメタフェーズ、③データとして不採用にしたメタフェーズ、の3つのフォルダに分類して格納し、画像上の染色体異常にアノテーションをほどこす作業を進めている。それぞれ、170枚、312枚、402枚である（平成31年3月15日現在）。この段階でディープラーニングによる画像判定プログラム試用を開始した。

## 6. まとめ

平成 30 年度は、情報収集、研究会合（検討委員間での収集情報の共有および検討）、研究環境準備（倫理審査完了および高セキュリティの共有サーバ設置など）を行った。以下の結果が得られた。

### 1) 染色体線量評価における AI 技術の導入例や研究はみられない。

現在、染色体画像自動分析ソフトウェアの主力は 2 種類あり、市販されている。他のマイナーな開発例を含め、誤判定・必要細胞数など課題は多く、開発途上で、少数のラボで実用化に向け長期調整中である。

いずれの既存ソフトウェアも染色体異常の判別に従来型の機械学習を利用している。すなわち、あらかじめパラメータを決定し、適合した染色体のみを分析する。ラボごとに学習用画像を用意しパラメータを模索・設定するものである。

染色体線量評価分野でのさらに進んだ画像解析ソフトウェア開発は後回しにされている。

### 2) 人工知能技術を用いた染色体画像解析の研究報告はみられない。

医用画像診断支援をはじめとする他分野における人工知能技術の導入については多数進行中であり、教師画像データの準備方法を検討する上で参考になった。

本格開発において適合するソフトウェア開発を受注可能とおもわれる企業が数社あり、プロトタイプ開発および本開発にかかる費用・期間のおおよそが判明した。

### 3) 手書きの染色体異常判定データのデジタル化を調査／試験し、検討した。

AI-OCR（AI を導入した光学的文字認識）は現状では不十分であることが分かった。

そのほかに入力代行業者の利用とアノテーション手法の利用がある。今後、目的によって使い分けることとした。

### 4) CNN（畳み込みニューラルネットワーク）画像解析テストを開始した。

一部の画像ファイルを用いて CNN（畳み込みニューラルネットワーク）画像解析テストを行い、適した画像ファイル条件（サイズ、解像度、クロッピング方法、アノテーション方法など）について検討した。教師データの準備をすすめ、200 枚程度という少数からもテストを開始した。

#### 5) ギムザ染色法、蛍光染色法、FISH 法の染色体異常検出力を比較調査した。

蛍光染色法や FISH 法は、染色体検査室では一般的な手法であり、検出力や検出効率はギムザ染色法より高い。このことは、より少ない採血量で十分ということにもつながる。標本 1 枚当たりにかかる試薬費用はギムザ染色法より高い。

#### 6) 平成 31 年度の展開

引き続き各種情報の更新と検討委員による研究会合での議論を行う。

ディープラーニング活用にも有用とされるサンプル数増大のため、テスト用画像ファイルの準備は次年度も継続する。

今後の人工知能技術導入試験では、従来のギムザ染色法を主とするが、他の染色法による画像についても可能性を確認することとする。

## 7. 平成 31 年度の展開

### 7-1. 人工知能技術を導入した画像判別手法の開発に関する検討

《前年度につづき第3四半期まで》

\* 研究開発動向および情報の更新

\* テスト用画像を用いた試験

(注) 人工知能技術を導入した機械学習(ディープラーニング)による画像判定プログラムの使用テストを実施する。染色体および染色体異常の認識精度や実行速度などを評価軸として有効性の検討を行う。

### 7-2. テスト用の画像ファイルの準備

《前年度につづき第2四半期まで》

\* テスト用の画像データの選択と目視判定結果の紐付け(画像検討会 6回程度)

### 7-3. 検討委員会の開催 (4回程度)

《前年度につづき第3四半期まで》

\* 染色体分析技術およびコンピュータによる画像判定技術(人工知能を含む)に関する知識の更新

\* 1. の試験結果に基づく染色体異常解析への適用性についての検討と手法の絞り込み

《第3～4四半期》

\* 画像判定結果の数理統計学的なデータ処理法・線量評価法に関する検討

《第3～4四半期》

\* 総括(染色体線量評価のための画像判別技術開発の提案)

## 8. 参考文献

- 1) Yumiko Suto, Momoki Hirai, Miho Akiyama, Gen Kobashi, Masanari Itokawa, Makoto Akashi, and Nobuyuki Sugiura: Biodosimetry of restoration workers for Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. *Health Physics* 105: 366-373, 2013.
- 2) 国際標準化機構 (ISO), 手順書 ISO 19238 (ギムザ染色による二動原体分析線量評価法の標準化)
- 3) ISO, 手順書 ISO 21243 (大規模放射線事故における二動原体分析線量評価法の標準化)
- 4) ISO, 手順書 ISO 20046 (FISH 転座分析による線量評価法の標準化)



## 9. 成果発表

関連出版物：

- 1) Kulka U, Wojcik A, Di Giorgio M, Wilkins R, Suto Y, Jang S, Quing-Jie L, Jiaxiang L, Ainsbury E, Woda C, Roy L, Li C, Lloyd D, Carr Z: Biodosimetry and biodosimetry networks for managing radiation emergency. *Radiat Prot Dosimetry* 182(1): 128-138, 2018] ([doi: 10.1093/rpd/ncy137](https://doi.org/10.1093/rpd/ncy137) にて公開中) [原著論文]
- 2) International Organization for Standardization (ISO): ISO 20046: Radiological protection - Performance criteria for laboratories using fluorescence in situ hybridization (FISH) translocation assay for assessment of overexposure to ionizing radiation (ISO, 2018). (Y. Suto as a P-member of Working Group 18, ISO/TC85/SC2) [国際標準化機構 (ISO) 文書] (2019年3月より下記 URL にて購入可能：<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:20046:ed-1:v1:en>)

発表 (本研究を紹介)：

- 1) Y. Suto. Individual difference of chromosome aberrations in accidentally exposed workers. ICRP-QST-RERF Workshop on Individual Response to Ionizing Radiation (東京、2018年12月12日) [International Commission on Radiological Protection (ICRP) の会合 招待講演] 【資料1 2】
- 2) Y. Suto. Case report and network activity in Japan. The 5th Coordination Meeting of the World Health Organization (WHO) BioDoseNet (ミュンヘン、2018年6月11日) [WHO の会合 依頼講演] 【資料1 3】
- 3) Y. Suto et al. Cytogenetic biodosimetry of plutonium radiation-exposed workers. EPR BioDose 2018 (ミュンヘン、2018年6月11～15日) [国際学会 ポスター]
- 4) Y. Suto. Biodosimetric Strategy for Radiation Emergency Medicine in Japan. NCT CBRNE Asia-Pacific 2018 (東京、2018年5月28～30日) [国際学会 招待講演] 【資料1 4】

平成 30 年度放射線安全規制研究推進事業 成果報告会：

- 1) 数藤由美子「染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に関する調査研究」(2019 年 2 月 14 日、原子力規制庁)【資料 1 5】

## 10. 資料

### 資料1： 海外調査報告

1) 世界保健機関 生物線量評価ネット会議 (The 5th Coordination Meeting of the WHO BioDoseNet)

と き： 2018年6月11日

ところ： Helmholtz Centre Munich (ミュンヘン)

参加者： 数藤由美子 (量研)

2) 国際学会 EPR BioDose 2018

と き： 2018年6月12日～15日

ところ： Helmholtz Centre Munich (ミュンヘン)

参加者： 数藤由美子 (量研)

3) 国際バイオドシメトリー会議 (International Association of Biological and EPR Radiation Dosimetry; IABERD)

と き： 2018年6月12日 (Scientific Committee)、2018年6月15日 (General Assembly)

ところ： Helmholtz Centre Munich (ミュンヘン)

参加者： 数藤由美子 (量研)

4) 国際標準化機構 バイオドシメトリー分科会 (ISO WG-18)

と き： 2018年6月15日

ところ： Helmholtz Centre Munich (ミュンヘン)

参加者： 数藤由美子 (量研)

5) ラボ訪問

と き： 2018年6月15日

ところ： ドイツ連邦放射線防護庁 (BfS) (ミュンヘン)。U. Kulka 博士および U.

Oestreicher 博士。いずれもヨーロッパの生物線量評価の中心的ラボであり、自動画像解析ソフトウェアを試験し、かつソフトウェア開発者に画像提供をして

いる。

参加者： 数藤由美子（量研）

#### [1] 染色体線量評価における画像解析研究開発の動向調査・情報収集

6月に Helmholtz Centre Munich（ミュンヘン）で開催された国際会議・学会<sup>[注1]</sup>に参加した。ドイツ連邦放射線防護庁（BfS）のラボ訪問や主だった研究者・開発者とのディスカッションを行い、本研究のための情報収集を行った。

本研究に関連した成果（取得情報等）は以下の通り。

#### (i) 線量評価のための染色体画像解析ソフトウェア開発動向

・顕微鏡画像を用いた線量評価： 2社（ドイツの MetaSystems 社、カナダの CytoGnomix 社）により、細胞分裂中期染色体画像の自動取得・自動分析ソフトウェアが開発され市販されている<sup>[注2]</sup>。2社ともに従来の機械学習を利用して開発しており<sup>[注3]</sup>、異なった特徴をもつ<sup>[注4]</sup>。開発に協力している画像提供者（研究者）は異なる<sup>[注5]</sup>。開発者の説明と画像提供者による試用感想は必ずしも一致していない<sup>[注6]</sup>。

・フローサイトメトリーを用いた線量評価： Imaging Flow Cytometry (FCM) 技術を染色体異常等の検出に適用。ImageStream<sup>x</sup> (IS<sup>x</sup>) Mark II (Millipore Sigma 社、400,000 USD)は Time Delay Integration CCD により検出部を通過するフロー1滴ずつの画像を同時に取得できる次世代型フローサイトメーターで、この装置を用いた二動原体分析、小核分析、 $\gamma$ H2X 分析による線量評価法が開発されつつある（Health Canada による論文のみ）<sup>[注7]</sup>。

・人工知能技術を導入した開発： 未だ開始されていない。MetaSystems 社の開発者によれば、より需要のあるがん組織検査や微生物検査のための AI 導入研究を進めており、数年かかる予定。線量評価のための画像解析ソフトウェアへの AI 導入研究開発をするとすれば、前述のプログラムを応用すること。応用研究のための画像提供者は未だいない。

#### (ii) 染色体線量評価に関するその他の情報

・血球計算にもとづく迅速な Clinical Dosimetry (H-module ; 2018年9月発売予定の解析ソフトウェア)の試み [Dr. M. Abendら (BIR、ドイツ)] や、被ばく影響の個人差に

対する警鐘がなされた [Dr. M. Port ら (BIR・ウルム大学・BfS、ドイツ)]。

- ・1 遺伝子の発現変動を利用した線量評価法の開発が報告された [Dr. L. Ainsbury (PHE、イギリス)]。

- ・AFRRI (アメリカ) が 96 ウェルプレート型の細胞培養器および同スライドグラスを用いて細胞培養から染色体画像撮影までを行う多検体用自動装置 RABiT II (700,000,000 USD) を開発した。先行機種と異なりメンテナンスが簡便で、放射線事故・テロが発生した際の正常な起動に安心がもてるようになったとのこと。CytoGnom と併用した二動原体分析<sup>[注6]</sup>。ImageStream<sup>x</sup> (IS<sup>x</sup>) Mark II と併用した小核分析では検出限界 1 Gy [Dr. R. Wilkins ら (Health Canada)]。

- ・統計解析法 Bayesian zero-inflated Poisson finite mixture method が報告された [Dr. L. Ainsbury ら (PHE、イギリス)]。

- ・各種統計解析法の比較と検出限界に関するシミュレーション解析が報告された [D. Endesfelder ら (BfS、ドイツ)]。いずれの数理統計手法でも、検出限界は 150 mGy 程度と判明したとのこと。この見解は、約 50 万細胞の FISH 分析をした論文 (数藤ほか、2015) と一致している。

- ・ヨーロッパネットワーク RENEb の Intercomparison Study を分析した結果、ラボ間・目視検査者間の判定の差違よりも線量効果曲線 (検量線) の精度の影響が大きいことが報告された [E. Gregoire ら (IRSN、フランス)]。検量線の検定は必須である。

### (iii) ISO の動向

- ・新プロトコルの発行 (FISH 転座分析による線量評価、2019 年中) (参考文献 2) および既存プロトコルの改訂 (ギムザ染色二動原体分析による線量評価、2019 年中) (参考文献 4)。

- ・検出限界の定義を正すこととなった [前述(ii) D. Endesfelder らによるシミュレーション解析を参照]。

- ・次期の課題 (案) は「自動分析の標準化」(画像取得および画像解析) が第一候補になった。次回会議 (2019 年 8 月マンチェスターが第一候補) で課題を決定する予定。

### (iv) WHO BioDoseNet の動向

- ・二動原体判定の練習用画像コレクションのウェブサイトを設けることとなった。フランス IRSN のウェブ専門家がサイトを準備・維持する予定。

- ・技術や統計解析法の進歩により、IAEA マニュアル（2011年版）の改訂が望まれた。
- ・メンバーが中心となって ICRR 2019（The 16th International Congress of Radiation Research、2019年8月25日～29日、マンチェスター）においてヒトゲノム／染色体研究をテーマとしたシンポジウムまたはサテライトミーティングを開く方向で準備を進めることとなった。
- ・2018年中に第4回 RENE B Intercomparison Study（ヨーロッパ）、第2回 ARADOS Intercomparison Study（アジア）が行われる予定。域外のラボの参加も可。

[注1] 全日程・内容等については <https://www.eprbiiodose2018.org/> 参照。

[注2] ①MetaSystems 社 [Metafer, ver. 5; MSearch, DCSScore]（ドイツ）(<https://www.zeiss.co.jp/microscopy/local/local-products/metasystems/metafer.html>)。  
 ②CytoGnomix 社 [Automated Dicentric Identifier and Dose Estimator (ADCI)](<http://www.cytognomix.com>)（カナダ）。なお、先行して開発された MetaSystems 社製は本研究における現有機器であり、本研究において機能追加を予定している。（→2019年1月完了）

[注3] 人間があらかじめパラメータを決定し、適合したメタフェーズ像のみを画像撮影し分析する。学習用画像を増やすことで（100枚から3000枚程度まで）、パラメータを補正していく。

[注4] MetaSystems 社製：最新版はギムザ染色標本および PNA-FISH 標本に対応。ハイスペックの PC を要する。すべての染色体を直線的に変形させ、パラメータにより分析可能と認識した染色体を採択する。1枚の標本から得られる画像（約1000細胞）につき約2分で二動原体検出を行うことができる（従来の完全目視観察の場合16時間を要する）。1個の細胞（正常細胞には23組46本の染色体が存在する）につき、4割～6割の染色体を採択する。このため、従来の「1細胞当たりの染色体異常頻度を指標とした線量評価」はできない。テストした論文が2013年に2つのラボから出ている（フランス IRSN、ドイツ BfS）。BfS では30～50本ある細胞を1細胞として換算しているとのこと。IRSN、BfS、当ラボでのテスト（今回の WHO BioDoseNet ミーティングで発表した）から、バックグラ

ウンド値が高く、偽陽性について画像を目視判定しデータ修正することで、1 検体当たり 3000～5000 細胞以上の画像を用いれば 1 Gy 以上の被ばくかどうかの判断は可能であることが示唆されている。1 ライセンスにつき約

CytoGnomix 社製： 開発されて間もない製品で、論文は開発者からの 1 報のみ。パラメータにより、動原体が 45～47 個あり、かつ分析可能と認識した分裂中期染色体（メタフェーズ）像を採択する。このため不採用率が高く、MetaSystems 社製より多くの細胞を用意しなければならない。ギムザ染色標本にのみ対応。学会期間中にノート型 PC による解析デモを見ることができた。Metafer (MetaSystems 社)により取得されたメタフェーズ画像のほか、ImageStream<sup>x</sup> (IS<sup>x</sup>) Mark II (Millipore Sigma 社)や IN Cell Analyzer (GE ヘルスケア社) により取得された画像にも適用できるとのこと。1 ライセンスにつき約 35,000 USD/year。

[注 5] 画像提供者は BfS (ドイツ。ギムザ染色標本。EU 線量評価ネットワーク RENEB の中でギムザ染色による二動原体分析線量評価を担当)、PHE (イギリス。RENEB の中でギムザ染色による二動原体分析、小核分析、統計解析、および遺伝子発現変動による線量評価法開発を担当)、Health Canada (カナダ。ギムザ染色標本。ISO WG-18 委員長および北米線量評価ネットワークの代表的機関)、Dr. Gabriel Pantelias (ギリシャ。細胞融合による PCC の PNA-FISH 標本。RENEB の中で同手法による線量評価を担当)。

[注 6] 論文が出版され実用段階に入りつつあるのはギムザ染色による二動原体分析のみ。画像提供をした試用者によれば、染色体標本はラボごとに特徴が異なるため、ラボごとにパラメータ補正をする必要がある。

開発と販売が先行する MetaSystems 社製を利用している BfS は、2013 年に論文を出しているが、実際に事故対応における導入を目指しているとのことで、現在、精度向上 (パラメータ修正による改善) を進めながらテストを行っている (参考として最新のパラメータ設定を当ラボに提供してくれた)。MetaSystems 社製の最新版で解析が可能となった PNA-FISH 標本の方は、協力研究者から画像を集めている状況 (PNA-FISH の二動原体分析用標本の方は解析があまり上手くいかないもよう。PCC 標本の方は学会期間中に Dr. Pantelias が提供を同意した。帰国後に画像を提供するとのこと)。

CytoGenomix 社製の試用は画像提供により開発協力をしている Health Canada のみ。最近、カナダとアメリカ組んで北米ネットワークが発足した。アメリカ AFRRI が開発した、

96 ウェルのプレートを用いて細胞培養から画像撮影まで行う多検体用自動装置 RABiT II に CytoGnomix 社製の染色体自動分析ソフトウェアを組み合わせたという報告が当学会においてなされた。大規模テロに備えて、全米の自動核型分析システム (Zeiss 社、Leica 社など。自動でメタフェーズ画像の取得が可能な顕微鏡システム) を備えた一般的な臨床細胞遺伝学検査室に協力を求めているところである。テロのシナリオを設定した机上テストが報告された。

[注7] 二動原体分析では蛍光標識した PNA プローブを用いて染色体の動原体とテロメアに異なる蛍光色素を結合させた状態の細胞について、核膜を穏やかに溶かして染色体を解放し、フロー1 滴中に 1 個の染色体が入るように設定。小核分析では DAPI を用いた核酸染色等を、 $\gamma$ H2X 分析では  $\gamma$ H2A タンパクの蛍光抗体を用いた染色を行う。バックグラウンド値が高い。偽陽性について画像を目視判定しデータ修正することで、多検体に対して、1 Gy 以上の被ばくかどうかの判断は可能 (したがって CCD 機能の無い一般的なフローサイトメーターでは不可能)。しかしながら、試験段階に留まっており、実際の検体受け入れにおいては従来のギムザ染色による二動原体分析 (目視判定。被ばく事故後 4 週間以内の症例に適用) および 3 色 FISH による転座分析 (目視判定。被ばく事故後時間が経っている症例についてレトロスペクティブな線量評価に適用) を実施し、かつ全カナダの一般的な臨床細胞遺伝学検査室に対し積極的に研修を行っている。



## 資料 2 : 第 90 回日本遺伝学会大会 報告

学 会 : 第 90 回日本遺伝学会大会  
と き : 2018 年 9 月 19 日～9 月 21 日  
と ころ : 奈良先端科学技術大学院大学  
参加者 : 長田直樹 (北大)、弓至 (北大)

日本遺伝学会大会は今年で 90 回目を迎え、日本の染色体研究を長い間支えてきた重要な学会である。今大会には、委員である長田・弓の二名がすべての日程について参加し、染色体研究および AI (機械学習) 研究に関する調査を行った。

本調査課題である、「AI を用いた染色体画像診断」と同じ目的をもった研究、または直接関連する研究発表はなかったものの、いくつかの発表では AI を用いた遺伝学研究が行われていた。長浜バイオ大名誉教授池村博士が行った、「AI に導かれた感染症 RNA ウィルスの分子進化研究」と題した発表では、BLSOM (一括学習型自己組織化マップ) という教師なし機械学習を用い、各種ゲノム配列のクラスタリングを行ったほか、AI と時系列解析を合わせて用いることでインフルエンザやエボラなどの RNA ウィルスの分子進化推定の可能性を示していた。BLSOM とは、多次元情報を任意の次元へ写像するための AI である SOM (自己組織化マップ) に、ゲノム情報を解析するために「入力データの順序によって結果が変動しない」という特徴を付加したものである。各塩基配列 (2 塩基であれば AA、AG、AC、AT、GA、...TC、TT) のゲノム内出現頻度を要素とし、各種のゲノム情報を 2 次元マップにクラスタリングすることが可能になる。また、この手法は RNA ウィルスにも用いることが可能であり、時系列に沿ったデータを用いることで、ヒト集団に侵入した後のウィルスがどのように変異していくのか、を各塩基配列の増減を予測することから推測することが出来るということを述べていた。この研究によって、核酸医薬を開発する上で「待ち構え型」の医薬開発を可能にすることができる、とも述べていた。この研究は生物学分野における AI の学習能力の有用性を示しているだろう。

また、染色体の構造をゲノム配列データから探る手法についても大きな進展があり、いくつかの興味深い発表が行われていた。東京大学の小田博士が行った、「Hi-C データで得られる染色体の距離情報を扱う」と題された発表では、核内の染色体同士の近接情報を獲得する Hi-C (複数セルで行うよりクリアなデータが得られるシングルセル Hi-C) という手法で得られた情報を数理的に処理する解析手法を紹介していた。十分な情報量と数理的な理

解力と解析に用いる計算力があれば、一見まばらと思える情報からも正しい結果を得られるということだった。

以上のように、染色体解析の新しい技術革新、AI を用いた生命科学研究の双方について大きな進展がみられているが、「AI を用いた染色体画像診断」を直接扱う研究は無く、今後研究を進めていく価値があると感じられた。

### 資料3： 日本人類遺伝学会第63回大会 報告

学 会： 日本人類学会第63回大会

と き： 2018年10月10日～10月13日

ところ： パシフィコ横浜

参加者： 数藤由美子（量研）、穠山美穂（量研）

日本人類遺伝学会はヒトを中心とした遺伝学の基礎研究や遺伝医学研究を支えてきた。今大会は参加者数 2500 名を超え、数藤、穠山の 2 名がすべての日程について参加し、AI（機械学習）を利用した研究に関する調査を行った。また染色体やゲノムの解析・臨床検査の情報を収集した。

#### 【大会テーマ】

近年、遺伝医学は驚異的に進歩・発展し続けている。ゲノム DNA を圧倒的なスピードで解析できる解析技術が登場し、ありふれた疾患や体質などに関与するゲノム多様性、個人ごとの全ゲノム解析（パーソナルゲノム）、母体血のみで可能な新型出生前診断、分子標的治療薬探索の癌ゲノミクス、再生医療のための品質管理など、成果が次々ともたらされ、医療分野にも多大な影響を及ぼしつつある。このような時代背景のもと、本大会のテーマは「Genomes - solutions to lives」（ゲノム情報は、健康から疾患までヒト生活の鍵、またあらゆる生命の鍵）とした。新たな生命科学、医療、健康の叡智を創出する場とするのはもちろんのこと、ゲノム情報を適正かつ有効に社会へと実装化してゆく基礎となる情報を提供する大会を目指す。（大会 HP より抜粋・編集）

#### 【人工知能技術を利用した研究】

##### 1) 画像データ

1-1) 機械学習による筋病理診断支援システム開発（国立精神・神経医療研究センター・神経研・疾病研究第一部 西野一三）

筋疾患の多くは病理学的所見によって分類・定義がなされている。筋病理診断は筋疾患

診断において主要な役割を果たしているが、特殊な専門知識が必要であるため、筋病理専門医が必要である一方で、筋疾患は希少であることから専門医数は極めて限定されている。また、AI を用いた臨床診断としては、未だ「肺がんか否か」といった単純な例（Nature 誌ほか）しか論文報告されていない。本研究では世界中どこからでもアクセスでき、筋病理写真をアップロードすれば簡易診断を行えるシステムを構築することとした。当センターで筋病理診断が行われた症例の筋病理画像を用いてディープラーニングを使った筋病理診断支援システムの開発を試みた。モデルとして臨床病理学的に鑑別の難しい筋ジストロフィー[MD、治療困難、当センターの遺伝子パネル (UCMD, FCMD, LGMD2A, LGMD2B, ほか) を用いた診断率は 46.2% (J. Med. Genet 54: 104-110, 2017)] と免疫介在性壊死性ミオパチー (IMNM、治療可能) を採り上げ、単純化のために 5 種類以上ある染色法から HE 染色の写真のみ (顕微鏡用カメラ画像) を用いて、鑑別するシステムを構築した。当センターで 1979 年以来集めてきた MD 855 例、IMNM 1092 例のうち、MD 807 例と IMNM 960 例の画像をトレーニング・セットとし、11 層の畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の訓練を行った (日本 IBM)。残りの MD 78 例と IMNM 112 例の画像はテスト・セットとし、本モデルの分類制度を評価した。AI による正答率は 4 回のテストで 84~88% であり、筋病理診断医の 1 年目から熟練者までを含む 7 名による診断正答率 (49~78%) を上回った。専門医が予め疑わしいとおもった領域をマークしておいた標本をあらためて Whole Slide Scanner で全スキャン (圧縮率は 4 倍、8 倍、10 倍の 3 種類を用意) して得た画像では、診断の正答率は AI で 70~80%、専門医で 60% 以下であった。現実の医療現場では、専門医は複数の染色法を用い、かつ、臨床症状や遺伝子検査結果を交えて総合的に判断するので、正答率はずっと高い。しかしながら今回のように 1 種類の染色法で AI の方が人間より正答率が高い理由は不明である (人間が注目していない何らかの診断ポイントがあるはず)。いずれにせよデータセットの質 (と量) が重要であることが分かった。今後さらに Multi-disease への対応、筋ジストロフィーがさらに分類できるかにも挑戦する。

1-2) 遺伝医療・ゲノム医療における診断学~dysmorphology (異常形態診断学) (埼玉県立小児医療センター遺伝科 清水健司)

- ・表現型 (phenotype) とは、個体においてゲノムの一次構造を除く全ての形態学的もしくは機能的な特性。
- ・異常形態診断

→ 外表形態に基づく（先天形態異常、奇形症候群）。質的には一般集団の 2.5%未満、量的には $\pm 2SD$ 。Human Phenotype Ontology（HPO）において標準記載法と定義を規定。琉球大学の診断ツール [Syndrome Finder、後述 2-2）参照] などあり。

・ phenotyping をゲノム・AI 時代にリンクさせる

→ 1st phenotyping（ゲノム検査前の記述）、2nd phenotyping（候補変異から導かれる疾患の rule out/in）

→ AI 利用：アプリケーション FACE2GENE (<https://suite.face2gene.com>) による顔認証=10 万人以上の情報（画像、民族をはじめとする属性）。医療への適用 [Face2Gene 開発チームは Facebook の顔認証機能作成と同じメンバー。目の下垂、眼瞼裂（目の切れ目）の狭小、耳の位置の低さ等の程度を高速で計算・定量化し、最も可能性が高い疾患を導き出す]。異常形態の典型的特徴を作成、ディープラーニング、ヒートマップ表示へ（疾患と関連の高い特徴を顔写真上にヒートマップで示す）。ただし AI では思考過程が不明。また、画像情報の安全性は整備途上にある（今後の課題）。

## 2) テキストデータ

2-1) 人工知能を用いたデータマイニングと全ゲノムデータ解析技術の融合によるメンデル遺伝性疾患の新規疾患遺伝子同定への試み（京大医・ゲノム医学センター 川口修治）

全ゲノム塩基配列を患者と対照群で比較することで、多くのメンデル型遺伝病の原因遺伝子の同定が期待されているが、現在、大多数の疾患において、既知の原因遺伝子に原因変異を同定できる症例は解析症例数の 3 割程度に留まっている。ゲノム全体を対象とした解析では疾患との関連を持たない大量の変異が検出される（特に、複数の原因遺伝子が関与し、各原因変異の頻度が低い疾患では、膨大な数の変異から真の原因変異を特定することが極めて困難）。本研究では、膨大な文献情報をテキストマイニングし知見を導き出すことに優れた IBM Watson for Drug Discovery (WDD) (Medline 上の数千万の文献に基づく Predictive Analysis; PA) を基盤に、全ゲノム配列情報から原因遺伝子を同定する手法の開発を試みた：①疾患群、対照群の検体の全ゲノム情報から既知の疾患原因遺伝子のゲノム情報を抽出し、遺伝子変異のパターン別に分析し、疾患群と対照群の分離が可能な最適パラメータや閾値を学習によって決定。②学習結果をゲノム全域の遺伝子に適用し、①

で決定した条件を満たすような変異を含む遺伝子群を抽出。③WDD を用いて①の既知遺伝子と②で抽出された遺伝子の関連を算出し、②の遺伝子をランク付けし、ランクが上位のものを原因遺伝子の有力候補とする。[注：RedNet（テキサス大学）も用いて教師データを作成し、Open Target Platform (Facebook) を利用し、WDDの結果(WDD ranked genes) を GO/Pathway 解析へ。] 本研究ではモデル疾患として網膜色素変性（RP）523 症例と対照群 2143 人の全ゲノムデータを適用したところ、既知の原因遺伝子（20 遺伝子）のみのゲノム解析での診断率が 37%であったのに対し、WDD が導き出した上位 80 遺伝子を新たに診断に加えることで診断率は約 15%向上した（偽陽性診断率 0.2%）。

## 2-2) 人工知能（IBM Watson）および遺伝性疾患データベースを活用した希少・難病診断支援システムの構築（国立成育医療研究センター・ゲノム医療研究部 要匡）

人工知能には様々な種類があり、それぞれの得意分野を生かし、データを組み合わせることで、学習機能を持つ有効なツールが構築可能となる。本研究ではデータとして遺伝子関連疾患に着目した。遺伝子関連疾患は OMIM（メンデル遺伝カタログ）の登録だけでも約 8500 あり、希少疾患が多数を占めその診断は困難なことも少なくない。琉球大学の成富らは、患者の症状から診断を補助する目的で、OMIM 情報、文献情報等を基にした遺伝性疾患データベース（UR-DBMS）を構築し、また診断支援システム（Syndrome Finder）を作成、公開している。本研究では、自然言語処理、ディープラーニングを得意とする AI（IBM Watson）と前述のデータベースとの融合により、より精度の高い診断補助システムの構築を目指した：①自然言語処理による症状抽出システム、②症状に基づく候補疾患の合致スコアとヒートマップによる視覚的表示、③他の情報等付加による鑑別の向上、④指定難病・小児慢性特定疾病の表示やウェブサイトへのリンクを搭載。検証として、プロトタイプに 15 疾患、31 症例の実際の症状を抽出して入力した結果、約 70%で該当疾患が提示され、遺伝子関連疾患の診断に有効であると考えられた。システム構築においては高品質のデータセットが重要で、患者カルテには適切な用語を選定して記載し、また AI を利用することで、言葉のゆらぎをなくすことができた。

## 2-3) 精密医療を目指したがんゲノム解析（東大医科研・臨床腫瘍ゲノム学 古川洋一）

最近の癌治療（抗癌剤）は従来の正常な細胞も攻撃してしまうようなものから、チェッ

クポイント阻害剤を用いる方向になってきており、標的分子やチェックポイント阻害剤が重要となっている。技術の進歩により全ゲノムシーケンシングも可能となっているが、遺伝子変異の一つ一つを調べるには時間がかかる。そこで全ゲノムシーケンスデータと AI (IBM Watson) を組み合わせた。AI に文献・症例報告、患者情報 (治療歴・家族歴等) を学習させ、患者の次世代シーケンスデータを入れて変異のある遺伝子候補 (標的分子) を探索した。これにより、患者へ治療提案するまでの時間が、従来 1 週間程度かかっていたものが 10 分程度で可能になった。ありふれたゲノム変異とは異なる (少数の報告例がある) 変異を持つ場合でも検索が可能であった。ただし、AI 学習させているチェックポイント阻害剤のデータベースは海外のものも含むため、日本で未承認の薬に当たる場合も少なくなく、治療提案においては適用が困難となることが少なくない (海外から個人輸入する方法があるが、高価なため断念する、など)。

#### 【染色体・ゲノム解析手法】

- 1) ロングリードシーケンシング技術 (利用した場合の実情を含む) (説明省略)
  
- 2) パネルディスカッション：ゲノム研究ドライ解析の現状と未来～遺伝学、GWAS、オミクス、そして AI～ (機械学習の利点、弱点を理解して開発し、社会実装することが重要だが、オープンクラウドデータや仮想データが不足。ヒトデータの公開や共有化は倫理上難しいため) (以下説明省略)
  
- 3) 調査対象 AI 関連企業の追加候補
  - ・ Preferred Networks (バイオヘルスケア事業：医用画像の解析、血液によるガンの早期診断技術の研究開発。2017 年 12 月から国立がん研究センター等と共同研究を行う)  
(<https://www.preferred-networks.jp/ja/>)
  - ・ IBM Watson (AI 活用によるビジネス変革) (<https://www.ibm.com/watson/jp-ja/>)  
→ WDD (<https://www.ibm.com/jp-ja/marketplace/ibm-watson-for-drug-discovery>)。  
京大の共同研究者に日本 IBM・ソフトウェア&システム開発研究所や日本 IBM・グローバルビジネスサービス・ヘルスケアサイエンスの名が挙がっていた。神経医療研究センターも日本 IBM を利用。

- ・ Face2Gene (Facebook の顔認証機能開発チーム) (<https://suite.face2gene.com>)
- ・ NEC [NEC AI-OCR (Optical Character Reader) サービス、2019 年 3 月から] (<https://jpn.nec.com/ocr/lineup/images/ai-ocr.pdf>)、Microsoft (2018 年 10 月プレスリリースあり) 等の OCR の調査

4) 染色体検査の後継者育成 (ゲノム診断がメジャー化しつつあるが、染色体検査は依然有用で、臨床検査会社を中心に後継者育成が進められている。昨年度、臨床細胞遺伝学認定士は 27 名の新規申請があった。)

以上。



#### 資料4： 第1回メディカルAI学会 報告

学 会： 第1回メディカルAI学会

と き： 2019年1月25日～26日

ところ： 国立がんセンター研究所・新研究棟（築地）

参加者： 高島良生（量研）

##### 参加の目的

本研究課題周辺分野でのAI研究状況調査のため

##### メディカルAI学会について

2018年7月に創設された新しい学会にも関わらず昨年末で会員数700人超となり現在は新規入会を停止している状態。今回の学術集会についても事前登録参加人数が1200人を超えたため参加募集を途中で締め切ったとのことで、この分野への関心の高さが伺える。会員構成は医療研究・臨床で合わせて6割ほど、次いで情報処理関連分野研究者、企業関係者など。来年度第2回学術集会は会場を大きくして東京ビッグサイトに2020年1月末に開催予定。

##### 第1回学術集会について

発表会場が2室に分かれていたため、メイン会場のシンポジウム19演題および基調講演4演題を聴講した。主なものは以下の通り。

##### 診断・検診支援

ディープラーニングの読影画像解析では、肺腫瘍の検出や、胸部像から骨組織の映り込みを弱めて表示することで肺や軟部組織の可視性を向上させる技術開発、CTにおいて高線量高解像度撮影と低線量低感度撮影の対応を学習させて低線量撮影画像のみから高解像度画像を得る例などが報告された。肺腫瘍の画像検出では、腫瘍部位のアノテーションを医師が行う必要があり品質の高い教師画像データ収集が大変とのこと。リアルタイム解析の例としては、内視鏡検査時にリアルタイムに腫瘍部位をハイライトするリアルタイム内視鏡診断支援システムが複数のグループから報告された。内1グループでは5000例の病変ありなし画像・動画を使用して学習させた結果、感度93

～98%、特異度 99%の正確性を得ている。この結果は感度、得度、診断時間どれも AI が人による診断に勝っているとのこと。また腫瘍以外にも超音波検査による胎児心臓異常スクリーニング検査が報告された。

#### 診療支援

がんゲノム診断においては、パネルシーケンスでは不十分でフルゲノムシーケンスが多用されており、その結果得られる数千の変異と論文等情報との対合はもはや人の処理能力を超える作業になってきており、さらに血液腫瘍では 4 日間程度で結果を返さないと診療に役立たないことから AI とスーパーコンピュータによる解析が必要になっている。東大医科研では 2015 年に IBM Watson for genomics を導入。

#### 創薬支援

創薬におけるターゲット検索、ドラッグデザイン、安全性・前臨床試験など様々なステップで AI の活用が開発されている状態。ドラッグデザインでは過去の実験結果にあるタンパク質と結合する化合物の組み合わせを教師データとして学習させ新規ターゲットとなるタンパク質と結合する化合物をデザインさせる報告、新規化合物の薬物動態予測や薬効予測等が報告された。

#### その他

AI の医療分野での活用に法的整備が追いついていない状況があるが、最近厚生労働所がいくつかの方針を示している。「人工知能 (AI) を用いた診断、治療等の支援を行うプログラムの利用と医師法第 17 条の規定との関係について (課長通知)」等。米国では医師の介在なしに診断可能な糖尿病網膜症診断装置が昨年 FDA 承認されている。医療機器は「性能が維持されること」が重要であるが、AI は使用を重ねることにより学習して性能を向上させることが可能なことから、将来的には整合性を取る必要がある。

以上。

## 資料5： 第1回情報収集（ヒアリング） 報告

と き： 2018年10月2日

ところ： QST東京事務所 第一会議室（富国生命ビル、内幸町）

情報提供者： 金谷泰宏（保健医療科学院健康危機管理部 部長）

江藤亜紀子（同上 上席主任研究官）

市川学（芝浦工業大学システム理工学部 教授）

聴き取り担当者： 数藤由美子（量研）

成果：

- ①複数社の機械学習のライブラリが紹介された。
- ②AI研究の人材： 人工知能技術の専門家を雇用または研究委託する場合の条件について情報が得られた。売り手市場で喫緊の大型研究事業（国および大規模企業）への参加も多く、小規模の研究で公務員研究職程度の給与での雇用は難しいようである。工学系だけでなく医学部のコンピュータ解析部門にも人材があり得ることが分かった。
- ③手書きデータ電子化1： 手書きの染色体異常判定データのデジタル化のために、第一に、AI-OCR（AIを導入した光学的文字認識）の可能性を議論した。M社をはじめとする複数のアプリケーションが紹介された。（今後の調査対象とした。）
- ④手書きデータ電子化2： 第二に、手入力の可能性を議論した。小規模または個人の入力業務代行業があり、データの枚数または行数で単価が決められており、特定の言葉・文字を拾う、手書きの図を写すなど、作業を指定することが可能。ただし、情報セキュリティの確保に要注意。（今後の調査対象とした。）
- ⑤統計数理解析の人材： 複数の研究機関・研究者が紹介された。（今後の調査対象とした。）

## 資料6： 第2回情報収集（ヒアリング） 報告

と き： 2019年3月6日 10:00～12:45

ところ： QST 東京事務所 第一会議室（富国生命ビル、内幸町）

情報提供者： 野里博和（産総研）

聴き取り担当者： 数藤由美子（量研）、高島良生（量研）、長田直樹（北海道大学）

成果：

### ①講義（研究開発例の紹介）

技術力の高い日本の産業界では、非常に稀な異常（不良品、不良箇所）の検出を行うという特徴がある。また、医療分野では、（人類遺伝学会での発表でみられた筋病理診断支援研究と同様に）学習用の異常データが少ないという特徴がある。

産総研・人工知能研究センターにおける、医療診断支援としての画像認識技術、および土木分野でのトンネル壁面打音検査における音響解析技術についての開発手順が紹介された。それぞれの研究開発例は本研究で大いに参考になった。

\*Deep Learning (DL) を用いて色々なプロジェクトをやっている。医療分野については、がん組織の組織切片からの検出と膀胱がんの内視鏡映像。産総研のグループでは「異常」を検出するプロジェクトを行っている。異常データは、特に日本では少ないため、十分な数をそろえることができない。したがって、DL を用いて正常データから特徴量を抽出し、それと観察データとの距離を見ることによって、これまで出てきたことのないパターンを検出する。風力発電の振動データから部品交換を予測する、トンネルの壁を叩いて反響音から欠陥を検出する、といったプロジェクトも進行している。

\*画像データの解析では、転移学習が流行している。イメージネットなどの学習済みモデルのファイン・チューニングを、自分もっている学習データを用いて行う。それぞれのデータで学習を行わなければならない理由は、病院ごとの写真の違いや医師の判定のくせなどが存在するためである。現在のプロジェクトでは少し教えた学生に一次学習データを作らせておき、それを医師が再判定したデータを使ってさらに細かいチューニングを行っていく。（段階的転移学習）

\*データの質が重要. どのようなものを最終的に作りたいかによって, どのようなデータを集めなければいけないかが決まる. 誰が, どのような基準で判定したのかということが, 手法の標準化にとっては重要である. データがあれば, 最初はおおざっぱにやって, 後から細かい分類を行うようなやり方もある.

\*転移学習に使える U-Net は, X 線画像の識別にも使われており, 良い成績を残している.

\*画像の認識サイズについて, 512px 四方くらいでやっているものが多い.

## ②講義 (ABCI の紹介)

産総研の大規模 AI クラウド計算システム「ABCI」の紹介が行われた。

- ・産総研の計算機システムは, 研究機関向けには安く提供されている. (内部利用者も同じ値段). ポイントを年度ごとに買って使い切る形.

- ・外から自由にアクセス可能. アカウント数は複数可能である. わざわざスタンドアロンのサーバーを購入しなくても DL が行えるのが利点である.

- ・毎年行われるコンペティションで優秀な成績を上げた各種モデルが装備されており, 利用可能である.

## ③北大における進捗報告

画像解析検討として, U-Net によるセマンティック・セグメンテーションが有効であることが報告された。

以上

## 資料7： AI 開発関連企業の調査 報告

### 1) CEATEC JAPAN

と き： 2018年10月16～19日

ところ： 幕張メッセ

調査者： 高島良生（量研）

### 2) AI・業務自動化展【秋】

と き： 2018年10月24日～26日

ところ： 幕張メッセ

調査者： 高島良生（量研）

成果：

\*全自動お片付けロボットシステム、医用画像の解析（Preferred Networks 社）、顔認証入場システム（NEC）、トマトの実・枝・幹認識モデル（インキュビット社）、その他、画像認識による工場ライン等の検品システムが多数みられた。

\*手書きデータのデジタル化について複数社の情報を得た。

## 資料 8 : 第 1 回研究会合 議事概要

### 開催日時

平成 30 年 8 月 20 日 (月) 14 : 00~17:00

### 開催場所

量子科学技術研究開発機構東京事務所第一会議室

### 参加者

主任研究者 : 数藤由美子(量研)

研究協力者 : 長田直樹、弓至(北大)、平井百樹(東大)

研究参加者 : 高島良生、穂山美穂(量研)

PO/PO 補佐 : 中村吉秀(JRIA) /渡邊裕貴(原子力規制庁)

### 議題

- (1) 研究計画の説明・研究協力者の紹介
- (2) 染色体線量評価法の原理について (数藤)
- (3) 人工知能技術等を利用した画像解析技術について (長田)
- (4) 染色体線量評価法における画像解析技術についての調査報告 (数藤)
- (5) 討議
- (6) 諸手続 (研究倫理審査等) に関する打合せ他

### 議事概要

これまでに行われている染色体線量評価法および人工知能による画像判定技術についての解説が行われ、これに関して、染色体異常判定や検量線のばらつき要因について、国際標準化機構による染色体線量評価技術標準化の内容について、画像判定を行う染色体画像の諸条件について、さらに今後の染色体異常判定画像解析プログラムの開発手順の詳細および想定される課題について、確認と議論が行われた。

染色体画像解析についての最新動向について、特に国際標準化機構バイオドシメトリー分科会、世界保健機関バイオドシメトリーネットワーク会議および EPR・BioDose 2018 国際学会における調査報告がなされた。現在のところ染色体画像を得るための血液細胞調整や

標本作製、染色体画像の撮影などの自動化が開発・実用化されている。二動原体染色体異常の判定において、従来型のルール(パラメーター)設定型画像解析システムはドイツおよびカナダの企業から発表されているが、ディープラーニングによる異常判定システムの存在は認められなかった。また既に発表されている判定システムにおいては染色体認識精度、線量推定下限値、目視による再チェックの必要性などの問題が解決されていないことが報告された。

その他討議として、今後の研究開発の手順について、研究参加機関での研究倫理審査の方法と内容について、学習用画像データの準備方法および共有方法について、確認が行われた。さらに今後の研究スケジュールについて、第2回研究会合を9月もしくは10月に開催すること、年度末の成果報告に向けての準備について確認が行われた。

以上



## 資料 9 : 第 2 回研究会合 議事概要

### 開催日時

平成 30 年 11 月 13 日 (火) 14 : 00 ~ 17 : 00

### 開催場所

量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所第 3 研究棟 L315 室

### 参加者

数藤由美子(量研)、長田直樹(北大)、平井百樹(東大)

### 議題

- (1) 情報収集のための出張の中止 (1 件) および研究協力者の交代について (数藤)
- (2) ヒト研究倫理審査の承認およびヒト研究倫理研修の受講について (数藤・長田)
- (3) 進捗状況の報告および収集情報の共有 (全員)
- (4) 討議 (人工知能技術等を利用した画像解析技術のためのデータ編集、ほか) (全員)

### 議事概要

1. カナダの研究機関 (Health Canada および企業) への訪問の中止と、統計数理学専攻の研究協力者の交代案が了承された。今後契約変更の手続きを進める。
2. ヒト研究倫理審査について、研究代表者の機関 (量研) では 10 月 15 日付で研究計画が承認された。研究協力機関の北大・工学部については、研究倫理審査委員会が無いため、そのような機関に対する量研の審査制度を利用する。
3. 遺伝学会 (9 月)、人類遺伝学会 (10 月)、研究者・国内関連企業ヒアリング (10 月) で収集した最新技術および研究者・関連企業に関する情報を共有した。  
平成 30 年度内は国内の AI 関連の開発企業訪問および研究会参加を追加し、また平成 31 年度前半に海外の企業を訪問する方向で調整する。
4. 画像のカテゴリーとその電子化について具体的な方針を決定した。  
会合スケジュールについては、第 3 回研究会合を 12 月 26 日に開催することとした。第 4 回研究会合 (最終) については 1~3 月中のスケジュール調整を行う。また、画像データに関する検討会のスケジュール調整も行う。 以上

## 資料 10 : 第 3 回研究会合 議事概要

### 開催日時

平成 30 年 12 月 26 日 (水) 14 : 00~17:00

### 開催場所

量子科学技術研究開発機構東京事務所第一会議室

### 参加者

主任研究者 : 数藤由美子(量研)

研究協力者 : 長田直樹・弓至(北大)、平井百樹(東大)

研究参加者 : 高島良生・穂山美穂(量研)

PO/PO 補佐 : 中村吉秀(JRIA) / 渡邊裕貴(原子力規制庁)

### 議題

- (1) 開会、議事次第説明
- (2) 情報収集 1 : 学会報告 (遺伝学会、人類遺伝学会) (長田、数藤)
- (3) 情報収集 2 : AI 関連企業等 (高島)
- (4) 試験報告 1 : 手書きデータの電子化等 (高島)
- (5) 試験報告 2 : AI 試用 (弓)
- (6) 試験報告 3 : 染色体分析法比較等 (数藤)
- (7) 連絡 : 共有サーバ使用開始等について (数藤)

### 議事概要

関連学会における情報収集として、遺伝学会および人類遺伝学会の大会参加報告が行われた。今後、診断における AI 導入は拡大することが示された。企業等の動向調査として AI 関連展示会での情報収集の結果、大小多数の企業が多様な分野で AI を利用したソリューションが提供されている状況が報告された。

試験報告として、①解析データのデジタル化について、AI-OCR による文字認識のテスト結果が報告された。②本研究課題における畳み込みニューラルネットワーク (CNN) 画像解析による染色体異常解析の進捗状況が報告された。③標本の染色法比較分析が報告された。

連絡事項として、当研究班にて画像等データ共有するためのファイルサーバは 1 月末を目途に運用開始との報告がなされた。本研究の PO より、当研究課題の本年度成果報告会が 2019 年 2 月 14 日に行われる予定であることが連絡された。

以上。

## 資料 11 : 第 4 回研究会合 議事概要

### 開催日時

平成 31 年 3 月 26 日 (火) 14 : 00~17:00

### 開催場所

量子科学技術研究開発機構東京事務所第一会議室

### 参加者

主任研究者 : 数藤由美子(量研)

研究協力者 : 長田直樹・弓至(北大)、平井百樹(東大)

研究参加者 : 高島良生・穂山美穂(量研)

PO/PO 補佐 : 中村吉秀(JRIA) / 大町康(原子力規制庁)

### 議題

- (1) 開会、配付資料確認、議事次第説明
- (2) 平成 30 年度成果報告会 報告 (量研・数藤)
- (3) 情報収集 1 : 学会報告 (メディカル AI 学会) (量研・高島)
- (4) 情報収集 2 : 委託プランニング例・画像データベース作成例 (量研・高島)
- (5) 情報収集 3 : ヒアリング報告 (産総研・人工知能研究 C) (量研・数藤ほか)
- (6) 進捗報告 : 1 月以降の進捗 (各自)
- (7) 討議
- (8) 連絡 : 共有サーバ利用案内、来年度研究会合開催予定 ほか (量研・数藤)

### 議事概要

平成 30 年度成果報告会・成果報告書、平成 31 年度事業計画・支出計画について主任研究者より説明があり、PO、PO 補佐より補足説明がなされた。

情報収集 1 として、日本メディカル AI 学会参加報告および AI 開発業者へのヒアリング結果について報告がされた。来年度においては、画像認識試作モデルの外注選定を見据えてさらに複数の開発業者へヒアリングを行う予定であることが報告された。

情報収集2として、平成31年度事業計画・支出計画における委託費「AI導入試験」の根拠資料が説明された。

情報収集3として、野里主任研究員（本研究・研究協力者）のヒアリング報告がなされた。産総研人工知能研究センターにおける研究開発事例と産総研大型計算機の利用について説明がなされた。

進捗報告として、画像認識に用いる染色体画像について、U-Netを用いたセグメンテーションの進捗が報告され、来年度の開発について教師データの改善方法などについて議論が行われた。また、現時点での原子力災害対応での需要を鑑み、まずはギムザ染色による染色体画像の画像認識モデル開発を優先し、FISHについてはギムザ染色の開発進捗状況により来年度4月より検討を開始することとした。

以上。

**資料 1 2 発表概要 (ICRP-QST-RERF Workshop on Individual Response to Ionizing Radiation)**

\*Y. Suto. Individual difference of chromosome aberrations in accidentally exposed workers. ICRP-QST-RERF Workshop on Individual Response to Ionizing Radiation (東国立がんセンター、2018年12月12日) [International Commission on Radiological Protection (ICRP) の会合 招待講演]

《アブストラクト》

Individual difference of chromosome aberration in accidentally exposed workers

Yumiko Suto

National Institute of Radiological Sciences, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, Japan

Ionizing radiation exposure causes DNA strand breaks that lead to chromosome aberrations. Among radiation-induced chromosome aberrations, dicentric chromosomes have been considered sensitive and specific bio-indicators for assessing radiation dose. The dicentric chromosome assay (DCA) has been the ‘gold standard’ for biological dosimetry in accidental radiation exposure for more than three decades. A dicentric yield from a radiation-exposed patient is referred to a calibration curve (dose–response curve) experimentally prepared in advance from dicentric scoring data at several dose points from peripheral blood samples of one healthy donor or by pooling scoring data from several donors in considering inter-individual variability. In the latter cases, Van Buul and Natarajan (1980) and Kakati et al. (1986) noted a remarkable inter-individual variability. On the other hand, some reports showed moderate or no significant inter-individual variability so that data of all donors could be pooled (Vinnikov and Maznyk 2013; Al-Hadyan et al. 2014).

Recently, the translocation analysis combined with fluorescence *in situ*

hybridization (FISH) using differentially colored chromosome painting probes are also applied for biological dosimetry. This technique is useful particularly for retrospective dose assessment because translocations are more stable, allowing dose estimates to be made long time after exposure or after protracted exposures. It is well-known, however, that the background levels of translocations increase with age due to confounding factors (Sigurdson et al., 2008). Inter-individual variability of translocation yields could be larger than that of dicentric yields.

In the present session, current issues concerning inter-individual variability of chromosome aberration yields will be demonstrated and discussed.

**資料 13 研究発表資料（世界保健機関 生物線量評価ネット会議）**

\*Y. Suto. Case report and network activity in Japan. The 5th Coordination Meeting of the World Health Organization (WHO) BioDoseNet (Helmholtz Centre Munich、ミュンヘン、2018年6月11日) [WHOの会合 依頼講演]

発表スライド原稿

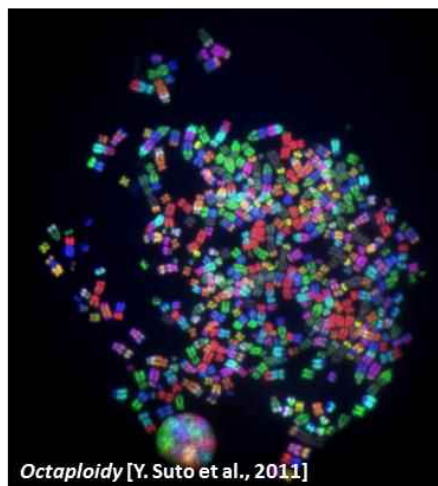
(注： 一部、論文投稿準備中のデータについてはマスクを入れている)



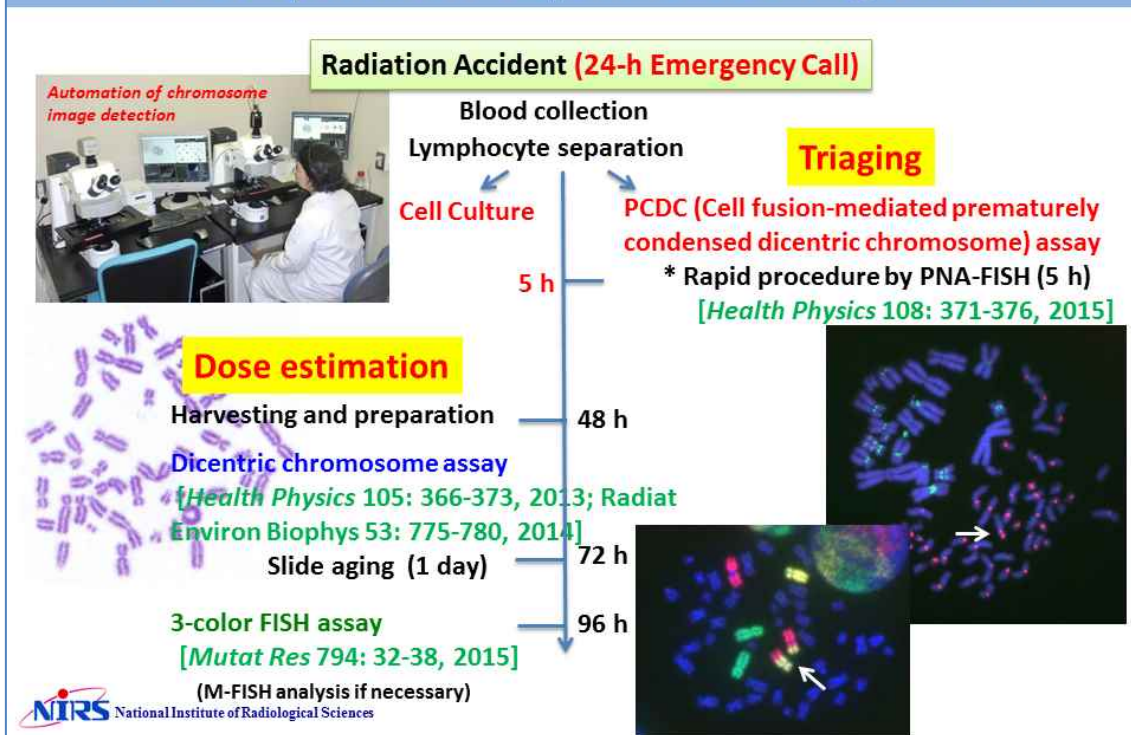
# Case report & network activity in Japan

## Yumiko Suto

Dept. of Radiation Measurement and Dose Assessment,  
National Institute of Radiological Sciences,  
National Institutes for Quantum and Radiological Science  
and Technology



## NIRS biodosimetric strategy for the suspected overexposure of ionizing radiation

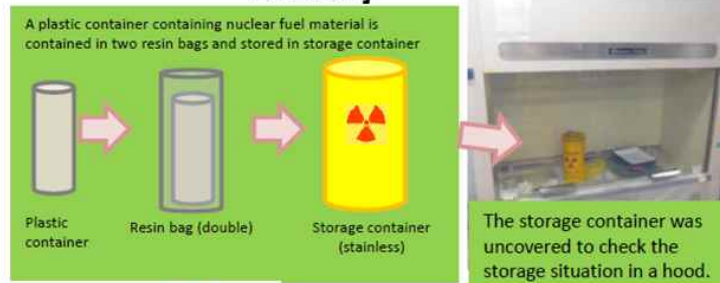


## Cytogenetic biodosimetry of plutonium radiation-exposed workers (JAEA-Oarai, 2017)



### The Oarai Research & Development Institute of JAEA.

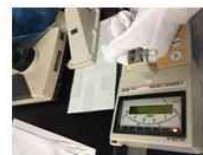
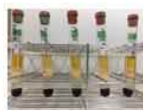
The institute is a unique nuclear research institute in Japan known for advanced reactor technologies. During their inspection work of a storage container of plutonium and enriched uranium as nuclear fuel materials (*below*), resin bags in the container burst, and the five workers were contaminated. [JAEA, <http://www.jaea.go.jp/english/news/press/p2017072102>]



NIRS National Institute of Radiological Sciences QST

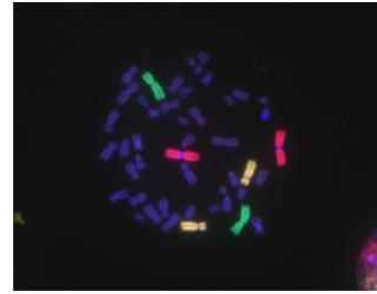
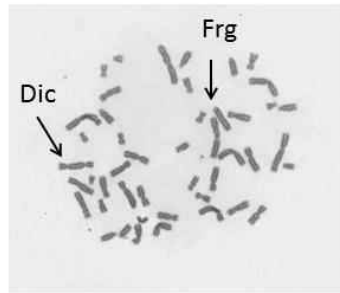
## JAEA-Oarai Accident (2017.6)

June 6, 2017	11:15	5 workers were accidentally exposed to <b>Pu-239</b> when they were inspecting a storage container of nuclear fuel materials at the Plutonium Fuel Research Facility of JAEA-Oarai. Their initial internal contamination measured with a lung monitor at JAEA indicated <b>22,000 Bq of Pu-239</b> and <b>220 Bq of Am-241</b> at maximum.
	midnight	The first injection of chelating agent ( <b>DTPA-Ca</b> ) was completed at JAEA.
June 7, 2017	12:00	5 patients received at the NIRS hospital.
	15:00	Chromosome analysis was ordered.
June 8, 2017	9:00	Received blood samples. Cell cultures in 3 different condition.
June 10, 2017	17:30	Reported the triage DCA results (100 cells/donor).
June 25, 2017	16:30	Final report of biodosimetry by DCA and FISH



NIRS National Institute of Radiological Sciences QST

## Data from DCA



ID	Triage-scoring mode		Full-scoring mode				
	Cells scored	No. of dicentrics	Cells scored	No. of dicentrics	Estimated Dose (Gy)	UCL (Gy)	LCL (Gy)
A	Unpublished data.						
B							
C							
D							
E							

### Dose-response curve:

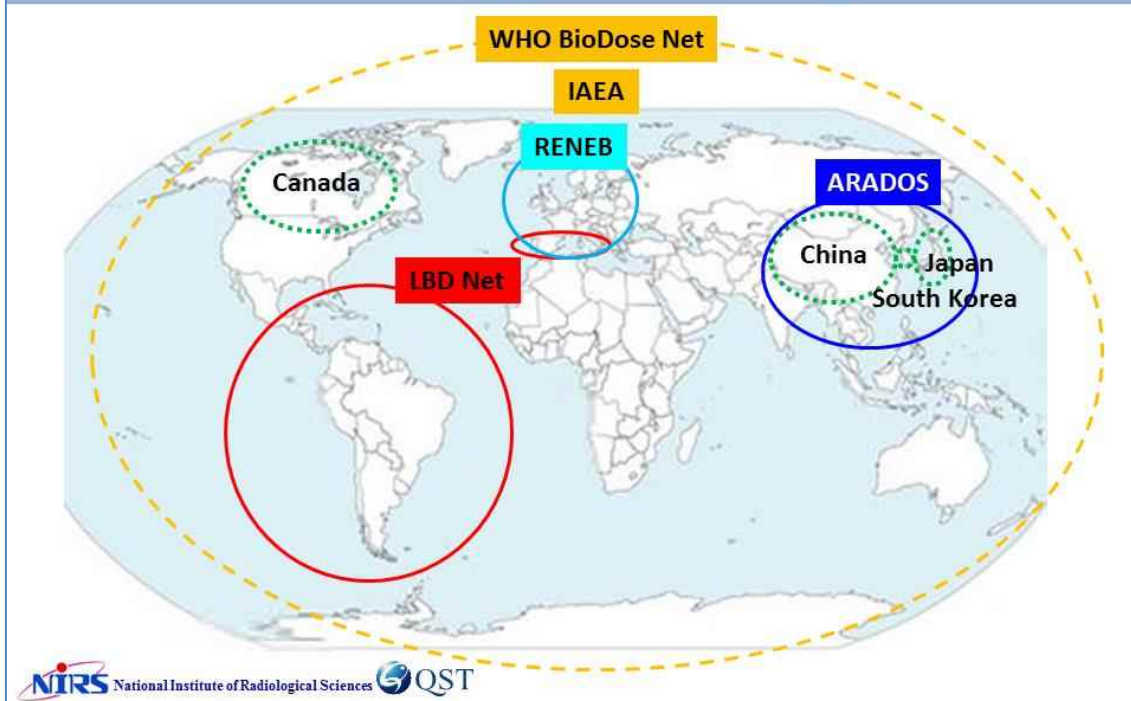
$$Y = (0.00015 \pm 0.00017) + (0.0302 \pm 0.0044) \times D + (0.0588 \pm 0.0028) \times D^2;$$

Y: dicentric yield, D: dose (Gy); p value of goodness of fit test :  $p = 0.73$ . [Y. Suto et al., Health Physics 105: 366-373, 2013]

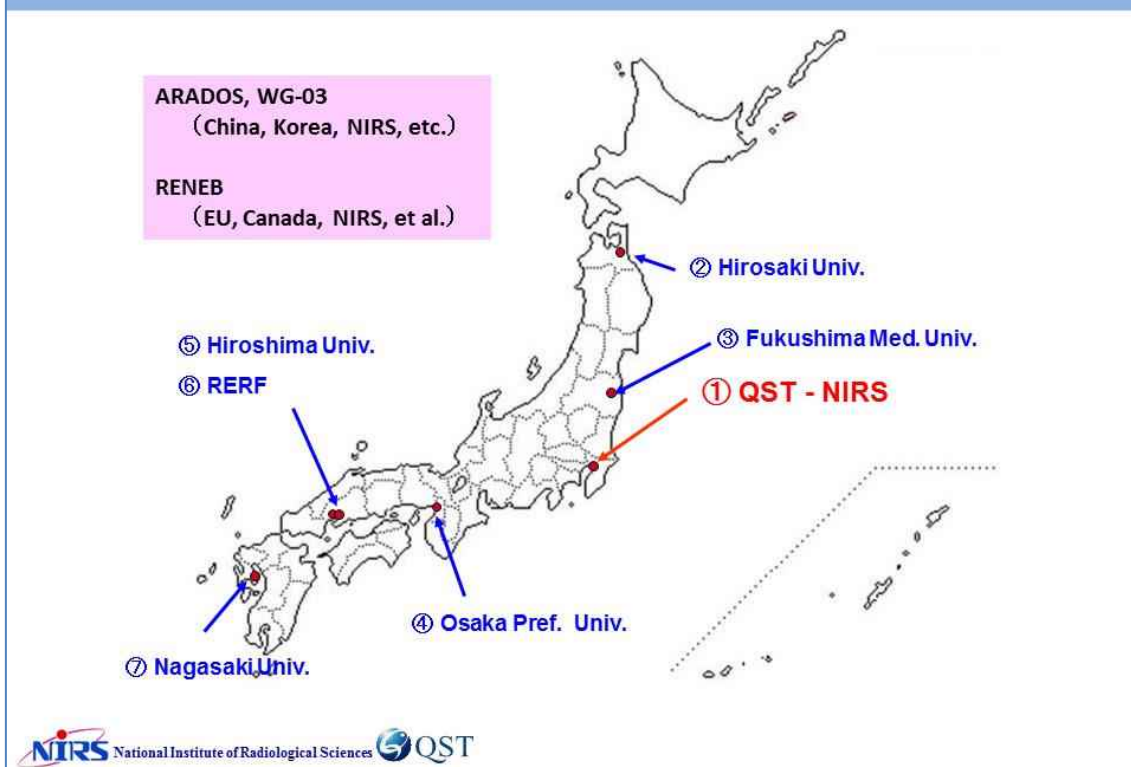
## Summary of the analyses

- 1) **Chromosome aberration yields** detected with DCA in full-scoring mode were at **background level**, suggesting that **there was little possibility of severe whole-body overexposure to acute radiation**.
- 2) The results were confirmed by 3-color FISH analysis with age-adjustment [ISO DIS 20046, 2017].
- 3) The results corroborate the fact that Pu-239 was not detected with a lung monitor by NIRS measurement and no acute radiation syndrome was observed among the workers.

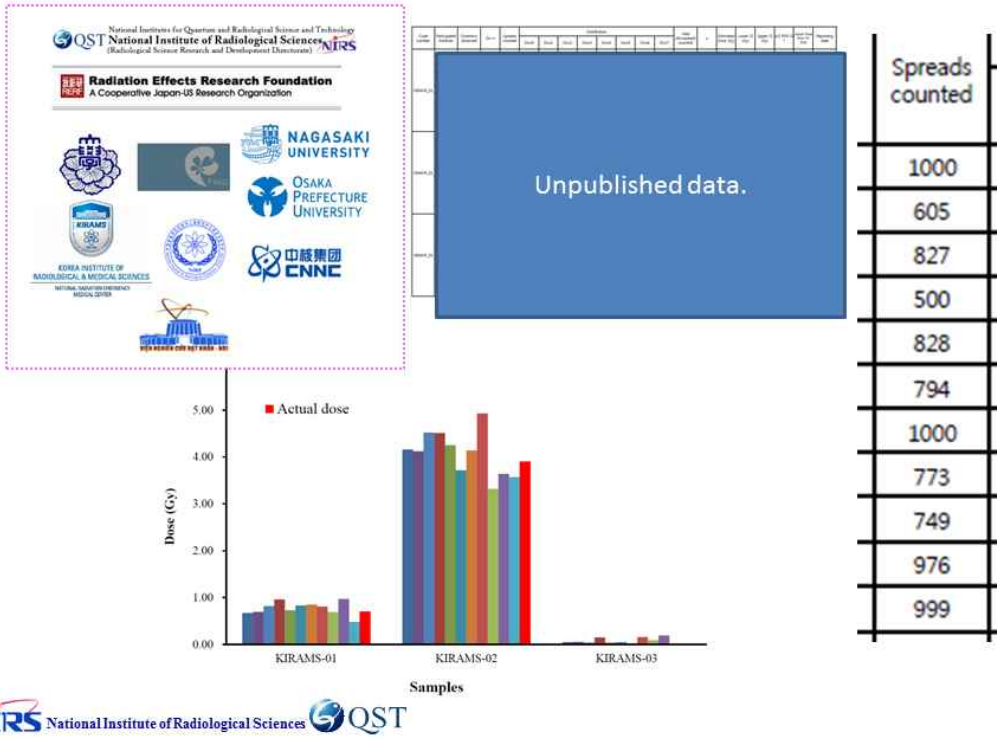
## International collaboration and networking for biological dosimetry



## Chromosome Network Council



# ARADOS WG-03 Intercomparison Study (2017)

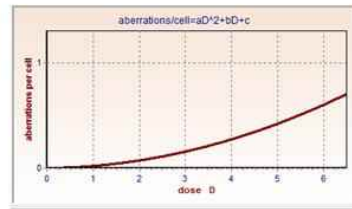
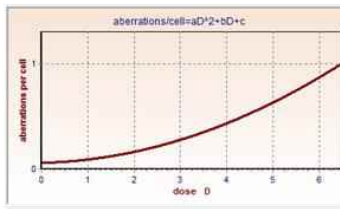
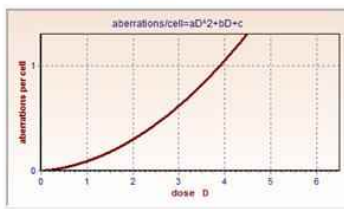


## Automation of image analysis



Cytogenetic Scanning System  
(Zeiss/Meta-Systems)

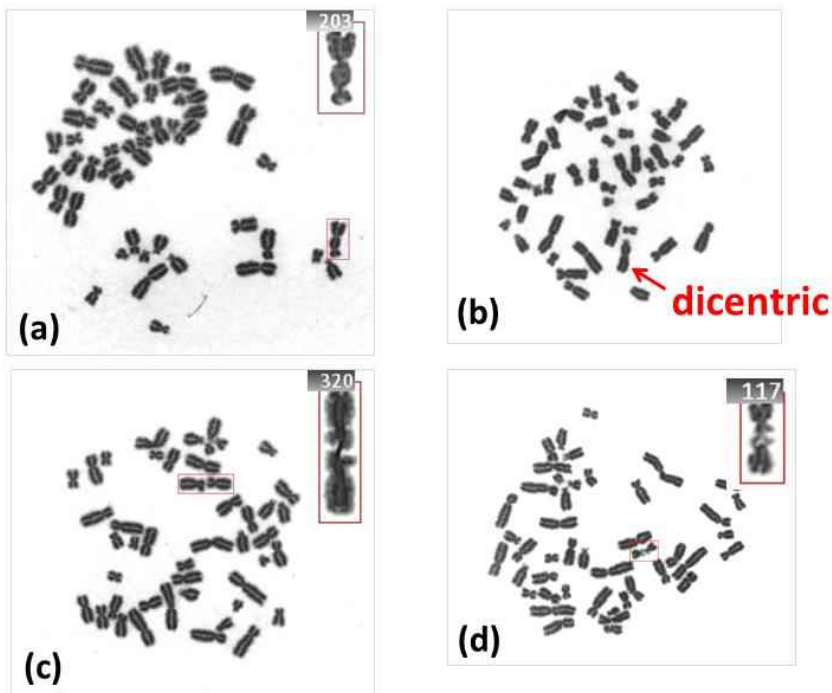
- Automation of
- 1) image-scanning and detection
  - 2) image-analysis [DCScore]



Dose-response curves of <sup>60</sup>Co gamma-ray by

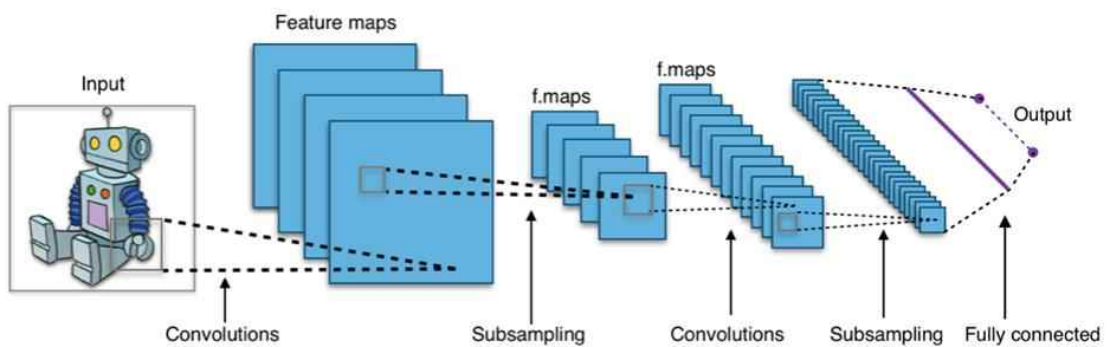
- (left) manual scoring
- (middle) automated scoring
- (right) automated scoring revised by manual scoring

[Y. Suto et al., unpublished data].



[Y. Suto et al., unpublished data]

## Development of image-analysis system by using Deep Learning ( → successful ?)



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Typical\\_cnn.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Typical_cnn.png)



→ Answer: robot



→ Answer: cat

By automatically extracted features of images and deep-learning, it might be possible to classify/identify chromosome aberration images.

## Acknowledgments

*Collaboration:*

**Dr. Momoki Hirai** (Emeritus Professor, Univ. of Tokyo)

**Dr. Naoki Osada** (Univ. of Hokkaido)

**Dr. Ryuichi Sakate** (National Institutes of Biomedical  
Innovation, health and Nutrition)

*Staff members:*

**Dr. Yoshio Takashima** (QST-NIRS, biodosimetry)

**Ms. Miho Akiyama** (QST-NIRS, biodosimetry)

**Dr. Kumiko Fukutsu** (QST-NIRS, health physics)

**Dr. Hideo Tatsuzaki** (QST-NIRS, REM doctor)

**Dr. Takako Tominaga** (QST-NIRS, REM doctor)

#### 資料 1 4 研究発表資料 (NCT)

\*NCT 依頼講演 アブストラクト集掲載原稿

**1 Title:** Biodosimetric Strategy for Radiation Emergency Medicine in Japan.

**2 Name:** Yumiko SUTO, PhD

#### **3 Summary:**

Biological dosimetry, based on the study of chromosomal aberrations, has become a routine component of accidental dose assessment. Exposed dose of a patient with suspected overexposure can be estimated from chromosomal aberration yield of peripheral blood lymphocytes by applying the yield to an appropriate dose-response curve. In the radiation emergency medicine field, it is practically important that there is no strict time-limit for blood collection after the accidental exposure. In the National Institute of Radiological Sciences of National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST-NIRS), some biodosimetric methods have been well-prepared: 1) cell-fusion mediated prematurely condensed dicentric chromosome assay (PCDC) for triage dose assessment, 2) dicentric chromosome assay (DCA) for more precise dose assessment within one month after the accidental exposure, 3) three-color fluorescence in situ hybridization (FISH) analysis for retrospective dose assessment. The biological dosimetry was useful to support medical management in cases of restoration workers of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident (March 2011) and workers of the JAEA Plutonium Fuel Research Facility (Oarai, June 2017). Prompt measures are taken for biological dosimetry of mass casualty accidents/incidents: 1) domestic, regional, and global networking (including standardization and harmonization of protocols and human resource development), 2) development of chromosome analysis methods by using automated image-capturing systems (microscopy and flow cytometry), 3) development of image-analysis softwares.



**資料 15. 原子力規制庁 平成 30 年度研究成果報告会 発表資料**

平成 30 年度放射線安全規制研究推進事業 成果報告会：

数藤由美子「染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に関する調査研究」(2019 年 2 月 14 日、原子力規制庁)

発表原稿

(<http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/kiseikenkyuu/00000024.html>  
において発表資料および会議映像が公開されている。)

平成30年度放射線対策委託費  
(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)  
放射線安全規制研究推進事業

## 染色体線量評価手法の標準化に向けた 画像解析技術に関する調査研究

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
放射線医学総合研究所  
数藤由美子（主任研究者）

### 【研究の概要】

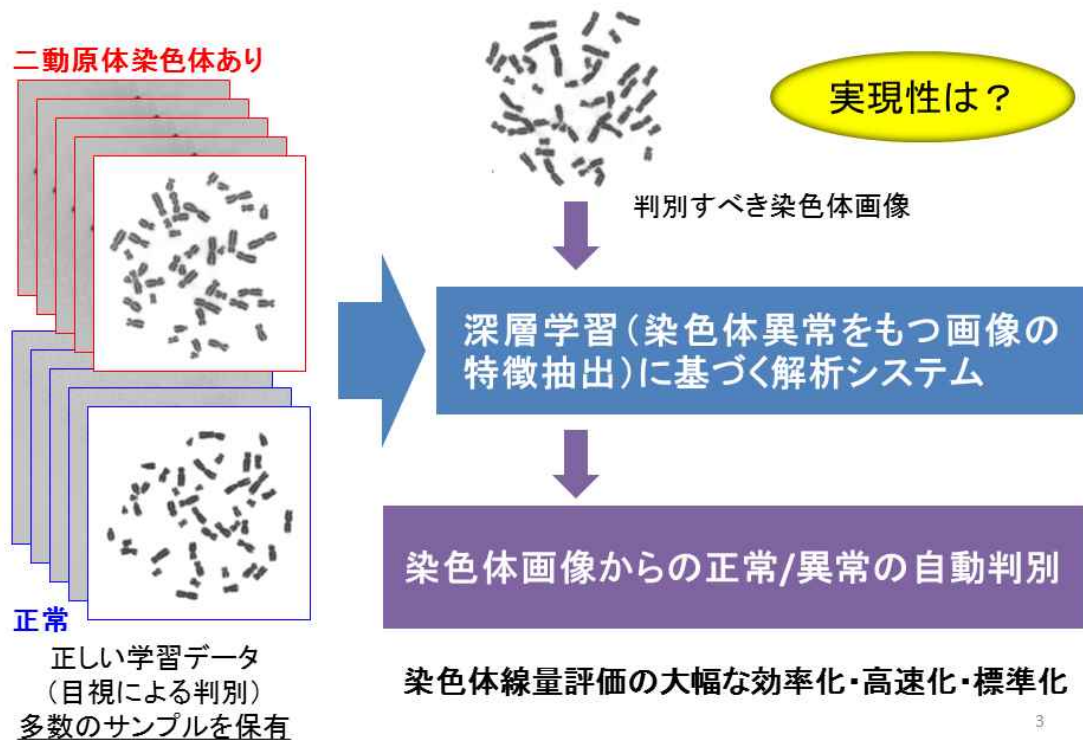
放射線誘発染色体異常の頻度を指標とした線量評価法は、従来から最も信頼性のある生物線量評価法としてひろく用いられている。この方法では多数の細胞分裂像を正確かつ迅速に判定する技術の開発が喫緊の課題となっている。

本研究は、染色体線量評価における染色体異常の判定・検出の効率化と標準化を実現するために、現況で応用の可能性がある**画像解析技術の調査および評価**を行い、**課題抽出し、効果的で実現可能な画像解析手法の開発案**を提示することを目標とする。

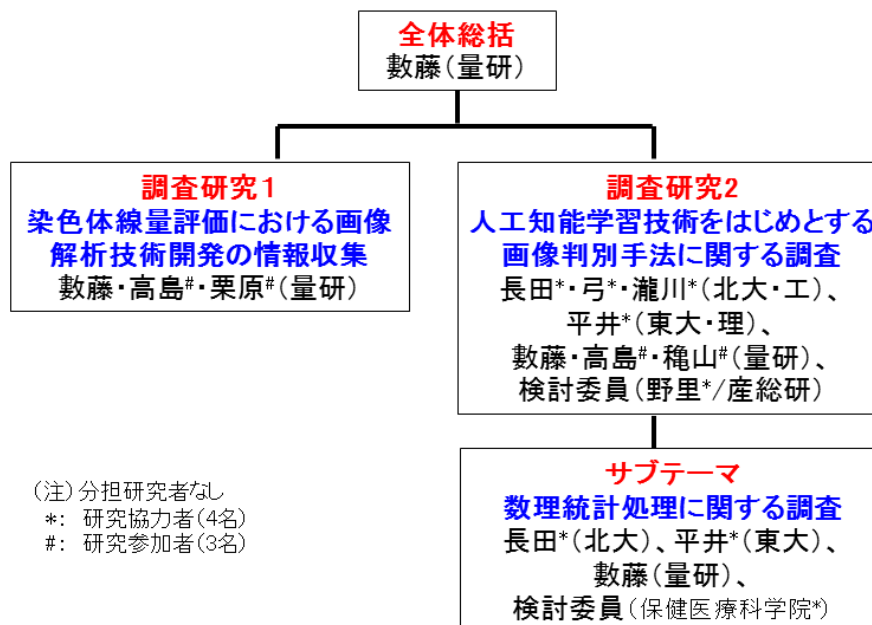
- \* **人工知能技術**を含む最先端の画像解析手法を調査・試行し、その**実用性**を検討する。
- \* 調査・検討においては、染色体線量評価・染色体研究、コンピュータ画像解析技術、人工知能技術研究、数理統計学研究など、**諸分野の専門家の協力**を得ることとする。

→ 本研究の成果(最適な手法の提案)は、染色体異常の判定の標準化および高速化に向けた、本格的な解析プログラムの開発の礎となる。

## 補足図： 深層学習を利用した染色体異常分析



## 【研究の概要2】 実施体制



4

## 【研究の概要3】 ロードマップ



5

## 【研究の概要4】 平成30年度事業計画

- 染色体線量評価における画像解析研究開発の動向調査・情報収集
  - 国際学会、国際標準化機構 (ISO) 会議、世界保健機関 (WHO) 会議 (以上、ドイツ、6月)、国内学会参加
    - 染色体解析ソフトウェアの情報収集 (開発企業および研究開発者へのヒアリング) を含む。
    - ISOでは本研究関連の国際標準プロトコルの作成や改訂等を行う。
    - 各国の被ばく医療における線量評価責任機関の研究者と情報交換を行う。
  - 文献調査
- 人工知能技術を導入した画像判別手法に関する調査
  - 他分野で実用化されている手法 (顔認識、地形認識、文字認識など) の調査
    - 人工知能技術を導入した画像判別手法の研究開発者へのヒアリング
    - 文献調査
  - 本研究開発に必要な要件と手法 (画像認識ライブラリ、計算ハードウェア、クラウドサービス利用など) についての調査
- 研究倫理審査等の準備
  - ヒト由来試料 (現有の標本および染色体画像データ) を用いるために必要な手続きを調査し、実施する。
- テスト用の画像ファイルの準備
  - 染色体異常検出の精度評価 (各種染色法やFISH法の比較)
  - テスト用の画像データの選択
  - テスト用の画像データと目視判定結果の紐付け
- 検討委員会の開催 (諸分野の研究開発者・専門家を必要に応じて招聘)
  - 染色体分析技術の情報共有
  - コンピュータによる画像判定技術 (人工知能を含む) に関する知識の共有
  - 染色体異常解析への適用性についての検討と手法の絞り込み

先行研究は？

先行研究は？  
手法の特徴は？  
必要な機材は？

倫理審査

試験準備

検討

6

## 【進捗1】 (概ね計画通り)

### 1. 染色体線量評価における画像解析研究開発の動向調査・情報収集

調査:

- \* 文献調査
- \* 染色体線量評価に関連した3つの学会・会議での調査およびヒアリング  
国際学会: EPR BioDose 2018(6月、ミュンヘン)  
国際会議: WHO BioDoseNet(同上)  
ISO, Working Group 18(生物線量評価分科会)(同上)
- \* 染色体解析技術に関連した2つの学会での調査  
国内学会: 第90回日本遺伝学会大会(9月)、日本人類遺伝学会第63回大会(10月)

成果:

- \* 現在、ギムザ染色標本の染色体画像自動分析ソフトウェアの主力はMetaSystems社製。後発のCytoGnomix社製とともに市販されている。PNA-FISH標本の二動原体染色体自動分析ソフトウェアはMetaSystems社製で追加された。染色体ペインティング標本の自動分析ソフトウェアは数藤・高島らが開発している。他のマイナーな開発例を含め、**誤判定・必要細胞数など課題は多く、開発途上で、少数のラボで実用化に向け長期調整中である。いずれの現存ソフトウェアも染色体異常の判別に従来型の機械学習を利用している。**

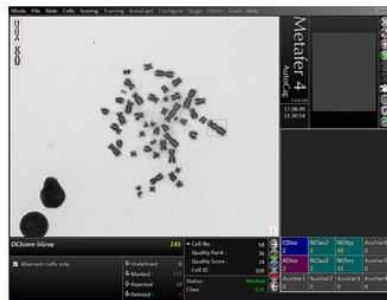
(注)あらかじめパラメータを決定し、適合した分裂中期染色体像のみを分析する。ラボごとに染色体の凝縮具合や判定基準が異なるため、ラボごとに学習用画像を用意しパラメータを模索する必要がある。

- \* 染色体線量評価分野でのさらに進んだ画像解析ソフトウェア開発は未定(開発をすれば、がん関連を優先するという意見)。
- \* 染色体研究技術に関連した国内学会(人類遺伝学会、遺伝学会)において、染色体画像解析ソフトウェアに関する新情報はみられなかった。

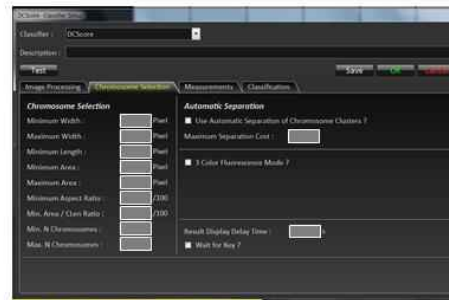
→ 染色体線量評価におけるAI技術の導入例や研究はみられない。

7

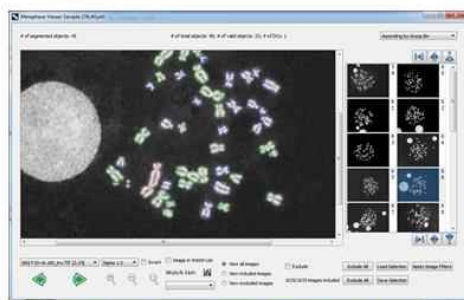
## 補足図: 染色体解析ソフトウェアの最前線



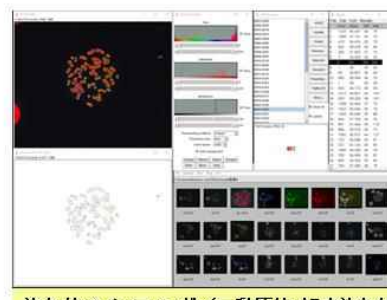
ギムザ染色/二動原体染色体の自動解析(M社)



パラメータ設定画面(M社)



ギムザ染色/二動原体染色体の自動解析(G社)



染色体ペインティング/二動原体・転座染色体の自動解析(数藤・高島(ほか、開発中))

従来型機械学習による染色体画像自動解析ソフトウェア

8

## 【進捗2】 (概ね計画通り)

### 2. 人工知能技術を導入した画像判別手法の開発に関する検討

調査:

- \* 文献調査・ウェブ情報調査・有識者ヒアリング
- \* 人工知能技術に関連した4つの学会・会合での調査
  - 国内学会: 第90回日本遺伝学会大会(9月)、日本人類遺伝学会第63回大会(10月)、第1回日本メディカルAI学会学術集会(1月)
  - AI関連展示会: シーテック・ジャパン2018(10月)

成果:

- \* AIを用いた染色体画像解析の研究報告はみられなかった。医用画像診断支援やゲノムデータを用いた遺伝医療、創薬などへのAIの導入については国家的プロジェクトが産官学連携により進行中。

#### → 染色体画像解析におけるAI技術の導入例や研究はみられない。

- \* 画像認識ライブラリの情報を収集し、代表的なA社、B社について重点的に調査し、必要な計算ハードウェアについて把握した。
- \* 大小多数の企業から多様な分野でAIを利用したソリューションが提供されている状況が明らかになった。本格開発において適合するソフトウェア開発を受注可能とおもわれる企業が数社あり、プロトタイプ開発および本開発にかかる費用・期間のおおよそが判明した。
- \* 手書きの染色体異常判定データのデジタル化のために、AI-OCR(AIを導入した光学的文字認識)を試用したが、要求水準に達しないため、入力代行業者にかかる経費についても調査し判明した。

9

## 【進捗3】 (概ね計画通り)

### 3. 研究倫理審査等の準備

- \* 量研・放医研のヒト由来試料(染色体標本および染色体画像データ)を研究協力者と共有することとなるため、研究倫理審査を受け、承認された。
- \* これに基づき、データ共有のための安全性の高いサーバを構築した(2月中に稼働予定)。

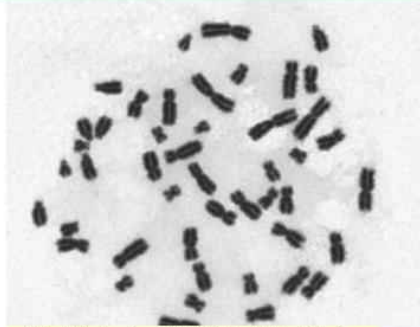
### 4. テスト用の画像ファイルの準備

- \* 一部の画像ファイルを用いてCNN(畳み込みニューラルネットワーク)画像解析テストを行い、適した画像ファイル条件について検討した。この経験に基づき改善し、ギムザ染色による画像について二動原体染色体が認識可能かを検討する(今年度内を予定)。
- \* ギムザ染色法、蛍光染色法、3色FISH法(染色体ペインティング)の染色体異常検出力を調査し、それぞれの長所・短所を明らかにした。PNA-FISH法による二動原体染色体検出力に関しては、1月に現有の顕微鏡画像解析システムに導入したPNA-FISH二動原体分析機能を用いて2月以降に検証する予定である。
- \* 所有の50万枚を超える染色体画像コレクションからテスト用の画像データの選択を進めた。画像データと目視判定記録の紐付け方法を検討し決定した。AI活用に有用とされるサンプル数増大のため、テスト用画像ファイルの準備は次年度継続する。また、今後のAI技術導入試験では従来のギムザ染色法を主とするが、将来的な必要性に備えて他の染色法による画像についても可能性を確認することとする。

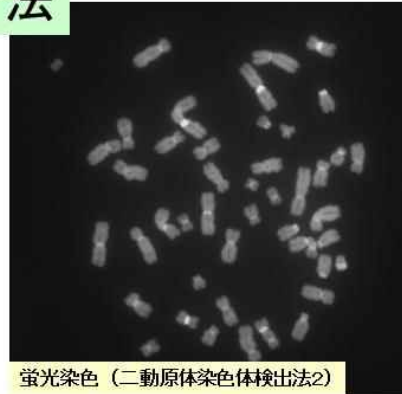
### 5. 検討委員会の開催 [第1回(8月)、第2回(11月)、第3回(12月)、第4回(3月予定)]

- \* 染色体分析技術およびコンピュータによる画像判定技術(人工知能を含む)に関して情報や知見を共有し、検討を行った(前述1~4参照)。染色体異常解析への適用性についての検討と手法の絞り込みについては、今後の試験結果もふまえ更新していくため、次年度<sup>10</sup>に継続する。

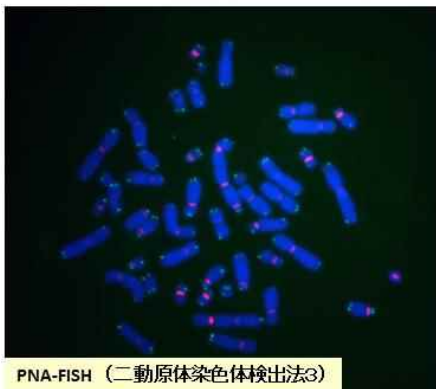
## 補足図： 各種染色体分析法



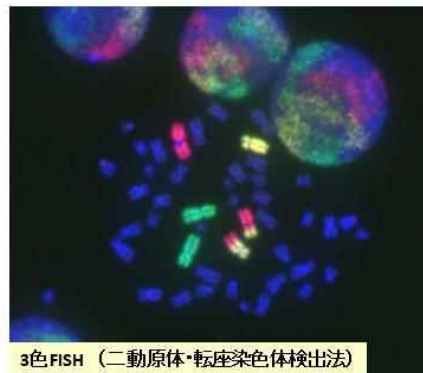
ギムザ染色（二動原体染色体検出法1）



蛍光染色（二動原体染色体検出法2）



PNA-FISH（二動原体染色体検出法3）



3色FISH（二動原体・転座染色体検出法）

11

## 【成果】

### 出版物：

- 1) Kulka U, Wojcik A, Di Giorgio M, Wilkins R, Suto Y, Jang S, Qing-Jie L, Jiayang L, Ainsbury E, Woda C, Roy L, Li C, Lloyd D, Carr Z: Biodosimetry and biodosimetry networks for managing radiation emergency. *Radiat Prot Dosimetry* 182(1): 128-138, 2018, doi: 10.1093/rpd/ncy137. [原著論文]
- 2) International Organization for Standardization (ISO): ISO/FDIS 20046: Radiological protection - Performance criteria for laboratories using fluorescence in situ hybridization (FISH) translocation assay for assessment of overexposure to ionizing radiation (ISO, 2018). (Y. Suto as a P-member of Working Group 18, ISO/TC85/SC2) [国際標準化機構 (ISO) 文書]

### 発表：

- 1) Y. Suto. Individual difference of chromosome aberrations in accidentally exposed workers. ICRP-QST-RERF Workshop on Individual Response to Ionizing Radiation (東京、2018年12月12日) [International Commission on Radiological Protection (ICRP) の会合 招待講演]
- 2) Y. Suto. Case report and network activity in Japan. The 5th Coordination Meeting of the World Health Organization (WHO) BioDoseNet (ミュンヘン、2018年6月11日) [WHOの会合 依頼講演]
- 3) Y. Suto et al. Cytogenetic biodosimetry of plutonium radiation-exposed workers. EPR BioDose 2018 (ミュンヘン、2018年6月11～15日) [国際学会 ポスター]
- 4) Y. Suto. Biodosimetric Strategy for Radiation Emergency Medicine in Japan. NCT CBRNE Asia-Pacific 2018 (東京、2018年5月28～30日) [国際学会 招待講演]

12

## 【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 <b>概ね計画どおり</b> 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要な情報収集および環境準備を計画通り実施した。               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 本研究に対する先行研究が無いことを確認した。</li> <li>- 本研究に必要なレベルの(人工知能技術を導入した画像判別のための)機材の準備および研究倫理審査の承認を完了した。</li> </ul> </li> <li>各種試験により、今後のAI導入試験に必要な画像データの準備が可能となり、開始できた。               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 各種染色体分析法による画像データの検出力を確認し、AI導入試験に用いる染色法を決定した。</li> <li>- AIを導入した光学的文字認識手法の試用により、画像判定の手書きデータと画像データとの紐付け方法を決定した。</li> <li>- AI導入試験の予備テストにより、本研究に適した画像ファイルの条件がより絞り込めた。</li> </ul> </li> </ul>
今年度の進捗や達成度を踏まえて、次年度の研究計画に変更が必要か	1 必要ない 2 <b>軽微な変更が必要</b> 3 大幅な変更が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽微な変更点               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 検討委員について、初年度の進捗に基づき、次年度には統計数学やデータに基づく危機管理に関する専門家として新たに1名程度の追加を予定する。</li> </ul> </li> </ul>

13

## 【次年度計画】

### 1. 人工知能技術を導入した画像判別手法の開発に関する検討

《前年度につづき第3四半期まで》

- \* 研究開発動向および情報の更新
- \* テスト用画像を用いた試験

(注)人工知能技術を導入した機械学習(ディープラーニング)による画像判定プログラムの使用テストを実施する。  
染色体および染色体異常の認識精度や実行速度などを評価軸として有効性の検討を行う。

### 2. テスト用の画像ファイルの準備

《前年度につづき第2四半期まで》

- \* テスト用の画像データの選択と目視判定結果の紐付け(画像検討会 6回程度)

### 3. 検討委員会の開催 (4回程度)

《前年度につづき第3四半期まで》

- \* 染色体分析技術およびコンピュータによる画像判定技術(人工知能を含む)に関する知識の更新
- \* 1. の試験結果に基づく染色体異常解析への適用性についての検討と手法の絞り込み

《第3～4四半期》

- \* 画像判定結果の数理統計学的なデータ処理法・線量評価法に関する検討

《第3～4四半期》

- \* 総括(染色体線量評価のための画像判別技術開発の提案)

14



# ロードマップ



15

# 予備

16

## 染色体線量評価法におけるAI等活用の可能性

### 検討方法

これまで多量に蓄積されたヒトリンパ球染色体画像と解析結果を用いていくつかの方法でAI学習させ、ヒトの目による判定結果と比較し、有用性を検討する。

#### ギムザ染色画像

- 細胞周期の違いの影響
- 形態による解析

#### FISH画像 (PNA, 3-color の2種類)

- 蛍光発色による明瞭な染色体像
- カラーと形態による解析
- ハイブリダイゼーションのステップ

\* 実験者・検査者によるばらつき  
… 実験手技、画像判定  
= ラボ内およびラボ間のハーモナイゼーションが困難

#### AIによる画像認識

- 既存のAI学習開発用ライブラリはどこまで利用可能か？
- ギムザ染色、FISHでは総合的にどちらが有用か？ あるいは併用の可能性は？

これまでに蓄積されたヒト染色体画像と解析結果を用いていくつかの方法で学習させ、可能性(有用性)を検討する。  
→ 有用性が認められれば、精度・速度向上や利用しやすいユーザインタフェースなど、本格的な開発へ。<sup>17</sup>